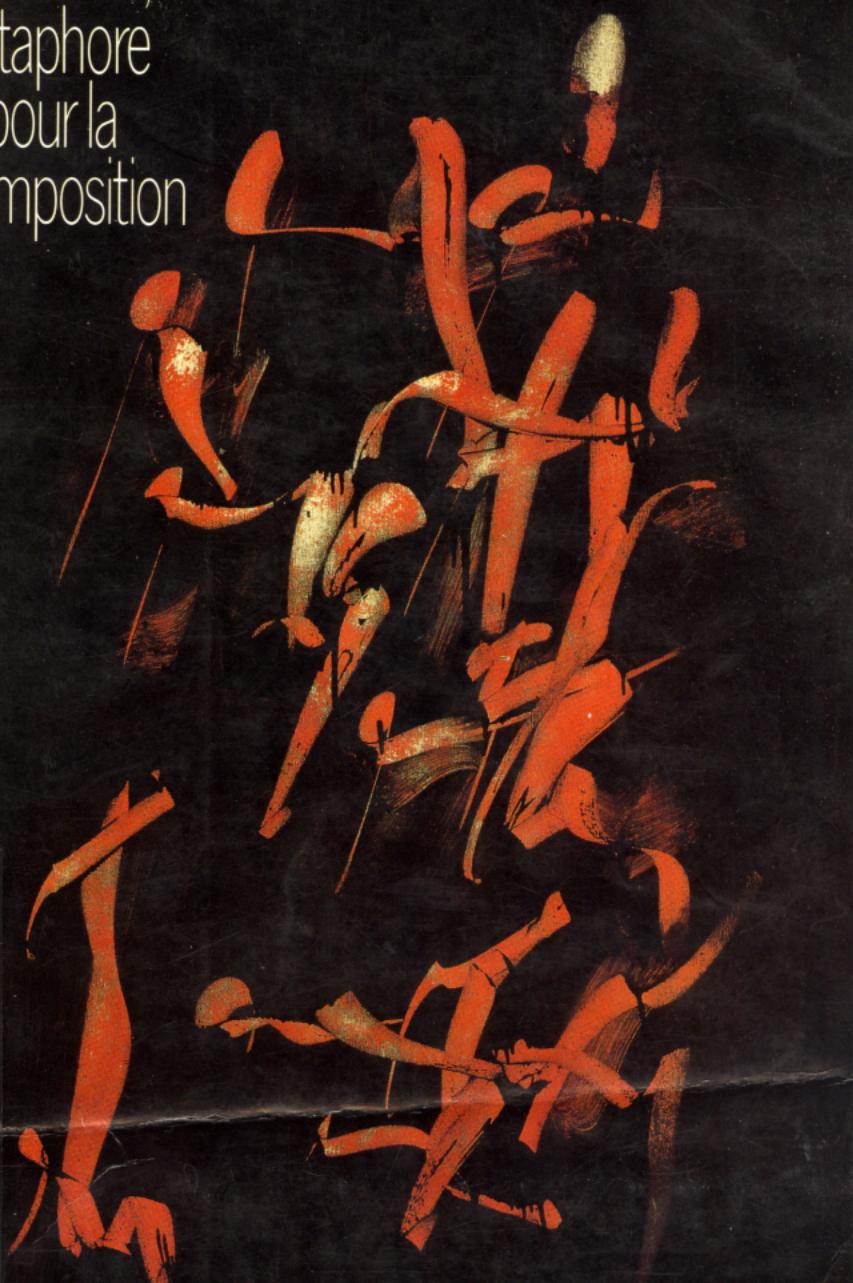


le timbre,  
métaphore  
pour la  
composition



I.R.C.A.M.  
CHRISTIAN BOURGOIS ÉDITEUR



**LE TIMBRE**  
**MÉTAPHORE POUR LA COMPOSITION**

*Dans la même collection*

- Pierre BOULEZ, *Points de repère* (2<sup>e</sup> édition).  
Steve REICH, *Écrits et entretiens sur la musique*.  
J.-J. NATTIEZ, *Tétralogies: Wagner, Boulez, Chéreau*.  
Edgar VARÈSE, *Écrits*.  
Mauricio KAGEL, *Tam-tam*.  
Alban BERG, *Écrits*.  
Pierre-Jean JOUVE, Michel FANO, « *Wozzeck* » d’Alban Berg.  
*Quoi? Quand? Comment? La recherche musicale*, textes réunis et présentés par Tod Machover.  
Célestin DELIÈGE, *Invention musicale et idéologies*.  
Pierre-Jean JOUVE, *Le « Don Juan » de Mozart*.  
Edouard HANSLICK, *Du beau dans la musique*.  
Jean-Paul DESPINS, *Le Cerveau et la musique* (2<sup>e</sup> édition).  
J.-J. NATTIEZ, *Musicologie générale et sémiologie*.  
Roman INGARDEN, *Qu'est-ce qu'une œuvre musicale?*  
Pierre BOULEZ, *Jalons (pour une décennie)*.  
Fernand OUELETTE, *Edgard Varèse*.  
J.-J. NATTIEZ, *Wagner androgyne*.  
Hugues DUFOURT, *Musique, pouvoir, écriture*.  
Pierre BOULEZ, John CAGE, *Correspondance*.

*A paraître*

- T.W. ADORNO, *Introduction à la sociologie de la musique*.  
Carl DAHLHAUS, *L'idée de musique pure*.  
György LIGETI, *Ecrits sur la musique*.  
Leonard B. MEYER, *La musique, le style et les idées*.  
Dieter SCHNEBEL, *Sur la musique d'aujourd'hui à hier*.  
Karlheinz STOCKHAUSEN, *Écrits*.  
Max WEBER, *Les Fondements rationnels et sociologiques de la musique*.

# LE TIMBRE

## MÉTAPHORE POUR LA COMPOSITION

Textes réunis et présentés  
par Jean-Baptiste Barrière

*Ouvrage publié avec le concours  
du Centre National des Lettres*

Collection  
MUSIQUE / PASSÉ / PRÉSENT

CHRISTIAN BOURGOIS ÉDITEUR  
I.R.C.A.M.

© I.R.C.A.M., 1991  
et © Christian Bourgois Éditeur, 1991  
ISBN 2-267-00808-4

# Sommaire

Jean-Baptiste Barrière, <i>Introduction</i> .....	11
---	----

## Situations

Claude Cadoz, <i>Timbre et causalité</i> .....	17
M.-E. Duchez, <i>L'évolution scientifique de la notion de matériau musical</i> .....	47
Robert Piencikowski, <i>Fonction relative du timbre</i> .....	82
Yoshihiko Tokumaru, <i>Le timbre dans la musique japonaise</i> .....	90
André Riotti, <i>Quelques réflexions sur le contrôle formel du timbre</i> .....	90
Jean-Claude Risset, David Wessel; <i>Exploration du timbre par analyse et synthèse</i> .....	102

## Recherches

Yves Potard, P.-F. Baisnée, J.-B. Barrière, <i>Méthodologie de synthèse du timbre: l'exemple des modèles de résonance</i> .....	135
Stephen McAdams, Kaija Saariaho, <i>Qualités et fonctions du timbre musical</i> .....	164
Fred Lerdahl, <i>Les hiérarchies de timbres</i> .....	182
Albert Bregman, <i>Timbre, orchestration, dissonance et organisation auditive</i> .....	205
René Caussé, <i>Sourdine et «timbre» des instruments à vent (cuivres)</i> .....	217
Jean Kergomard, <i>Le timbre des instruments à anche</i> .....	225

## Tendances compositionnelles

Jean-Claude Risset, <i>Timbre et synthèse des sons</i> .....	239
Philippe Hurel, <i>Le phénomène sonore, un modèle pour la composition</i> ..	261
Hughes Dufourt, <i>Timbre et espace</i> .....	272
James Dillon « <i>Les instruments spéculatifs</i> » .....	282
Philippe Manoury, <i>Les limites de la notion de «timbre»</i> .....	293

## Œuvres

Marc-André Dalbavie, <i>Pour sortir de l'avant-garde</i> .....	303
Antoine Bonnet, <i>La part de l'insaisissable</i> .....	335
Gérard Grisey, <i>Structuration des timbres dans la musique instrumentale</i> .....	352
George Benjamin, <i>Quelques réflexions sur le son musical</i> .....	386
Mesias Maiguashca, <i>Spectre — harmonie — mélodie — timbre</i> .....	402
Kaija Saariaho, <i>Timbre et harmonie</i> .....	412
Jonathan Harvey, <i>Le miroir de l'ambiguité</i> .....	454
Roger Reynolds, « <i>Par-delà les dimensions connues</i> » .....	467
Marco Stroppa, <i>Un orchestre synthétique: Remarques sur une notation personnelle.</i> .....	485

## Comme pour conclure

Pierre Boulez, <i>Le timbre et l'écriture, le timbre et le langage</i> .....	541
<b>Bibliographie</b> .....	550

*Traductions de l'anglais:* Esther Starkier; *traduction de l'italien:* Alain Galliari

*Collaboration rédactionnelle:* Catherine Delaruelle et Anne Grange

*Exemples musicaux et graphiques:* Jean-Louis Sulmon

*Secrétariat de rédaction:* Christine Béroff

## Notes biographiques

- Pierre-François BAISNÉE, ingénieur, chercheur à l'I.R.C.A.M.
- Jean-Baptiste BARRIÈRE Responsable de la pédagogie à l'I.R.C.A.M.
- George BENJAMIN, compositeur.
- Antoine BONNET, compositeur.
- Pierre BOULEZ, compositeur, chef d'orchestre, directeur de l'I.R.C.A.M.
- Albert BREGMAN, psycho-acousticien, professeur à l'Université McGill (Montréal).
- Claude CADOUZ, ingénieur, chercheur de l'Association pour la création et la recherche sur les outils d'expression (Grenoble).
- René CAUSSÉ acousticien chercheur à l'I.R.C.A.M.
- Marc-André DALBAVIE, compositeur chercheur à l'I.R.C.A.M.
- Hugues DUFOURT, compositeur, philosophe, directeur du Centre d'Information et de Documentation Recherche Musicale (C.N.R.S.).
- James DILLON, compositeur.
- Marie-Elisabeth DUCHEZ, philosophe, musicologue, chercheur au C.N.R.S.
- Gérard GRISEY, compositeur, professeur au Conservatoire national supérieur de musique de Paris.
- Jonathan HARVEY, compositeur, professeur à l'Université du Sussex.
- Philippe HUREL, compositeur.
- Jean KERGOMARD, chercheur, acousticien, professeur à l'Université du Maine.
- Fred LERDAHL, compositeur, professeur à l'Université du Michigan (Ann Arbor).
- Mesias MAIGUASHCA, compositeur, responsable du studio du Centre européen pour la recherche musicale (Metz), enseignant à la Hochschule für Neue Musik (Freiburg).
- Philippe MANOURY, compositeur chercheur à l'I.R.C.A.M., professeur au Conservatoire national supérieur de musique de Lyon.
- Stephen McADAMS, psycho-acousticien, chercheur au C.N.R.S. et à l'I.R.C.A.M.
- Robert PIENCIKOWSKI, musicologue.
- Yves POTARD, ingénieur.

**Roger REYNOLDS,** compositeur, professeur à l'Université de San Diego (Californie).

**André RIOTTE,** compositeur.

**Jean-Claude RISSET,** compositeur, chercheur au C.N.R.S.

**Kaija SAARIAHO,** compositeur.

**Marco STROPPA,** compositeur chercheur à l'I.R.C.A.M.

**Yoshihiko TOKUMARU,** musicologue.

**David WESSEL,** psycho-acousticien, responsable scientifique du studio d'informatique musicale de l'Université de Berkeley (Californie).

## **Le timbre, métaphore pour la composition**

par Jean-Baptiste BARRIÈRE

Le timbre est, sous une forme ou sous une autre, le lieu de rencontre obligé, mais aussi le point de fracture inévitable de toutes les discussions musicales, de toutes les confrontations compositionnelles. Il sert à désigner des notions, voire des esthétiques musicales, tout à fait opposées.

Du « son » particulièrement travaillé (jusqu'à la perte de toute autre valeur) dans ce que l'on pourrait appeler des musiques de dispositifs (ou d'effets) technologiques, en passant par le renouveau des techniques instrumentales et de l'écriture, jusqu'à la synthèse et au traitement des sons par ordinateur, le « timbre » s'est trouvé depuis le début de ce siècle présenté/représenté, exposé/imposé/surexposé, toujours plus en avant sur la scène musicale.

De telle sorte que poser la question du timbre aujourd'hui est par là même essayer de relever l'*état des choses*, de dresser l'inventaire de la musique contemporaine. C'est pourquoi il nous a paru nécessaire, voire indispensable, de faire aujourd'hui le point sur les différents travaux, sur les différentes approches. Pour ce faire, nous avons voulu donner une vision aussi panoramique que possible, sans pour autant prétendre être exhaustif.

Une première approche, superficielle et négative, voudrait voir dans le timbre aujourd'hui un concept fourre-tout, qui servirait tour à tour à recevoir une réalité multiforme et insaisissable par nature, ou bien à entretenir à dessein la confusion sur des questions musicales difficiles et apparemment laissées sans réponse, voire à cacher l'impossibilité de pallier l'absence d'un système qui viendrait organiser le musical après l'*effondrement* du système tonal et l'*échec* du sérialisme.

Une autre approche, plus tendue vers la pratique musicale, critique mais cependant volontairement constructive, considère que le concept de timbre dont nous avons hérité ne représente pas une catégorie opératoire et constitutive, qu'il faut le remplacer ou le redéfinir par une nouvelle matrice conceptuelle multi-dimensionnelle et poly-paramétrée, plus appropriée aux problèmes et aux exigences à la fois de la théorie et de la pratique musicales de notre temps.

Du grand projet schoenbergien d'une mélodie de timbre, qui a suscité à lui seul tant de polémiques et de réalisations contradictoires, il reste une préoccupation obsédante, une question qui revient périodiquement : peut-on

imaginer une hiérarchie de timbres, indispensable selon certains à l'éclosion d'un langage ?

En effet, le besoin récurrent d'un système, de même que le recul par rapport à toute musique motivique consécutif au refus de la tonalité, a amené à comprendre de manière fonctionnelle le terme de mélodie ; ce par quoi procède un système de tensions / relaxations, perçu comme indispensable à tout travail formel, à tout processus compositionnel. Mais sur cette idée même de hiérarchie, les musiciens sont loin de trouver un accord. Dans le débat qui les oppose, nous retrouvons la dualité classique entre matériau et organisation. Certains, tel Fred Lerdahl, cherchent un modèle de hiérarchie dans l'expérience accumulée du système tonal. Lerdahl a entamé une recherche de longue haleine visant à restituer l'équivalent des fonctions tonales dans le domaine du timbre, et ceci selon une double référence au langage : à travers la théorie des grammaires génératives et l'étude des aspects phonologiques.

Certains compositeurs ont cherché dans d'autres disciplines, essentiellement scientifiques, des modèles souvent métaphoriques pour la hiérarchisation des paramètres de contrôle du timbre, au risque parfois de produire des placages totalitaires qui n'aboutissent qu'à un arbitraire sans nécessité ni fondements musicaux.

D'autres compositeurs et chercheurs considèrent au contraire que le matériau lui-même doit induire son organisation, ou qu'au minimum, on ne peut plaquer innocemment une organisation quelconque sur un matériau particulier. Ceux-là pensent donc qu'il existe de fortes interactions entre matériaux et organisations, et qu'une tâche préliminaire consiste à en faire émerger la structure intime ; une fois seulement celle-ci révélée ou définie, on peut alors passer à une seconde phase de hiérarchisation proprement compositionnelle.

Dans cette démarche, le rôle de l'ordinateur apparaît comme fondamental : aussi bien pour l'analyse des sons concrets et instrumentaux, que pour la formalisation, la synthèse, l'expérimentation et la composition. Mais son apport peut-être le plus novateur est sans doute d'avoir rendu possible, de manière radicale, l'extension de la composition au matériau sonore, mettant en continuité matériau et organisation, et modifiant ainsi le rôle du compositeur, étendant ses responsabilités à l'élaboration même du matériau.

Une autre problématique est au centre du débat tout en étant aujourd'hui renouvelée par l'utilisation de l'ordinateur : la possibilité d'un continuum des timbres qui viendrait relier et prolonger les objets discrets que représentent les instruments de l'orchestre, à travers un processus de simulation, d'interpolation, d'hybridation, d'extrapolation, enfin d'abstraction.

Edgard Varèse avait, probablement le premier, fait un pas décisif dans ce sens, brisant la domination des sons périodiques/harmoniques des instruments traditionnels par l'introduction systématique de « bruits » de la percussion dans l'orchestre. La musique électronique naissante avait ensuite formalisé le problème du continu, puis créé de grands espoirs pour résoudre précisément le problème de la hiérarchisation des timbres, en passant par l'établissement préalable de ce continuum. Mais les outils aussi bien conceptuels que matériels de l'époque ne permettaient pas de réaliser ce continuum, et certains conclurent alors, peut-être un peu précipitamment, à son impossibilité, et abandonnèrent par là même tout espoir de le réorganiser.

Les travaux parallèles dans le domaine de la synthèse et du traitement des sons d'une part (J.C. Risset, D. Wessel), et, dans le domaine des nouvelles techniques et des nouveaux modes de jeu instrumentaux, de l'étude de leurs

fondements acoustiques (R. Caussé, J. Kergomard), de leur formalisation et de leur restitution dans l'écriture d'autre part, ainsi que les processus d'influences réciproques qui s'en sont dégagés à travers la composition (G. Grisey, H. Dufourt, P. Manoury, J. Dillon, K. Saariaho, M.A. Dalbavie), offrent aujourd'hui des outils pour une réflexion et une réalisation beaucoup plus riches et rigoureuses.

Dans le domaine de la synthèse, différentes techniques et approches renouvellement totalement notre vision du timbre, notamment l'étude des modèles physiques qui tentent de restituer par un système de règles les mécanismes physiques de production du son d'un instrument et permettent ainsi de réintroduire la causalité instrumentale et le geste (C. Cadoz), ou l'étude des modèles de résonances, qui offrent un point d'entrée intuitif pour l'imagination compositionnelle (Y. Potard *et al.*).

L'ordinateur a en effet rendu possibles à la fois : un niveau supplémentaire d'abstraction dans *l'artifice d'écriture* (H. Dufourt), une réflexion sur le contrôle formel du timbre (A. Riotte) et sa composition, en particulier dans l'écriture instrumentale et mixte (M. Maiguaschca, J. Harvey, M. Stroppa, P. Hurel, M.A. Dalbavie, P. Boulez, etc.) et dans les manipulations concrètes de l'espace (R. Reynolds), une recherche sur les potentialités spécifiques d'élaboration de relations entre sons inharmoniques, timbre et harmonie (S. Mc Adams, K. Saariaho), sur les structures hybrides, les transitions de timbres, et les interactions matériaux/organisations (J. Harvey, Y. Potard *et al.*).

Mais au-delà de l'utilisation de l'ordinateur — il agit parfois comme un miroir ou un filtre complexe qui anamorphose certains détails au détriment des autres, et qui, par conséquent, loin de toujours aider à clarifier le débat, contribue parfois à l'obscurcir ou à l'entraver en multipliant les préalables techniques —, il convenait aussi de clarifier la notion de timbre d'un point de vue musicologique, en traçant ses domaines de définition, sa fonction relative (R. Piencikowski), et l'évolution de la notion de matériau (M.-E. Duchez). Nous avons voulu de plus ouvrir une porte sur les musiques extra-européennes et observer l'exemple particulièrement riche du Japon (Y. Tokumaru), en regrettant là aussi de ne pouvoir y consacrer plus de place — mais cela justifierait un autre volume.

Enfin, nous avons également voulu ne pas négliger l'approche psychologique et cognitive qui insiste sur les mécanismes de caractérisation perceptuelle, et qui produit de nouveaux paradigmes pour les manipulations conceptuelles (D. Wessel, J.C. Risset, A. Bregman, S. McAdams).

Du point de vue compositionnel, il nous a aussi fallu faire des choix, et l'on peut regretter l'absence de témoignages sur les contributions fondamentales de K. Stockhausen, L. Berio ou G. Ligeti, B. Ferneyhough, F. Donatoni ou H. Lachenmann, ou bien encore de représentants de la musique concrète, voire de la musique rock. Nous avons choisi de donner la parole à des compositeurs dont les contributions plus récentes continuent celles de leurs prédécesseurs en développant des perspectives originales.

Ce livre est donc l'occasion, dans le prolongement du séminaire organisé par l'I.R.C.A.M. (Institut de recherche et de coordination acoustique-musique) du 13 au 17 avril 1985, de dresser un bilan de la diversité des travaux importants dans ce domaine ; bilan fatallement provisoire et partiel puisque les recherches se poursuivent tant au niveau scientifique que compositionnel, mais que nous croyons cependant particulièrement riche : en tant que tel, il constitue déjà une somme de réflexions et d'expériences qui, incontestablement, prend date.



# SITUATIONS



# **Timbre et causalité**

par Claude CADOZ

## **Introduction**

Un des premiers paradoxes qui surgit du débat sur le timbre est que certains discours posent, ou au moins évoquent, au travers d'énoncés divers la difficulté de sa définition : « *Le timbre, étrange et multiple “paramètre” défini par ce qu'il n'est pas — ni hauteur, ni durée, ni intensité* »... alors que d'autres semblent pouvoir se passer totalement d'un tel préalable, comme si la seule question qui avait cours était : comment fonctionne-t-il et comment l'employer ?

Il est bien clair que la question du timbre ne se réduit pas à celle de sa définition, que le débat qu'elle suscite est bien un débat total sur la musique elle-même. Mais, dans la mesure où le mot avait à l'origine une signification simple, ne serait-ce qu'en renvoyant à l'objet, à l'instrument, et où ce dernier disparaît dans le nouveau contexte qui est fait à la création musicale — celui de l'ordinateur et de l'informatique —, on ne peut éviter, à un moment ou un autre du développement, sinon de tenter une définition, du moins de la mettre en question.

Le rapprochement des deux termes « timbre » et « causalité » n'a pas pour fonction de restaurer la définition primitive du timbre, mais de poser d'emblée le problème dans toute son envergure et de rappeler en particulier que, même à son plus haut degré d'abstraction et de formalisation, la pensée ne s'extériorise pas sans support matériel, et que, en dépit de leur haut degré de sophistication, nos outils contemporains appartiennent au monde réel et ne peuvent échapper en aucune façon à leur matérialité ni au fait qu'ils sont, d'une manière ou d'une autre, des « causes ».

S'il faut parler du timbre, c'est en tant qu'attribut perceptuel. Ce qu'il faut entendre par là, c'est que sa valeur, sa fonction finale, ce sont l'oreille et l'intelligence musicale qui en décident, quel que soit le dispositif de production. Cependant il existe deux liens de la perception à la cause productrice, un lien fonctionnel primitif, que l'on peut justifier par la fonction première des sens : identifier les objets ou les événements du monde extérieur — Schaeffer (1966) affirme d'ailleurs : « *C'est nier l'évidence que de croire que la musique pure puisse dispenser l'oreille de sa fonction la plus essentielle : celle de renseigner l'homme*

*sur les événements qui surviennent* » — et un lien matériel nécessaire : il n'y a pas de perception sonore sans vibration acoustique et pas de vibration acoustique sans objet matériel, sans cause physique qui la produit. Cependant l'oreille, plus généralement tout le système sensoriel, a la particularité de se laisser jouer par l'artifice, de chercher ou de trouver des causes, ou autre chose en relative indépendance des causes réelles. La représentation, d'une manière générale, est fondée sur la substitution, sur l'évocation par un objet réel, d'un autre objet qui est absent, éloigné dans le temps ou dans l'espace, ou qui n'a aucune réalité matérielle possible.

Pour l'oreille, la cause peut être réelle ou virtuelle, évoquée, imaginaire, représentée, mais dans les deux cas il existe une cause nécessaire, identique à la cause réelle dans le premier, différente, artificielle dans le deuxième.

Le lien primitif du timbre à l'instrument se rapproche de la première catégorie, celui de la perception du timbre à l'ordinateur synthétisant le son est d'une autre nature. C'est ce qui se passe de l'un à l'autre qui nous intéressera ici. Il nous semble en effet que, derrière cette question, de nombreux problèmes propres à la « musique des technologies contemporaines » sont en cause, non seulement pour savoir comment l'entendre et la comprendre, mais comment la faire, avec quelles fonctions dans les outils, et comment construire ces outils.

Notre propos, ici, n'est donc pas un propos de musicologue, ni de compositeur, mais de chercheur persuadé qu'il faut d'abord créer l'outil de création et que, dans le cadre de l'ordinateur et de l'informatique, cette question est d'une importance et d'une complexité sans précédent dans les phases antérieures de l'évolution des moyens matériels donnés à la création<sup>1</sup>.

A l'origine, le lien du timbre à la cause physique productrice du phénomène sonore est une évidence naturelle qui n'appelle aucune question. Le mot désignait d'ailleurs, au départ, un instrument, une sorte de tambour comportant des cordes tendues et donnant au son une « couleur » caractéristique.

Deux évolutions se sont opérées depuis le début du siècle sans que l'on puisse assigner définitivement à l'une une influence unilatérale sur l'autre : c'est d'une part l'émergence du timbre comme référent fondamental, comme fonction centrale, élément de langage dans la musique occidentale après le début du xx<sup>e</sup> siècle, et d'autre part le développement d'outils matériels nouveaux, en passant de la mécanique, qui est la technologie primitive des moyens de production du phénomène sonore, à l'électricité, l'électronique, la transmission, l'enregistrement, l'ordinateur, l'informatique.

Cette seconde évolution est pressentie, désirée, nécessaire à la pensée musicale de la première moitié du siècle. Mais elle n'est pas la conséquence de cette nécessité. La musique, si elle fréquente systématiquement les laboratoires de recherche les plus prestigieux, comme ceux de la Bell Telephone, si elle côtoie des disciplines comme l'intelligence artificielle depuis ses débuts et a elle-même suscité des découvertes, n'est pas le facteur essentiel de cette évolution. De fait, la création musicale, plongée dans ce nouveau contexte, trouve des ouvertures, des perspectives inespérées, mais en même temps de nouveaux problèmes qui, eux, n'avaient sans doute été ni pressentis ni désirés.

---

1. Les analyses de l'histoire du timbre sur lesquelles nous nous appuierons ici ne sont pas les nôtres ; nous les empruntons aux auteurs et musiciens dont nous n'avons ni la compétence ni les connaissances. Par ailleurs, nous ferons souvent référence dans ce texte aux propos tenus par les auteurs qui ont participé au séminaire sur le timbre organisé par l'I.R.C.A.M. en 1985, à l'origine de cet ouvrage et dont on trouve ici les constitutions révisées.

Varèse rêvait «*les instruments obéissant à la pensée*»,... l'ordinateur propose depuis trente ans un univers sonore sans limite,... mais nous sommes encore incapables de lui faire obéir à la main...

## I. Émergence du timbre comme fonction musicale

La prédominance de la hauteur, mise en échelle dans le tempérament égal, mise en structure dans toute la science et l'art de l'harmonie, relègue, dans le développement de la musique occidentale jusqu'à une phase récente, le timbre à un rôle secondaire. Le timbre n'est pas une fonction du langage, il n'est qu'une matérialité obligée du processus producteur de la vibration sonore. On l'a souligné de nombreuses fois dans ce séminaire (Risset, Piencikowski, Boulez, Dufourt), les instruments classiques ont été construits de façon à éliminer du son tout ce qui peut gêner la reconnaissance des hauteurs. L'instrumentarium pré-classique était très riche en particularismes. La lutherie classique s'est évertuée à éliminer ces particularismes, à épurer, stabiliser les sources sonores. Il faut remarquer toutefois que malgré cette «épuration», l'instrumentarium classique est constitué d'éléments très caractérisés, employés certes pour servir, avec une relative interchangeabilité, une logique des hauteurs, mais néanmoins identifiés et rangés en classes et en types précis.

En l'absence d'un rôle fonctionnel musical explicite, rationalisé, il est tout naturel que le concept de timbre tende à renvoyer sans plus de précision à la cause productrice du son : l'instrument.

Le lien causalité instrumentale-timbre est en quelque sorte un lien primitif, naturel.

Cependant, malgré cette prédominance de l'attribut de hauteur, la musique occidentale n'a jamais complètement évacué une fonction du son composé qui ne tient ni à la ligne mélodique, ni à la structure harmonique, mais à une qualité intrinsèque, une «sonorité» résultant parfois d'accords sur un même instrument, parfois de combinaisons d'instruments. Cette qualité qui n'est ni hauteur, ni durée, ni intensité et qui résulte d'une combinaison est timbre sans être instrument.

Mais cet intérêt pour la sonorité en soi ne s'affirme explicitement qu'au début du xx<sup>e</sup> siècle.

Une première explication du développement de cet intérêt pour le timbre consiste à considérer une saturation, une limite intrinsèque aux systèmes fondés exclusivement sur la hiérarchie des hauteurs et à relier cette évolution à une nécessité de la pensée musicale.

Selon Dufourt, deux phénomènes extrinsèques à l'évolution de la pensée musicale ont suscité, à partir de la seconde moitié du xx<sup>e</sup> siècle, une remise en cause de la fonction prédominante de la hauteur et cette émancipation du timbre, c'est-à-dire l'émergence d'un rôle fonctionnel de celui-ci, non seulement complémentaire des autres attributs du son, mais prédominant, «déterminant de tous les aspects de l'œuvre» : c'est d'une part l'évolution de la connaissance physique du phénomène sonore au travers de la science acoustique. «*Il n'y a pas de pensée du timbre jusqu'au début du xx<sup>e</sup> siècle parce qu'il n'y a jusque-là pas d'autre science acoustique que celle des hauteurs.*»

Il y a d'autre part un phénomène de civilisation. La civilisation industrielle instaure progressivement un nouvel environnement sonore, sollicite l'oreille avec des phénomènes qualifiés jusque-là de bruits. Les bruiteurs futuristes,

Varèse..., sont les pionniers de cette intégration du « bruit » dans l'espace musical, d'une « musique de la totalité sonore ».

Il nous paraît important de considérer *a priori* que les facteurs sont simultanément intrinsèques et extrinsèques à la pensée musicale, car précisément, ce que l'on peut dire des premières décennies du développement de l'informatique musicale, c'est que ce sont bien les conditions technologiques qui ont tendance à mener, avec plus ou moins de succès et à son corps défendant, le compositeur par le bout du nez.

Les faits nous permettent cependant de considérer deux contextes qui, tout en se recouvrant historiquement, se présentent dans un ordre chronologique : le contexte de l'instrumentarium classique et celui de la technologie informatique.

## 1. *Timbre et « causalité orchestrale »*

Ce que Boulez, de même que Piencikowski montrent en considérant le timbre au niveau de l'écriture, c'est l'émergence d'un timbre en soi résultant de l'organisation elle-même, comme composante du langage, avec des critères esthétiques et des critères formels propres.

Au travers des exemples évoqués (*Farben* de Schoenberg, le *Double concerto* de Carter, les *Antistrophes* de *Chronochromie* de Messiaen, *Éclats/Multiples* de Boulez...), un fait indiscutable est mis en évidence, c'est la rupture d'isomorphie entre le système des instruments et le système d'un timbre, lequel émerge au-dessus du premier. Les instruments et leur jeu se combinent en des processus complexes minutieusement organisés et maîtrisés par l'écriture, pour collaborer à la réalisation d'une « identité de timbre » spécifique, elle-même évolutive.

Dans *Farben*, Schoenberg utilise la clarinette comme un constituant d'une texture dans laquelle elle perd son identité propre.

Boulez évoque également une sorte de loi de complexité limite répartie entre l'objet et la structure à laquelle il participe, avec comme double corollaire la difficulté de mettre en structure un objet trop complexe en lui-même, et réciproquement, la nécessaire indétermination relative d'un objet devant participer à une structure complexe. Cette observation renforce l'idée de l'autonomie du « système » du timbre par rapport au système instrumental, les objets élémentaires étant entre autres les objets produits par les instruments.

Dans cette vision du « timbre écrit », il est clair qu'il n'y a plus de correspondance terme à terme entre les composantes pertinentes du timbre perçu et les éléments de l'instrumentarium. L'instrumentarium propose un ensemble de timbres. Ce qui différencie les instruments est bien en particulier leur timbre, mais le système des timbres instrumentaux n'est qu'un sous-ensemble du système du timbre, un ensemble de composants pour une « synthèse orchestrale » du timbre. La relation causale directe est de toute évidence délocalisée, dissoute.

Cependant, cet instrumentarium, que l'on pourrait appeler « mécanico-acoustique », reste essentiellement présent. Les conditions de production du son, même dominées par les exigences d'un langage, même si elles sont fortement composées, combinées, structurées, restent les conditions de la technologie mécanique. De fait, aussi « écrit » soit-il, le timbre reste dans cette approche entièrement contingent d'une catégorie très déterminée de conditions. Si la relation causale terme à terme se dissout, il reste une relation causale

globale. Ce « timbre écrit » est, pourrait-on dire, le timbre de la « causalité orchestrale », d'un « hyper-instrument » acoustico-mécanique.

Timbre dans l'écriture, certes, mais ancrage persistant dans la matérialité des instruments. Ceci nous permet de dire que si timbre et causalité instrumentale sont manifestement dissociables, on ne peut déduire de cette première approche qu'ils le sont totalement. Remarquons également que la définition du timbre reste ici indéterminée.

## 2. Timbre instrumental, registration et cause physique

Dans ce qui précède, nous avons assimilé l'instrument à la cause physique. Par ailleurs, si l'instrument apparaît comme composante du timbre, ne faut-il pas aussi considérer, inversement, l'instrument comme un « composé » du timbre ?

Schaeffer (1966) emprunte un premier énoncé empirique où le timbre se définit comme « *l'ensemble des caractères du son qui le réfèrent à un instrument donné* ». Mais il remarque immédiatement que l'on peut parler du « *timbre d'un son sans le rapporter clairement à un instrument déterminé, mais plutôt en le considérant comme une caractéristique propre de ce son* », et évoque ce paradoxe « *qui veut à la fois que les instruments aient un timbre, et que chaque objet sonore qu'on en tire ait, pourtant, son timbre particulier* ».

Le timbre d'un objet et le timbre d'un instrument sont donc deux choses distinctes.

A partir de l'exemple du piano, ce que Schaeffer met en évidence, c'est bien en effet deux niveaux. Cet instrument « *semble produire des notes dont les caractéristiques (autres que la hauteur), varient en fonction du registre (...) mais possèdent néanmoins une sonorité d'ensemble caractéristique, bref, un timbre clairement identifiable* ».

Schaeffer montre alors, toujours dans le cas du piano, que l'identité et l'unité de son timbre peuvent être attribuées à deux logiques simultanées dont l'une ne rend compte d'aucune nécessité mécanique. La première logique est causale : c'est le processus corde frappée, mais, explique Schaeffer, « *à la permanence causale fait pendant une certaine variation musicale des effets, voulue par le luthier, dosée en fonction d'exigences artistiques et obtenues mécaniquement par des moyens divers : doublage ou triplage des cordes dans l'aigu, filage des cordes graves, (...) feutrage plus ou moins épais des marteaux...* ». Plus loin, il précise, s'appuyant sur une série d'expériences, la nature de cette « variation musicale » sous la forme d'une certaine « loi du piano » qui régit les ajustements mécaniques sur l'étendue de sa tessiture et qu'il exprime ainsi : « *raideur dynamique × richesse harmonique = constante* ».

Schaeffer propose alors plus généralement une définition du timbre instrumental : « *une variation musicale assouplissant et compensant une permanence causale* ».

La registration, pour tout instrument, s'établit par un assujettissement du mécanisme à des conditions qui ne sont pas physiquement nécessaires mais déterminées par un but esthétique. Cette variation « musicale », cependant, reste difficile à caractériser. En quoi la loi du piano est-elle « musicale » ? Quels sont les facteurs qui ont conduit (d'une manière en fait tout expérimentale et empirique) précisément à cette loi ? Est-ce sa simplicité qui s'est en quelque sorte comportée comme un « attracteur », et dans ce cas, pourquoi cet attracteur plutôt qu'un autre ? L'oreille aurait-elle, comme une sorte de processeur, le pouvoir d'effectuer, sur une classe de sons donnée, une évaluation de la raideur

dynamique, de la richesse harmonique et le calcul de leur produit pour en constater la constance?

Enfin, une autre loi, peut-être aussi simple, mais tout aussi arbitraire par rapport à la permanence causale d'appui, n'aurait-elle pas, soumise à une aussi longue habitude, conduit à associer tous les phénomènes sonores qu'elle relie à une même unité, un même timbre?

La « musicalité » est-elle liée à de telles formes implicites, cachées? Peut-on d'ailleurs définir la musicalité *a priori*?

Ce rôle attracteur peut-il se définir de manière purement intrinsèque à l'instrument? Probablement pas. C'est sans doute un système d'attracteurs qu'il faut considérer globalement, c'est-à-dire relativement au contexte des autres instruments dans leur emploi dans le discours musical.

Quoi qu'il en soit, ce qu'il faut en conclure, c'est qu'instrument et cause physique ne doivent pas être confondus. En fait, on peut considérer l'instrument de deux points de vue:

Comme objet hautement élaboré, il n'est pas une « causalité naturelle ». La registration l'en distancie, elle est comme une écriture, mais une écriture permanente, en quelque sorte figée dans les « gènes » de l'instrument.

Comme objet relativement permanent au cours des phases de l'évolution musicale — le violon de la musique baroque est le même que le violon d'aujourd'hui — soumis à un long apprentissage, à une longue habitude, il acquiert le statut d'une cause, moins essentielle, moins naturelle que le processus physique sur lequel il est construit, mais stable par rapport à l'expérience sensorielle.

Enfin peut-on dire que le timbre instrumental comporte à la fois une composante encore énigmatique, mais aussi une relation persistante à la cause physique.

Pour faire le lien avec les propos précédents, on peut résumer cette première partie dans une formule simple:

timbre  $\Rightarrow$  cause physique + registration + écriture.

Il ne s'agit que d'un repère; le timbre implique cela mais ne se définit pas comme cela. On sait décrire et analyser ce qu'est la registration, ce qui est écrit, mais en dehors de son ancrage à la cause, on n'a pas défini le timbre.

## II. Timbre et synthèse

L'évolution technologique est une mutation, et le premier aspect de cette mutation concerne précisément ce qui est le centre de notre propos: la relation causale. Comme nous l'avons signifié plus haut, dans le contexte « pré-informatique » — mais il faudrait dire plus généralement pré-électrique —, même si le système de production du son peut être relativement complexe, composé, il n'en n'est pas moins entièrement fondé sur une technologie déterminée: la mécanique acoustique. La vibration sonore, quelle que soit sa subtilité, est produite par une cause physique « naturelle », un corps matériel qui vibre, et est dirigée par une pensée qui s'extériorise nécessairement à un moment ou un autre, par un autre intermédiaire naturel: le geste humain s'appliquant à cet objet.

La mutation technologique transforme radicalement cette relation. Il s'introduit, et c'est là à la fois une situation positivement nouvelle et une source d'interrogations inattendues, une sorte de duplicité de la cause, qui détruit la relation causale primitive.

Cette duplicité apparaît dès le principe de la transmission à distance du phénomène sonore, par fil ou par ondes. Les localisations spatiales de la cause et de l'effet se désolidarisent. Le processus se poursuit avec l'enregistrement : les localisations temporelles de la cause et de l'effet se désolidarisent à leur tour.

Mais l'ordinateur, depuis la mise au point de la synthèse numérique directe par Mathews (1969), radicalise la situation en montrant qu'à lui seul, comme cause unique, de l'unité centrale à la chaîne de sortie acoustique, il est à même de produire tous les effets sonores possibles.

Boulez rappelait incidemment que l'instrument était la condition première de la musique. L'ordinateur n'est pas un instrument, or il peut être l'outil de toute musique.

Dans ce contexte, il est clair que la question du timbre ne peut plus se poser de la même manière.

## 1. La psychoacoustique

La musique concrète avait déjà consacré la «coupure causale». Schaeffer l'a théorisée en introduisant l'«acousmatique», et c'est dans ce cadre que les termes de la psychoacoustique actuelle, bien qu'avec des moyens plus grossiers, se sont précisés.

Ce n'est cependant qu'avec la synthèse directe du son par ordinateur que la «rupture causale» est définitive et que la psychoacoustique prend toute sa valeur opératoire.

La synthèse institue une nouvelle chaîne, faisant intervenir le signal acoustique, sa perception, son analyse et sa synthèse. Et le signal acoustique acquiert son statut de vis-à-vis objectif de la perception à partir du moment où il peut être mémorisé, représenté, analysé, parfaitement maîtrisé dans sa production et sa reproduction.

La psychoacoustique s'établit alors comme un bipôle reliant l'analyse physique de cet objet et l'analyse de sa perception.

Remarquons ici que ces deux pôles correspondent à deux des trois niveaux de la «tri-partition» de Molino sur lesquels Nattiez s'appuie dans son étude sur les fondements d'une sémiologie de la musique (Nattiez 1975) : le niveau poétique, le niveau neutre et le niveau esthétique. Introduisant cette tri-partition à partir de l'exemple de la phonétique, Nattiez précise que «*cette science s'est refusée à considérer que la description physique des sons correspond à la manière dont ils sont produits et la façon dont ils sont perçus*» et ajoute plus loin qu'«*une fois qu'on admet que, dans les œuvres humaines, les phénomènes de production (niveau poétique), les traces qui en résultent (niveau neutre) et les faits de perception (niveau esthétique) ne se correspondent pas nécessairement, alors une première application de la perspective sémiologique (pour la musique) est possible*».

Transposée dans le champ de la synthèse du son, cette tri-partition a toute sa validité car aux trois niveaux correspondent respectivement celui des modèles de synthèse, celui de l'analyse du signal et celui de sa perception.

Le second niveau est qualifié de neutre précisément parce qu'il repose sur une base *a priori* indépendante de la logique perceptuelle ou de la logique de production.

Dans un premier temps, nous pourrons ici nous cantonner aux deuxième et troisième niveaux qui devraient en fait être seuls impliqués dans la psychoacoustique, et dans la mesure où, à partir des systèmes de synthèse

généraux comme MUSIC V (Mathews 1969) et tous ceux qui en ont découlé, une relative symétrie peut s'établir entre les modèles d'analyse et les modèles de synthèse (abstraction faite du critère d'efficacité technique de ces derniers).

Le niveau neutre, dans la problématique de la psychoacoustique, est représenté par la caractérisation physique du signal, en particulier par l'analyse de Fourier, qui tient une place centrale.

L'analyse de Fourier doit son succès à un certain nombre de vertus. La première est sans doute liée à la conjoncture historique : dans le contexte musical du xix<sup>e</sup> siècle, la hauteur étant encore l'attribut fonctionnel prépondérant, la décomposition de tout signal périodique en séries harmoniques offre une représentation mathématique simple et élégante de tels phénomènes bien identifiés en hauteur.

Mais il y a plus que cela.

La transformation de Fourier, qui généralise la décomposition en séries harmoniques, donne de tout phénomène sonore (en fait, de tout signal continu) une représentation unifiée sous la forme d'une combinaison linéaire d'éléments d'une base (infinie) de forme simple : la fonction sinusoïdale, caractérisée seulement par deux paramètres : sa fréquence et sa phase.

Il faut ajouter l'évidence suivante, qui est que ces éléments de décomposition sont beaucoup plus fins que les constituants les plus élémentaires produits par les instruments mécanico-acoustiques et qu'ils permettent alors une pénétration à l'intérieur de ces derniers. Enfin, ce système d'analyse est complet, c'est-à-dire qu'il peut s'appliquer à tout signal et qu'il en conserve toute l'information.

Ces vertus fondamentales font qu'analyse acoustique est presque synonyme d'analyse de Fourier. Quand on parle des « paramètres physiques » du son, on précise rarement qu'il s'agit en général des paramètres de l'analyse de Fourier. De fait, on oublie souvent que d'autres systèmes de décomposition sont possibles, qui sont tout aussi complets que la décomposition de Fourier, entre autres, la décomposition en fonction de Walsh ou le développement de Gabor en signaux gaussiens élémentaires. Et l'on oublie aussi que la décomposition de Fourier a un aspect idéal gênant pour la mise en pratique : la fonction sinusoïdale est une abstraction. Ce n'est pas un signal possible puisqu'elle se définit sur une durée infinie.

Il ne s'agit cependant pas pour l'instant de rejeter l'analyse de Fourier, mais de l'envisager dans sa neutralité vis-à-vis des conditions naturelles de production, des causes physiques et instrumentales.

Cette liberté vis-à-vis des causes mécaniques est une situation privilégiée pour observer sous un jour nouveau la dépendance (ou l'indépendance) du timbre par rapport à la cause physique.

## 2. *Timbre et psychoacoustique*

Le point de vue classique associait au timbre la description spectrale du signal sonore. Si cette représentation avait eu une validité générale (pour les sons autres que les sons stationnaires), elle aurait présenté un certain attrait : elle renvoyait à une représentation purement structurelle, atemporelle, prolongeant en quelque sorte la verticalité de l'harmonie, assumant le passage d'une perception analytique de la verticalité à une perception qualitative synthétique.

Or, indépendamment de toute incursion plus fine dans l'analyse du signal, une limite à cette vision apparaît dans l'évidence de l'importance des facteurs

temporels. Les sons instrumentaux sont physiquement et perceptuellement évolutifs.

Il n'y aurait pas d'anomalie à considérer que toute note émise par un instrument est soumise à une loi de mise en régime et d'extinction, et que c'est pendant une certaine phase de cette émission que le timbre de l'instrument s'«exprime», le timbre étant alors conçu comme un attribut atemporel, «vertical», bien que susceptible d'évoluer au cours du développement d'un son instrumental ou orchestral donné.

Cependant le rôle des facteurs temporels est complexe.

Il y a tout d'abord une discrimination que l'oreille est en mesure d'effectuer entre des aspects temporels qui résultent d'un contrôle volontaire possible au cours de l'émission du son, et des variations perçues comme représentatives d'une certaine unité, d'une certaine cohérence intrinsèque à l'événement, une loi globale, une... forme, certes éventuellement modulable, mais non contrôlable en dessous d'un certain degré. La loi d'extinction du son du piano est bien perçue temporellement; cette perception peut être consciente, mais elle a une pertinence très forte, une évidence qui tend à l'intégrer globalement au phénomène «son de piano», en fait, au timbre du piano! La preuve en est que ce son inversé (dont le spectre, en l'occurrence, est rigoureusement identique à celui de son endroit) est non seulement méconnaissable, mais possède ce que l'on est bien obligé de considérer comme une qualité «timbrique» propre et différente. Certaines durées prennent la valeur d'une permanence qui se développe dans le temps. Le timbre peut donc inclure une dimension temporelle explicitement perçue sans pour autant être dissociée de l'entité.

Cette forme temporelle, généralement évoquée à l'aide des attributs globaux tels que l'attaque, le maintien et l'amortissement, ne peut être dissociée systématiquement de ce qui est appréhendé comme une «qualité» du son qui fait appel à la fois à une perception des aspects structurels et des aspects temporels.

Mais ce qui rend caduques ces visions classiques est la complexité de la relation entre les paramètres physiques et les attributs perceptuels. Les perceptions temporelles et les perceptions structurelles ne sont pas isomorphes aux facteurs physiques respectivement temporels et structurels — par exemple:

— la singularité de la relation qui s'établit entre le temps observé au niveau du signal (le temps physique), et sa perception dans le timbre ou pour le timbre. Schaeffer (1966), ayant observé les oscillogrammes de deux mi à vide de violon, d'attaques identiques à l'oreille, joués par le même instrumentiste, constatait qu'ils ne présentaient aucune parenté évidente quant à la forme temporelle de la partie censée correspondre à l'attaque;

— la manière dont la pertinence de la structure spectrale se dérobe dans certaines situations où une très forte distorsion du spectre ne perturbe pas la reconnaissance de l'instrument.

Depuis les débuts de la synthèse numérique, de nombreux travaux ont porté en fait sur la caractérisation au travers des paramètres de l'analyse acoustique, de ce qui permettait de restituer de la manière la plus vérifique possible, donc de reconnaître, les sons instrumentaux connus.

On peut d'ailleurs noter qu'avant la coupure du «cordon ombilical» instrument-timbre, la pensée et la création tendent à l'extrême à abstraire ce lien nécessaire, niant les causes pour rechercher le pur effet, tandis qu'au moment où elle est définitive, la tendance s'inverse et c'est vers l'instrument et son identité propre qu'on se retourne en premier lieu.

De fait, l'analyse du signal sonore met en évidence une certaine complexité des structures temporelles et des structures spectrales ainsi qu'une interdépendance des deux catégories de structures : si dans certains cas on peut facilement isoler une allure temporelle qui s'applique globalement à tout le signal et qui, restituée par synthèse de cette manière, permet une identification sans ambiguïté du timbre (comme pour les percussions où la forme exponentielle est déterminante), dans d'autres cas cette allure temporelle est spécifique à chaque composante spectrale : c'est le cas pour le son de cloche, pour le son de trompette (Risset 1966), ainsi que pour de nombreux autres.

Quant au spectre, sa caractérisation peut se faire par la position absolue et l'amplitude des composantes, mais également par la relation entre ces positions. L'harmonicité est l'exemple trivial. L'enveloppe spectrale apparaît comme une caractéristique complètement dissociable et de la position des composantes et de leurs relations. Enfin, des évolutions temporelles sont observables sur la position des composantes, sur leurs relations ainsi que sur l'enveloppe. Dans les cas les plus complexes, tout cela peut évoluer simultanément selon des lois différencierées.

### *3. Timbre instrumental et psychoacoustique*

L'exploration du timbre instrumental par analyse/synthèse (cf. ici même le texte de Risset et Wessel) fait ressortir cette complexité et surtout le fait que la caractérisation du timbre instrumental tient plus souvent à des relations entre les paramètres qu'à des valeurs absolues de ces derniers, comme le montre de manière décisive le cas de la trompette où ce qui est caractéristique de la qualité « cuivrée » du son tient essentiellement dans le fait que le spectre s'enrichisse en fréquences aiguës lorsque l'intensité augmente (Risset 1966).

Mais le plus troublant est le fait que les différents facteurs, en fonction du son et du contexte, n'interviennent pas toujours de la même façon : l'un d'eux sera dans un cas prédominant, ailleurs il s'effacera complètement au profit d'un autre, ou d'une relation, voire même d'une relation au contexte.

La suppression d'une partie importante du début du son piano peut ne pas perturber la perception de l'attaque ou du timbre global. Par contre, pour le vibraphone, une telle coupure, même proche de l'instant initial, dénature le timbre (Schaeffer 1966).

Pour les instruments à vent, il apparaît que l'enveloppe spectrale est déterminante si sa forme est unique pour toutes les notes jouées sur l'instrument ; dans les autres cas, l'enveloppe temporelle est au moins aussi importante. Par ailleurs, si la forme temporelle est une attaque rapide suivie d'une décroissance exponentielle, elle l'emporte sur tous les autres aspects, pour indiquer un timbre percussif (Strong et Clark 1967).

Pour les voyelles, dans le cas des sons vocaux, la structure de formants est déterminante au point que la répartition des composantes sous ces formants est presque sans influence pour leur reconnaissance.

Par contre, la qualité vivante du son du piano peut être rattachée (Young 1952) à une forme très subtile d'inharmonicité : le 15 partiel ayant par exemple une fréquence égale à 16 fois celle du « fondamental ».

Ceci indique que chaque instrument, chaque timbre instrumental, a ses traits caractéristiques propres, mais montre surtout que le mécanisme de perception ne se contente pas de traiter les données brutes comme une simple chaîne de transmission.

Un mécanisme manifestement plus élaboré est en cause.

Chaque expérience perceptive tient compte de prédispositions innées et d'expériences antérieures qui font que dans un contexte donné, lorsque des stimuli parviennent à l'oreille, l'auditeur est en situation de faire des hypothèses sur ce qui peut survenir. Tout se passe alors comme si, parmi tous les facteurs présents, l'oreille se saisissait de celui ou de ceux qui vont à partir d'un certain seuil confirmer ou infirmer l'hypothèse faite, et, dès ce processus achevé, rejeter tous les facteurs qui n'auront pas de pertinence pour cette vérification. Tout ceci, naturellement, en dehors de toute intervention consciente du sujet.

Lindsay et Norman (1977) évoquent un tel mécanisme dans le cas de la vision, et la qualifient de « traitement-dirigé-par-concepts » qu'ils opposent au « traitement-dirigé-par-données », lequel d'ailleurs coexiste avec le premier.

Ce modèle offre une explication simple du rôle conditionnel des différents facteurs, et se justifie, pour le système perceptif, par l'économie de traitement et de quantité d'information à mémoriser qu'il réalise.

Cependant, considérant les choses sous cet angle, il reste à élucider la nature des représentations mentales qui servent d'hypothèses.

McAdams évoque ici un mécanisme d'« inférence de la cause » : les données reçues sont des indices considérés comme les effets d'une cause, qui est l'objectif visé par la perception. Dans le cas des sons vocaux par exemple, une inférence de l'endroit de l'articulation dans la cavité buccale permettrait au système perceptif de reconnaître une même consonne dans divers phonèmes alors que les conditions du voisement consécutif à la consonne diffèrent.

Une représentation mentale de la cause productrice, de ses constituants, de ses états, de ses comportements, serait la substance même de ce « concept » dirigeant le traitement. Quoi qu'il en soit, McAdams suppose qu'il existe une forte liaison entre une représentation du mode de production et l'identité perceptuelle.

Dans l'exploration du timbre par analyse/synthèse, on relève finalement un certain nombre de faits qui s'éclaircissent au jour de ce genre d'hypothèse. Pour n'en citer que quelques-uns :

— D'après Benade (1976), la loi caractéristique du son cuivré a une explication dans le processus physique en cause dans la trompette et les différents cuivres.

— Alors que la matière du marteau du piano est assez dure pour que l'énergie de la percussion soit communiquée très rapidement à la corde et que, dans la résonance, ce soit celle-ci qui s'exprime essentiellement, celle de la mailloche qui percute le vibraphone fait que le phénomène de percussion a une histoire (courte mais perceptible) qui révèle la nature de cet objet percutant et mêle sa contribution à celle de l'objet percuté (cf. l'exemple déjà cité, emprunté à Schaeffer).

— La pertinence de l'enveloppe temporelle (attaque raide et décroissance exponentielle) pour tous les sons percussifs correspond à une situation naturelle fréquente : l'existence d'un objet stable susceptible de vibrer, mis en vibration par un acte quasi instantané et ensuite laissé libre de ses évolutions.

— L'importance des formants dans la reconnaissance des voyelles, indépendamment du signal sous formants, indique que le système perceptif comprend manifestement la structure du système de production et en particulier la relative indépendance d'un système excitateur (les cordes vocales) et d'un système résonant (les cavités buccales et nasales).

— La qualité particulière et le rôle du vibrato dans le son de violon (cf.

ici même Risset et Wessel) peuvent aussi être interprétés de manière « causale » : ce vibrato fait « balayer » l'enveloppe spectrale par les composantes et révèle alors avec plus d'information sa forme et sa permanence. Ces indices permettent à l'oreille de conclure à l'existence d'une structure résonante stable et d'en déceler certaines propriétés.

— Plus généralement, le fait que « *l'oreille semble être bien équipée pour discriminer les propriétés temporelles du son des propriétés structurelles* » (d'après Huggins 1952, cité par Risset et Wessel) indique que l'identification de ces trois facteurs — objet stable vibrant ou résonant, acte ou événement d'excitation et moyen d'excitation — qui constituent la plupart des sources sonores réelles est une « préoccupation » persistante de la perception.

Ainsi, outre la complexité des mécanismes de perception, la caractérisation de ce qui, dans le signal physique, permet l'identification d'un instrument met en évidence ce fonctionnement « causal ».

Cependant, se placer dans cette situation expérimentale où l'un des pôles est une cause connue n'est pas le plus propice à l'explication d'autres facteurs. La compréhension du timbre peut ici rester tributaire des catégories causales parce que l'on donne *a priori* à la perception ces catégories.

En fait, la reconnaissance de l'instrument ne se confond pas avec l'identification du timbre. Nous l'avons souligné au début de l'exposé ; si chaque instrument se distingue par son timbre, la notion de timbre est plus générale : on a évoqué le timbre d'un son isolé, remarqué en citant Schaeffer que l'on pouvait parler du timbre de l'ensemble des sons d'un instrument, mais aussi du timbre particulier de chaque son de cet instrument ; nous avons parlé également du timbre d'un son produit par une combinaison d'instruments, du timbre émergeant de l'écriture dans une structure sonore complexe ; enfin, dans le cadre des sons produits par synthèse, nous pouvons poser la question du timbre d'un son « inoui », c'est-à-dire d'un son qui n'a pas encore été entendu et qui ne peut renvoyer à aucune cause naturelle connue.

#### 4. *Espace perceptuel, espace de timbres*

La synthèse, du fait même de la neutralité de ses modèles et de l'élémentarité de ses processus par rapport aux processus producteurs naturels, permet de placer la perception en dehors des catégories instrumentales et de construire, en particulier par des procédés d'« interpolation » et d'« extrapolation », un continuum dans lequel les sons instrumentaux occupent des points particuliers.

Le son devient alors un élément d'un espace multidimensionnel qui se substitue à l'ensemble des catégories discrètes proposé par les instruments mécanico-acoustiques.

Des dimensions de cet espace peuvent être déduites des processus élémentaires et des variables des modèles de synthèse, par exemple dans le cas de la synthèse additive qui correspond, indépendamment du critère d'efficacité et d'économie des données, au paradigme le plus général. Mais on peut aussi mettre en vis-à-vis de cet espace de production un espace perceptuel multidimensionnel, dont les dimensions sont des attributs du son. Le timbre, en tant qu'attribut perceptif, peut alors être considéré en fonction d'un tel espace.

Grey (1977) et Wessel (1979) ont expérimenté une telle notion d'espace multidimensionnel pour le timbre.

Mais avant de l'évoquer, nous voudrions nous arrêter quelques instants sur

les termes « qualitatif » et « quantitatif ». On associe en effet au timbre la notion de « qualité » en l'opposant à des attributs « quantitatifs » comme, par exemple, la hauteur, la durée, l'intensité. On peut, dans une certaine mesure, expliciter ces deux termes.

On considère comme quantitatif un caractère représenté par une seule variable réelle à laquelle peut être affectée une relation d'ordre. Cette variable peut toutefois être discrétisée, mise en échelle. C'est le cas de la hauteur.

Le qualitatif s'applique à des caractères en général multidimensionnels qui, de ce fait, bien qu'une relation d'ordre puisse être établie sur chacune des dimensions, ne peut globalement qu'être soumis à une relation partielle déduite des relations d'ordre de chaque dimension. Mais il y a aussi une autre notion derrière celle de qualité : la catégorisation.

La catégorisation se distingue de la discrétisation : une variable continue peut être discrétisée, c'est-à-dire que l'axe continu qui la représente est remplacé par une série de valeurs distinctes. Les valeurs intermédiaires sont éliminées, interdites à l'usage, comme dans le cas de la hauteur dans la musique tonale, mais perceptibles. La catégorisation est liée à un processus perceptuel non conscient qui associe à une même entité des éléments qui peuvent être objectivement différents. Une variable uni ou multidimensionnelle catégorisée, au cours de son évolution, fait « tomber » la perception dans des attracteurs distincts entre lesquels il n'y a pas d'intermédiaires.

La question se pose pour le timbre, en tant qu'attribut multidimensionnel, de savoir si sa perception est catégorielle, et cette question n'est pas neutre par rapport à celle du lien causal. En effet, le propre des dispositifs réels est bien qu'ils sont catégorisés. Il est par exemple difficile de construire un dispositif intermédiaire entre l'excitation d'une structure vibrante par percussion et l'excitation par entretien continu. Si une catégorisation apparaît au niveau perceptif, elle peut être la conséquence de celle des processus producteurs.

Revenons alors à l'espace multidimensionnel des timbres : la méthode mise en œuvre par Grey et Wessel part de sons instrumentaux reproduits à l'aide des modèles de la synthèse additive, ce qui permet d'une part de les caractériser d'un point de vue neutre par rapport aux processus de production correspondants, d'autre part de les insérer dans un continuum, ou plus précisément de construire un continuum autour des points singuliers qu'ils représentent. La détermination des dimensions de cet espace subjectif se base sur un critère de dissemblance qui ne nécessite aucune précision quant à sa nature, entre les sons de départ présentés par paires. Cette dissemblance est affectée par des auditeurs, au cours de sessions de tests, d'une distance. Une analyse factorielle permet ensuite de déterminer dans quel espace, c'est-à-dire selon combien de dimensions et avec quels facteurs sur chacun des axes, les différents sons peuvent être rangés de façon à ce que les distances estimées soient toutes représentables.

L'analyse fait ressortir trois dimensions principales : la première correspond à la brillance ou distribution spectrale de l'énergie, les deux autres à divers facteurs temporels comme la présence d'énergie à fréquence élevée et basse amplitude dans les attaques, la synchronicité des harmoniques élevées dans les transitoires, les fluctuations spectrales au cours du développement du son.

Il n'est pas utile d'entrer ici dans le détail des résultats de cette analyse : nous renvoyons aux articles cités.

Ce qui nous importe pour l'instant est de souligner qu'il s'agit d'une première tentative de représentation du timbre dégagée de la référence aux causes et qu'elle présente un certain intérêt opératoire : tout d'abord en

montrant que des sons autres que les sons originaux, produits donc par synthèse, trouvent de manière prévisible leur place dans la carte des timbres préalablement constituée, comme les nouveaux éléments atomiques découverts grâce à la classification de Mendeleieff. Ensuite qu'il était possible d'utiliser ces dimensions du timbre comme support d'investigation permettant de prédire et maîtriser une relation perceptuelle donnée. Les expériences démonstratives de « transposition d'intervalles de timbres » réalisées par Wessel (1979) mettent ceci en évidence.

Cependant il ressort également qu'un espace de timbres parfaitement continu semble être impossible, la perception du timbre dans cet espace reste partiellement catégorielle.

L'intérêt fondamental de l'approche, toutefois, réside bien dans le recours à cette notion d'espace perceptuel multidimensionnel, même si elle ne caractérise pas complètement la topologie de cet espace pour tous les phénomènes sonores possibles.

A partir de cette notion d'espace perceptuel, le concept de timbre tend à se relativiser pour laisser la place à une représentation plus générale où le phénomène sonore se caractérise par un certain nombre d'attributs dont il s'agit de déterminer la nature, le comportement et les fonctions. La distinction entre les attributs simples de hauteur, intensité et durée, d'une part, et l'attribut de timbre, d'autre part, elle-même se relativise. En fait, Schoenberg (1911) prétendait déjà : « *Je ne peux accepter sans réserves la distinction entre couleur sonore et hauteur, telle qu'on l'exprime habituellement. Je pense que la hauteur devient perceptible grâce à la couleur sonore dont une des dimensions est la hauteur. La couleur sonore est donc la catégorie principale, la hauteur, une subdivision. La hauteur n'est pas autre chose que la couleur sonore mesurée selon une direction.* »

Dans le cadre du séminaire de l'I.R.C.A.M., Wessel a présenté, à la limite, le concept de timbre comme inutile, lui substituant celui de paramètre perceptuel et a préconisé « *d'oublier le timbre pour composer avec les paramètres* ».

L'oreille est capable d'extraire des attributs du phénomène sonore, des variables indépendantes ou corrélées, continues ou discrétisées, ou encore catégorisées, de percevoir des variations des relations de ces attributs selon un certain nombre de modalités complexes.

Ces dimensions, ces variables ont un comportement qui va déterminer ce qui importe pour la perception et l'intelligence musicales : l'émergence de formes.

Ici même, McAdams insiste sur la différence entre structure et forme : une forme renvoie à ce qui est appréhendé, perçu par l'auditeur; c'est une immanence de la perception. Une structure peut exister sans être perçue comme telle (c'est-à-dire en fait une structure descriptible dans un mode de représentation occulte pour la perception).

La notion de forme est plus générale que celle d'objet (perceptuel). En effet, elle peut s'appliquer à des entités élémentaires, des sons isolés peuvent avoir une forme dans ce sens perceptuel, mais des éléments mis en relation soit simultanée, soit séquentielle, ou même les deux, et, qui plus est, placés dans un contexte, peuvent avoir une forme au titre de ces relations ainsi que, à divers degrés, à celui de leur appartenance à un contexte.

A la question unique du timbre, se substitue alors une série de questions opératoires :

- comprendre comment l'oreille organise le sonore,
- comprendre dans quelles conditions le sonore est porteur de forme,
- comprendre comment produire le sonore pour qu'il remplisse ces conditions.

## *5. Conditions d'émergence des formes*

McAdams, en réponse à la deuxième question, met en avant un certain nombre de critères pour la structuration du matériau sonore en formes élaborées et « musicales » à partir des données de la perception. Nous les résumons ici très succinctement.

L'écoute musicale « focalise » sur des « entités », des catégories se présentant comme des groupes cohérents. La caractérisation de ces entités inclut :

- des « qualités » : la qualité renvoie à un caractère distinctif uni ou multidimensionnel, mais ayant valeur intrinsèque (par exemple la brillance),
- des relations : les relations d'intervalles dans la musique tonale par exemple,
- des fonctionnalités : exemple, la fonction de l'accord majeur toujours dans le système tonal.

— Les catégories doivent être ordonnées pour que les relations entre ces catégories soient fonctionnelles.

Les relations fonctionnelles peuvent être mises en échelle selon leur force et leur type.

Les catégories ont des qualités mais on peut aussi parler des qualités des relations entre catégories ; la relation devient un élément de composition ; il y a une possibilité de contrôler les propriétés qui procèdent des relations comme, par exemple, pour faire émerger un timbre de l'organisation d'un groupement.

Enfin, McAdams souligne l'importance de la notion d'invariance sous certaines catégories de transformations, c'est-à-dire la possibilité d'établir une relation d'identité perceptuelle entre deux entités différentes par ailleurs, comme l'identité de timbre sur toute l'étendue du registre d'un instrument, ou l'identité de relation d'intervalle au travers d'une transposition.

## *6. Structuration du flux sonore : fusion/ségrégation*

### *Causalité et « fait causal »*

Quant à la première question : « Comment l'oreille organise le sonore ? », des travaux tels que ceux de Bregman, Pinker, McAdams (Bregman et Pinker 1978, McAdams, Bregman 1979, McAdams 1982...) sur les phénomènes de fusion et de ségrégation auditives ajoutent à la psychoacoustique des éléments d'une importance sans conteste.

Une des premières fonctions structurantes du système perceptif apparaît dans sa capacité d'organiser le signal sonore en flux auditifs distincts. Cette faculté est évidente dans la fonction utilitaire de l'audition qui permet de distinguer plusieurs sources se manifestant simultanément. Mais cette fonction subsiste dans l'écoute musicale, au-delà de ce rôle utilitaire. Bregman et McAdams ont étudié à partir de sons synthétisés, donc en l'absence de causes réelles, les critères acoustiques permettant d'obtenir une fusion, c'est-à-dire un regroupement de composantes pour constituer une même entité perceptuelle, ou au contraire pour obtenir une ségrégation, c'est-à-dire la séparation du flux entrant en plusieurs entités distinctes.

Rappelons une des expérimentations de McAdams et Bregman (1979) qui met en évidence un phénomène de fission (ou ségrégation) mélodique à partir d'une série purement séquentielle d'événements.

Cette série alterne des sons hauts et des sons bas à une certaine vitesse, les hauteurs consécutives des sons hauts et bas varient au cours de la séquence. Le phénomène de ségrégation, lorsqu'il se produit, se manifeste par le fait que la perception conclut à deux lignes mélodiques indépendantes alors que tous les événements sont objectivement séquentiels. Les conditions dans lesquelles cette séparation se produit font intervenir les deux dimensions, temporelle et fréquentielle, de manière dépendante : schématiquement, lorsque les événements consécutifs sont suffisamment distants temporellement, la séparation ne se produit pas, quelle que soit leur distance fréquentielle. Lorsque la distance fréquentielle entre les sons hauts et les sons bas est trop faible, cette séparation ne s'opère pas non plus, quelle que soit la vitesse d'enchaînement. La séparation se produit en fonction d'une sorte de distance combinant l'écart temporel et l'écart fréquentiel. Si la distance ainsi considérée entre les événements respectivement pairs et impairs, par exemple, est plus courte qu'entre les événements consécutifs (ce qui est possible si l'écart entre les sons hauts et les sons bas est suffisant), ces événements seront liés entre eux, constituant deux lignes mélodiques et estompant la relation temporelle précise entre ces deux lignes.

Wessel (1979) a généralisé cette expérience en substituant aux signaux purement sinusoïdaux des signaux de spectre complexe mais caractérisés par leur brillance, la hauteur d'un son sinusoïdal étant un cas particulier de la brillance. Le résultat obtenu est le même.

On ne peut parler véritablement ici d'un mécanisme d'inférence de la cause, dans la mesure où les sons produits ne sont en rien naturels et ne peuvent évoquer aucun objet définissable.

Il est alors intéressant d'introduire une notion plus générale que la causalité et de parler de « fait causal ».

Ce qui est causal ici est non pas le phénomène sonore élémentaire, mais son comportement.

On peut en effet expliquer la conclusion à laquelle parvient l'oreille dans ce cas en lui prêtant la faculté de juger, en dépit de l'aspect manifestement artificiel du son, de l'impossibilité d'une distance spectro-temporelle plus grande qu'un certain seuil pour deux événements provenant de la même source. L'oreille reste attachée à l'identification de sources et « préfère » conclure à l'existence de deux sources plus plausibles, même si celles-ci conservent un aspect artificiel inexpliquable.

Cette « distance spectro-temporelle » se rattache à un caractère des sources réelles. La hauteur ou la brillance d'un son émis par une source naturelle sont déterminées par des facteurs mécaniques (raideur, structure du matériau vibrant ou résonant) et ces facteurs ne peuvent évoluer très rapidement compte tenu des « lois de la matière ».

On pourra remarquer que cette expérience ne concerne pas à proprement parler le timbre puisqu'il s'agit de discrimination de formes mélodiques.

Mais les expériences de McAdams, sur des bases semblables, s'attachent précisément au phénomène de fusion ou ségrégation du flux sonore produisant des « images auditives » relatives à cet aspect qualitatif du son que l'on a appelé timbre jusque-là.

Les phénomènes sonores soumis au test dans ces expériences (McAdams

1982) ne sont plus des événements séquentiels, mais simultanés. Plus précisément, le flux sonore est constitué ici d'un certain nombre de composantes spectrales contrôlables individuellement selon leur amplitude et leur fréquence. Le contrôle peut concerner l'évolution individuelle ou coordonnée des composantes, les enveloppes spectrales, etc.

Dans les expériences de fusion, McAdams met à l'épreuve trois types de critères :

- l'harmonicité du contenu fréquentiel,
- la coordination des modulations des composantes spectrales,
- la relative familiarité des enveloppes spectrales.

Il montre alors que l'harmonicité est un critère de fusion très fort. Pour un son, la question est « être ou ne pas être harmonique ». De nombreux sons inharmoniques provoquent une sensation de hauteurs multiples, ce qui est une forme de ségrégation. Toutes choses étant égales par ailleurs, un son harmonique « fusionne » mieux qu'un son inharmonique.

Or, rappelle McAdams, beaucoup de sources sonores auxquelles nous avons affaire sont harmoniques, à commencer par la source vocale.

A nouveau, on peut dire ici que l'harmonicité est un fait causal, c'est-à-dire une propriété de sources naturelles. Retrouver cette propriété, même si d'autres ne sont pas présentes, dans un son non naturel est un facteur structurant.

Pour la coordination des modulations et la familiarité des enveloppes spectrales, il en va de même. Cette coordination, qui intervient elle aussi comme facteur de fusion, est un fait causal en ce sens que, dans les sources réelles, c'est en général un facteur mécanique qui la produit et qui agit globalement sur tous les modes vibratoires en préservant leur rapport de fréquence. Pour la familiarité de l'enveloppe spectrale, la référence au rôle de la position et de la forme des formants renvoie, comme nous l'avons déjà évoqué, à la compréhension par le système auditif, de la structure productive, en particulier pour le cas de la voix.

McAdams souligne, il ne faut pas l'omettre, le fait que ces différents critères sont corrélés et se confortent ou se contredisent les uns les autres à des degrés divers.

Les expériences duales sur la ségrégation permettent des conclusions de même nature.

L'asynchronie des phases transitoires de chaque composante produit une ségrégation. Le fait causal responsable est la globalité de l'action de l'excitation sur l'ensemble des modes d'une structure vibrante qui, s'ils n'obéissent pas nécessairement tous à la même loi, apparaîtront avec une synchronie liée à l'occurrence de l'excitation. L'absence de synchronie détruit la référence possible à un fait causal qui correspond à un processus de « mise en énergie ».

On pourrait poursuivre ainsi pour les autres facteurs mis en évidence par ces expérimentations.

Ce n'est pas notre propos ici d'en redonner une description détaillée. Nous souhaitons avant tout pointer cette notion de « fait causal » que nous avons distinguée de la causalité stricte.

Bregman et Pinker (1978) évoquent deux principes se référant à la *Gestalttheorie*: celui de « continuité » (*continuation*) et de « destin commun » (*common fate*). La « bonne forme », la « cohérence temporelle », etc., sont ce que nous appelons donc des « faits causaux ». Ce qui est causal dans la notion de destin commun n'est pas tant le destin lui-même que le fait qu'il soit commun.

Et la perception a cette faculté de discerner ce qui peut être un « destin », de découvrir ce qu'il est sans *a priori*, de le considérer comme une donnée nouvelle, ... de ce qui subit ce destin.

## 7. Timbre et causalité

Revenons alors une dernière fois, à la lumière de ces remarques... au timbre.

Risset (1986), en se référant aux travaux sur la fusion et la ségrégation, indique: «*La notion de timbre implique la fusion, elle correspond à la qualité sonore d'un ensemble de composantes intégrées en une entité auditive et assignées à une même source sonore réelle ou virtuelle.*»

Nous nous arrêterons à cette formule qui va dans le sens de nos propos ; cependant nous voudrions attirer l'attention sur une difficulté qu'elle ne lève pas.

Considérons un phénomène aussi simple que le son produit par une bille qui rebondit sur une surface dure. La suite itérative accélérée des courtes percussions signe le phénomène et produit ce que l'on est en droit d'appeler une entité auditive, tant le phénomène est perceptivement cohérent. Cette entité est assignée à une source sonore que l'on est en mesure de très bien décrire. Pouvons-nous dire pour autant que nous avons là un timbre? Non. On prendra en considération le timbre de chaque percussion individuelle, mais pas le tout comme un timbre. Cet exemple montre que la notion de source est nécessaire — «*la notion de timbre implique la fusion ...*» — mais pas suffisante.

Par ailleurs, source et causalité ne peuvent être confondues ; la source inclut la cause, mais peut être plus large. Un son instrumental bien identifié renvoie à une source. Or, dans un son instrumental, il y a deux contributions séparables par la perception : ce qui indique un objet stable (l'instrument), et ce qui indique une action, une intention (celle de l'instrumentiste) appliquée à cet objet. La notion de causalité contient celle de stabilité, de prévisibilité, l'action de l'instrumentiste répond en partie à des contraintes prévisibles, celles qui sont liées à la morphologie des organes effecteurs et à des schèmes moteurs stables, mais elle est toujours susceptible dans le cadre de ces contraintes, de contenir une part d'imprévisible, d'arbitraire. Pour définir la causalité, il faut évacuer de la source ce qui procède de l'intention pour ne garder que ce qui correspond à des propriétés stables et prévisibles. Ces propriétés sont alors principalement celles d'un objet physique lorsque le phénomène sonore résulte d'une action humaine sur un corps sonore. Remarquons au passage qu'un phénomène sonore n'impliquant aucune intervention humaine ne peut être porteur de signification humaine. Un acte minimal est requis, ne serait-ce que pour désigner à l'écoute ce phénomène.

On pourrait être tenté, pour sortir de ce chassé-croisé entre le timbre, la source et la causalité, de rattacher le timbre non plus à la source, mais à cette permanence qu'est la causalité, vue cette fois sous cet angle très général. L'exemple de la bille nous l'interdit tout autant. En effet, la bille rebondissant est bien une causalité, libre de toute intervention, mais nous avons vu qu'elle ne correspondait pas à un timbre.

Alors que nous acceptons certains aspects temporels dans le timbre, nous en évacuons d'autres qui sont pourtant liés aux propriétés exclusives de la source ou de la cause physique. L'assignation des composantes à une cause (réelle ou virtuelle) est bien en jeu, mais il s'agit de causes particulières, dont

la particularité ne s'explique que par une particularité du système perceptif lui-même.

Le système perceptif, indépendamment de cette fonction d'identification et en tant que système qui doit répondre à des situations variées tout en restant efficace, est aussi un système de représentation, construit avec sa « technologie » propre (biologique). Il possède ses lois intrinsèques, opère ses propres simplifications. L'exemple que nous venons d'évoquer montre une telle simplification : la séparation par une frontière fixe entre des phénomènes perçus comme itératifs et des phénomènes perçus comme vibratoires. Cette frontière ne coïncide pas toujours, vue du côté de la source, à celle qui sépare l'objet de ce qui le sollicite. Le timbre concerne le vibratoire. Ainsi, donc, même au niveau le plus élémentaire, la notion de timbre est alors à la fois liée à des propriétés du monde objectif et à des nécessités intrinsèques au système perceptif qui ne s'expliquent pas en fonction du premier.

Mais, pour ce qui concerne la structuration du sonore, nous avons vu aussi que la notion de timbre n'était peut-être pas la plus générale et la plus utile. L'inférence de la cause, l'identification d'un « fait causal », et tout ce que la perception et la construction mentale peuvent élaborer à partir des attributs « porteurs de forme » constituent des points d'appui peut-être plus opératoires.

## 8. *La représentation*

De la causalité physique stricte au fait causal, il y a cette première « désubstantiation » qui démontre la possibilité de séparer les propriétés, les formes des objets de leur nature, de leur manière, et d'identifier, comparer, différencier deux objets par leurs propriétés plutôt que par leur substance : un élément du passage du concret à l'abstrait, du monde des faits à celui des représentations.

La seconde fonction fondamentale des sens, si la première est de renseigner le sujet sur les objets et les événements du monde extérieur, est de permettre la communication entre les sujets. Cette fonction, lorsqu'elle met en œuvre plus que les organes naturels d'émission et de perception, c'est-à-dire lorsqu'elle est médiatisée, ne peut l'être qu'avec des objets qui sont des substituts, c'est-à-dire qui sont à la fois des objets réels et qui doivent être pris pour quelque chose qu'ils ne sont pas. L'identité de certains aspects, de certaines propriétés en dépit de la différence sous certains autres aspects est une condition nécessaire de la représentation. La représentation est une condition nécessaire de la communication, la création musicale est un mode de communication.

Du fait causal aux formes abstraites, à l'« idée pure », il y a un certain nombre de niveaux à franchir. De la correspondance des apparences perceptives, des fonctions et des relations jusqu'à celle qui s'établit par convention et apprentissage, il y a toutes les fonctions du signe dans son sens le plus général.

Dans toute sa complexité, la structure musicale est faite d'indices de symboles, de signes et, explique Nattiez (1975), « *il y a un trait commun à toutes ces catégories : les phénomènes musicaux sont de nature sémiologique parce qu'ils renvoient à quelque chose d'autre dans le monde extérieur ou dans la pensée de ceux qui les utilisent* », et il ajoute, citant Molino : « *Le point de départ de toutes les définitions du signe est, chez les scolastiques comme pour les théoriciens contemporains, dans une donnée intuitive difficile à préciser de façon rigoureuse : c'est la notion de représentation ou d'évocation, résumée par la formule aliquid stat pro aliquo...»*

Le processus de représentation, ou plus précisément ce qui est représenté, dans l'œuvre musicale, est complexe et multiforme, polysémique. Ce qui est signifié peut aller du plus concret au plus abstrait par un jeu de récurrence illimité.

Cependant la musique a un ancrage absolu dans la substance qu'est la vibration sonore. Tous les niveaux de représentation s'appuient sur une base constituée par l'expérience sensori-motrice du monde objectif et il est difficile d'imaginer que l'oreille, quelle que soit la nature du substitut, puisse se passer de considérer que la vibration sonore est l'effet d'un objet matériel qui vibre sous l'action d'un événement qui lui est extérieur ou sous l'action d'une intervention humaine.

### III. Déplacer le propos : les conditions de la création

La mutation technologique apporte des éléments de réponse aux attentes du début du siècle quant à une science et un art du timbre et plus généralement de la totalité sonore et de ses attributs multiples. Des frontières se dissolvent : on peut, avec l'ordinateur, comme l'a souvent rappelé Risset, «non plus seulement composer avec les sons, mais composer les sons», effectuer les deux dans un même modèle, composer les attributs pour faire émerger, se dissoudre ou se transmuter des formes...

Mais, avons-nous signalé dès le début de la deuxième partie, cette mutation ne touche pas que la science et la connaissance du phénomène sonore, elle transforme le « mode opératoire », la relation ergonomique du créateur à l'outil; ce dernier s'emploie d'ailleurs au singulier.

C'est le « niveau poétique » qui est foncièrement « remis en cause ». Et si une continuité est imaginable et réalisable entre les anciennes catégories sonores et le nouvel espace, les catégories de la facture traditionnelle du son (il faut entendre par là tout ce qui intervient depuis la lutherie jusqu'à l'exécution en passant par l'apprentissage instrumental et la composition) s'évanouissent.

La cause physique disparaît, la registration en tant que niveau intermédiaire stable n'a plus de raison d'être, la notion d'instrument n'a plus de sens : l'ordinateur n'est pas plus un nouvel instrument qu'un orchestre, un compositeur, un instrumentiste ou un chef d'orchestre « artificiel ». Il est envisageable par contre comme outil pour la création musicale.

Il est singulier que tous les discours suscités par ces nouvelles conditions n'aient en fin de compte jamais dépassé le cadre des trois questions que nous avons rappelées plus haut :

- comprendre comment l'oreille organise le sonore,
- comprendre dans quelles conditions le sonore est porteur de forme,
- comprendre comment produire le sonore pour qu'il remplisse ces conditions.

Il est clair que les deux premières questions, pour fondamentales et nécessaires qu'elles soient, ne sont pas suffisantes.

La troisième ne comble pas l'insuffisance.

En effet, même si l'ordinateur est un outil « qui peut se dire universel », il ne dispense pas — et justement bien au contraire — de poser la question des conditions dans lesquelles l'activité de création peut se développer.

Toutes les analyses évoquent avec une précision poussée les subtiles constructions, les finesse de coordination, d'agencement de compréhension des phénomènes, mais toujours occultent, comme pour entretenir un mystère,

les actes, les réflexions, les essais, les dialogues, les luttes avec le matériau, l'heuristique, en un mot le processus de création lui-même.

Or, une transformation aussi radicale que celle qui bouleverse toutes les catégories du mode opératoire n'autorise pas à éluder cette question.

Nous considérons que cette question même est préalable et probablement plus importante, dans un premier temps du moins, que l'investigation complète de l'univers sonore devenu possible. Savoir comment obtenir tel effet précis ne suffit pas à la création. Cela suppose que l'effet en question soit déjà conçu. Or, le processus de création est aussi celui de la genèse des idées. Un outil de création doit permettre cette genèse.

L'outil informatique projeté par Wessel (1983), dont une réalisation partielle consiste en ce dispositif qu'il a mis au point à l'I.R.C.A.M., permettant le contrôle du timbre en temps réel à partir d'un espace bidimensionnel représenté sur un terminal graphique (Wessel 1979), a beaucoup attiré notre attention car il est un aboutissement de ce que nous appellerons le «paradigme de la psychoacoustique» et nous permet d'en expliquer l'insuffisance, les limites.

Cet outil suppose une connaissance sinon totale (ce qui est illusoire) du moins approfondie de l'espace perceptuel et du fonctionnement de ses dimensions, de telle sorte que soit proposée au créateur une série de «commandes» lui permettant de manipuler directement ces dimensions soit par prescription et en temps différé, soit gestuellement et en temps réel.

Peu importe ici, à la limite, le temps réel ou la faisabilité actuelle d'un tel outil. Nous prétendons que non seulement il n'est pas suffisant, mais qu'il n'est pas vraiment utile au processus de création. Il ne prend en considération qu'un cas très particulier de l'heuristique : celui où la découverte résulte de la mise en relation selon des configurations inédites, des paramètres perceptuels. Ou alors, il suppose l'idée préconçue et ne se présente que comme un moyen unilatéral d'expression de cette idée.

Cette première critique est cependant insuffisante pour démontrer en quoi cet outil n'est pas un outil de création. Nous y reviendrons plus loin. Auparavant nous devons préciser ici comment nous caractérisons le processus de création.

Une telle caractérisation est naturellement très ambitieuse car s'il y a complexité et diversité, c'est bien ici. Mais notre propos n'est pas tant d'achever une telle analyse avant d'en tirer des conséquences opératoires que de poser quelques bases qui devraient permettre un développement simultané et réellement coordonné d'une recherche fondamentale avec une recherche créative.

Nous invoquons, au stade actuel de notre réflexion, quatre «principes» :

1. L'activité de création est avant tout une relation, un dialogue entre ce que l'on peut appeler, d'un côté, la pensée (du créateur) et de l'autre, dans un sens très général, un matériau qui permet à cette pensée de se constituer, de s'extérioriser et d'être communiquée. Nous entendons par matériau quelque chose qui se présente comme un ensemble de contraintes qui préexistent à une certaine phase de la relation. Ces contraintes peuvent cependant avoir été choisies ou construites par le créateur, mais il peut aussi les ignorer ou en avoir une connaissance incomplète à un moment donné de son expérience.

La notion de matériau n'a pas ici le sens habituel, tel qu'on le rencontre par exemple dans le dipôle «matériau/organisation». Nous appelons «matériau» aussi bien des systèmes matériels que des systèmes idéels. Alors

qu'aujourd'hui précisément, on peut constituer sous la forme de programmes ou de systèmes, comme dans le domaine de l'intelligence artificielle, des modèles du raisonnement ou plus généralement de certaines activités mentales, il n'est pas déraisonnable de considérer certains systèmes de la pensée sous un angle objectif bien qu'ils soient internes au sujet. Le recours à des «modèles compositionnels» et la dialectique qui s'établit entre des modèles idéels et leur matérialisation vont dans le sens de cette «objectivation».

L'appartenance du système à la pensée n'invalide en rien l'idée d'un dialogue. L'activité mentale n'est-elle pas sous certains aspects un dialogue permanent du sujet avec lui-même?

Cette notion de «matériaux» est également très générale en ce sens que les contraintes en question peuvent être les contraintes d'un corps sonore matériel, d'un processus de production sonore, aussi bien que celles d'un système de règles compositionnelles.

Entre deux tels extrêmes, on le conçoit, s'établissent de nombreuses catégories. Mais ce qui est commun à toutes ces catégories est cette notion de contrainte.

Dire qu'il s'agit d'une relation revient à reconnaître sans réserve que deux situations duales peuvent se présenter: s'il faut appeler «l'idée» ce qui sera par la suite communicable, sensible et compréhensible par un destinataire, on peut dire que l'idée peut se trouver dans la pensée avant toute extériorisation, toute expérimentation, mais qu'elle peut aussi se trouver dans l'objet, dans une configuration du matériau avant de se trouver dans la pensée.

Il y a une relation «systémique» entre le système que constitue le créateur et celui que représente le matériau, et bien que l'on doive accorder la suprématie à la pensée, la réunion des deux systèmes constitue un nouveau système qui est à la fois plus et moins que la somme de ses parties.

L'objet ou le matériau peut proposer une configuration qui n'aurait pas émergé d'elle-même du seul système de la pensée. Cette configuration peut alors servir de révélateur d'une idée qui n'était que potentiellement présente, mais elle peut aussi être adoptée, apprise, intégrée avec ses arbitraires et devenir support d'un code, de variations, d'un langage.

Le matériau n'est pas simplement un moyen d'extériorisation, mais un partenaire renfermant son potentiel de création de situations inédites. Il ne traduit pas, il révèle en se révélant lui-même.

2. Le deuxième «principe» distingue des catégories de ce dialogue et en particulier deux modes exclusifs mais complémentaires.

D'un côté ce que nous appellerons le «mode compositionnel» et de l'autre le «mode instrumental». Il s'agit là de noms codes dont le choix n'est peut-être pas très heureux. Ils sont inspirés des deux situations traditionnelles qu'ils évoquent, mais avec cependant l'idée d'une généralisation.

Le mode compositionnel correspond avant tout à une activité dégagée des contingences matérielles et en particulier temporelles propres à l'objet final, c'est-à-dire au phénomène sonore. Il se développe «en temps différé», pour emprunter ce terme très «contexté» mais qui s'adapte ici admirablement.

Le mode instrumental est son dual dans la mesure où, par essence, il se développe dans le temps du phénomène final, en «temps réel» donc, et en prise directe (gestuelle entre autres) avec les processus producteurs.

Il va sans dire que les processus et les moyens en œuvre dans les deux cas sont de nature complètement différente. Dans le premier, en l'absence des phénomènes sonores et des processus de production, il faut disposer, pour les

« manipuler », de représentations. Ces représentations sont nécessairement atemporelles, c'est-à-dire par exemple graphiques. La partition traditionnelle est un exemple particulier d'une telle fonction de représentation de support bidimensionnel et atemporel, représentation qui mêle souvent description perceptuelle, description opératoire et description (ou au moins désignation) du processus producteur.

Dans le second, la présence du processus producteur est impérative, ainsi qu'un certain nombre de possibilités d'actions physiques (gestuelles) sur ce processus et de perception de ses comportements.

Les deux modes sont nécessaires et complémentaires dans la mesure où les limites de l'un justifient l'existence de l'autre.

Il est vrai que le temps réel est un piège si l'on en attend la possibilité d'*« accorder le son à la main conformément à des exigences intérieures (...) »* et il est certain *« que le tâtonnement mène rarement au but »* (Risset). Une activité distanciée par rapport au phénomène sonore et par rapport au temps permet une conception anticipatrice et globalisante. Mais il ne s'agit pas de cela dans ce que nous appelons le mode instrumental. Il s'agit d'une part d'une situation où la relation entre le sujet et l'outil est exploitée, dans le sens émetteur comme dans le sens récepteur, au maximum des capacités informationnelles des canaux humains, d'autre part d'une relation privilégiée où il ne s'écoule aucun délai entre l'interrogation et la réponse. L'aspect parfois vivace et volatil de l'inspiration peut y trouver un répondant immédiat. L'improvisation est un terme qui a très mauvaise presse dans certaines forteresses de la musique contemporaine. Nous n'emploierons donc pas ce terme, mais il faut reconnaître la validité de ce mode impliqué dans le temps. Si certaines formes, pour émerger, nécessitent une gestation qui n'est possible que dans une méditation distanciée et une construction délibérée, d'autres ne peuvent être découvertes que dans les conditions de cette implication dans la réalité du temps. Les processus mentaux ont aussi leurs exigences temporelles. Ceci n'exclut en rien une distanciation à leur égard, dans un deuxième temps, pour peu que l'outil utilisé, comme c'est le cas précisément avec l'ordinateur, ait la capacité d'une part de mémoriser objectivement l'expérience, d'autre part d'en permettre d'autres représentations, en particulier atemporelles.

Entre le mode compositionnel et le mode instrumental, on peut imaginer tous les intermédiaires possibles où les deux extrêmes interviennent en une sorte de « combinaison fractale ».

Loin de nous, donc, l'idée de privilégier l'un ou l'autre mode, mais dans la mesure où nous les considérons comme nécessaires l'un et l'autre et l'un à l'autre, nous œuvrons dans le sens d'une réhabilitation du mode instrumental.

3. Le troisième principe est en quelque sorte une extension du dipôle « permanence/variation » qui a une portée très générale et que l'on peut rapprocher d'autres couples rencontrés ici et là dans les diverses analyses : « invariance/transformation », « référence/invention », etc.

La permanence et la variation interviennent à l'intérieur du discours musical : la permanence d'une formule mélodique au travers d'une transposition, la permanence d'un « intervalle de timbres » également au travers d'une « transposition » dans l'espace des timbres, notion généralisée par McAdams lorsqu'il évoque le principe de « *permanence d'entités musicales sous certaines catégories de transformations* ».

On rencontre cette idée dans la définition schaefferienne du timbre

instrumental: «une variation musicale s'appliquant à une permanence causale».

L'évolution de tout domaine esthétique est soumise également à cette loi où la nouveauté a besoin pour se manifester d'un ancrage dans le connu, dans les valeurs précédemment en cours ou dans des références identifiables.

On identifie également cette articulation dans la recherche des attributs acoustiques des sons instrumentaux dans le domaine de la synthèse...

On pourrait multiplier les exemples à l'infini.

Mais ce principe est en cause également dans celui de la représentation au sens le plus général, où d'un objet, un univers de référence, on passe à un objet, ou un univers représentés, à la fois en assurant une permanence, une identité, et une variation, une différence. La création artistique, en tant que construction de représentations, établit cette articulation entre un monde de référence, qu'il soit le monde physique ou celui de la pensée, et un monde virtuel qui peut devenir constitutif de la pensée.

L'artifice est une nécessité, mais l'«authenticité» ou la plausibilité en est une autre nécessaire à la première.

Dufourt affirme (1977): «*L'essence de la pensée musicale, c'est le subterfuge. Pis encore: tous les liens de cause à effet, toutes les anticipations subissent des distorsions, toutes les finalités s'altèrent, toutes les interventions s'oblitèrent.*»

Mais pour distordre, il faut avoir des causes et des anticipations à distordre, pour oblitérer, il faut avoir des finalités et des interventions à oblitérer.

La référence est une nécessité que l'artifice nie, renforce ou contredit.

Le fonctionnement structurant du système perceptif montre bien qu'au niveau le plus élémentaire et le plus inconscient, des causes ou des «faits causaux» sont recherchés en tant que permanence auxquels des distorsions, des variations, des mutations pourront s'appliquer.

Du phénomène sonore élémentaire à la structure musicale complexe, il est clair que ce jeu de permanence/variation prend des formes extrêmement diversifiées, dont nous ne saurons dresser l'inventaire ici, à l'intérieur des objets ou du discours, mais aussi dans leurs relations extrinsèques au contexte culturel et au monde réel.

Au niveau le plus élaboré, une forme évoque, représente, même s'il est difficile et inutile de dire quoi. Les formes sont des nécessités de la musique mais non des suffisances. Les formes ont «une âme» qui ne se réduit pas à leurs caractéristiques abstraites et intrinsèques. La forme «pure» est une limite, un exercice technique nécessaire à une certaine phase de crise de la création. Mais elle n'échappe pas à cette signification limite: celle de vouloir ne rien signifier.

Au niveau le plus élémentaire, celui de la substance nécessaire qu'est la vibration sonore, si l'oreille montre une «permissivité» étonnante en s'intéressant à des phénomènes proprement inouïs, il est difficile d'imaginer qu'elle puisse se passer d'une authenticité essentielle et minimale. Quels que soient la puissance des outils et le degré d'abstraction qu'ils permettent d'atteindre, il est difficile de concevoir que l'édifice musical puisse s'élever très haut sans s'appuyer sur des fondations consistantes. Ces fondations sont celles du sonore: le son restera pour l'oreille l'effet d'une cause, le produit d'un objet matériel qui vibre, qu'elle soit ou non abusée par un artifice, que ce soit un objet réel ou virtuel.

#### 4. Nous compléterons enfin par un quatrième principe:

Nous venons d'insister sur le fait que l'objet final de la musique, l'œuvre, était une représentation, que ses divers éléments renvoyaient de diverses

manières à quelque chose soit dans le monde extérieur, soit dans la pensée du créateur. En fait, il n'y a pas toujours une frontière nette entre l'activité créative et le matériau d'un côté, et l'objet créé de l'autre; pour une part, la fonction de représentation s'étend à la relation créative elle-même et au matériau. Cette relation peut être médiatisée par une chaîne de codes abstraits et conventionnels, mais elle peut aussi avoir en elle-même, indépendamment de la nature du dialogue (instrumental ou compositionnel), un caractère «symbolique» (au sens d'une correspondance «motivée» entre ce qui représente et ce qui est représenté, que Saussure (1922) oppose à la correspondance arbitraire ou conventionnelle).

Prenons un exemple, et pour montrer la portée générale de cette idée, dans un domaine de création autre que musical. Dans l'art récent de l'image animée, une technique d'animation particulière consiste à utiliser des objets, par exemple des marionnettes, qui possèdent des propriétés analogues aux êtres qu'elles sont censées représenter: la morphologie, la nature des articulations, les contraintes qu'elles imposent. Ces objets ont la fonction du «matériau» tel que nous l'avons défini, et entre l'animateur et ce matériau, il s'établit une relation particulière où l'animateur opère une sorte de transfert. Ses actions sur la marionnette sont des transpositions, des représentations motrices de mouvements corporels dont il a pour lui-même des modèles intériorisés. De ces actions et des contraintes du matériau, il restera une trace, par le fait de la prise de vue, qui constituera l'objet esthétique final.

Entre la marionnette et l'instrument, en tant qu'objets manipulables, il y a une certaine similitude, et entre l'instrumentiste et l'instrument, il s'établit une relation riche, gestuellement et corporellement «motivée». Même s'il est difficile de dire ce que «symbolise» cette relation, il est clair qu'elle n'est pas entièrement conventionnelle, arbitraire, abstraite, et que sa nature est un stimulant particulier du processus heuristique.

Un aspect dual de cette extension de la fonction symbolique de l'objet à l'outil pour le produire réside dans le fait que l'objet esthétique n'est jamais complètement coupé de ce qui a permis sa création. Il contient des indices de sa genèse et semble que ce soit même une condition du plaisir esthétique: l'objet à la fois joue sa fonction représentative propre et indique qu'il s'agit d'une représentation, d'un jeu dont il révèle ou dissimule malicieusement les règles. On peut rapprocher cela des propos de Wallon citant Janet (Wallon 1942): «Les illusions du jeu chez l'enfant ont pour contrepartie exacte le sentiment et le désir continu de la fiction. (...) S'il présente un bout de papier comme un mets succulent, l'écart même des deux objets est un stimulant de son plaisir.» Ce plaisir particulier est commun à l'activité ludique et à l'activité de création artistique.

S'il en est ainsi, il faut alors considérer que le caractère authentique ou artificiel, symbolique ou arbitraire, homéomorphe ou anisomorphe, vaut aussi pour la relation qui s'établit entre le créateur et l'outil.

## 1. *Outil de création*

De cet ensemble de considérations, nous tirons non plus seulement des éléments pour comprendre et organiser le sonore, mais pour définir et construire l'outil de création. La remarque de McAdams sur la nécessité des catégories dans les attributs perceptuels pour que ceux-ci soient porteurs de forme se transpose du niveau perceptuel (esthésique) au niveau de la production

(poétique). Les relations du créateur à l'outil de création doivent être définies et catégorisées pour que le processus de création puisse se développer.

Par ailleurs, une solution de continuité entre les catégories traditionnelles et les nouvelles catégories doit être possible, les secondes devant inclure et généraliser les premières.

La première condition que doit remplir cet outil est de permettre à la relation du créateur au matériau de s'exercer, ce qui suppose l'existence du matériau et de modes de dialogue.

L'ordinateur ne se présente pas comme un matériau défini. Son « universalité » peut s'exprimer en disant que c'est un univers sans contraintes, où tout est possible. Il convient toutefois de nuancer cette notion. Elle n'est que relative. Ce qui est universel c'est l'idée de l'ordinateur, la machine de Turing, qui n'a jamais existé que sur le papier. Les machines réelles sont toutes soumises à l'évolution des performances de la technologie et en particulier au facteur éminemment déterminant qu'est le temps des traitements, indépendamment de leur nature (séquentielle, parallèle, en réseaux, etc.). L'ordinateur réel présente ses propres contraintes..

Cependant, si ces contraintes sont celles avec lesquelles l'informaticien doit en permanence composer, et bien qu'elles les conditionnent, elles sont d'un autre ordre que celles qui concernent le processus de création. Par rapport à ce dernier, l'ordinateur n'apparaît que comme un espace vide, une page blanche qui ne contiendra que ce que l'on y écrira. Cette situation est peut-être la première caractéristique des nouvelles conditions de création : quelle que soit la nature du matériau, du processus sonore aux modèles compositionnels, le créateur doit entièrement et préalablement les connaître, les définir, les caractériser pour les « planter » dans la machine. En ce sens, l'ordinateur a un statut qui n'a pas d'équivalent par le passé. C'est un moyen de représentation — il peut remplir cette fonction jusqu'à un degré qui n'a pas de précédent — mais il n'est que cela. Ce n'était pas le cas avec l'instrument, au moins au niveau de la cause productrice du phénomène sonore qui était réelle.

La seconde condition est que l'outil de création soutienne les deux modes de relations, instrumental et compositionnel, ainsi qu'une articulation entre les deux.

Chacun des modes suppose des catégories spécifiques de matériaux et des conditions de dialogue appropriées. Le mode instrumental ou « temps réel » mettra en œuvre des processus (ou modèles) de production sonore, c'est-à-dire des systèmes capables de produire des vibrations sonores en réponse immédiate à des actions qui impliquent nécessairement le geste (le geste instrumental). Ces actions gestuelles doivent pouvoir être saisies par le dispositif, selon toute leur finesse, variété et pertinence.

Le mode compositionnel, ou « temps différé », mettra en œuvre d'autres catégories de modèles qui ne pourront traiter, en leur absence, que des représentations structurelles et atemporelles des processus, des actions ou des phénomènes sonores, que ces représentations soient des représentations à destination du créateur ou des représentations internes à la machine. Ces modèles pourront rester « idéels » ou se matérialiser en programmes ou systèmes matériels.

Ces deux modes sont « catégoriels », c'est-à-dire qu'il est difficile d'envisager un passage continu de l'un à l'autre. Aussi, dans un premier temps, l'articulation entre les deux peut être réalisée en considérant que les produits

du premier deviennent les objets du second. Ce sont ces objets que les modèles en cause dans le second devront traiter.

Enfin, la nécessité de références connues a une implication sur la détermination des modèles, qu'il s'agisse des modèles pour la production du son ou pour leur articulation.

Mais nous voudrions en venir ici au point de départ ultime et singulier de notre approche. Nous avons prétendu plus haut que tout l'édifice musical reposait sur des fondations d'une unique nature: la vibration sonore. « La musique (...) n'existe que par son incarnation dans le temps et dans le son » (Risset). Même si l'oreille ne demande qu'à se laisser abuser, dérouter, elle réclame, nous l'avons souligné plusieurs fois, une « authenticité ». Cette authenticité, même si elle n'est que représentée, est une nécessité. Nous en déduisons la nécessité, même s'il ne faut la considérer que comme un point d'ancre parmi d'autres, d'introduire, pour le matériau élémentaire autant que pour la relation élémentaire, des modèles causaux.

Pour la production sonore, le modèle causal est une représentation donc, non pas d'un signal sonore présentant tous les aspects d'un phénomène produit par une cause réelle plausible, mais une représentation authentique de la cause elle-même. Ce qui est à représenter n'est pas l'effet, mais la cause. L'ordinateur permet une telle démarche. La catégorie des modèles de synthèse qu'il est convenu d'appeler aujourd'hui les « modèles physiques », et qui sont des simulations numériques à partir des équations mécaniques des corps vibrants, répond à ce mode de représentation.

Mais nous allons plus loin. En effet, il ne s'agit pas, en vertu de notre « quatrième principe », de permettre cette authenticité pour le modèle de production uniquement, mais aussi pour la relation que le créateur entretient avec lui.

Le recours au modèle physique se prolonge dans notre approche par une restitution des conditions d'une relation instrumentale entre l'utilisateur et la machine au niveau de la production du son. Cette relation instrumentale se définit très précisément par le fait qu'elle est sensori-motrice et multisensorielle. Sensori-motrice parce que, dans cette relation particulière, l'action (gestuelle) et les réponses de l'objet sont simultanées. Multisensorielle parce que le canal auditif n'est pas le seul en cause. En effet, toute relation avec un instrument réel ou plus généralement avec un corps sonore quelconque fait intervenir trois modalités sensorielles qui, au premier niveau expérimental, sont intercorrélées: la perception auditive, bien évidemment, mais aussi la perception visuelle (un corps sonore ou un instrument ont des formes et des mouvements visibles et informatifs), et plus encore la perception tactilo-kinesthésique. Les organes gestuels sont des canaux bilatéraux. Ils permettent de manière indissociable l'action et un mode de perception directement associé, qui lui aussi informe sur la nature de l'objet. Le rôle du tactile est une évidence dans le jeu instrumental, non seulement en ce qu'il intervient dans la conduite et le contrôle du geste effecteur, mais parce qu'il est des modalités de connaissance de l'objet et qu'entre ses comportements sensibles par l'ouïe et par le toucher, il y a une cohérence qui tient à la nature intrinsèque de cet objet. L'authenticité de la relation et celle de l'objet sont donc tout à fait liées à cette conjonction.

Plus loin encore: le processus producteur de son peut être élémentaire ou complexe, mais s'il est complexe, il doit pouvoir être conçu et construit comme une combinaison de processus élémentaires sans qu'il y ait une différence de nature des uns à l'autre. Les objets élémentaires sont alors « objets instrumen-

taux», au sens où ils doivent permettre en eux-mêmes une relation instrumentale comme nous venons de la définir; mais ils doivent également pouvoir être combinés à d'autres objets selon le même mode. La relation entre deux composants simples dans un objet composite est alors de même nature que la liaison entre un composant quelconque et l'expérimentateur. Cette liaison, qui est typiquement une liaison mécanique, est à double sens. Les communications entre composants, comme la communication avec l'opérateur humain, sont des couples d'entrées/sorties associant deux variables duales (par exemple forces et déplacements).

La référence causale et la relation instrumentale impliquent comme seule forme possible du processus de production une forme en réseau avec des intercommunications à double sens entre les nœuds et non plus seulement une forme en arborescence avec des communications orientées. Vus sous cet angle, les systèmes tels que MUSIC V ne peuvent intégrer le modèle causal, mais il en est ainsi pour de nombreux autres procédés actuels, dès lors que leur forme répond de l'arborescence et non du réseau.

Les modèles causaux n'excluent pas cependant leur dépassement ou le recours à tout autre modèle, et la forme en réseau ne prédétermine rien quant à la fonction des nœuds. Ces nœuds peuvent aussi bien correspondre à des modèles fonctionnels quelconques. Par ailleurs, les formes arborescentes et à liaisons orientées peuvent être considérées comme des cas particuliers de réseaux. Le réseau, qui est plus général, n'interdit pas d'autres formes et d'autres modèles que les modèles causaux. Considérant simplement que ces derniers doivent être possibles, la forme réseau est alors une nécessité.

Pour finir, nous décrirons les catégories complètes du niveau poiétique.

## 2. *Les catégories du niveau poiétique*

Nous avons donc déjà introduit deux catégories en évoquant la relation instrumentale et l'activité compositionnelle.

On pourrait y ajouter, sans qu'il soit nécessaire de le justifier par de nombreuses explications, la situation d'«interprétation».

En effet, dans le contexte traditionnel, toute œuvre fait l'objet, à la fin du processus, d'une ultime intervention créative, celle du ou des interprètes, qui se saisissent d'un matériau particulier : la combinaison partition-instrument(s), pour donner une «exécution». Cette exécution n'est pas une traduction, la partition ne détermine pas tout, et l'interprète s'implique dans une relation qui est bien une relation de création dans la mesure où il apporte sa propre contribution. Le système interprète-partition-instrument est plus que la somme de ses parties. Pratiquement, la situation d'interprétation fait intervenir des moyens proches de celle que nous avons appelée situation ou expérience instrumentale. C'est le rapport entre ce qui est prédéterminé dans l'ensemble des modèles en œuvre et ce qui reste libre qui change.

Mais il y a une catégorie nouvelle, qui n'a pas d'équivalent par le passé, du moins pour ce qui concerne strictement le musicien : on pourrait la rapprocher de la lutherie ; mais celle-ci incombe maintenant au créateur. Il doit en effet au premier contact avec l'outil, commencer par construire le matériau producteur du son. Nous appellerons instrument ce dernier, pour renouer contact avec les catégories traditionnelles, mais en soulignant que le sens est plus général et surtout qu'il y a une différence fondamentale avec le concept initial. L'instrument est ici une représentation. C'est un artifice, un processus

numérique particulier, avec lequel, grâce aux trois catégories de transducteurs (acoustiques, gestuels et visuels), s'établit une relation sensori-motrice, multisensorielle et en temps réel avec le musicien.

C'est à ce titre qu'il nous importe de dire que l'ordinateur n'est pas un instrument. C'est, dans cette première fonction, un moyen de représentation du monde instrumental. Disant cela, nous pensons en finir avec l'ambiguïté du statut de l'ordinateur : au niveau de la production du son, il est instrument sans l'être, parce qu'il le représente. Cette distinction peut paraître gratuite et spéculative, cependant elle donne d'un coup un éclairage nouveau, une catégorisation plus cohérente des actes, même si dans la pratique ces catégories se prêtent à diverses transgressions.

Cette représentation généralise cependant toutes les représentations de type analogique (la catégorie des représentations que Paulus (1969) rattache à la lignée du « portrait »), en ce sens que les conduites que l'on peut avoir vis-à-vis de ce substitut sont complètes, réellement analogues sur le plan actif et sur le plan perceptif aux conduites applicables à l'objet de référence, alors que le portrait reste figé dans son expression, quels que soient les comportements de la personne qui le contemple.

La première catégorie d'activités du créateur est donc de représenter l'« instrument ». Il doit pour cela disposer à nouveau d'un matériau, soit, en fait, d'un langage général de description du monde instrumental. La conception et la mise en œuvre d'un tel langage lié aux processus de synthèse fait précisément l'objet d'un de nos axes de recherche, et l'on peut dire que, par rapport à cette fonction de représentation, si elle introduit une catégorie nouvelle pour le créateur, elle définit également une catégorie particulière des activités du chercheur qui s'arrête là où commence celle du créateur.

La conception de ce langage doit se fonder sur une modélisation de l'univers instrumental. De même que nous avons déplacé le propos du niveau psychoacoustique au niveau de la production, nous devons alors tenter un autre déplacement : de l'analyse acoustique à ce que l'on pourrait appeler une « analyse causale », c'est-à-dire la caractérisation de ce qui est pertinent pour la perception non plus en termes de paramètres acoustiques mais d'éléments constitutifs du processus causal susceptible de produire telle ou telle perception.

Les autres fonctions de l'outil de création se déduisent de ces catégories et de leur articulation. Sans entrer dans le détail, signalons simplement qu'elles doivent inclure des moyens de mémorisation, de représentation, de traitement et de composition des différentes catégories d'objets, de processus et de phénomènes en jeu.

On dira que la différence entre ce « paradigme » et les démarches plus traditionnelles de l'informatique musicale ne tient qu'à un fil.

Wessel pourra objecter que son idéal d'outil peut parfaitement recouvrir ces perspectives et qu'il suffit, par exemple, pour motiver l'heuristique, de placer en amont des paramètres perceptuels bien identifiés et bien contrôlés, des modèles de structuration divers et, pourquoi pas, des modèles causaux.

Nous pensons que cela n'est pas réalisable avec une efficacité égale à celle où le modèle causal est envisagé comme processus de production élémentaire. C'est ici que les contraintes propres à l'ordinateur interviennent : il y a une perte d'efficacité dans le fait de mettre bout à bout deux chaînes, l'une répondant à un processus d'organisation des paramètres, l'autre établissant la conversion entre ces paramètres et les paramètres de contrôle de modèles de production fonctionnels. La même critique peut être faite au système FORMES de Rodet

et de son équipe à l'I.R.C.A.M. (Rodet et Cointe 1984). Dans notre cas, où le modèle de production est un modèle physique, il est clair qu'à ce titre et en tant que modèle de production stricte, il est plus coûteux et moins général qu'un modèle fonctionnel; mais le fait qu'il tende à déterminer et intégrer les idiosyncrasies utiles compense le coût de calcul supplémentaire. D'autre part, il n'est pas envisagé ici seulement comme modèle de production sonore, mais comme modèle pour restituer une situation instrumentale intégrale. Cette tâche est plus large, donc nécessairement plus coûteuse que la simple tâche de production, et en tout cas irréalisable avec les modèles fonctionnels.

Le pari qui caractérise cette démarche est dans le fait de considérer que la manière de découvrir est au moins aussi importante que ce que l'on découvre, et que la généralité d'un système n'a pas de réel intérêt si elle n'est que potentielle.

Nous avons délibérément déplacé le propos. C'est que nous considérons que la première nécessité n'est pas tant de savoir quel est le sonore possible, mais quels sont les actes possibles, qu'il ne sert à rien de savoir que tout l'univers sonore est accessible si l'on n'a pas de chemin pour le parcourir et pour l'investir de sens; que la richesse musicale tient plus à celle des relations et des processus heuristiques que permet l'outil qu'à une sorte de richesse intrinsèque de l'objet sonore final; enfin que l'obéissance à la pensée passe nécessairement par l'obéissance à la main.

Ainsi ce débat sur le timbre nous paraît-il capital, mais nous considérons qu'une tâche est de comprendre le fonctionnement de l'oreille, les lois de la construction du sonore, et qu'une autre est de créer l'outil qui permette la création. Une chose est de développer des systèmes permettant aux langages musicaux les plus ouverts et les plus généraux de se définir, une autre chose est de prendre en charge le processus créatif selon tous ses aspects.

Pour le premier niveau nécessaire, celui de la production du matériau sonore élémentaire, nous pensons que l'outil doit offrir en premier lieu des moyens pour manipuler et maîtriser des représentations des causes plutôt que des moyens pour combiner les effets. La différence théorique est fondamentale et les conséquences techniques sont considérables: la conception globale de l'outil en découle intégralement.

Il s'agit pour nous, non pas d'investigations instantanément opératoires, mais d'un programme de recherche dans lequel nous avons déjà effectué une certaine avancée (cf. Cadoz, Luciani, Florens 1981 et 1984) et qui se poursuit aujourd'hui avec la perspective prochaine de s'articuler sur une pratique créative mettant à l'épreuve ces concepts.

# **L'évolution scientifique de la notion de matériau musical\***

par Marie-Elisabeth DUCHEZ

## **I. La notion de matériau musical dans la musique occidentale**

### *1. Les postulats épistémologiques de la notion de matériau musical*

L'évolution actuelle du matériau de la musique, due à l'extraordinaire développement de la science et de la technologie contemporaines, qui a amplifié la connaissance du son et transformé les procédés de sa production et de sa manipulation, et, par là, modifié la création musicale elle-même, réclame la compréhension opérationnelle de la notion de matériau musical. La saisie du rôle du matériau dans la composition musicale en général, et dans la recherche musicale des dernières décennies en particulier, rend nécessaires l'élucidation de cette notion essentielle à la pensée musicale occidentale, son historisation et son actualisation; nécessaire, la précision de la fonction opératoire de cette notion dans l'acte intellectuel qu'exige la création musicale complexe: acte intellectuel qui organise les décisions de nature émotionnelle (intuition, sensibilité) et les choix artistiques (goût). J'emploie volontairement, pour la forme de connaissance générale dont je vais étudier le contenu, le rôle et l'histoire, le terme *notion* de préférence au terme *concept* qui désigne une connaissance plus précise: la notion définit ici une classe d'objets tirée de l'expérience musicale, ou plutôt le champ (plus ou moins bien circonscrit) de rencontre d'une action (plus ou moins bien définie), *la production de la musique*, et d'une réaction (plus ou moins bien connue) de l'environnement nécessaire à cette action, *le monde des sons* de toutes origines.

Du point de vue de la connaissance, la notion de matériau peut être

---

\* Je remercie vivement la direction et les collaborateurs de l'I.R.C.A.M. (Institut de Recherche et de Coordination Acoustique/Musique) et du G.R.M. (Groupe de recherche musicale de l'Institut national de l'audiovisuel), qui m'ont permis de consulter les documents sur leurs travaux récents et sur les recherches techno-musicales françaises et internationales de ces dernières années (janvier 1986).

comprise comme un phénomène cognitif dépendant de l'expérience, mais aussi comme une entité physique connaissable et rationalisable par la science. Du point de vue de l'action musicale, elle peut être comprise comme objet, ainsi le *sonus* médiéval, ou comme processus de production et d'utilisation, ainsi le son de la voix, le son instrumental. En résumé, elle exprime les notions de cohérence (unité de saisie), de causalité (implications constructives), de potentialité (domaine de créativité de structures signifiantes) et de résistance (maîtrise à conquérir entre l'invariance et la transformation). Elle peut signifier un être matériel, dans une conception « chosiste » qui insiste sur la « substance » avec ses qualités premières abstraites dans un espace-temps; mais elle est également opératoire dans un mode d'existence conceptuelle, par le système de relations réelles ou apparentes qu'elle permet d'instaurer. L'utilisation opérationnelle de la notion de matériau implique trois postulats sous-jacents: la préexistence du matériau à l'œuvre; la permanence et la stabilité du matériau dans la perception, la mémoire et l'imagination du créateur; les rapports entre le matériau, le créateur et sa création. Cette dernière propriété caractérise principalement « la vocation formelle du matériau » (Focillon): celui-ci est la cause préexistante et permanente sur laquelle le constructeur, le compositeur agit et dont l'œuvre dépend en partie; dans le dualisme traditionnel matière-forme, il est la matière dont le créateur tire une multitude de formes.

Je considérerai ici cette notion de matériau à la fois selon la perspective théorique de la connaissance et de la rationalité conceptuelles, et selon la perspective, plus proche des interrogations immédiates, de l'expérience musicale et du sujet créateur, deux perspectives inséparables dans toute réflexion épistémologique sur la musique. Il faut noter que la notion même de matériau musical est contestée: ainsi Othmar Reich, limitant la notion de matériau au domaine physique (dans le cas du son musical, aux vibrations élastiques de l'air), en refuse l'emploi pour notre expérience perceptive de la musique, qui pour lui n'est faite ni de sons, ni de « sensations de sons, au sujet desquelles on ne peut pas parler de matériau »; il n'admet l'emploi du terme que dans un sens métaphorique pour la création musicale qui est plus complexe qu'une réunion de sons ou de sensations de sons, et qui part d'une expérience perceptive préformée; le véritable matériau de la musique est alors pour Reich la totalité de l'expérience musicale du compositeur et des influences intellectuelles, esthétiques, émotionnelles qu'il subit (Reich 1938). Sans pour autant attribuer au matériau musical un « droit ontologique », il est difficile d'admettre cette conception du matériau, qui confond ce qui constitue la musique et ce qui la conditionne.

Dans la pensée musicale occidentale traditionnelle, *il est généralement admis que le matériau de la musique est le son*<sup>1</sup>. Nous verrons plus loin sous quel mode d'existence le son peut être considéré comme matériau de la musique; mais durant ces dernières décennies, ont été proposées des conceptions moins « atomisées »<sup>2</sup> du matériau musical: celui-ci consisterait dans les relations entre

1. L'affirmation du son comme matériau de la musique se retrouve chez tous les théoriciens occidentaux du vii<sup>e</sup> siècle (Isidore de Séville 1911, L. III, « De musica », chap. 191 : «... sonum, quae materies cantilenarum est...», et chap. 201 : «sonum, ex quo colligitur musica...») au xx<sup>e</sup> siècle: «Das Material der Musik ist der Ton worauf er zunächst das Ohr» (Schoenberg 1911: 16), et: «Noch einmal der Ton ist der Material der Musik» (*ibid.*: 18). Ajoutons que, selon Boulez, «c'est une préoccupation touchant le son lui-même qui a été, à partir du xviii<sup>e</sup> siècle, une des constantes de l'expression musicale française» (1975b: 20).

2. Cf. Adorno 1963: 201.

les sons, dans l'ensemble que les sons constituent dans l'intervalle d'octave<sup>3</sup>, dans les corps sonores et les matériels qui produisent le son<sup>4</sup>, dans certains types d'agrégrats de sons<sup>5</sup>, etc. Pour certains musiciens contemporains, le matériau de la musique n'est pas seulement le son mais aussi le temps, et en particulier pour John Cage, le temps des silences<sup>6</sup>. Toutes ces formes de matériaux pouvant se résoudre en un élément premier, le son, je m'en tiendrai au son comme base généralisée du matériau traditionnel.

Pour cerner la notion de matériau musical, il faut considérer les différents étages de la problématique de la création musicale en Occident : le phénomène sonore des sons physiques ; la perception humaine de ces sons physiques, réponse psychophysiologique au stimulus sonore ; le choix musical des sons perçus utilisés en musique (des plus « naturels », la voix, aux plus « artificiels », les sons synthétisés par ordinateur) ; enfin la composition musicale elle-même et ses implications esthétiques. Dans ce déroulement, le matériau de la musique, sur lequel ont prise le choix et la volonté créatrice, n'est pas le son physique, mais le son perçu, le résultat mental de la perception du son physique : conditionné en partie par le premier stade de la création musicale (stade physique), le stade perceptif en détermine le troisième (stade musical) et le quatrième (stade compositionnel). On peut donc centrer la notion vague et floue de matériau musical sur le concept de son perçu, écouté, entendu, dépendant du son physique représenté par des grandeurs mesurables et mathématiquement formulables ; et cette notion, liée ainsi à toute la problématique de la musique, appartient et participe à la triple dialectique musicale exprimée par les trois dualismes : naturel/culturel, concret/abstrait, sujet/objet.

## 2. Indétermination du contenu de la notion de matériau musical

La difficulté que pose la conception du traitement compositionnel du son perçu comme matériau de la musique est *l'irréductibilité du son perçu par la sensibilité au son physique de l'acoustique*. Le son physique est un phénomène énergétique, consistant en oscillations régulières de la pression de l'air (c'est-à-dire en alternance de compressions et de dilatations de ce milieu élastique) ; le son perçu sensible est un fait de conscience, possédant avec le son physique qui le conditionne des correspondances étroites, mais qui ne sont ni absolues ni constantes (car elles dépendent des propriétés physiologiques de l'oreille et des modalités psychologiques de l'audition) ; l'un et l'autre appartiennent à deux ensembles de réalités différents : celui des propriétés ou paramètres physiques du son, étudiés objectivement par la science avec une précision toujours croissante (quantification et mesures de plus en plus fines, enregistrement, manipulation électronique, enfin synthèse) ; et celui des perceptions subjectives psychophysiologiques de l'audition, détectées par l'oreille, transmises par le système nerveux et interprétées par le cerveau, seulement classables et ordonnables. Bien que le langage courant les ait souvent confondus dans un

3. Cf. Francès 1956: 39-50.

4. Définition causaliste de la musique concrète. Cf. Parmegiani in Mion, Naftiez et Thomas 1982: 51-59, 79, 109-114 et 132.

5. Cf. Ligeti 1965: 5-19.

6. Cf. Cage 1970: 30-33, et 1976: 30-33. Ce temps silencieux, «partie intégrante des cellules rythmiques» (Boulez 1966: 147-182, ici p. 164), F. Bayle le valorise musicalement en le nommant «le son du silence» (cf. note 20).

malentendu verbal maintes fois signalé<sup>7</sup>, il n'y a pas d'équivalence exacte entre ces deux mondes, dont le premier est le substrat du second sans en être l'unique fondement. En effet, l'organisation perceptive, originairement utilitaire, convertit en *relations perçues comme qualités sensibles*, et interprétables comme potentialités esthétiques, des *relations exprimées en termes de paramètres physiques*. Mais cette conversion n'est pas linéaire: elle est discriminative, intégrative, variable et modifiable (Ludin 1967). Le système nerveux central et périphérique répond au stimulus physique par seuils quantitatifs, et par construction de modèles (patterns) groupant les signaux acoustiques dans des types de réactions plus ou moins définies appelées qualités sensorielles; le cerveau apporte à l'interprétation des perceptions ses «structures cognitives», et, capable d'apprendre, fait intervenir l'expérience mémorisée et l'éducation: à l'activité du mécanisme neural, s'ajoute ainsi l'apport du conditionnement culturel, et notre perception de la musique «fonctionne selon les plis, empreintes, acquisitions de notre expérience des formes»<sup>8</sup>.

Il n'y a donc pas association simple entre les paramètres du stimulus physique sonore et les réponses sensibles de la perception auditive: les variations des paramètres (quantités physiques) ne donnent pas de variations exactement égales des qualités sensibles (attributs psychophysiologiques); l'ensemble des réponses de l'audition à un ensemble de stimuli acoustiques n'est pas la somme des réponses séparées; d'où la complexité des relations psychoacoustiques entre paramètres physiques sonores et qualités auditives du son: complexité déjà importante pour les sons sinusoïdaux simples, auxquels on a longtemps, dans une approximation simpliste, assimilé les sons musicaux, mais complexité encore accrue pour les sons possédant plusieurs harmoniques (sons instrumentaux), les superpositions de sons (émission de consonances et de dissonances, de battements, de sons de combinaison), et *a fortiori* pour les sons complexes de la production musicale contemporaine. Ainsi les paramètres physiques de fréquence, d'intensité, de temps, et l'analyse du spectre harmonique, correspondant aux caractéristiques de l'onde sonore (fréquence, amplitude, temps, forme), ne correspondent pas aux qualités sensibles qui leur répondent dans l'audition: la *hauteur*, dont la perception présente des «paradoxes»<sup>9</sup>, et dont les intervalles, perçus comme des distances, des différences et non des rapports de fréquence, possèdent certaines propriétés (octave) impliquant qu'elle n'est pas une fonction unidimensionnelle de la fréquence<sup>10</sup>; la *sonie* (loudness), qui ne dépend pas uniquement de l'intensité, mais aussi de la fréquence et du timbre; la *durée rythmique*, toute subjective, dont la perception ne suit pas la division chronométrique du temps et est liée au contexte musical; le *timbre*, résultat perceptuel d'interférences d'éléments physiques, dont les récentes analyses par l'ordinateur ont montré que les propriétés spectrales des harmoniques du son (nombre, nature fréquentielle,

7. Ainsi Dahlhaus 1972: 153-155 et Schaeffer 1966: 169-197.

8. Expression de F. Bayle, 1982. Cf. Roederer 1975: 8-12, et Diamond et Masterton 1978, vol. II: 407-448, spécialement pp. 428-448. Sur la nature et le rôle des structures cognitives que l'auditeur apporte à l'audition des sons dans un contexte musical, cf. Shepard 1982b: 343-390.

9. Ces paradoxes de hauteur ont été récemment présentés et musicalement exploités par J.-C. Risset, qui a montré, grâce à une dissociation technologique de la fréquence fondamentale du son complexe et de l'enveloppe spectrale, des sons d'octaves semblant descendre pour aboutir à un son plus aigu, descendre en restant sur la même note, descendre alors qu'on double la fréquence, et même descendre indéfiniment. Cf. Risset 1978b: 613-616, et 1977: 263-268.

10. Cf. entre autres Shepard 1982b: 369-385.

intensité, répartition de l'énergie) ne sont pas les seuls facteurs, les variations temporelles (fréquence des formants, attaque, évolution dynamique, modification de l'enveloppe spectrale dans le temps, etc.) jouant un rôle essentiel<sup>11</sup>. Et comme ces qualités, difficilement séparables les unes des autres, ne peuvent pas être mesurées directement, comme il est difficile de traduire en nombres ce qui est perçu comme expérience subjective, il n'y a pas de corrélation parfaite entre les échelles physiques de fréquence, d'intensité, de temps et les échelles sensibles de hauteur, de force et de durée.

De plus, la non-linéarité de la réponse psychophysiologique au stimulus acoustique provoque la construction d'effets adventifs, de hauteurs sonores perçues par l'oreille alors qu'elles n'existent pas objectivement dans le signal physique<sup>12</sup>: cette audition subjective est due soit à l'activité de l'oreille interne, comme les *sons de combinaison* ou les *sons différentiels*<sup>13</sup>; soit à l'activité du système neural, comme les battements des consonances mal accordées (*battements subjectifs*), ou la *hauteur virtuelle*, perception subjective de la fondamentale manquante par synthèse énergétique cérébrale à partir des premiers harmoniques supérieurs émis objectivement<sup>14</sup> (synthèse dont le processus est le même que celui qui nous donne la perception d'une hauteur unique, la fondamentale, pour un son comprenant plusieurs harmoniques, dont les fréquences sont des multiples de celle de cette fondamentale).

L'étude du son sensible, de la perception auditive, ne date que du siècle dernier avec Helmholtz, et ne s'est réellement développée expérimentalement que depuis cinquante ans; et l'étude psychoacoustique des relations complexes entre les structures scientifiques du son et l'effet perçu ne date que du milieu de notre siècle. Jusqu'à une époque assez récente, les stratégies destinées à obtenir des effets sonores perçus, stratégies de production et de manipulation du son dans la lutherie traditionnelle, n'ont utilisé (avec, bien entendu, la connaissance musicale perceptive et intuitive) que la connaissance scientifique du son physique. Du point de vue psychophysiologique, ces stratégies étaient basées, implicitement ou explicitement, sur une approche mécaniste insuffisante de la conversion des propriétés bien définies de l'onde sonore en groupes plus ou moins bien définis de signes neuraux; cette approche tenait peu compte du rôle très actif du système nerveux central, et de la nécessité de compétences perceptives de haut niveau (synthèse mentale, mémorisation, comparaison, prévision, etc.) pour l'interprétation des séquences sonores. La connaissance objective du matériau musical était donc réduite à celle de son aspect physique, et la connaissance de la relation du son physique au son perçu était, pour l'utilisateur du matériau, pratiquement empirique. De nos jours, la psychoacoustique étudie la fonction psychophysiologique qui traduit les valeurs physiques du stimulus sonore en valeurs psychologiques conscientes; elle essaie

11. Voir dans le présent ouvrage les articles de Risset et Wessel, McAdams et Saariaho, et Risset 1986: 9-20.

12. On a appelé « composantes hétérodynes » les composantes subjectives que l'audition a la capacité d'engendrer en réponse aux signaux extérieurs. Cf. Benade 1976: 257-271.

13. Il s'agit de l'activité de la région correspondante de la *membrane basilaire*, selon la théorie de la position spatiale de l'audition. Rappelons que, selon cette théorie, la fonction première de l'oreille interne est de convertir le modèle de vibration temporel qui l'atteint, en modèle spatial d'activité neurale.

14. Résultat d'un processus neural de haut niveau pour les basses fréquences, cette « fondamentale virtuelle », pressenti par Rameau, a été précisée par les travaux psychoacoustiques récents de E. Terhardt, dont je donne le résumé et la bibliographie dans mon article de 1986.

de déterminer des relations quantitatives entre les paramètres du signal acoustique et les réactions de l'audition (oreille et système nerveux central)<sup>15</sup>; et son étude des perceptions acoustiques est mise en corrélation avec l'analyse des opérations de l'intelligence. Le développement actuel de la psychoacoustique et de l'étude de l'écoute musicale comme processus actif, qui devraient «informer» la création musicale dont la perception auditive est le «point de départ obligé»<sup>16</sup>, ouvre une voie d'élargissement de la connaissance du matériau de la musique, et une possibilité d'extension de la notion de matériau musical dans sa dimension perceptive<sup>17</sup>.

Bien que l'oreille n'assure pas l'équivalence exacte entre la réaction psychophysiologique de hauteur du son et les différences de fréquences, l'identification de la hauteur psychophysiologique et de la fréquence physique est valable pour les sons simples de fréquence moyenne sur lesquels s'appuie la théorie musicale traditionnelle; mais pour les sons complexes des instruments et les combinaisons de sons de la polyphonie et de l'harmonie classique, qui concernent la pratique musicale traditionnelle et que traite l'ancienne théorie, cette identification a posé des problèmes pendant plus de dix siècles: la manipulation de ce matériau sonore selon les lois physiques connues alors ne pouvait pas satisfaire pleinement aux exigences musicales perceptives, et, dans les œuvres esthétiquement valables, la perception conservait toujours la décision. Dans la fonction opératoire, par laquelle elle préside aux débuts et aux fins de la musique, la perception du son, jointe à l'observation de ses procédés de production (voix, lutherie, appareillage complexe), opère (par reconnaissance et identification de la permanence subjective et des variations sensibles de certains aspects du son) le repérage des caractères prégnants sensiblement et pertinents musicalement du matériau musical: pour la musique de l'Antiquité gréco-romaine et la musique occidentale jusqu'au xx<sup>e</sup> siècle), c'est la *hauteur du son*, caractère sensible lié à la fréquence physique, ordonnable, mesurable, mais aussi hiérarchisable et structurable, grâce à des relations de tension entre certaines de ses valeurs différencierées. Pendant dix siècles (période modale, puis période tonale), le rôle constitutif de la hauteur de son prédomina dans notre musique, en raison de ses riches possibilités de variation temporelle et de mise en relations; et, par la priorité de sa fonction, elle reléguera les autres qualités sensibles du son au rôle secondaire d'attributs du matériau. Théoriquement

15. On a pensé les problèmes auditifs sous leur aspect mécanique, puis durant les dernières décennies, sous leur aspect électromécanique. Ils sont maintenant éclairés par la cybernétique (science des modèles fonctionnels) et la théorie de l'information (transmission des messages d'un émetteur de signal à un récepteur au moyen d'un code). Il existe déjà des programmes d'ordinateur qui simulent certains comportements de notre oreille, et qui permettent, lorsqu'on donne la description physique d'un son, d'en déduire une image qui sera perçue; cf. Manoury 1984: 157-166, ici p. 164. Sur les études actuelles du codage, stockage et processus de l'information musicale cérébrale (dissociée de la fonction linguistique), cf. Zatorre 1984: 196-221. Sur la psychoacoustique, cf. Zwicker et Feldtkeller 1981.

16. Risset 1985b: 211-219, ici p. 212; Bayle 1985: 211-218, ici p. 211; et Bayle insiste plus loin sur la nécessité d'une élucidation «portant sur les mécanismes réglant la structure physique des êtres sonores, autant que sur les propriétés physiologiques de l'audition et psychologiques de l'écoute musicale dynamique et inventive».

17. C'est ainsi que l'étude de la formation et de l'unification de l'*image auditive* (métaphore «qui combine les aspects des impressions auditives comprenant la perception, la mémoire et l'imagination»), grâce à laquelle on perçoit comme *une seule entité* les éléments acoustiquement disparates d'un son complexe, permet de modifier l'organisation perceptive des données sensorielles du son (organisation de fusion et de cohérence dynamique) et d'en modifier l'écoute. Cf. Mc Adams 1982 et 1984b: 289-313.

celui-ci fut, en première approche, identifié à *la hauteur du son discret représentée par sa note*: les trois concepts de son discret, de hauteur de son et de note musicale ont en effet été élaborés complémentairement au IX<sup>e</sup> siècle, dans le même mouvement théorico-musical de recherche de représentation du matériau musical<sup>18</sup>. Et jusqu'au XX<sup>e</sup> siècle, le son de hauteur fixe et sa note (le son de l'échelle chromatique, tempérée à partir du XVII<sup>e</sup> siècle), «en quelque sorte hypostasié» et «considéré comme une réalité en soi»<sup>19</sup>, en fut regardé comme le seul matériau de la musique.

La notion de matériau musical est solidaire de la notion de composition et est née sans doute en même temps, au IX<sup>e</sup> siècle, à l'époque de la naissance de la polyphonie. Car la raison d'être fonctionnelle de cette notion est l'implication du rapport de ce qu'elle représente au créateur qui l'utilise en lui appliquant ses capacités sensorielles et cognitives: c'est non sans raison qu'Adorno insiste sur l'erreur des dodécaphonistes, qui ont cru que le matériau (le son) avait déjà «en soi une existence, au-delà de la simple réalité physique»<sup>20</sup>, alors qu'il ne devient ce qu'il est que dans le mouvement qui le rapporte au sujet musical. L'aspect essentiel de la signification de la notion de matériau est, je l'ai déjà dit et j'y reviendrai encore, ce *rappor matériau/compositeur*. Non seulement la mise en relation des caractères prégnants du matériau (par exemple, l'intervalle) et la combinaison de ces relations (par exemple, l'accord) sont le résultat de l'action du compositeur; mais c'est la réception du compositeur, son écoute esthétique et poétique, qui fait du son physique (nature extérieure) un son perçu (relation homme/nature), et c'est son choix qui fait de ce dernier un son musical: François Bayle affirme très justement que le passage nécessaire du son perçu au son musical — du matériau sonore, qui contient «dans sa gangue» le matériau musical potentiel, au matériau musical lui-même, «déjà perceptible et provocateur» dans le matériau sonore — est l'œuvre du musicien; et que la «sélection» du matériau, «son travail» qui permettra de lui donner «valeur de signe», «sont partie intégrale et même considérable de la composition»<sup>21</sup>; ainsi que le résume très bien Jean-Claude Risset, «c'est la musique qui fait le son»<sup>22</sup>. Dans ces trois opérations de la création musicale (perception, choix, mise en relation), la connaissance du son (connaissance physique et psychoacoustique) intervient constamment (consciemment ou inconsciemment); elle conditionne la représentation du son, qui conditionne sa perception et qui détermine l'imagination du son et son organisation en structures. L'œuvre musicale est nécessairement soumise aux lois physiques du son et aux lois psychophysiologiques de sa réception; le compositeur doit, pour maîtriser le matériau, tenir compte de ces lois: Adorno a clairement souligné que «les directives que le matériau transmet au compositeur et que celui-ci transforme en leur obéissant se constituent dans une immanente interaction»<sup>23</sup>. La tension entre le compositeur et le matériau donne lieu à une avancée

---

18. Cf. Duchez 1979: 54-73 et 1983: 22-65.

19. Adorno 1963: 306-307.

20. Extraits de textes inédits de François Bayle, Directeur du G.R.M. (Groupe de recherche musicale de l'Institut national de l'audiovisuel), réunis par Jean-Christophe Thomas en vue d'une publication ultérieure: *Idées d'acousmatique*. Dans une même perspective, Boulez affirme: «La relation de l'objet sonore en tant que tel avec le texte musical reste pour moi le problème fondamental». Cf. 1985: 271-284, ici p. 281.

21. Risset 1985a: 59-76 ici p. 70.

22. Adorno 1962: 45.

dialectique : le compositeur, en exploitant le matériau existant et en cherchant à faire surgir de nouvelles potentialités, en provoque l'évolution par son exigence esthétique ; et, en maîtrisant cette évolution, il rejette les catégories musicales correspondant au matériau non évolué.

L'évolution essentielle de la notion de matériau, de la conception de la nature même du matériau de la musique, consiste dans le fait que celui-ci, longtemps pris en compte comme *donné*, est maintenant considéré comme *construit* : de nos jours, la première relation compositeur/matériau n'est pas la découverte d'un *donné*, mais la construction d'un « possible ». L'évolution de la notion de matériau musical correspond à l'histoire des possibilités de production de la musique.

## II. Le caractère historique de la notion de matériau musical et de la notion de son musical

### 1. *L'historicité de la notion de matériau musical*

La compréhension et l'exploitation théorique et pratique de la notion de matériau musical ne peuvent être fécondes qui si elles s'appuient sur la conscience de son historicité. Cette historicité est liée au caractère évolutif et inépuisable de la notion ; elle a été réalisée dans la formation, le développement, les transformations de la notion de son musical comme élément de base à utiliser, du *continuum formulaire de la voix chantée* (vi<sup>e</sup>-viii<sup>e</sup> siècle) à l'*échelle chromatique des sons discrets instrumentaux*, puis au retour au *continuum sonore dans le matériau électronique* contemporain (xx<sup>e</sup> siècle) — en passant par le matériau sonore intervallique (ix<sup>e</sup>-x<sup>e</sup> siècle), les sons discrets hiérarchisés dans l'échelle diatonique (x<sup>e</sup>-xi<sup>e</sup> siècle), l'échelle diatonique fixée (xi<sup>e</sup>-xv<sup>e</sup> siècle), l'échelle diatonique et le chromatisme (xi<sup>e</sup>-xv<sup>e</sup> siècle). Cette historicité concerne la conception du son aussi bien comme phénomène naturel (structure physique et réception psychoacoustique dont la connaissance évolue) que comme phénomène culturel (moyens de production, caractère esthétique, valorisation philosophique). Que le son soit un « fait de culture », un « phénomène de civilisation »<sup>23</sup>, est devenu une idée triviale ; et j'ai montré ailleurs que la notion de son discret était, dans l'Occident chrétien au ix<sup>e</sup> siècle, le résultat d'une conquête théorique<sup>24</sup>. Adorno a insisté sur le caractère social et historique du matériau musical<sup>25</sup> ; et il attribue à la nature historique du « concept » de matériau musical sa « résistance... opposé(e) obstinément à toute désignation abstraite », car « le matériau sonore... change avec les époques ; et l'imagination concrète de la musique n'est pas séparable de ses différents états »<sup>26</sup>.

L'évolution de la notion de matériau musical est liée réciproquement à l'évolution empirique du matériau lui-même, et directement à l'évolution scientifique de la connaissance de ce matériau : cette connaissance scientifique influe d'ailleurs considérablement sur l'évolution du matériau lui-même, qu'il soit, comme dans le passé, dégagé de la nature, ou, comme de nos jours, inventé

23. Cf. Eco 1971: 46-56, ici p. 53; Dufourt 1980: 26. Avant eux déjà Merriam 1953: 27 : « Les sons de la musique sont formés par la culture dont ils sont une partie ».

24. Cf. Duchez 1985: 97-148.

25. Adorno 1962: 43-46.

26. Adorno 1963: 301-302.

par l'esprit techno-scientifique. Je n'insisterai pas, après Adorno, sur le processus social de l'évolution du matériau, et je ne considérerai ici que le processus intramusical, qui va dans le même sens que le premier sans coïncider avec lui par un rapport de causalité simple. Le processus intramusical suit, en gros, deux lignes principales le plus souvent intriquées et qui s'influencent mutuellement : l'évolution de la production du son et celle de son utilisation. Longtemps quasi identifié à sa source de production — ainsi les termes *vox* et *chorda* désignaient le son dans la musique antique et médiévale<sup>27</sup> —, le son musical évolue avec ses moyens de production physique ; le résultat de la production, le son en soi, ne change pas de nature physique (vibrations plus ou moins régulières de l'air) ; mais le processus de production étant différent, l'approche du résultat est différente. Du son naturel de la voix du plain-chant au son instrumental obtenu par un geste, de cette obtention directe du son à la technologie électronique et à la synthèse du son à l'ordinateur, le musicien a eu accès à des dispositifs producteurs de sons de plus en plus précis et sophistiqués, et à une diversité de sons toujours croissante ; on doit d'ailleurs remarquer que si la composition avec le matériau traditionnel montrait une certaine constance subjective du matériau (famille de sons, hiérarchie, liaison théorique), la composition contemporaine semble donner moins d'importance à la constance du matériau et insiste surtout sur ses contrastes. Et il faut une fois encore citer Adorno, affirmant avec raison que le matériau de la musique « n'est rien moins que (...) l'état des forces de production techniques auquel les compositeurs sont confrontés à une époque donnée. Aspects physique et historique s'y chevauchent »<sup>28</sup>. De la vocalité médiévale, d'abord langage chanté (où le son est ontologiquement lié au texte et représenté avec lui par des neumes), puis polyphonie et modalité grégorienne (où le son a conquis son indépendance par rapport au langage, et sa notation spécifique), au son instrumental autonome de la musique classique, et au son synthétisé selon les techniques contemporaines, la production du matériau musical est devenue de plus en plus indépendante de l'intuition de l'homme et de plus en plus indépendante de ses représentations. En même temps, la variable dominante du son et la pertinence musicale de ses propriétés sensibles ont changé : après la primauté millénaire de la hauteur, le timbre, qui est maintenant détaché de la permanence instrumentale et dont le caractère pertinent s'est confirmé grâce à la musique électroacoustique, est devenu, nous le verrons, le principal objet des préoccupations compositionnelles ; tandis que la durée musicale, longtemps liée au langage et au geste humains, rendue plus inhumaine par les règles des modes rythmiques et de la mesure classique, est devenue de nos jours partie constitutive du son.

Dans ces conditions, l'utilisation du matériau est amenée à changer : ainsi, à la période classique, la limitation du matériau musical, réduit aux sons de hauteur prévue, de valeur harmonique déterminée ; ainsi le choix du tempérament égal et les essais de fixation du diapason aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles ; ainsi, du XVIII<sup>e</sup> au XX<sup>e</sup> siècle, le parallélisme entre une recherche toujours plus poussée de la pureté et de la variété du son, et de la complexité croissante de la composition et de l'orchestration. La modification du matériau contribue à la modification des formes d'expression, sans que les deux modifications soient

---

27. Cf. Duchez 1985.

28. Adorno 1963: 302.

concomitantes<sup>29</sup>; mais ce sont le plus souvent les exigences compositionnelles d'une nouvelle musique qui incitent à rechercher des sons possédant des qualités nouvelles, donc à trouver de nouvelles sources ou à modifier les anciennes: ainsi la modification de l'utilisation de la voix aux XII<sup>e</sup>-XIII<sup>e</sup> siècles, l'invention de la musique électronique au milieu du XX<sup>e</sup> siècle. Le choix du matériau musical se modifie en même temps qu'évoluent les relations compositionnelles entre ses éléments: ainsi la disparition progressive de la différence musicalement qualitative entre son et bruit, peu affirmée au Moyen Age et à la Renaissance, rigoureuse à l'époque classique, qui a perdu sa signification esthétique à notre époque. Toutes ces mutations du matériau correspondent à une extension de la sensibilité, mais aussi de la pensée conceptuelle; et la notion de matériau musical change quand change le mode de production de la musique, car elle est fonction de la médiateté du résultat de la production du son par rapport à l'intuition du compositeur: elle est ce résultat lui-même quand il est quasi immédiat, comme la voix du plain-chant ou le son des instruments de la musique classique.

La notion de matériau musical se renouvelle en s'étendant dans ses propres frontières, tandis que le son, inépuisable matériau, étend son domaine au fur et à mesure des conquêtes artisanales, scientifiques, technologiques, dans un dépassement de plus en plus poussé. Le développement historique de la connaissance scientifique du son physique, de sa réception psychophysiologique et de sa production technique, est un facteur essentiel du développement historique de cette notion: que le matériau musical soit trouvé naturellement, comme dans la *Scientia musica* antique et médiévale et dans la science expérimentale classique, ou qu'il soit construit technologiquement comme dans l'électroacoustique et l'informatique contemporaines, la conscience du musicien doit intégrer le son, ses paramètres, ses possibilités de relations objectives. Je ne peux pas m'étendre ici sur les conséquences de l'évolution de la science du son: de la conception antique et médiévale des vibrations sonores comme «coups dans l'air» à la conception classique et moderne d'une succession périodique de pressions de l'air en ondes longitudinales<sup>30</sup>; de la connaissance classique du son simple à la connaissance actuelle du son complexe et de ses variétés inharmoniques et multiphoniques<sup>31</sup>; de la connaissance mécanique du son instrumental de l'acoustique classique à la micro-analyse et au contrôle

---

29. Schaeffer 1972: 161-162.

30. La théorie scientifique de l'onde sonore, possédant une longueur d'onde spécifique, remplaça alors (XVII<sup>e</sup> siècle) l'analogie de l'onde transversale de l'ancienne physique, représentée par l'image des cercles de la pierre dans l'eau.

31. Les sons complexes sont constitués d'une superposition d'harmoniques qui n'ont pas entre eux des relations numériques simples. Les *sous inharmoniques* (par exemple le son des cloches), dont la complexité se rapproche de celle du bruit, n'ont pas une hauteur définie par la fréquence d'une fondamentale elle-même définie, et sont considérés comme une fusion de timbres ou comme un «accord inharmonique» dont les sons sont entendus séparément, et utilisés musicalement comme tels: ainsi dans l'œuvre de Jean-Claude Risset, *Inharmonique* (1977). Les *sous multiphoniques*, sous inharmoniques émis par les instruments dans des conditions acoustiques spéciales, conservent l'identité de timbre des instruments mais ne sont pas intégrables à la structure harmonique car les fréquences bien définies qui les composent (souvent instables, et sans relation simple entre elles et avec l'échelle tempérée) sont difficiles à identifier; leur étude et leur représentation informatique dans un modèle cohérent formalisé, permettant la préorganisation du matériau, ont «conduit à repenser en termes nouveaux certains problèmes musicaux: organisation discrète du champ des hauteurs, tempérament, micro-intervalles, structures harmoniques, comme [elles peuvent] amener les instrumentistes à situer leur jeu dans un nouvel espace sonore»; cf. Malherbe, Assayag, Castellengo, 1984 et 1985: 185-192 (bibliographie).

d'une infinie précision que permettent la synthèse électronique des sons et le calcul de cette synthèse par l'ordinateur, ce changement d'échelle d'observation (donc d'intervention) bouleversant profondément la notion même de son. Je me contenterai de souligner de nouveau l'historicité des paramètres physiques du son, qui sont des concepts correspondant à une certaine connaissance scientifique et à certaines possibilités de mesure, et qui évoluent lorsque ces dernières évoluent ; les caractères sensibles du son auxquels on a fait correspondre, grâce à la mesure, les paramètres du son n'étaient pas distincts au début du Moyen Age ; et, jusqu'au ix<sup>e</sup> siècle, ce qui est pour nous hauteur, intensité, timbre, et qui fut précisé du ix<sup>e</sup> au xvii<sup>e</sup> siècle, était souvent confondu, tandis que la durée n'apparaissait pas comme une dimension proprement musicale ; cela justifie l'interrogation de Pierre Schaeffer : « ces hauteurs, ces durées, ces intensités qu'on voit notées sur les partitions, sont-elles des éléments structurels ou de simples repères opératoires ? » <sup>32</sup>. La musique contemporaine et la technologie scientifique qui la produit réclament une nouvelle répartition conceptuelle des paramètres du son : sa production n'admet plus la séparation son musical/bruit, basée sur le complexe vibratoire fréquence-hauteur ; elle fait du timbre, parfaitement analysé et manipulé, un élément musical structurel, et elle intègre le temps comme facteur musical primordial. Ainsi les notions musicales, points fixes où s'ancre la pensée de la musique et sur la musique, sont charriées par le flux de la connaissance.

La notion de matériau musical a donc évolué avec la connaissance scientifique, ainsi qu'avec les vues cosmologiques et les idées philosophiques qui lui sont liées. Le son, considéré dans l'Antiquité pythagoréo-platonicienne comme la réalisation du nombre, existant indépendamment de sa connaissance et de sa production par l'homme, était à la même époque considéré comme un élément purement matériel par la science stoïcienne dont la conception de la voix s'imposa au Monde Latin. Au début du Moyen Age, lorsque les clercs spécifièrent le concept acoustico-musical de son dans la musique occidentale, ils unirent les deux conceptions : conservant l'ontologie numérique du son héritée du Pythagorisme, ils ont vu dans le son de la voix le matériau réellement « matériel » de la musique, en parlant tant du souffle que du rythme <sup>33</sup>. La science de la Renaissance n'apporta pas de réponse aux problèmes théoriques que posait alors le matériau à la musique. Mais après la Révolution scientifique du xvii<sup>e</sup> siècle, la notion de matériau musical est liée à la science classique et à la philosophie de la nature (Newton, puis l'Aufklärung) : le matériau de la musique, pensé selon les catégories absolues de l'espace et du temps, est un matériau naturel, le son des « corps sonores », régi par les lois de la physique expérimentale et ses relations mathématiques <sup>34</sup> ; et la liaison entre le matériau et la musique, entre le son et la composition musicale, est une liaison de type causal, issue de la mécanique classique. Cette conception fut maintenue jusqu'à la fin du xix<sup>e</sup> siècle, plus confirmée que modifiée par la physique de Fourier, la psychophysiologie musicale de Helmholtz et la psychologie musicale de Carl Stumpf. Au xx<sup>e</sup> siècle et surtout à partir de 1950, avec le développement de la

32. Cf. Duchez 1979: 60-67, et 1981: 561-579.

33. Ainsi Isidore de Séville (vii<sup>e</sup> siècle) : « ... sonum, quae materies cantilenarum est » (cf. note 1). Ainsi Rémi d'Auxerre (ix<sup>e</sup>-x<sup>e</sup> s.) : « Vox enim materies vel initium est musicæ » (1965: 336, 1). Dans une série de manuscrits anonymes inédits du ix<sup>e</sup> siècle, on peut lire : « sonus elementum vocis id est materies musicæ ». Voir Duchez, « *Imago Mundi...* »

34. « La musique est une science physico-mathématique, le son en est l'objet physique et les rapports trouvés entre les sons en sont l'objet mathématique », Rameau 1737: 30.

psychologie moderne et de la technologie contemporaine, la notion de matériau a subi un changement profond, caractérisé non seulement par une extension hors des sons périodiques simples, mais aussi par une forte tendance vers l'abstraction; cette abstraction, consistant en « manipulation consciente de lois et de notions pures, et non pas d'objets concrets »<sup>35</sup>, modifie la notion de matériau musical par la transformation du rapport matériau/composition, qui la détermine, de lien de causalité en relation d'implication.

La notion même de matériau, résultat du découpage conceptuel de la réalité musicale, est l'aboutissement d'une abstraction, déjà à l'œuvre dans la perception, « douée d'un certain pouvoir d'abstraction et de généralisation »<sup>36</sup>, et poursuivie par la crise de conscience des moyens de production du son dans la pratique musicale, surtout instrumentale. En tendant toujours plus vers l'abstraction, la notion de matériau suit l'évolution de la pensée scientifique, et, plutôt que d'abstraction, il convient mieux de parler d'*idéalisation*, à l'exemple de la science qui construit ses variantes primitives par une idéalisation de plus en plus poussée<sup>37</sup>. Or, selon la conception classique, nous l'avons vu, « le concept de matériau oppose obstinément » une résistance « à toute désignation abstraite »<sup>38</sup>; et si actuellement on a pu constater une abstraction du matériau due aux « systèmes de médiations organisées indispensables à l'intelligence et à l'organisation »<sup>39</sup>, ce n'est pas (comme nous le montre, par exemple, la musique concrète) le matériau *son* lui-même qui est devenu plus abstrait, mais le langage qui décrit sa production et sa manipulation; et c'est au niveau de la relation entre le compositeur et le matériau que se développe cette idéalisation, cette désensibilisation : car cette perte d'immédiateté, due aux nouvelles technologies musicales, augmente la part de la pensée abstraite dans l'emprise sur le matériau exigée par la pensée compositionnelle, qui cesse d'adhérer au concret en s'éloignant des possibilités instrumentales directes<sup>40</sup>. Et le rapport matériau/composition perd, en même temps que le postulat déterministe simple et la causalité mécanique de l'acoustique classique, la logique « naturelle » qu'ils fondaient: cette logique déterministe du matériau musical traditionnel, cette rationalité spécifique découlant des propriétés stables du son de la physique classique sont maintenant éclatés dans les multiples et complexes voies offertes au compositeur par les processus d'approche du son technologique, par la « tentation technologique, zigzag dans ce palais des glaces aux mille portes pour une » (François Bayle); et ceci, que le compositeur accepte un matériau donné et le mette en valeur en l'organisant, ou qu'il pense d'abord une forme musicale et y adapte un matériau fabriqué en vue de ses possibilités d'organisation. Dans l'état actuel de l'évolution du matériau musical, c'est le rapport compositeur/son musical que concerne le changement historique et non la nature du matériau en soi; le vrai matériau

---

35. Définition de Xenakis 1954: 143-150, ici p. 143.

36. Expression de Francès 1956: 23.

37. Par exemple, quel chemin scientifique parcouru depuis le *mètre*, unité de mesure matérielle solide (étalon de platine iridié), au *mètre*, unité de mesure abstraite (parcours de la lumière en 300 millièmes de seconde).

38. Adorno 1963: 301.

39. Cf. Dufourt 1985b: 21-36, ici p. 35. Cette abstraction apparaît de plus en plus dans l'informatique musicale avec la prépondérance croissante du logiciel.

40. Ainsi Xenakis écrit: «... les techniques électroacoustiques ont favorisé un nouvel élargissement des tendances abstraites qui se manifestent sous deux formes principales: la musique issue du bruitage radiophonique du type concrète de Paris, et la musique à base de sons sinusoïdaux électroniques de Cologne» (1954: 147).

musical, le son, qu'il soit d'origine vocale, instrumentale ou électroacoustique, est toujours un phénomène énergétique de nature ondulatoire et il est toujours perçu par le même appareil audio-cérébral. Il nous faut donc chercher quels sont les facteurs d'historicité et les processus d'évolution de ce rapport d'emprise cognitive entre le sujet pensant, le compositeur, et l'objet perçu, le son musical.

## *2. L'historicité du rapport sujet/objet entre le compositeur et le matériau musical*

La distinction épistémologique sujet/objet, bien qu'actuellement remise en question<sup>41</sup>, est, dans la pensée occidentale et la science traditionnelle, non pas une simple confrontation entre un sujet réceptif et une réalité objective, mais à la fois le fondement préalable et l'agent moteur de la connaissance : celle-ci exige cette coupure pour se constituer, et elle constitue elle-même la relation dynamique résultant des interactions entre les deux termes qui n'existent que l'un par l'autre. Le sujet et l'objet sont en effet, comme l'a bien montré Jean Piaget, «deux aspects irréductibles mais indissociables de la connaissance»<sup>42</sup>. L'objet n'est pas instauré à l'avance dans la pensée, il ne préexiste pas au sujet en tant qu'objet, et sa représentation dépend de la perception et des structures cognitives du sujet ; d'autre part, les connaissances du sujet sur l'objet sont tirées des perceptions du sujet et des conduites expérimentales que celui-ci exerce sur l'objet, car, selon les analyses de Piaget, le sujet découvre dans l'objet les propriétés que son action y a introduites ; et «la connaissance est la coordination entre les données expérimentales provenant de l'objet et les instruments déductifs fournis par le sujet»<sup>43</sup>.

Bien que les concepts de «sujet musical» et d'«objet musical» soient difficiles à cerner avec précision<sup>44</sup>, les *relations cognitives rationnelles entre le sujet-compositeur et l'objet musical* participent à cette polarisation épistémologique : le compositeur assure, de façon transmettable d'un sujet à un autre, unité et identité au «flux des vécus», aux divers modes de rapports dont le matériau est l'objet (perception, mémorisation, imagination, intention, etc.) ; et celui-ci acquiert ainsi son autonomie dans la dépendance du sujet auquel il doit l'attribution fixe de propriétés cohérentes. La stabilité conceptuelle du matériau résulte de la prise de conscience par le sujet de ce matériau comme objet opposé à lui-même, c'est-à-dire son objectivation ; et la détermination de cet objet comme un faisceau de relations qualitatives et une interférence de rapports quantitatifs, c'est-à-dire sa théorisation. Ces deux opérations, objectivation et théorisation, qui font du son perçu la réunion toujours ouverte de ses possibilités relationnelles toujours plus riches, permettent au compositeur d'exercer sur son matériau des opérations cognitives complexes : sélection consciente, sériation, classification, quantification, etc.

*L'objectivation du son discret de la musique traditionnelle, sa constitution*

---

41. Sur les doutes concernant la pertinence actuelle de la coupure cognitive sujet/objet, voir Bailly 1984: 199-228.

42. Piaget 1967: 1135.

43. Piaget *ibid.*: 1135.

44. Sur l'imprécision du concept de «sujet musical» et d'«objet musical», voir Adorno 1963: 320 et 338. L'objet musical, sur lequel portent les travaux bien connus de Schaeffer (1966), signifie généralement l'objet de la perception, le son entendu comme objet (cf. Erickson 1982: 517-536, ici p. 533).

comme objet-matériaux de l'action musicale créative, fut, pour l'Occident chrétien, réalisée au IX<sup>e</sup> siècle: le son empirique du continuum sonore formulaire du chant liturgique, fugace car non notable, était confondu avec sa source, la voix, qui n'en permettait pas l'observation objective des opérations de production (observation possible dans la musique instrumentale); ce son était originellement et fonctionnellement uni au langage, qui le soutenait et qu'il irradiait; il habitait le sujet et se confondait avec lui. Le mouvement d'objectivation, qui tente de séparer les caractéristiques physiques du son des caractéristiques psychophysiologiques de sa réception, fut provoqué par la résistance que ce son subjectif continu opposait alors à la pratique musicale: les difficultés de la mémorisation, de l'enseignement et de la transmission orale du plain-chant le rendaient nécessaire<sup>45</sup>. Cette objectivation du son est le résultat d'un processus rationnel long et difficile, qui ne fut possible que grâce aux concepts musico-scientifiques grecs, créés pour le son discontinu des instruments (cordes, tuyaux), et transmis au Moyen Age avec la cosmologie néo-platonicienne gréco-latine: celle-ci, du VI<sup>e</sup> au IX<sup>e</sup> siècle, introduisit dans la pensée médiévale, avec l'identité son/nombre de la théorie arithmo-musicale pythagoricienne, et l'identité son terrestre/son céleste de la théorie de la musique des sphères planétaires, la notion de son discret dans les mouvements continus de la voix; et cette discrétonie objective du son musical était alors confirmée dans la comparaison du son de la musique à la lettre du langage par les Grammairiens latins; elle fut scientifiquement réalisée dans la quantification du son par la notion de hauteur, et aboutit à une écriture musicale discrète<sup>46</sup>. L'objectivation du matériau musical est achevée et complétée par la *systématisation théorique du son*, son intégration cognitive dans une théorie qui organise le matériau, après un découpage conceptuel conditionné par les caractères pertinents et les catégories opératoires décelés dans une première objectivation. Cette théorie organisatrice des sons, qui transforme le matériau « matériel » en matériau « spirituel », est un intermédiaire entre le matériau sonore et le projet esthétique, entre le son et le compositeur; car, malgré l'imparfaite corrélation entre toute description théorique du matériau et le résultat perceptif de son emploi, on ne peut approuver Pierre Schaeffer lorsqu'il affirme qu'« entre l'étude du matériau et celle de l'œuvre la route est coupée, la fissure infranchissable »<sup>47</sup>. Une pensée théorique élémentaire est en effet présente dès les premières objectivations du matériau, dans la perception du son qui opère un début d'abstraction conforme aux premières nécessités de la pratique musicale; elle résulte effectivement de l'intériorisation de la coordination des actions que le sujet musicien exerce sur le matériau (actions vocales, instrumentales, techniques objectives intellectuelles et technologies); cette théorie élémentaire est ultérieurement développée en structures d'ensemble dans le cadre cognitif de la pensée logico-mathématique. La théorie est essentiellement opératoire, elle est née de l'action musicale pour l'action musicale, utilisant les catégories historiques et les cadres de la pensée rationnelle, et, dans une certaine mesure, son héritage culturel; elle offre des points d'appui (souvent considérés comme contraignants, mais en fait transgressables) à ce « circuit réversible » qui

45. Cf. Ducheze 1983: 23-32 et 35-46.

46. Ce sujet, effleuré dans « Description grammaticale et description arithmétique des phénomènes musicaux », est traité en détail dans « Imago mundi... ».

47. Schaeffer 1975: 12-17, ici p. 14.

s'instaure, selon Pierre Boulez, entre le matériau et la composition, et « qui est indispensable à l'œuvre »<sup>48</sup>.

Le point de départ effectif de l'organisation théorique rationnelle du matériau de la musique est la connaissance objective du son, de toutes « les formes d'apparition du son » : études scientifique, acoustique, technologique, psychoacoustique du son, savoir empirique né des contraintes imposées au créateur par la production et la manipulation du son, quelle que soit son origine. Mais, bien que pour certains « l'exposition systématique de l'apparence du matériau musical puisse être comprise comme théorie musicale »<sup>49</sup>, cette exposition nécessaire, étroitement liée à une description scientifique, n'est pas suffisante pour aider le compositeur à utiliser son matériau. Pour le créateur, l'organisation du matériau est souvent pensée en bloc avec le choix du matériau : elle peut préexister à ce choix, comme dans la musique occidentale traditionnelle, ou bien, le plus souvent dans la musique contemporaine, être inventée avec ce choix, lui-même conditionné par la potentialité du matériau ; on peut suivre sur ce point Pierre Schaeffer : « les choix [qui se proposent à l'organisation musicale] dépendent à leur tour des propriétés intrinsèques du matériau qui décident des relations et des fonctions particulières que celui-ci peut assumer »<sup>50</sup>. Pour être « musicable », le matériau objectivement individualisé doit offrir des possibilités de fonctionnalité, qui se manifestent dans l'organisation de structures d'ensemble par la *détermination perceptuelle et scientifique de certaines hiérarchies* : la première des hiérarchies de la musique occidentale traditionnelle est la hiérarchie des intervalles (l'octave, privilégiée comme consonance et comme structure dans la musique modale puis tonale, la quinte, la quarte), héritée de la théorie musicale antique (théorie pythagoricienne des intervalles consonants) et justifiée plus tard (avec addition de la tierce) par la théorie des sons harmoniques<sup>51</sup>. De la puissance et la prégnance de cette hiérarchie est née, dans des conditions historiques déterminées (la naissance de la polyphonie), par une mise en ordre des catégories intervalliques perceptuelles telle que ces catégories puissent être fonctionnelles, ce qui sera la structure de base de notre musique pendant dix siècles : *l'échelle musicale occidentale*, série de sons discrets extraits du continuum sonore, engendrant des relations intervalliques définies entre des hauteurs définies, et facile à mémoriser<sup>52</sup>. Basée au départ sur l'échelle pythagoricienne (cycle des quintes donnant sept sons et sept intervalles inégaux par octave), elle fut légèrement modifiée par la suite (Just intonation, Meantone temperament), et, aux XVII<sup>e</sup>-XVIII<sup>e</sup> siècles, elle fut divisée en douze intervalles égaux pour la commodité des modulations tonales sur les instruments à sons fixes : elle devint ainsi l'échelle chromatique tempérée standard, utilisée depuis plus de deux cents ans ; la musique électronique contemporaine, non soumise aux contraintes de la musique instrumentale, peut se libérer de cette échelle, pour construire librement son propre ensemble des sons : elle tend actuellement à constituer, pour ses différents paramètres, des séries de « points discrets, éléments différentiels d'un ensemble »<sup>53</sup>.

Le travail rationnel de hiérarchisation du matériau peut se poursuivre par

48. Cf. le débat « La pensée et l'instrument » in Schaeffer 1957: 128-132.

49. Selon Rummeholler 1967: 7 et 11.

50. Schaeffer 1966: 601.

51. Sur la notion de hiérarchie dans la musique occidentale, cf. Narmour 1983-1984: 129-199.

52. Le problème de l'élaboration, aux IX<sup>e</sup> et XI<sup>e</sup> siècles, de l'échelle musicale occidentale est effleuré dans mon étude « Des neumes à la portée... », et approfondi dans « *Imago mundi...* ».

53. Cf. Barrière, Potard, Bainsée 1985: 193-198, ici p. 193.

sa mise en œuvre dans des structures techniques, lieu de formation de relations structurelles entre le matériau et la création, guidant la distribution des sons dans les formes musicales élaborées par le compositeur. Ces *structures techniques compositionnelles* préformées, intermédiaires entre, d'une part, les contraintes que les propriétés physiques et psychophysiologiques du matériau font peser sur son utilisation, et, d'autre part, les exigences du projet esthétique, entre la résistance du réel concret des sons et les intentions du compositeur (opposition appartenant au vieux dualisme matière-forme), ont eu une très grande importance dans la musique occidentale; elles ont évolué historiquement du Moyen Age au xx<sup>e</sup> siècle: modes grégoriens, consonances polyphoniques, cadences tonales, etc. Elles ont joué un rôle essentiel dans la dialectique qui se développe toujours entre l'œuvre et son matériau: entre, d'une part, la composition musicale où s'affirment à la fois la liberté du sujet créateur et sa soumission aux conditions irréductibles de l'objet sonore, et, d'autre part, le matériau qui à la fois impose sa forme à l'œuvre et est formé par la forme de l'œuvre, dans laquelle il trouve identification et qualification (le même matériau et les mêmes structures techniques donnant des œuvres différentes). Selon Pierre Boulez, «ce rapport dialectique entre ordre [du matériau préformé] et hasard» de la création qui existe «à tous les niveaux de l'invention comme de la réalisation» exige que le matériau musical «capable d'engendrer et de supporter une dialectique» soit «un objet neutre possédant l'immense avantage de s'intégrer avec une beaucoup plus grande facilité». Ce matériau neutre peut être organisé (dans ce que j'ai moi-même appelé des structures techniques compositionnelles) en «un système cohérent... préalable à toute composition», offrant «un réseau de possibilités» qui, bien que ne satisfaisant pas «aux exigences de la composition», lui apporte, grâce à son intériorisation subjective par le compositeur, un appui objectif<sup>54</sup>. Citons encore les paroles convaincantes de Boulez sur cet appui technique: «L'imagination a besoin de ces quelques tremplins que sont les moyens formels mis à sa disposition par une technique. (...) Cette technique renforce l'imagination qui se projette alors vers l'inaperçu; et ainsi, dans un jeu de miroirs perpétuels, se poursuit la création»<sup>55</sup>. Les lois physiques, psychophysiologiques et même technologiques, bases de l'élaboration des structures techniques d'appui, et qui conditionnent sans le constituer le choix de l'utilisation du matériau musical, laissent au compositeur un vaste champ de liberté esthétique, non seulement champ technique, mais champ vital à explorer. La dialectique composition/matériau ne peut manquer d'évoquer l'adaptation réciproque de l'organisme humain et de son environnement, réciprocité dans laquelle, au contraire du reste de la biosphère, l'adaptation de l'environnement à l'homme est beaucoup plus intense que l'adaptation de l'homme à l'environnement.

Mais, aussi étroite que soit cette adaptation, aussi fortes que soient la maîtrise du matériau et de la domination du monde des sons par le compositeur, il n'y a jamais, dans la création de l'œuvre, adéquation complète entre le sujet musicien qui crée et l'objet musical qui résiste: ainsi que le souligne Adorno, il est difficile «d'assurer une maîtrise suffisante du matériau musical pour que tout écart entre le sujet musical disparaisse un jour»; «la matière première ne se confond pas simplement avec le sujet, mais reste extérieure, étrangère à lui... [elle] est réellement irréductible au sujet; il ne peut y avoir d'identité entre... le

54. Cf. Boulez 1975a: 22; 1958a: 577; 1985: 281; 1954.

55. Boulez 1952: 182.

travail du compositeur et cette matière première »<sup>56</sup>. La coupure sujet/objet persiste donc toujours. Mais elle est déplacée au cours de l'histoire: la limite entre l'action du compositeur et la réalité objective du matériau subit des mutations qui modifient le découpage cognitif sujet/objet, alors qu'évolue le matériau musical et sa connaissance, et que se transforme la musique.

Comme le matériau, la connaissance et la musique, le lien opératoire entre le matériau et l'œuvre musicale est le produit d'une histoire et d'une société: les changements dans le matériau et sa conception amènent un déplacement de la problématique musicale et une évolution de la théorie; la nature physique du matériau et la nature psychophysiologique du musicien déterminent les premières hiérarchies organisatrices, mais elles le font selon le caractère pertinent et les relations empiriques dominant à l'époque où s'instaurent ces hiérarchies, et d'après la connaissance scientifique du moment. Dans un réseau complexe de causalités et d'implications, le même mouvement historique qui entraîne la production, la connaissance et l'utilisation du matériau entraîne les structures techniques organisatrices et les formes musicales qu'elles soutiennent, ainsi que le système de signes qui les « note »; et la notion de matériau, impliquée dans toutes ces opérations constructives, évolue avec elles. Mais la conception opératoire du matériau de la musique a présenté des périodes plus ou moins longues de stabilité, qui ont permis l'élaboration de systématisations théoriques durablement fécondes, dont la durée d'utilisation, avant d'être un fardeau sclérosant, a très largement dépassé la durée esthétique des formes musicales pour lesquelles elles furent élaborées: ainsi la théorie pythagoricienne des consonances de la musique instrumentale grecque, l'échelle guidonienne de la musique vocale médiévale, la basse fondamentale de Rameau. Dans ces constructions théoriques qui marquent de grandes époques de l'histoire de la musique, le rapport cognitif entre le sujet musicien et le son-matériau-objet se montre constant et caractérise la culture: rapport ontologique et arithmologique dans la pensée antique, rapport cosmologique et grammatical dans la pensée du haut Moyen Age, rapport mécanique et expérimental dans la théorie musicale classique<sup>57</sup>. Dans la musique contemporaine, caractérisée par la production et la manipulation technologique du matériau de la musique, nous assistons à une modification du rapport entre le sujet-compositeur et le son-objet, et nous constatons une certaine mobilité de la coupure épistémologique sujet/objet, modification et mobilité qui élargissent la notion traditionnelle de matériau musical. La constante évolution des moyens techniques, la multiplicité des attitudes créatives, et le manque de recul pour l'envisagement artistique, ne permettent pas de faire une analyse rigoureuse de ces changements. Je vais seulement tenter d'en dégager quelques traits principaux.

---

56. Adorno 1963: 283 et 308.

57. Ces attitudes caractéristiques ont été exposées et expliquées dans un enseignement donné à l'I.R.C.A.M. en 1977-1980, et intitulé: *L'évolution du concept de science en musique*, que je publierai ultérieurement.

### III. L'élargissement de la notion de matériau musical dans la technologie contemporaine

#### 1. Le matériau musical technologique: continuité et rupture avec le matériau musical traditionnel

Le prodigieux essor technologique qui, au cours des trois dernières décennies, a permis un développement considérable de la technologie du son a fourni aux musiciens une voie d'exploration du monde sonore d'une extrême acuité; il leur a procuré une extension et un enrichissement du matériau musical qui, tant dans les moyens de production que dans les possibilités de maîtrise, ouvrent un champ presque illimité à la création musicale. La contestation des rares voix qui s'inquiètent de la bousculade des questions découlant de la multiplication des nouveaux processus, et signalent le coût énorme d'investissement technique et l'effort intellectuel trop important par rapport au résultat musical<sup>58</sup>, est couverte par l'espérance que suscitent «les vertigineuses... perspectives d'avenir» entrevues et l'ouverture «d'horizons laborieux mais infinis»<sup>59</sup>; et cette espérance est confortée par le fait que le matériau technologique qui, au début, n'avait permis qu'une accumulation de pratiques expérimentales donne maintenant des compositions artistiques finies et même d'authentiques chefs-d'œuvre. Ce matériau nouveau, dont la construction et la manipulation utilisent les connaissances scientifiques, techniques, psycho-acoustiques, etc., se développe selon ses propres nécessités en suivant ses propres démarches. Le développement de la musique utilisant le matériau technologique, et que j'appellerai *musico techno-poétique*, est marqué par les trois principaux stades d'invention technique de la production et de la modification de la vie du son: l'*enregistrement sur bande* des sons de toutes origines et le *traitement électroacoustique* des sons stockés (après 1950); la *synthèse analogique* des sons d'après des données quantitatives définies (1960); la *synthèse digitale ou numérique* des sons avec ordinateur et convertisseur digital-analogique permettant de passer du nombre au son et inversement (1970).

Le premier élargissement contemporain de la notion de matériau musical fut réalisé par la *musique concrète*, née au milieu du siècle; son matériau très riche était constitué de «sons d'origine quelconque mais de préférence acoustique»: bruits, instruments traditionnels occidentaux ou exotiques ou soumis à de nouveaux mode de jeu, voix, langage, sons synthétiques, etc.; ces sons, de structure très complexe et très variée, étaient enregistrés et, grâce à diverses manipulations électroacoustiques, transformés et assemblés: mais, jusqu'à la dernière décennie, les manipulations analogiques rudimentaires n'avaient permis qu'une «simple juxtaposition» de matériaux. Avec l'emploi des méthodes digitales, la musique concrète s'est rapprochée de la musique électronique, dont elle était bien distincte au début<sup>60</sup>, et son matériau se fond

58. Cf. Schaeffer 1972: 273; Serres 1980: 132 sq: l'épistémologue critique aussi les trop grandes équipes et les grands instituts de recherche technologique, comme «multinationales de la pensée (...) aussi monotones que puissantes» (p. 142).

59. Cf. Murail 1984: 167-181, ici p. 180; le compositeur dit aussi: «L'électronique nous a ouvert les oreilles» (p. 169). Cf. Bayle 1980.

60. Cette description est empruntée à P. Schaeffer, créateur de la musique concrète. Cf. 1959: 19; et 1966: 60-61.

avec celui de cette dernière, dans un « tout matériau » pris en charge par les techniques informatiques actuelles<sup>61</sup>.

La *musique électronique*, qui a amplément augmenté le matériau sonore, car elle ajoute « aux catégories des morphologies naturelles celles des dimensions de transformation du son converti en tension électrique, du son à la vitesse-lumière »<sup>62</sup>, a « un grand impact sur les idées compositionnelles (même pour les compositeurs qui ont affaire aux instruments traditionnels) »; elle permet un contrôle précis de son matériau; celui-ci est un son simple et sourd qui peut être enrichi par des manipulations nombreuses mais difficiles à contrôler: il y a là un dilemme entre la richesse du son et le raffinement du contrôle que l'on peut exercer sur elle. Mais, prolongeant l'expérience électroacoustique, « la précision et la souplesse de l'ordinateur » rendent possible la réalisation de structures sonores que la musique électronique ne pouvait pas achever»; le compositeur et physicien Jean-Claude Risset, dont je me suis inspirée dans les lignes qui précédent, caractérise la situation de la musique technologique à la fin des années 70 dans le titre d'un rapport scientifique: « The Development of Digital Techniques: A Turning Point for Electronic Music? » (Risset 1978d). Ce sont ces techniques électroniques et informatiques de production et de manipulation du son qui, en donnant la possibilité de créer un matériau sonore inconnu (au lieu de seulement modifier l'ancien), en permettant « non seulement de composer avec des sons, mais de composer les sons eux-mêmes », vont provoquer un changement profond dans les relations entre le compositeur et son matériau.

Née dans les années 50, impulsée dans les années 60 par l'invention de la synthèse des sons par ordinateur, l'*informatique musicale* a connu dans les années 70 un grand développement qui s'intensifie encore actuellement. Deux possibilités techniques essentielles ont permis le développement de la musique informatique: premièrement la possibilité, grâce au convertisseur digital/analogique, de produire par synthèse, à partir de modèles abstraits en donnant la description complète, n'importe quels sons et de les modifier à volonté, chaque processus d'un programme algorithmique assurant le calcul extrêmement rapide et précis d'une caractéristique musicale particulière de la forme d'onde; deuxièmement, la possibilité, grâce à des processeurs, d'établir une liaison instantanée entre les commandes techniques et le résultat sonore, instantanéité permettant d'accorder les paramètres du son en l'écoutant: dans cette opération *en temps réel*, l'ordinateur n'engendre pas le son mais le calcule, et contrôle l'appareillage analogique engendant le son, par la manipulation directe de claviers, boutons, leviers, etc.; alors « le geste n'est pas sourd » et le son s'accorde à la main<sup>63</sup>; le musicien, qui a lancé le programme (liste d'instructions aux virtualités de la machine), a ainsi la maîtrise perceptible de l'équilibre entre les informations pré-programmées et celles qu'il introduit en cours d'exécution; et il peut apporter des modifications interprétatives au matériau statique pré-défini (il peut de plus, et ce n'est pas négligeable, se décharger sur l'ordinateur, qui effectue tous les calculs numériques et toutes les opérations logiques, des tâches répétitives du travail compositionnel). Les programmes concernant la morphologie du son sont maintenant poursuivis

61. Sur les récents traitements électroniques et informatiques de la musique concrète, et en particulier sur la synthèse de l'évolution temporelle du son, voir Dolson 1985: 55-60.

62. Bayle 1985: 213.

63. Risset 1985b: 211-219, ici pp. 215-216; voir aussi l'article de Risset dans ce volume.

(comme l'était la détermination du son vocal-instrumental dans la théorie musicale) dans des programmes concernant l'organisation du son, des algorithmes compositionnels commandant l'organisation logique des paramètres calculés. Des bibliothèques de programmes, de bases de données, de modèles, de valeurs paramétriques pré-calculées, des librairies d'outils logiques, algorithmiques, musicaux, sont chargées de conserver le matériau informatique d'usage général et permettent d'utiliser l'expérience antérieure. L'évolution technique actuelle de l'informatique musicale tend, en même temps qu'à la recherche de synthèses sonores de haute qualité pour un coût de calculation peu élevé, à la construction de machines performantes mais de technologie légère, en vue d'une utilisation plus simple et plus personnalisée par le musicien, qui peut ainsi s'assurer de plus en plus facilement de la maîtrise de son matériau.

Cette maîtrise du matériau dépend de la recherche d'un équilibre entre l'intuition et le calcul. Elle a été longtemps entravée par l'absence de relation intuitive entre les systèmes techniques et la perception, entre le processus informatique et le processus musical perçu par l'audition: cette absence profondément ressentie crée de graves difficultés pour les actions informatiques concernant les caractéristiques perceptuelles du son, liées aux opérations sur l'ordinateur par un ensemble complexe de relations abstraites. Dans l'utilisation de l'appareillage technologique, les compositeurs ont en effet redouté la destruction «du préalable perceptif... enjeu des musiques faites avec des machines»<sup>64</sup>, ou «l'amoindrissement voire l'anéantissement de l'intuition» car «les symboles interposés ne parlent pas immédiatement à l'imagination, ou à la perception imaginée»<sup>65</sup>; on cherche donc actuellement à combler cette absence par des «niveaux intermédiaires du langage programmatique, qui permettraient des interactions entre technique du son et perception»<sup>66</sup>. Tandis que les tenants de la musique concrète déploraient non sans raison la perte «des liens primordiaux du faire et de l'entendre»<sup>67</sup>, «les actions gestuelles» étant «remplacées par... un équivalent en suite de nombres»<sup>68</sup>, on cherche à compenser ce *manque de lien causal sensible entre la stratégie informatique de production de la musique et le perception du résultat musical*; et le fait que la causalité du son ne soit pas une causalité perceptible comme dans la production des sons «naturels» de la musique instrumentale (et même vocale) a amené certains chercheurs à tenter, par une liaison nombre-geste, de réintroduire la causalité gestuelle instrumentale dans l'ordinateur<sup>69</sup>. Cependant, l'exécution en temps réel introduit une causalité perceptible concrète dans une domaine limité: l'intuition sensible est alors reliée causalement à un jeu de boutons «conceptuels» représentant de nouveaux paramètres technologiques, comme

---

64. Bayle, *Idées d'acousmatique* (Cf. supra, note 20).

65. Boulez 1985: 281. Boulez poursuit: «Le principal effort du compositeur, c'est d'imaginer la perception (...) si le contexte se réduit à des descriptions numériques de paramètres, nombreuses et complexes, l'immédiateté de l'expérience s'en trouve repoussée d'autant, la validité de l'œuvre étant elle-même remise en question».

66. Cf. Rodet, Potard, Barrière 1984: 15-31, ici p. 16.

67. Schaeffer 1966: 475.

68. Bayle 1985: 218.

69. Ainsi Cadoz et Florens 1978: 86-96; et Cadoz, Luciani, Florens 1981: 272-292. En même temps, on recherche à l'I.R.C.A.M. à «rendre à l'instrumentiste sa part créatrice en le mettant en situation de contrôler un synthétiseur par une extension de son propre jeu» (Barrière) à l'aide de «capteurs gestuels».

elle l'était aux touches d'un piano<sup>70</sup>; toutefois le piano, moyen de production de la musique, est conditionné par une théorie scientifique que le pianiste n'a pas besoin de connaître, mais qui a conditionné la théorie musicale que le compositeur connaît et qui relie l'intuition sensible à la notation musicale, intermédiaire entre la création du compositeur et l'exécution du pianiste<sup>71</sup>; en l'absence d'une véritable théorie, c'est tout un ensemble complexe de connaissances théoriques, dont la finalité est la maîtrise des implications musicales des possibilités technologiques et des caractéristiques psychoacoustiques, qui doit unir l'intuition sensible aux processus technologiques. Un procédé informatique défini possède, comme un instrument de musique, une permanence causale qui porte une information spécifique pour le compositeur; on peut donc penser que, grâce à l'instauration d'une relation directe calcul/oreille humaine, *une nouvelle causalité* — abstraite mais prégnante et quasi immédiate, déjà ressentie mais non encore exprimée, correspondant épistémologiquement (par une sorte de «geste intellectuel» devenu habituel) à la relation cognitive homme/strument — se précisera dans l'ensemble conceptuel qui constitue la notion de matériau musical de la musique informatique.

La disparition de la représentation intuitive, qui donne l'impression de percevoir la production du son, n'est pas la seule différence entre le matériau instrumental et le matériau électronique calculé par l'ordinateur. Les différences entre eux ne sont pas de nature, ainsi que je l'ai dit plus haut, car il ne s'agit pas d'une nouvelle classe de matériau, mais d'approche humaine et de conception théorique nouvelles: récemment, Henri Pousseur disait avec raison que «l'appareillage électronique révèle en effet des propriétés du matériau sonore (et de cette partie intégrante qu'est sa perception, surtout lorsqu'il s'agit de son musical), qui, pour ne pas correspondre purement et simplement aux critères et aux catégories traditionnels, en sont bien moins éloignés que les interdits antitraditionnels... et plus apparentés aux premiers qu'à ces derniers»; et encore: «le vrai matériau musical, étant de nature ondulatoire, est fondamentalement analogique, et les techniques digitales me semblent avoir pour fonction d'en rendre la réalisation plus précise et sûre et la manipulation combinatoire beaucoup souple et étendue»<sup>72</sup>. Il y a donc une continuité certaine entre le matériau musical instrumental, dit «naturel», et le matériau musical électronique informatique; une étape importante de la musique informatique a d'ailleurs été l'imitation des sons instrumentaux. Cette continuité a été développée suivant plusieurs voies: l'extension de l'univers sonore traditionnel par *transformation électronique des sons instrumentaux*, en en manipulant les paramètres à l'ordinateur (manipulation permettant l'utilisation, l'imitation, la synthèse technologiques de ces sons); l'*hybridation du matériau*, le mélange des sons obtenus technologiquement sur bande et des sons

70. Ainsi Bayle: «je me fabrique une machine à sons, avec des éléments sonores accessibles avec les mains, avec l'intelligence aussi» (in *Idées d'acousmatique*).

71. Rappelons les paroles de Bachelard: «Un instrument, c'est une théorie» (1949: 178). Une véritable théorie n'existant pas encore pour la musique technopoétique dont les chaînes logiques sont difficiles à exprimer, on peut cependant déjà, selon F. Bayle, repérer «certaines catégories résultant du traitement des matériaux et des réactions psychoacoustiques» car «le champ des métamorphoses de l'énergie audible s'établit sur un vocabulaire de transition qui forme la *base théorique* de la musique générale. Et si d'aucuns se plaignent du désert de la théorie des musiques contemporaines, qu'ils veuillent bien avoir une lueur d'espoir dans cette direction» (introduction à la 1<sup>e</sup> audition d'*Erosphère*).

72. Pousseur 1983: 38-40, ici pp. 39-40.

instrumentaux, produits réellement sur place, ou enregistrés, ou transformés technologiquement; elle est aussi révélée par l'*investigation systématique du matériau technologique*<sup>73</sup>, apportant une meilleure compréhension du fait musical, donc du matériau instrumental, et sa meilleure utilisation. Les compositeurs contemporains insistent sur cette exploration technologique de l'univers sonore et sur ce développement de la connaissance scientifique du matériau musical par l'investigation informatique, en particulier par la synthèse digitale: selon François Bayle, cette extension cognitive concerne non seulement le matériau lui-même, «ses figures énergétiques, ses formations», les «mécanismes réglant sa structure physique», son «déploiement spatio-dynamique», «ses propriétés nouvelles d'évolution»; mais aussi les propriétés physiologiques et psychologiques de son écoute par des «aptitudes inconnues» de notre audition<sup>74</sup>, dans une psychoacoustique généralisée<sup>75</sup>. Ainsi que le montre Jean-Claude Risset: «L'ordinateur... peut aussi être un outil pour pénétrer au cœur du son»<sup>76</sup>; de même Hugues Dufourt se félicite de l'«intelligence nouvelle du phénomène sonore» suscitée par l'informatique<sup>77</sup>. De plus, l'ordinateur, obligeant le compositeur à expliciter ce qui est implicite dans sa démarche, fournit des informations compositionnelles.

L'union du matériau instrumental et du matériau électronique, dans des œuvres musicales mixtes reliant l'électroacoustique à la musique traditionnelle, a été pratiquée dès les débuts de la musique électronique: ainsi, après que Varèse, Pierre Schaeffer et Pierre Henry eurent allié des sons concrets et des sons électroniques, Stockhausen fit la synthèse homogène de la voix humaine et des sons électroniques dans *Gesang der Jünglinge*, en 1955, et des sons instrumentaux et électroniques dans *Kontakte* en 1958; en 1958 aussi, alors que Boulez unissait sons instrumentaux et électroniques dans *Poésie pour pouvoir*, étaient créées *Differences*, de Luciano Berio, et *Rimes* pour différentes sources sonores, d'Henri Pousseur. Depuis, les techniques de transformation et de manipulation électroniques se sont multipliées et perfectionnées à un point tel que l'on a pu réaliser avec les deux matériaux (en sus des interpolations complexes, des prolongements par similitude, des dialogues en rapport de complémentarité, etc., opérés dès le début) des fusions, des intégrations complètes et des effets doubles d'interactivité. Comme le dit très bien Tod Machover, en introduisant «un nouveau concept d'orchestration», «l'unification des univers du son naturel et de l'électronique est imminente et passionnante»<sup>78</sup>. Il faut donc abonder dans le sens de François Bayle, qui, il y a dix ans, voyait déjà dans l'association des deux matériaux «une musique généralisée qui donne une ouverture musicale très large»: insistant sur les potentialités qui caractérisent la musique électronique — «l'ouverture de l'échelle du temps», «la manière de remplir l'espace», la richesse artistique de «l'énigme» que pose la neutralité (donc la non-prédétermination) et la causalité cachée (donc la non-prévisibilité) de la musique sur bande, dont la source n'est pas physiquement sensible — il montrait alors la voie ouverte à la composition par l'utilisation esthétique des

73. Précurseur, Cage disait en 1939: «Il faut explorer les matériaux de la musique. Ce qu'on ne peut faire soi-même sera fait par les machines et les instruments électriques qu'on inventera» (pp. 44-45, ici p. 44).

74. Cf. Bayle 1985: 211, 213 et 218.

75. Cf. Wessel 1979, III, 2: 45-52.

76. Risset 1985b: 218.

77. Dufourt 1985a: 223-238, ici p. 235-236.

78. T. Machover, 1984: 219-246, ici p. 246.

différences entre les deux matériaux<sup>79</sup>. Depuis, Bayle a légitimement insisté sur cette nouvelle causalité, qui n'est pas pour le musicien « simple recul de causalité », mais réorganisation temporelle des causes : elle oblige celui-ci à quitter « la rive du monde où la production éphémère du son obéissait à la loi mécanique, cartésienne, liant, pour une fois et une seule, cause à effet. Les machines forment une nouvelle chaîne de causes, introduisant *une différence irrémédiable dans l'ordre des phénomènes*, mais capable de produire le même effet-image, disponible facilement au gré de l'expérimentateur ... Le défilé temporel [de la composition et de l'exécution] est sectionné au profit d'un exercice dans l'épaisseur même de la saisie temporelle»<sup>80</sup>.

Les différences entre matériau instrumental et matériau technologique, dans lesquelles certains ont vu « une opposition essentielle d'un point de vue esthétique, social et spirituel »<sup>81</sup>, peuvent être équilibrées techniquement et utilisées artistiquement, puisqu'elles tiennent non à la nature physique et psychoacoustique du son, mais à l'approche que celui-ci réclame du compositeur. Cependant, la pensée musicale cohérente vers laquelle tend cette approche exige du compositeur de profondes modifications psychologiques (sensibles et intellectuelles) : car, d'une part, « les opérations nouvelles sont de fait liées à des manipulations de la conscience auditive »<sup>82</sup>, et, d'autre part, les notions acoustico-musicales qui s'étaient fixées au cours des siècles ne répondent plus aux besoins actuels et sont remises en question. Je me suis étendue longuement sur l'absence de causalité sensible du matériau électroacoustique, je n'insisterai donc pas sur sa nature « acousmatique » (disposé pour la seule écoute), dont Bayle loue l'exigence d'intériorisation auditive et le potentiel poétique : l'absence de correspondance entre l'expérience auditive et l'expérience visuelle donne en effet à la musique électronique une écoute à la fois plus précise et imaginative, et l'impression de venir « d'un autre monde »<sup>83</sup>. Mais je soulignerai les principales potentialités enrichissantes du matériau électronique informatique, rapidement effleurées ci-dessus. En premier lieu, la possibilité de *spatialisation du son*, à la différence de la localisation ponctuelle du son instrumental, et le pouvoir de projeter le son et de le faire voyager dans l'espace à des vitesses variées ; « le rôle capital du jeu de l'espace » et l'importance des propriétés du « support-espace » du matériau musical sont primordiaux dans la musique électronique. Car celle-ci, permettant d'unir la science et l'art dans une conception compositionnelle de l'espace musical, est, selon l'expression de François Bayle, « projetée » dans des espaces de projection (ainsi l'*Espace de projection* de l'I.R.C.A.M., l'*Acousmonium* du G.R.M.) comportant des dispositifs tels qu'on puisse à volonté plus ou moins « étaler, faire rayonner, réfléchir

79. Cf. Bayle, Malec, Reibel, 1975: 19-26, ici pp. 23-25.

80. Bayle 1972: 57-68, ici p. 59.

81. Harvey, Lorrain, Barrière, Haynes, 1984: 74-78.

82. Bayle 1972: 60. Bayle signale ailleurs un autre « dépaysement » des musiciens, confrontés à des « machines à formuler des séquences qui présentent la musique sous une autre forme (...) ensembles temporels qui découlent d'un circuit électronique travaillé dans le sens de l'invention », Conférence de l'Institut national de l'audiovisuel, Émission de France-Culture, 1978.

83. Le qualificatif « acousmatique » fut attribué par P. Schaeffer à la musique sans source de production visible, en référence aux disciples mystiques et contemplatifs de Pythagore, qui cachaient l'exécutant instrumentiste derrière un rideau, pour rendre aux sons (perdant ainsi leur origine terrestre) leur nature non réelle et leur idéalité. François Bayle (et avec lui les membres du G.R.M.) a choisi ce terme qu'il « substitue au vocable électroacoustique inélégant et surtout faussement instrumental, pour définir l'approche théorique, indispensable aujourd'hui, du domaine des musiques produites à partir d'images acoustiques ». Conférences de l'I.N.A., *ibid.*

ou concentrer l'impact acoustique» des vibrations sonores<sup>84</sup>; dans cet espace acoustique organisé, une «stéréophonie cinématique» permet à la musique, selon Xenakis, de «régir l'espace mathématique» et de s'épanouir «dans un véritable geste sonore»<sup>85</sup>. En second lieu, mais jusqu'ici moins utilisée, la possibilité de *modification du temps électroacoustique*, à la différence du temps rigide de l'action instrumentale, et la souplesse modelable de la durée électroacoustique, qui est le temps irréversible de la physique moderne (et de la biologie); ce temps irréversible réintroduit le temps dans la durée humaine à la différence du temps réversible de la mécanique classique et des instruments, temps extérieur à l'homme, qui jusqu'ici n'a jamais permis une théorisation adéquate de la durée musicale.

Dans le matériau électronique informatique, non seulement le rôle du temps mais aussi les autres intérêts sont déplacés sur le trièdre paramétrique de référence du son. La hauteur du son avait prévalu depuis l'Antiquité parce que, comme toute caractéristique dominante, elle était le caractère musical dont les variations étaient les plus pertinentes, car les plus facilement réalisables et saisissables (au début : voix, instruments à cordes et à tuyaux); et parce qu'elle était l'élément musical sur lequel on avait le plus de prise pratique et théorique (au début, par de simples modifications de tension ou de dimensions mesurables). Dans la musique électronique informatique, la hauteur partage son hégémonie architectonique avec le timbre, si facilement synthétisable et transformable par un travail à l'ordinateur sur l'enveloppe spectrale du son, sur l'évolution temporelle et la dynamique du spectre, qu'il satisfait aux critères qui permettent la constitution de formes musicales; et qu'on a pu lui appliquer la dénomination d'«*objet-timbre*», comme constituant à lui seul un matériau doté de repères spatiaux<sup>86</sup>. L'importance musicale du timbre, autrefois non essentiel, croît depuis le début du siècle, et les dodécaphonistes de l'École de Vienne en avaient tenté une nouvelle utilisation mélodique (*Klangfarbenmelodie*), mais sans changement de valeur paramétrique; aujourd'hui, «l'électronique et la technologie informatique promettent l'accès à un monde illimité de timbres»<sup>87</sup>, et le matériau timbral pourrait devenir «la Gestalt unique qui règne par-delà l'oubli des doubles coordonnées sur lesquelles la musique européenne s'est appuyée depuis qu'elle a inventé la portée»<sup>88</sup>. Avec la disparition de la priorité de la hauteur et l'apparition de la nouvelle importance structurelle du timbre, la notion de matériau de la musique voit s'effacer l'exclusivité de la valeur musicale du son discret (et de la note qui en exprimait la hauteur et la durée mécanique), valeur si difficilement acquise. La discontinuité du son instrumental, valeur mathématique et non physique, nous l'avons vu, se retrouve dans la discontinuité mathématique du matériau

84. Cf. Bayle 1977: 17-39; et 1985: 215 et 217-218. La projection spatiale est effectuée et exploitée dans l'*Acousmonium* de Bayle, «instrumentarium varié des projecteurs de son dans une disposition acousmatique de concert», réalisant «une aire acousmatique constituée par un ensemble de plans différenciés». Cf. Introduction à la série de concerts: Classiques du répertoire G.R.M., 8-10 décembre 1980, éd. du G.R.M., p. 32.

85. Xenakis 1954: 148-149.

86. L'expression d'«*objet-timbre*» est de Daniel Tosi dans son introduction à l'audition de *Scordatura 14* (1983-1984). Sur l'aptitude du timbre à porter des formes musicales (form-bearing) voir article de McAdams et Saariaho dans le présent ouvrage. Sur les «espaces de timbres», voir Wessel 1979: 45-52.

87. Risset et Wessel: voir leur article dans cet ouvrage. Sur les nouvelles exploitations musicales du timbre, voir celui de Risset et Risset 1986b.

88. Selon Mâche 1983a: 12.

numérique digital (ainsi l'échantillonnage des courbes électroacoustiques); mais l'appréhension discontinue du monde sonore ne s'impose plus culturellement comme elle le fit après les conquêtes théoriques du Haut Moyen Age. Le continuum sonore électronique offre un matériau d'une extraordinaire richesse, une augmentation artificielle presque inexhaustible du réel sonore, grâce aux possibilités de contrôle au niveau de la microphysique du son: le matériau électro-acoustique peut en effet être travaillé au niveau des microstructures, des micro-déplacements intervalliques et temporels, alors que le matériau instrumental classique est traité en sons de moyennes fréquences, en grands intervalles, en durées moyennes, la théorie musicale traditionnelle suivant la théorie physique classique, qui a pour objet les corps de moyennes dimensions et l'univers macroscopique; et la technologie électronique informatique permet de réunir à l'échelle des microstructures du son les observations et les modifications que la science et la musique classiques réalisaient sur le son macroscopique: c'est ainsi que la prédominance de la fréquence globale du son (fréquence macrostructurelle) est remplacée par celles des composants du spectre (fréquences microstructurelles). En même temps qu'évoluait, dans la notion de matériau musical, l'importance du son discret, de la hauteur et du timbre, la séparation opératoire entre son musical et bruit non musical, basée sur leurs rôles, tendait à s'effacer dans une production électronique indifférenciée où l'un peut être le prolongement de l'autre<sup>89</sup>. Alors que disparaît le concept scientifique de nature, instauré par la science classique, le concept de son tel que le comprenait la musique classique disparaît.

Toutes ces différences entre le matériau musical instrumental traditionnel et le matériau électronique informatique (sources d'énergie différentes, modes d'énergie différents) viennent des différences dans ce qui concerne la production et la manipulation du son, différences qui modifient l'attitude du compositeur pour créer les sons et les utiliser. Dans la musique électroacoustique, le créateur peut posséder techniquement un contrôle total sur les composantes du son et la formulation des séquences, mais il n'est pas sûr que le contrôle absolu du matériau lui en donne la maîtrise, maîtrise acquise lentement, empiriquement et scientifiquement pour le matériau instrumental. La maîtrise du matériau électronique informatique, *nouvelle relation de l'homme avec le monde des sons*, exige du compositeur, en même temps qu'une nouvelle oreille «qui ne va pas obéir à des critères d'évidence»<sup>90</sup>, une nouvelle pensée pour envisager cette nouvelle relation, un nouveau langage qui l'exprime, de nouveaux concepts qui l'analysent, de nouvelles catégories qui l'objectivent, voire une nouvelle notation qui la formalise. D'après ce qui a été dit précédemment, il n'est pas étonnant que la pensée qui permet d'élever le matériau, phénomène sonore technique, au niveau d'événement musical apte à produire une forme, soit différente dans les deux domaines musicaux, instrumental et électronique informatique; car la relation compositeur/matériau, que j'ai caractérisée comme une relation cognitive sujet/objet, subit une modification qui se répercute sur la façon même de penser le matériau. A l'édification de cette pensée le matériau se prête lui-même aisément, car il est construit, donc essentiellement pensable. Et cette «pensabilité» objective, qui était de l'ordre de la connaissance scientifique pour le matériau traditionnel, est

89. Risset 1970: A-103. Il y a des transitions compositionnelles entre son et bruit, ainsi les trémolos. Voir Pousseur 1970: 140-141.

90. Bayle. Cf. *supra* note 20.

pour le nouveau matériau électronique informatique de nature purement technologique.

## 2. La conception actuelle du matériau musical et la modification de la relation cognitive sujet/objet entre le compositeur et son matériau

Le matériau musical électronique informatique, «dépouillé des schémas mécanistes»<sup>91</sup> qui l'identifiaient au «manipulable» au sens physique, privé de représentation intuitive et provoquant par là un certain malaise créatif, appartenant à un nouveau champ phénoménal qui réclame un nouveau rationalisme, est saisi comme un *matériau mental*: c'est, nous le verrons, un processus technologique opératoire que le compositeur traduit en termes de matériau, et le travail sur ce matériau est avant tout théorique: «Le programme», dit Jean-Claude Risset en parlant de la musique informatique, «est plus important que le matériel»<sup>92</sup>. La description de ce matériau mental exige des concepts plus affinés et plus précis que les concepts traditionnels de fréquence, de timbre, de macro-durée, élaborés pour des sons dont l'approche était différente; il impose des concepts correspondants aux structures fines que la technologie permet d'atteindre et de traiter.

Cette description technologique, où l'on a pu voir «l'oubli du concret musical»<sup>93</sup>, amplifie l'*idéalisat ion du matériau musical* qui, selon l'expression d'Adorno, est «déjà par lui-même esprit»<sup>94</sup>; par elle, celui-ci se «dématérialise» en réseau de relations multiples entre des processus dynamiques, suivant en cela l'évolution scientifique de la «dématérialisation» de la matière en énergie<sup>95</sup>. C'est en effet sous sa *forme physique spécifique d'énergie* qu'est produit, manipulé et même pensé le son technologique; forme énergétique d'ailleurs essentielle à tout son musical, naturel ou synthétique, et justement spécifiée dans la définition générale de François Bayle qui vaut d'être citée en entier: «Du matériau-son, produit de l'histoire essentiellement éphémère des oscillations irrégulières de la matière plus ou moins surprise, dérangée, caressée ou agressée, on ne prélève que la forme d'un contour, une empreinte énergétique, dont l'oreille est le guide»<sup>96</sup>. Cette forme d'énergie est, au cours des opérations technologiques, représentée abstraitem ent par son «squelette numérique» qui «donne la vraie mesure de la complexité d'un son, et rend donc possible la production de sons nouveaux»<sup>97</sup>. Mais pour l'oreille et l'imagination auditive du compositeur<sup>98</sup>, selon Bayle qui réfléchit depuis longtemps sur cette exploitation de *l'a-visible, l'a-corporel*<sup>99</sup>, cette énergie-matériau est *une image*, «énergie modulée dont on peut garder une trace permanente et modifiable»: car, dans la mesure où l'on peut en réécouter le résultat sonore, «on va pouvoir travailler sur des représentations mentales (...) pouvoir travailler sur la représentation des images formées dans la conscience», pouvoir

---

91. J'emprunte cette expression à Hugues Dufourt (1981: 6-12, ici p. 12).

92. Risset 1985a: 68.

93. Schaeffer 1966: 493; Chion 1983: 54.

94. Adorno 1963: 292.

95. Cette évolution peut être résumée par la phrase de Karl Pearson: «Matter is no-matter in motion», citée par Reiser 1930: 523.

96. Bayle 1985: 218.

97. Dufourt 1985a: 236.

98. Sur la perception imagée, voir Boulez 1985.

99. Bayle 1985: 213.

construire « par organisation d'images acoustiques, plus ou moins choisies, manipulées et traitées (...) une musique de mouvement d'images » ; et Bayle fait « une distinction fondamentale entre les sons-sources, et les sons-images qui naturellement se font à partir du matériaux (...) et qui peuvent être considérés aussi comme des matériaux »<sup>100</sup>. De l'intellectualisation idéelle du matériau, qui implique pour la production de la musique une diminution de l'activité musicale physique et de l'intuition « chosiste », découle un mode de création musicale rendu plus abstrait par l'intervention de l'ordinateur : l'ordinateur, « corps de techniques », impose son mécanisme conceptuel et son langage opératoire, et se fait par là outil théorique ; il permet de manipuler logiquement des entités logiques : « le matériel s'estompe, le logiciel se déploie ». La plupart des compositeurs de musique informatique admettent que « la musique, grâce à l'ordinateur, gagne un niveau supplémentaire d'abstraction, en étendant l'artifice de l'écriture à des secteurs d'activité musicale qui jusqu'ici lui étaient inaccessibles. En effet, le contrôle explicite des processus musicaux, et leur restitution dans l'ordinateur, réalisent une abstraction et une formalisation similaires à celles produites dans le passage à l'écriture par la notation. Nous savons que cette abstraction donne naissance à des idées et à des concepts nouveaux, et par là même à des pratiques inimaginables sans le passage à cette autre dimension qu'est l'écriture »<sup>101</sup>. La « désensibilisation » du matériau lui-même par laquelle, pour reprendre encore une fois les mots d'Adorno, « le sujet s'affranchit de l'enchevêtrement dans le matériau naturel en quoi a consisté jusqu'à présent, aussi comme domination sur la nature, toute l'histoire de la musique »<sup>102</sup>, n'impose pas à la musique une rationalité abstraite, mais provoque la réponse de l'imagination sensible ; elle semble l'annonce d'« une pensée musicale nouvelle, aussi bien assurée de sa propre maîtrise que de ses moyens »<sup>103</sup>.

Cette pensée musicale, cette sorte de « passage à l'écriture »<sup>104</sup>, fait l'objet d'un enjeu collectif : dans les divers centres et groupes de recherche musicale, une recherche est en cours « sur les nouveaux principes d'organisation formelle appropriée au nouveau matériau ; et sur les nouveaux concepts et les nouvelles catégories de la pensée musicale » ; car dans l'interaction sujet/objet qui caractérise la connaissance, le matériau change la pensée qui change elle-même le matériau, et les principes de la connaissance changent avec son contenu<sup>105</sup>.

100. Cette conception de l'« image acoustique » concrète et mentale, par F. Bayle, est tirée des Conférences de l'Institut National de l'audiovisuel, émissions de France-Musique en 1970, 1980 et 1981. Elle est d'autre part détaillée dans *Idées d'acousmatique*, dont provient la dernière citation (cf. note 20).

101. Barrière 1984 : 195-216, ici p. 196. Cette même idée est aussi exprimée par Risset, Dufourt et Rodet.

102. Adorno 1962 : 12.

103. Dufourt 1981 : 12.

104. Le passage à l'écriture et ses conséquences dans la pensée musicale occidentale sont traités dans mon article de 1983 : 22-55. Il est réclamé par Boulez dans la musique techno-poiétique pour « prendre en compte la fabrication du matériau et sa mise en œuvre... : c'est l'écriture qui sera l'intermédiaire entre le scientifique et le musicien » ; car on ne doit pas accepter que le matériau soit « une simple succession d'accidents heureux ou malheureux » (1985 : 283).

105. Citons à ce sujet Bachelard : « Une découverte objective est immédiatement une rectification subjective. Si l'objet m'instruit, il me modifie (...) une modification spirituelle » (1947 : 249). Le musicien chercheur Jean-Étienne Marie, parlant de la dialectique entre la pensée du compositeur et ses moyens technologiques, écrit de même : « la technologie interpelle la pensée » (Communication du C.I.R.M. (Centre internationale de recherche musicale), au séminaire sur les micro-intervalles, I.R.C.A.M., 4 juin 1981).

Le nouveau matériau est incompatible, répétons-le, avec la pensée théorique ancienne<sup>106</sup>, sa production et sa manipulation n'offrant pas la même possibilité de hiérarchisation et la même grammaticalité que l'ancien matériau<sup>107</sup>; et, nous l'avons vu, ce qui était fondamental dans le matériau traditionnel est déplacé dans le matériau technologique, qui réclame donc « un itinéraire différent »<sup>108</sup>: ainsi, les recherches sur le timbre, dont j'ai mentionné maintes fois l'importance actuelle, sont à l'origine des principaux acquis théoriques et pratiques des dernières années; car le concept physico-mathématique et psychoacoustique de *spectre*, de composition et de structure spectrales, dépasse de beaucoup la notion extrêmement vaste de propriétés sensibles du monde sonore. L'approche et la manipulation du matériau instrumental traditionnel étaient réalisées par l'intermédiaire des paramètres physiques du son et de la théorie musicale : celles du matériau électronique informatique sont réalisées par l'intermédiaire de *programmes informatiques de synthèse et de traitement du son* (établissant « la base de possibilités musicales technologiques correspondant aux besoins compositionnels »), et de leurs *langages de programmation* (« dans l'attente de l'invention d'un langage de description plus universel »)<sup>109</sup>; ceux-ci, s'ils forment un ensemble cohérent, donnant un processus compositionnel correspondant à un réseau de relations fonctionnelles, constituent une véritable mémoire rationnelle technologique collective dont le rôle s'apparente à celui d'une théorie avec sa notation. Actuellement (1986) ces stratégies programmatoires, ces algorithmes d'actions musicales sont élaborés, en vue du projet compositionnel, à partir d'un savoir techno-musical de base<sup>110</sup>, et sur le matériel informatique; et leur mise au point musicale nécessite souvent pour le compositeur une assistance technique, la présence d'électroacousticiens, d'informaticiens, possédant les langages utilisables et orientant le créateur dès la phase de projet: la composition avec un tel matériau est alors un véritable travail d'équipe.

Parmi ces programmes algorithmiques employés au moment où j'écris, on peut, à titre d'exemple et à la suite de Xavier Rodet, insister sur les algorithmes fonctionnant comme *modèles*: ils décrivent sous une forme détaillée le son, son évolution, la structure dans laquelle il se place, et les interactions entre ce son et cette structure; ils représentent la formalisation d'un processus, d'une organisation statique ou dynamique, d'un invariant musical<sup>111</sup>. L'élaboration de ces modèles, qui peuvent être envisagés « comme des types de structure de connaissance », « comme des schémas cognitifs », est directement liée aux problèmes concernant l'intelligence artificielle, et aux langages programmatoires appliquant à la musique les concepts et les méthodes issus des travaux dans ce domaine<sup>112</sup>. Ces *modèles à la fois musicaux et cognitifs* peuvent aider à résoudre le problème de « l'adéquation entre la représentation musicale d'une

106. Je m'inscris ici en faux avec le technicien-musicien Andrew Gerzso, qui ne voit dans l'« écriture électronique » qu'une extension de l'écriture traditionnelle. Cf. « Réflexions sur Répons » in Machover 1984: 25-36, ici p. 34.

107. Sur la difficulté de hiérarchisation du matériau électronique, cf. Boulez, 1958b: 164-170. Sur la grammaticalité du matériau, cf. Berio 1966: 31.

108. Expression de Boulez 1981: 47.

109. Machover 1981: 3.

110. Sur ce savoir de base, cf. Risset 1985a: 68-69.

111. Rodet 1983: 30-33; et 1985a: 1.

112. Cf. Rodet 1983: 31; Rodet, Potard, Barrière 1984: 29; Roads 1980: 13-25; voir aussi Balaban 1985: 375-382.

idée compositionnelle et la représentation-réalisation de cette même idée dans un environnement informatique »<sup>113</sup>. Ils constituent un nouveau domaine de rationalité et de théorisation du matériau technologique de la musique : domaine intermédiaire entre, d'une part, le projet compositionnel et la réflexion prévisionnelle de ses moyens technologiques et, d'autre part, la réalisation de l'œuvre qui dépasse elle-même le projet et ses moyens ; domaine parcellaire, sorte de jalons d'appui partiel comme les pierres d'un gué, jetées dans le courant fuyant de la connaissance. Ces processus modélisés confortent l'objectif décrit de façon éclairante et réalisé musicalement par Jean-Baptiste Barrière dans *Chréode I* : « élaborer un système de composition, un modèle génératif unique définissant plusieurs niveaux hiérarchiques de contraintes. En utilisant ce système... interagir de manière intuitive avec les structures définies [par le compositeur] et produire ainsi des énoncés complexes qui sont reliés entre eux à travers une grammaire commune... explorer de manière systématique les ramifications des différentes structures syntaxiques et aussi expérimenter avec des hypothèses compositionnelles... à travers une famille de propositions / réalisations »<sup>114</sup>.

Ce projet de compositeur théoricien, suite de processus abstraits, ne fait intervenir à aucun moment la notion de matériau musical. De même dans la pensée de Xenakis, le matériau-son, conçu comme « une intégration de grains, de particules élémentaires sonores, de quanta sonores » (chacun de ces grains possédant « une triple nature : la durée, la fréquence, l'intensité »), semble devoir son importance aux opérations globales possibles sur lui : synthèse et variation temporelle des « masses » et des « champs » sonores, combinatoire par l'ordinateur à l'aide de procédés stochastiques, composition par graphique visualisé interprété en temps réel au micro-ordinateur<sup>115</sup>. Le matériau semble s'être effacé au profit de la logique technologique, et avec lui l'opposition entre sujet-compositeur et matériau-objet. On est alors amené à s'interroger sur la valeur épistémo-musicale actuelle de la notion de matériau musical ; et à se demander si elle n'est pas inutile aux nouvelles techniques qui utilisent directement l'énergie, et transmettent des formes sans mettre en jeu de la matière ; si nous n'assistons pas, comme l'affirme Jean-François Lyotard, à « la disparition... du matériau comme objet opposé à un sujet »<sup>116</sup>. Une analyse épistémologique de la relation sujet/objet entre le compositeur et ce-sur-quoi-il-agit dans la musique électronique avec ordinateur nous montre qu'il n'en est rien ; et que la coupure cognitive sujet/objet est seulement déplacée en raison de l'évolution scientifique de la production du matériau musical. Le matériau (de même que l'objet scientifique) a bien disparu comme support intuitif et immédiat, support qui était auparavant fourni par la source causale sensible du son vocal ou instrumental<sup>117</sup> ; il y a dépassement du matériau-objet dans des relations techniques et musicales qui déterminent les structures voulues par le compositeur. Étant donné l'amplification du rôle de la conscience et de la raison qui

113. Barrière 1985: 1.

114. Barrière 1984: 200.

115. Cf. Xenakis 1983: 61-62; 1956: 16; *ibid.*, annexe de l'édition de 1976: 195; voir aussi la description de l'U.P.I.C. (Unité Polyagogique informatique) par le C.E.M.A.Mu (Centre d'études mathématique et automatique musicale) fondé et dirigé par Xenakis.

116. Cf. J. Derrida et J.-F. Lyotard 1984: V.

117. Sur la disparition de l'objet scientifique dans la science contemporaine et l'inadéquation du découpage sujet/objet. Cf. Bailly 1984: 210-221.

accompagne l'intervention de la technique<sup>118</sup>, le rôle du sujet/compositeur est notablement amplifié. Mais les interrelations demeurent entre l'objet qui reste autonome et le sujet qui doit l'intérioriser; et leur dialectique s'installe à différents niveaux, en particulier au niveau de la programmation. Le prolongement technologique de la potentialité subjective du matériau est rejoint par le prolongement compositionnel de la pensée musicale technologiquement objectivée: la technologie musicale contemporaine est le lieu du rapprochement compositeur-matériau musical. Rapprochement qui ne signifie pas immédiateté intuitive, ni prise directe du premier sur le second — nous avons vu que de nombreux intermédiaires abstraits séparaient le son musical du projet du compositeur, intermédiaires dont le nombre est d'ailleurs réduit par le travail en temps réel —; mais qui implique que le matériau inclue une partie de la rationalisation qui s'effectue à travers le sujet, dans le mouvement dialectique qui relie la création et la manipulation du matériau à l'invention musicale du compositeur, le processus technologique au processus compositionnel.

L'intégration du processus technologique à l'invention elle-même reste l'objectif du compositeur œuvrant avec l'électroacoustique et l'informatique; comme l'était la maîtrise du son instrumental dans la composition traditionnelle. Pierre Boulez a maintes fois insisté sur la nécessité d'unir la conception du matériau et la pensée compositionnelle, «d'inventer tout ensemble matériau et pensée»; pour lui il y a deux types de rapport entre la technologie et la création musicale: ou le compositeur suit la technologie, lui obéit, et c'est une sorte d'improvisation; ou il a une idée préalable sur les structures musicales qu'il veut obtenir par l'organisation du matériau, et cherche les processus technologiques adéquats<sup>119</sup>. Le dernier procédé est celui de Boulez lui-même, pour qui le projet compositionnel est essentiel et antérieur au processus technologique qui construira et traitera le matériau élaboré en fonction même de l'œuvre: «ce matériau nouveau sera le fruit d'une réflexion créatrice qui le modèlera selon les besoins réels d'une pensée»; mais pour la musique faisant intervenir l'ordinateur, l'intégration de ce matériau exige «la communication entre le langage musical et le langage informatique»<sup>120</sup>.

La liaison entre la composition et le matériau issu de processus technologiques, ou plutôt entre le créateur et le processus technique qui produit et traite «son» matériau, est aujourd'hui devenue très étroite grâce à l'ordinateur. Je citerai comme exemple deux programmes récemment mis au point et appliqués à l'I.R.C.A.M., où ils sont continuellement perfectionnés: *le programme CHANT*, programme de synthèse par règles, ou algorithmes, partant du modèle de production de la voix, élaboré par Xavier Rodet, Yves Potard et Gerald Bennett; et *le programme FORMES*, programme interactif d'élaboration et de transformation des structures dans le temps, orienté par l'objet (*object-oriented*) ou par le processus (*process-oriented*), fournissant des cadres d'intégration et de manipulation des modèles et des règles, élaboré par Xavier Rodet, Yves Potard et Pierre Cointe; ces deux programmes montrent un développement

118. Cf. Ellul 1954: 16-20.

119. Interview donnée par Pierre Boulez, *le Monde* du 27 mars 1985, et conférence de Boulez, à la remise des travaux des stagiaires (le 09/10/1979), lors de la 5<sup>e</sup> session de formation de l'I.R.C.A.M.

120. P. Boulez, Introduction au Colloque de l'I.R.C.A.M.: *Le concept de recherche en musique*, février 1983. Texte introductif, p. 6.

explicite dans le rapport de J.-B. Barrière qui les utilise pour *Chréode I*<sup>121</sup>. Situé «au croisement de l'organisation et du matériau», l'ordinateur a permis «d'étendre l'activité compositionnelle au matériau sonore, et par conséquent de penser en continuité le matériau et son organisation»<sup>122</sup>. Et ceci, par définition et élaboration d'algorithmes portant, d'une part, sur la description physique des phénomènes sonores (*sonic material*), c'est-à-dire le matériau, et d'autre part sur l'articulation de ces phénomènes, c'est-à-dire l'organisation et finalement la composition<sup>123</sup>: ainsi sont réunies, réunifiées, les deux thématiques impliquées dans la composition à l'ordinateur, la synthèse des sons et leur combinaison en relations syntaxiques<sup>124</sup>. En même temps, on tentait de rétablir la relation directe perdue entre la production du son et sa perception, le timbre décrit en termes de formants se réalisant comme dans notre appareil perceptif, l'axe production-perception donnant des références «pensables dans l'imagination du musicien», bien que «irréalisables dans le monde matériel»<sup>125</sup>. Dans la synthèse et l'organisation du matériau, les processus programmatiques, les modèles algorithmiques, sont traités comme des objets; et les structures reposent sur des processus enchâssés, dont on essaie de faire la grammaire<sup>126</sup>, et dont la combinaison peut donner un «développement compositionnel organique — presque génétique — du matériau sonore construit autour du jeu de l'ambivalence»<sup>127</sup>. Les programmes CHANT et FORMES transforment le rapport compositeur/matériau en «modifiant le rôle du compositeur, en étendant ses responsabilités à l'élaboration même du matériau»<sup>128</sup>. Une échelle progressive dans le temps conduit du matériau à l'organisation compositionnelle par des langages informatiques de plus en plus élevés: premier temps, élaboration du matériau sonore intermédiaire (Langage CHANT); deuxième temps, mise en œuvre de règles complexes modélisant tel ou tel geste musical (Langage CHANT plus complexe); troisième temps, formes musicales (Langage FORMES)<sup>129</sup>.

Dans tout cela, où est le matériau? Il n'est pas encore au départ des opérations du compositeur et il n'est plus à l'arrivée. A quel niveau des opérations se situe-t-il? La notion de matériau est employée tout au long du déroulement technologique: par quel contenu cette notion est-elle efficace et sert-elle la composition? Quelle est la nature de la relation cognitive entre

121. Rodet 1983; Rodet, Potard, Barrière 1984; Rodet, Cointe 1984: 32-49; Rodet 1985; Barrière 1984; Baisnée 1985; Barrière, Potard, Baisnée 1985.

122. Barrière 1984: 95. Même définition de Rodet, 1985a: 1.

123. Rodet 1983: 30; *idem* in Rodet, Potard, Barrière 1984: 15.

124. Il faut remarquer que, à l'origine de notre théorie traditionnelle et lors de la détermination de son matériau au IX<sup>e</sup> siècle, les problèmes étaient chronologiquement inversés: c'est le repérage des relations intervalloques qui a permis de définir l'élément musical, le son discret, comme matériau. Mais dans les deux cas, on a bien toujours la même union ontologique son musical-relations sans laquelle il n'y a pas de musique.

125. Ceci, par la simultanéité de la synthèse par Fonctions d'Ondes Formantiques et du traitement du son par un banc de filtres de second ordre. Cf. Barrière 1985; et Barrière, Potard, Baisnée 1985: 193-194.

126. Rodet 1985b, «Élaboration et perception des structures de Timbres». Sur les possibilités de «grammaires de processus», voir Barrière 1985: 200.

127. Cf. Barrière 1985: 3. Barrière a procédé ainsi à «l'élaboration conceptuelle de *Epigenesis*, une pièce (...) basée sur l'idée génétique du développement de matériaux venus d'une même origine, mais évoluant et étant transformés de manières différentes, découvrant ainsi de nouvelles identités». Cf. Barrière, Potard, Baisnée 1985: 193-198.

128. Barrière 1985, texte introductif, p. 3.

129. Rodet 1985a: 3.

matériaux et composition dans la musique électronique informatique ? Toutes ces questions, et les nombreuses autres questions apparentées qui se posent aujourd’hui, amèneraient la musique à se redéfinir elle-même. Essayons de répondre à quelques-unes.

Le fait que la notion de matériau musical n'intervient pas dans le projet général de composition informatique de J.B. Barrière cité plus haut, et qu'elle circule dans les deux programmes informatiques opérationnels ci-dessus et dans leur application par le même compositeur dans le même projet, permet de présumer la nécessité opératoire de cette notion, son rôle d'instrument intermédiaire dans un processus mental de création. Car si la notion de matériau est employée dans les programmes que je viens de mentionner, son contenu n'est pas le contenu traditionnel. Pour le saisir, il faut enlever à la notion les traces de son histoire : suivant l'évolution scientifique, la notion de matériau a perdu la substantialité matérielle du *sonus* médiéval ; elle a perdu la fonctionnalité mécanique liée à la nature<sup>130</sup> dans la science classique ; enfin elle n'est plus le support du dualisme forme-matière qu'elle fut autrefois : ce dualisme semble s'être résolu pour la musique actuelle dans la notion de structure, la structure technologique unissant matériau et organisation dans des unités de plus en plus complexes jusqu'à la forme finale. S'étant généralisée par extension au cours de l'histoire et de l'évolution de la production du son, la notion de matériau se généralise au moment où j'écris par un changement de point de vue : le « concept » de matériau est dans la musique : il est une articulation de la connaissance qui assure la vie de la musique, dans sa production et son évolution.

Si nous posons de nouveau la question naïve : *où est le matériau dans la nouvelle musique électronique informatique ?* il me paraît possible de répondre que le matériau commence là où le compositeur commence son contrôle, là où il commence à exercer une action mentale pour dégager d'un ensemble technologique des possibilités musicales. Il n'est pas constitué par les sons « concrets » ou instrumentaux que transformera la technologie électroacoustique : ceux-ci ne sont qu'un point de départ occasionnel. Il ne résulte pas uniquement de la production de sons réels, mais de la réalisation technique dans des procédés technologiques du savoir que nous en avons ; ces procédés technologiques, qui permettent d'atteindre d'un même projet le sonore (synthèse) et le musical (organisation) — projet qui les intègre dans une fonction leur conférant nécessité et vérité —<sup>131</sup>, forment un *intermédiaire énergétique dynamique*, comme l'était le matériau musical traditionnel. Dans la pensée musicale traditionnelle, le son instrumental avait été, en gros, identifié à sa source, à sa production mécanique ; en première analyse, *le matériau de la musique électronique informatique est non seulement le son résultat qui naît en cours d'opération, mais aussi ses moyens technologiques élémentaires de production et d'organisation* : moyens conceptuels et cognitifs créés par l'instrument intellectuel qu'est la technologie, c'est-à-dire données abstraites à systématiser en stratégie. « A un niveau donné », dit Bachelard, « c'est la méthode qui définit

---

130. Mécanisme « stupide » selon Prigogine ; Prigogine-Stengers 1979 : 13-15.

131. François Bayle, *Idées d'acousmatique*. Ce « projet » technologique du compositeur, Bayle semble l'avoir perçu très poussé en avant dans la composition, souhaitant « un dispositif d'assistance qui effectuerait des commandes indirectes sur des résultats de procédés, de façon à les associer, non pas par des décisions que le compositeur aura au vu des résultats ; mais immédiatement aussitôt effectuée leur production, de façon à présenter au compositeur non plus des résultats épars, mais des résultats groupés sous des formes, à travers un pari de formulation ».

les êtres »<sup>132</sup>: le matériau technologique doit son être aux méthodes qui lui donnent une existence transitoire, « présence abstraite, insaisissable, toujours supposée, sans cesse recherchée, mais jamais inexistante »<sup>133</sup>.

La logique du matériau, logique inhérente à la coordination des actions mentales que l'utilisateur exerce sur lui, est conditionnée à la fois par la logique technique des appareils et la logique technico-musicale des résultats transitoires; elle consiste pour ce matériau électronique informatique en une construction intellectuelle déterminée par les moyens technologiques qui le produisent, en un système de données opératoires. Cette construction mentale tend à devenir une composante de la structure compositionnelle, le processus intellectuel technologique servant de matériau au processus structurel musical, comme le son de la musique traditionnelle. Il s'ensuit pour ce matériau une certaine homogénéité, même pour des origines différentes (concrète, instrumentale, synthèse). En effet, d'une part, comme le mentionne justement Xenakis, les aspects hétérogènes de la musique (intensité, durée, etc.) symbolisés pour l'ordinateur « ne sont hétérogènes qu'en surface... Il y a des structures d'ordre qui font la liaison »<sup>134</sup>; d'autre part, l'identité des moyens techniques produit une unification des données par la mise en forme technologique et le calcul; enfin, l'élaboration et le contrôle informatique numérique du timbre, valeur structurante susceptible d'une identité cohérente et d'une « pseudo-causalité crédible »<sup>135</sup>, permettent « une continuité entre la synthèse en général, et le traitement des sons instrumentaux » (et concrets): ce « pont entre synthèse et traitement », grâce à leur « contrôle par un même ensemble de règles », tend à « la constitution d'un monde de continuité à l'intérieur duquel on peut réaliser une extraordinaire variété de timbres, tandis qu'on préserve une remarquable homogénéité »<sup>136</sup>. Après deux décennies caractérisées par l'hétérogénéité du matériau sonore, la technologie informatique introduit une unification intellectuelle du champ sonore, tout en augmentant la variété des effets musicaux.

L'ensemble des processus électroniques informatiques de production et d'organisation du matériau, qui font ici partie de la notion même de matériau, possède les caractéristiques de cette notion, mentionnées au début de notre étude: identité et cohérence, qui ici sont intellectuelles; causalité, qui est ici implication non sensible; potentialité, ici extrêmement importante, presque illimitée; résistance, due ici aux contraintes des données technologiques; préexistence et permanence, ici d'une durée variable. Et ces processus-matériau sont « notables », soit par des systèmes de signes tirés des langages de programmation, opératoires et précis, jouant le rôle de tablature; soit par des symboles moins précis évoquant les résultats musicaux. Mais les quatre problématiques de la musique, qui m'ont permis de déterminer la notion de matériau dans la musique traditionnelle, sont ici en quelque sorte télescopée dans le temps, et centrées autour du choix musical du matériau: le choix des sons consiste dans le choix des moyens technologiques pour les produire et pour les modifier, et réclame une prévision intellectuelle que ne demandaient pas les sons traditionnels.

Dans la musique électronique informatique, la notion de matériau musical

132. Bachelard 1940: 55.

133. Ces expressions sont empruntées à J.B. Barrière 1984: 196.

134. Xenakis, 1972, rééd. in 1976: 215-223, ici p. 217.

135. McAdams-Saariaho: voir leur article dans le présent ouvrage.

136. Barrière, Potard, Bainsée 1985: 193-198.

étant élargie aux processus de production et d'organisation du matériau transitoire, le rapport épistémologique sujet-compositeur/matériau-objet fonctionne en multiples interactions: dans les programmes informatiques, les processus technologiques sont traités, nous l'avons vu, comme des objets. La coordination de ces processus est en partie extérieure au compositeur et dépasse sa sensibilité: celui-ci doit donc se réapproprier ses moyens d'expression en absorbant «les prémisses techniques», en les considérant «comme des composantes» de son propre langage musical<sup>137</sup>, comme son matériau. Les processus de synthèse étant considérés comme faisant partie du matériau, le compositeur est d'autant plus engagé dans le matériau que cette synthèse lui incombe; le matériau devient le résultat de son activité et, jusqu'à un certain point, son activité même, à la fois intellectuelle et sensible: sa liberté de choix est limitée par les contraintes technologiques objectives dont il doit maîtriser la formalisation. D'un autre côté, par l'extension de l'activité compositionnelle des programmes CHANT et FORMES, le matériau est d'autant plus lié au compositeur qu'il n'est pas choisi pré-donné, mais créé par lui au moyen d'une technologie donnée et choisie comme l'était le matériau traditionnel. La discontinuité dans l'intuition du compositeur entre les moyens technologiques objectifs et le projet musical primitif subjectif doit être comblée par l'intériorisation subjective des premiers, qui sont intégrés au matériau lui-même, et par la représentation objective du second, grâce à une confrontation approfondie avec les moyens technologiques pré-donnés. L'intériorisation subjective et la représentation objective sont opérées dans une réflexion théorique technico-musicale intermédiaire entre le sujet-compositeur et le matériau-objet, afin de rapprocher la représentation musicale du projet de la représentation de la réalisation technique. La continuité de la pensée de synthèse et d'organisation du matériau chez le compositeur contribue à créer ce lien théorique intermédiaire. Cette médiation entre un sujet-compositeur, déjà objectif en raison de la pensée technologique qui lui est imposée, et un matériau-objet, déjà subjectif car créé par le sujet, ne supprime pas la coupure cognitive sujet/objet grâce à laquelle s'établit entre eux une dialectique créative: cette coupure est simplement déplacée, ou plutôt déplaçable, mobile, sa situation dépendant de la résistance du matériau-processus à l'intériorisation et à la représentation technico-musicale du sujet-compositeur; la résistance est liée à une multitude de conditions: nature du projet compositionnel, possibilités techniques en jeu, savoir technologique du compositeur, son ingéniosité et son talent, un pouvoir au-delà du savoir.

La mobilité de la coupure sujet-compositeur/matériau-objet est ressentie par les auteurs du *projet CHANT* comme une ambivalence du rôle du matériau-objet, limité aux sons transitoires, et c'est le matériau-objet qui est devenu une articulation entre la parenthèse du son et son organisation compositionnelle: «Il ne devrait pas y avoir d'un côté des sons fixés et de l'autre des structures extérieures les organisant. Au contraire, les sons doivent être formés en fonction de leur place dans un certain contexte. Ainsi, les sons sont en même temps objets et sujets de l'organisation». Cette coupure est ressentie par François Bayle comme une «inversion de l'objet en sujet», l'«être» du matériau-objet devenant phénomène qui pénètre le sujet-compositeur<sup>138</sup>: les sons sont en effet à la fois

---

137. Expressions de Pierre Boulez (1985: 283).

138. Rodet, Potard, Barrière 1984: 16; Bayle, présentation de *Jeita ou l'Horloge de Sang* (1969-1985) et de *Motion-Émotion* (janvier 1986).

le résultat de la synthèse par le sujet, à partir des processus technologiques, et le point de départ de l'organisation par le sujet, grâce aux processus technologiques solidaires des premiers et en continuité avec eux. Du point de vue épistémologique, il semble que ces processus technologiques doivent légitimement faire partie du nouveau matériau de la musique électronique informatique, au même titre que les sons intermédiaires qui forment leur articulation mentale transitoire. Et la notion de matériau musical, qui, dans son élargissement immatériel aux processus technologiques, a suivi les changements de nos rapports scientifiques avec la matière, oscille opérationnellement entre un déterminisme technique immédiat et un indéterminisme cognitif ouvert à l'élan artistique<sup>139</sup>.

(Janvier 1986)

#### Note d'octobre 1986

La liaison entre le compositeur et son matériau-processus technologique s'est encore resserrée ces derniers temps grâce à la nouvelle génération d'ordinateurs personnels qui ont la performance des grandes machines et un prix abordable (le prix «d'un bon piano droit»). Les nouveaux *systèmes personnels* apportent au compositeur autonomisation et possibilité de développement individuel: ils le rendent en effet moins dépendant des grandes institutions, de leur technologie lourde et de leurs équipes techniques; et lui permettent d'acquérir une maîtrise technique personnalisée, de travailler chez lui quand et aussi longtemps qu'il le désire et d'essayer ses idées musicales. De plus, la création d'outils informatiques graphiques, faisant correspondre des entités graphiques à des structures musicales en «une constante interaction visuelle et auditive», permet «une mise en œuvre plus intuitive des techniques du traitement numérique» (ainsi dans le projet PréFORM de l'I.R.C.A.M., ou dans le système SYTER du G.R.M.)<sup>140</sup>.

---

139. Dans cet article, j'ai donné ma propre traduction des textes en langue étrangère.

140. Cf. Textes introductifs, Communications et Compte rendu des discussions du Symposium *Systèmes personnels et Informatique musicale*, réuni par l'I.R.C.A.M., Paris, 11-13 octobre 1986. Ces systèmes personnels utilisent généralement le système de commande MIDI (Musical Instrument Digital Interface), protocole qui «permet de faire communiquer entre eux différents systèmes informatiques» (Système tempéré).

## Fonction relative du timbre

par Robert Piencikowski\*

Deux conceptions, en face du timbre dans la musique récente. L'une le traitant sur un plan égal ou subalterne relativement aux autres composantes sonores, dimension acoustique susceptible de formalisation en même temps que soumise au pragmatisme de l'instrumentation; l'autre tendant à le promouvoir au sommet de la hiérarchie structurelle, modèle capable d'assumer l'organisation musicale en subordonnant les autres paramètres. Comparée aux précédents historiques, l'alternative a radicalement changé de sens: la querelle entre austérité monochrome et débauche de couleurs a cédé la place à une interrogation sur les priorités fonctionnelles. En d'autres termes, le timbre a changé de rang, forçant le contrôle de l'écriture de l'extérieur des figures vers l'intérieur de la structure musicale. Inventorier les nombreuses stratégies qui tentent de cerner le phénomène reviendrait à un catalogue des cas particuliers plus ou moins éphémères qui ont vu le jour depuis une vingtaine d'années. Le palmarès nous guette, et la perte de vue de l'utilité compositionnelle: à mesure que l'on poursuit une définition totalisante de sa réalité acoustique, celle-ci s'avère fuyante tant elle tend à se confondre avec ses corollaires, et les épiphénomènes ne manquent pas. Aussi me bornerai-je provisoirement à limiter mon approche à quelques exemples particulièrement aigus du traitement instrumental contemporain, susceptible d'apporter quelques éclaircissements sur les antécédents immédiats de la situation présente.

Le projet de permute les différentes dimensions sonores au moyen d'une organisation structurelle commune devait conduire les musiciens à formuler la question de l'intégration fonctionnelle du timbre avec un maximum de rigueur. Vu le nombre de difficultés soulevées par la réalisation d'un tel plan, les premières compositions sérielles ont délibérément mis ce paramètre entre parenthèses pour donner libre cours à l'invention dans le domaine des hauteurs et des durées. Œuvres que l'on dirait à couleurs limitées, telles sont décrites aujourd'hui encore la *Structure Ia* ou *Kreuzspiel*: l'instrument ne serait sélectionné qu'en raison de la production efficace des figures sonores réduites

---

\* Une version préliminaire de cet article est parue dans le n° 3 de la revue *Analyse musicale*, consacré au Timbre.

à leur plus simple expression, valeurs ponctuelles étroitement dépendantes du schéma. La prise en charge du timbre par la structure passe ensuite au premier plan, urgence qui va se manifester du même coup par des divergences de conception fondamentales. Deux techniques de dérivation inaugurées dans *le Marteau sans maître* indiquent un premier ordre de recherches. L'écriture des mutations consiste à sélectionner une ou plusieurs constantes d'intervalles et à les maintenir sur les figures sonores dont elles contribuent à accuser le profil; l'articulation des séquences s'en trouve considérablement renforcée:

*Figure 1.* Commentaire 1, trio.

Doublures qui seront perçues à l'audition comme prolongeant les données brutes du timbre instrumental naturel en un timbre composé. Ailleurs, les blocs sonores à densité variable sont produits par report d'un groupe d'intervalles sur l'autre au moyen de la multiplication des fréquences. L'agrégat qui en résulte a la fonction d'un complexe de sons entrant en compétition avec les sons complexes de la percussion à résonance grave:

*Figure 2.* Bel édifice, double (Flûte en sol mes. 176-179).

Conflit entre un objet dont la mise en vibration échappe à l'analyse par synthèse globale, et des cellules qui analysent en arabesques les contours d'un bloc composé. En outre, l'écriture rythmique intervient dans chaque cas pour

rehausser la différenciation des figures: multiplications de l'unité, subdivision de champs — la percussion étant volontairement jugulée, ici en la réduisant à la définition de plages temporelles pour travailler sur l'ampleur de la résonance. Dialectique du timbre et de la durée que l'on retrouve à l'origine des premières recherches en musique électronique. Pour obtenir la coïncidence entre structure sonore et plan formel, les timbres artificiels sont liés en interdépendance avec une organisation rythmique reportant leur profil sur le domaine des durées. La recherche propose l'hypothèse d'une correspondance entre rapports fréquentiels et tempo. C'est avec *Gruppen* que celui-ci est soumis à un traitement sérialisé, sur le modèle de la périodicité des harmoniques, l'« octave temporelle » étant conçue pour passer du registre à la durée en solution de continuité. Auparavant, *Zeitmasse* fondait déjà l'articulation formelle sur l'alternative tempo individuel / tempo collectif. Ce dernier fournit l'occasion de transposer une recherche sur le timbre dérivée vraisemblablement de l'expérience des studios — détail singulier, puisque l'effectif instrumental est relativement conventionnel, neutralité visant à mettre la sonorité « naturelle » au second plan:



Figure 3. *Zeitmasse*, mes. 255.

A l'opposé, la coordination des tempi individuels s'obtient par rapport à un champ principal auquel se réfèrent directement les tempi dérivés. Analogie acoustique, certes, mais également synchronisation globale s'appuyant sur un simple pragmatisme de notation: au lieu d'accumuler les valeurs irrationnelles à deux degrés, l'indication métronomique suffit à définir la relativité du temps musical:

Basson	$\text{♩} = 112$
Cor anglais	$= \times \frac{6}{7} = 96$
Clarinette	$= \times \frac{5}{7} = 80$
Flûte/Hautbois	$= \times \frac{4}{7} = 64$

Figure 4. *Zeitmasse*, mes. 201-206.

Dans un autre contexte esthétique, une spéculation comparable avait déjà fait l'objet de recherches venant des compositeurs américains de l'entre-deux-guerres qui avaient pris le relais de Charles Ives (on en trouvera une formulation insolite, livrée avec une ingénuité de bricoleur, dans les *New Musical Resources* que Henry Cowell publia en 1930). Perfectionnée plus récemment par Carter, elle propose un moyen terme entre particularité de la recherche instrumentale et généralité de la transposition métrique. Dans le *Double Concerto*, le développement initial repose sur la synchronisation des deux orchestres par sérialisation des périodicités. La caractérisation des différentes strates est garantie par la fixation d'une constante d'intervalle dans le registre. L'intérêt réside entre autres dans la variation d'éclairage produit par la seule modification de fonction polyphonique d'un même timbre instrumental. Sur le plan individuel, le piano apparaît dans un premier temps comme porteur d'une couche de tempo, figurée par la permanence de la tierce majeure dans l'aigu :

(piano, voix supérieure) etc.

To général  $\text{♩} = 105$

**Figure 5.** Double concerto, mes. 35-39.

A l'approche du point central de focalisation métrique, l'instrument change de rôle et assure la coordination des cinq strates affectées à son groupe: aussi la conduite horizontale passe-t-elle imperceptiblement à un rassemblement vertical à travers les étapes diagonales successives. La relativité des tempi est appréhendée comme un accelerando, par rapport à la transformation de l'échelle de perception prise en charge par l'unicité de timbre du piano:

*Figure 6.* Double concerto, mes. 44-45

De ces quelques observations se dégage une ambiguïté fondamentale, équivoque entre la réalité physique du timbre pris comme objet d'analyse acoustique, et sa fonction esthétique de modèle métaphorique transposée sur le domaine musical: Klangkomposition de Stockhausen, formants de Boulez. La recherche d'une conjonction reliant matériau et forme a conduit les musiciens à accepter l'éventualité d'une structure analogique à celle qu'offre l'observation du timbre applicable aux catégories de la composition. L'écart est considérable cependant entre la réalisation des œuvres, et une écriture qui viserait la seule transcription de spectres acoustiques: simple question de littéralité, qui oppose les optimistes du sens propre, aux réalistes du sens figuré. Sur le plan rythmique notamment, on voit mal comment la composition pourrait se satisfaire du seul report des périodicités autrement qu'à l'échelle d'une planification globale, la production de figures différencierées exigeant des méthodes de travail autres. Toutefois, la recherche sur le timbre a le mérite de mettre l'accent sur la dimension verticale, que ce soit dans le domaine des hauteurs (intervalle, registre, échelle) que dans celui des durées (synchronisation de tempi relatifs).

Verticalité qui fut l'une des préoccupations majeures du sérialisme à ses débuts: la première division du *Mode de valeurs et d'intensités* est composée harmoniquement par l'amalgame de trois sonorités. Transposée sérielement, cette combinaison a pour propriété la production des cellules isomorphes dont dépend la répartition des intervalles sur les zones de prégnance du registre; sur le plan rythmique, le même phénomène se traduit en termes de synchronisation relative par groupes de figures ponctuelles:

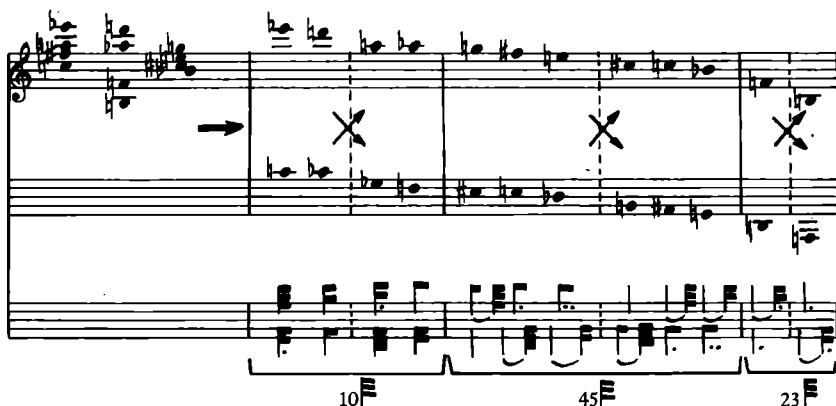


Figure 7.

C'est sur cet acquis que vont diverger les conceptions sérielles, selon la priorité accordée dans la relation de l'objet à l'espace, du son au registre. Dans l'option boulézienne, le rapport d'intervalle décide de la répartition des plans sonores, selon des critères de sélection stylistiques et techniques; dans celle de Stockhausen, l'intervalle est au contraire subordonné à la permutation structurelle de l'objet à l'intérieur d'un espace prédéterminé.

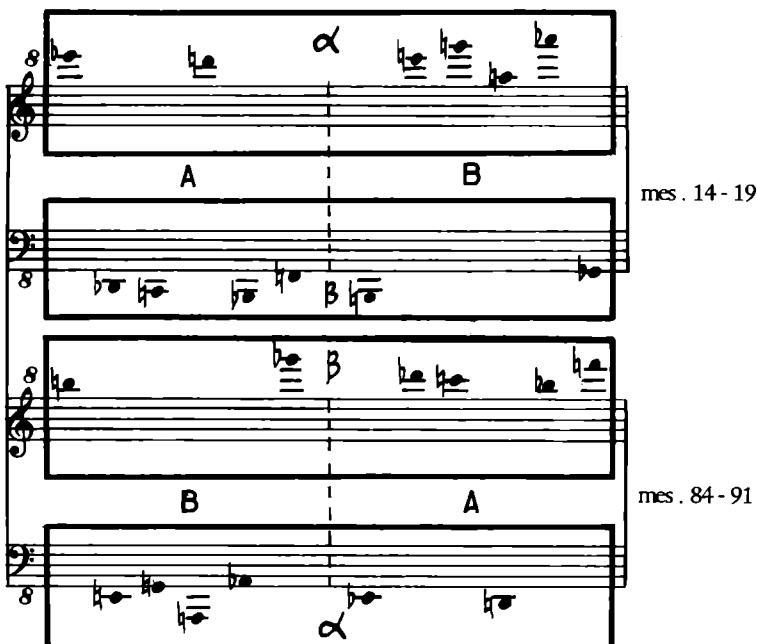


Figure 8. Kreuzspiel, 1<sup>re</sup> partie.

D'où l'accent mis ultérieurement sur la structure du timbre-objet pour la mise en conjonction du son et du registre, notion qui entre en conflit avec le timbre-fonction qui entre en rapport dialectique avec l'intervalle. Selon le point de vue auquel on se réfère, soit le timbre est traité comme cas particulier de la production des hauteurs, soit c'est la hauteur qui est inversement considérée comme cas particulier de la structure du timbre. De cette alternative auront été déduites les réflexions concernant le timbre en tant que modèle structurel potentiel ou comme figure métaphorique de l'articulation formelle: recherche de la base et du sommet.

Ainsi, l'intégration du timbre dans la musique récente implique la refonte des hiérarchies fonctionnelles par réévaluation de ses corollaires acoustiques. Leurs différents degrés de variabilité (évolution du profil dynamique de l'enveloppe spectrale en fonction du registre et du mode d'émission) atteignent un degré tel que la notion même de timbre, et de source sonore, tend à sa propre dissolution. L'informatique nous livre désormais les instruments de précision à partir desquels s'effectuera l'analyse, qui tiendra compte des mises en garde

de la recherche psychoacoustique contre l'illusion que comporterait une confiance aveugle dans les représentations graphiques du phénomène sonore, et de l'incidence des modifications optiques dans le champ perceptuel. Enfin, du choix des diagrammes dépendra le degré de pertinence, d'efficacité de la recherche. La perspective la plus courante consiste à tirer d'un échantillonnage de sources naturelles des modèles de dérivations artificielles : spectres inharmonomiques, continuum de timbres, sons paradoxaux, entre autres éventualités déjà offertes au musicien. A l'inverse, on reporterà les connaissances acquises au contact de la recherche structurale du son en les reportant sur le domaine instrumental traditionnel. Stade intermédiaire, la coordination des deux dimensions par modulation réciproque : démultiplier les données premières du timbre instrumental en autant de timbres relatifs.

A cela, plusieurs obstacles. Situation fréquente : la transmission par haut-parleur est souvent traitée sur un pied d'égalité avec l'écoute instrumentale directe, ce qui revient à confondre la scène avec l'écran. Loin de l'atténuer, le croisement avec des sources instrumentales en accentue la disparité : en outre les contraintes de la synchronisation, les différences de mode de propagation restent laissées pour compte : réactualisation de l'incompatibilité proverbiale de l'orgue et de l'orchestre, dans les anciens traités d'instrumentation. L'extension artificielle des registres ou des vitesses d'articulation ignore le rôle tenseur lié aux résistances physiques de la matière, performance sur laquelle reposaient en partie nos critères de jugement dans le domaine de l'exécution : toute tentative de perfectionnement dans le sens d'une vraisemblance hyperréaliste (idéal des chaînes de haute fidélité) se condamne à n'entrevoir que l'esthétique du trompe-l'œil comme gage de modernité future. L'application de modèles électro-acoustiques sur le champ instrumental nourrit secrètement l'espoir d'une restauration de l'harmonie réduite à ses principes naturels : gauchissement involontaire de l'idée de série verticale, substituant à la dissociation analytique des composantes une fusion synthétique, annulant la figuration au profit de la transcription.

L'appauvrissement de l'écriture qui en découle se résume à deux facteurs principaux. Nécessité de ramener l'échelle de perception à un niveau de discrimination qui soit à même d'apprécier les infimes nuances du matériau, le statisme est consécutif à l'étirement des hauteurs et durées au profit des modifications d'intensité et d'éclairage. Déjà Varese en avait fait l'expérience, qui sacrifiait ses figures par réduction à un système d'oppositions premières dans le but de ramener l'attention sur les seules variations de tension acoustique. Et surtout, les moyens dont dispose encore la technologie pour rendre compte de la matière sonore à disposition : la nomenclature se réduit souvent à des listes mnémoniques sans lien direct avec l'objet autre que métaphorique, l'écran qui demeure une partition aux proportions réduites, et surtout la représentation graphique de l'onde sonore ou du spectre qui incite à la confusion entre écriture et notation. Une fois évités les écueils qui s'opposent à la réalisation des projets musicaux, au cœur de l'équation entre musique et acoustique, l'écriture est appelée à assumer une fonction capitale : aux antipodes d'une conception qui la réduirait à n'être que le compte rendu d'une transcription vouée à l'inertie du constat, simple procès-verbal du timbre, elle s'impose comme la condition même de sa prise de conscience. De ses différentes catégories (articulation des figures rythmiques, définition de l'espace par contrôle de la verticalité) dépendra l'efficacité de la réalisation matérielle, y compris par le biais d'une notation adéquate assurant le relais entre musiciens

et techniciens. Parmi l'ensemble des combinaisons déductibles, un timbre instrumental sera en mesure de susciter une pluralité de timbres dérivés, lui-même étant agi de l'intérieur par une figuration conçue en fonction de ce déploiement.

# Le timbre dans la musique japonaise

par Yoshihiko TOKUMARU

## I. Le timbre comme aspect pertinent

On dit les Japonais sensibles au timbre. Ici la notion de timbre inclut non seulement les timbres utilisés en musique mais aussi ceux qui se trouvent dans la nature ainsi que dans l'environnement quotidien. Une telle sensibilité est liée à la tendance qu'ont les Japonais à négliger les hauteurs absolues et les intervalles dans leur perception. Dans la plupart des villages et des villes, par exemple, les temples gardent encore l'habitude de sonner les grandes cloches chaque jour à heure fixe. Malgré leurs différentes grandeurs, les cloches qu'on trouve plus fréquemment pèsent entre 500 kg et 750 kg et ont entre 80 cm et 100 cm de diamètre. Bien que chacune d'elles possède une hauteur définie, on a tendance à parler de son timbre au lieu de sa hauteur.

Cette perception de sons de cloches en termes de timbre se retrouve évidemment dans l'imitation de leurs sons dans la musique de *syamisen*<sup>1</sup>. Les sons de cloches se représentent habituellement par une combinaison de deux hauteurs qui forment une quinte ascendante ou bien une quarte descendante. Comme le montre l'exemple musical 1, les deux formes de la figure mélodique de la cloche commencent avec une corde à vide et finissent avec une position plaquée. Si le *syamisen*<sup>2</sup> est accordé en *si-mi-si*, les premières notes de la figure correspondent au *si* de la première corde (la plus basse) ou au *si* de la troisième corde (la plus haute). Les secondes notes doivent être jouées sur la même position de *fa dièse* de la deuxième corde. Il faut mentionner ici que cette position de *fa dièse* sur le manche du *syamisen* produit la combinaison la plus riche et la plus complexe de sons harmoniques. (Comme je vais l'expliquer dans la section suivante, les positions sur le manche du *syamisen* diffèrent entre elles en ce qui concerne la sonorité, c'est-à-dire la quantité des sons harmoniques.)

---

1. Les termes japonais sont plus souvent écrits dans le système appelé Nippon que dans le système Hepburn. Le premier, qui est enseigné dans l'éducation obligatoire au Japon, est plus fidèle au système phonétique de la langue japonaise que le système Hepburn. Mais quelques termes écrits dans le système Hepburn sont aussi juxtaposés.

2. Le *syamisen* (*shamisen*) est un instrument à trois cordes pincées. Il est présent dans divers contextes de la musique japonaise qui ont chacun donné naissance à de légères variantes de construction et d'utilisation de l'instrument (voir Tokumaru 1986).

De plus, les deux notes doivent être attaquées continûment plutôt que de manière discrète. Par conséquent, on pourrait dire que les intervalles eux-mêmes ne possèdent pas de signification, et que leurs positions sont plus importantes pour la production d'un timbre pareil à celui de la cloche. C'est grâce à un contenu harmonique riche que ces positions (y compris les cordes à vide) sont choisies pour l'imitation du timbre de la cloche.

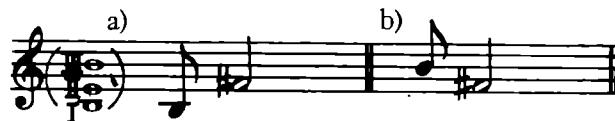


Figure 1. Les sons de cloches. L'accord dans la parenthèse après la clé: le système d'accord.

Cette façon de percevoir les sons en termes de timbre se retrouve dans la façon d'entendre les sons non musicaux. Les Japonais ont tendance à distinguer les appels des oiseaux et des insectes, non par leurs structures d'intervalles, mais par leurs timbres. Au lieu de donner des relations d'intervalles définies comme une tierce pour le coucou dans la tradition européenne, par exemple, les Japonais tendent à représenter les cris des oiseaux et des insectes par des combinaisons de voyelles et de consonnes. Un *matumusi*, grillon du pin, est censé chanter «tin ti ro rin», alors qu'un *kōrogi*, grillon, aurait pour chant «ke ro ke ro ke». Ici les distinctions entre /t/ et /r/ — grillon du pin — et celles entre /k/ et /r/ — grillon — montrent le souci de distinguer les timbres parmi les appels des insectes. (Les syllabes avec le suffixe /n/ sont plus longues que celles qui ne l'ont pas.) L'exemple musical 2 représente les appels des grillons du pin imités par le *syamisen* dans la pièce intitulée *Aki no irokusa* (Fleurs variées en automne) composée par Kineya Rokuzaemon en 1845.

▼ : avec le plectre de bas en haut  
○ : le pizzicato de la main gauche

Figure 2. *Aki no irokusa*. Les appels des grillons du pin imités par le *syamisen*.

Lorsque, dans la seconde moitié du xix<sup>e</sup> siècle, les Japonais ont importé la musique occidentale, ils ont commencé à utiliser les instruments de musique

occidentaux seulement pour obtenir de nouveaux timbres. Ils ont inventé un nouveau genre nommé *wayō tyōwa gaku* (musique de l'Ouest et du Japon en harmonie)<sup>3</sup> dans lequel des instruments occidentaux comme le piano et le violon étaient combinés aux instruments japonais, par exemple, au *syamisen* et au *koto*, pour jouer la musique japonaise. Ce genre a privé les instruments occidentaux de leur nature propre, la nature harmonique, par exemple, et a profité de leurs timbres «étrangers» pour accentuer la différence entre eux et les instruments japonais.

Comme déjà mentionné par Roman Jakobson dans son article «Musikwissenschaft und Linguistik» (1932), les aspects pertinents dans la musique diffèrent de style en style. Dans le cas de la cloche, il va de soi que le timbre est l'aspect le plus pertinent. La technique permettant de bien faire résonner la cloche a dû être accentuée traditionnellement. Bien résonner signifie faire résonner la cloche avec des sons harmoniques bien équilibrés et pendant la durée la plus longue possible. Il est dommage que les compositeurs contemporains ne soient pas conscients de ce timbre idéal de la cloche : il est facile de se satisfaire de la simple présence de la cloche et d'autres instruments bouddhiques sans extraire leurs timbres idéaux. J'ai souvent écouté des compositions nouvelles exécutées avec des timbres non satisfaisants. Ce dont les compositeurs et les percussionnistes doivent prendre conscience est le fait qu'une grande aptitude pour jouer des instruments occidentaux à percussion n'entraîne pas une aptitude identique à jouer des instruments bouddhiques dont la pertinence est de nature différente.

Avec son œuvre *Festmusik zur Feier des 2600 jährigen Bestehens des Kaiserreiches Japans*, op.84 (1940) (Musique de fête japonaise), Richard Strauss se pose comme précurseur dans l'emploi d'instruments bouddhiques. Dans cette pièce, il sacrifie les timbres propres aux gongs et les utilise, tels un métallophone, dans l'ordre scalaire. Il accentue la structure des hauteurs plutôt que les timbres individuels. Par conséquent, cet exemple de Strauss pourrait être considéré comme une contrepartie de l'attitude japonaise qui donna lieu au *wayō tyōwa gaku*. Dans les deux cas, l'aspect pertinent des instruments fut négligé.

## II. Le timbre systématisé

Tous les instruments de musique peuvent produire un nombre indéfini de timbres grâce à la technique et à la condition physique des exécutants. Par conséquent la différenciation de timbre pourrait être qualifiée de continue et linéaire. Ceci est vrai même pour les instruments utilisés dans la musique japonaise. Il est évident que ce type de différenciation minutieuse est important pour la qualité d'exécution musicale, surtout du point de vue individuel. Mais dans le cas de la musique japonaise il y a un autre type de différenciation du timbre qui s'applique à la plupart des instruments. Dans ce second type, les timbres sont classés en un nombre discret de catégories. En d'autres termes, ils sont systématisés.

Examinons le *kotudumi* (alias *kotsuzumi* et *kotuzumi*) comme exemple. C'est un petit tambour en forme de sablier indispensable à l'ensemble du théâtre de *nô* et de *kabuki*. Ses deux membranes en cuir sont fixées par des ficelles. Le

---

3. Quant au problème de l'acculturation musicale du Japon au xx<sup>e</sup> siècle, voir Katsumura 1986.

musicien modifie la tension des membranes en resserrant ou en relâchant les ficelles avec sa main gauche. Quand il en joue, il varie la dynamique des attaques contre la membrane et l'endroit de l'appui des doigts de la main droite sur la membrane. Il va de soi que les techniciens de cet instrument, comme ceux des autres instruments, veulent développer leur originalité dans le timbre. S'ils y réussissent, les auditeurs reconnaissent les musiciens par une seule attaque. Mais néanmoins chacun des sons qu'ils produisent doit être reconnu comme l'un des timbres systématisés. En général, le système de timbres du *kotudumi* est basé sur quatre sortes de timbres<sup>4</sup>. Chacun d'eux est nommé comme suit :

1. Nomenclature officielle *kasira* (alias *kashira*), signe pour la transmission orale /ta/: haut et fort; on frappe fortement la membrane sur son bord en resserrant les ficelles à accorder.

2. Nomenclature officielle *kan*, signe pour la transmission orale /ti/ (alias /chi/): haut et faible; on frappe faiblement la membrane sur son bord en relâchant les ficelles à accorder.

3. Nomenclature officielle *otu* (alias *otsu*, signe pour la transmission orale /po/: bas et bien résonant; on frappe la membrane au centre en resserrant puis en relâchant les ficelles à accorder immédiatement après la frappe.

4. Nomenclature officielle *hodo*, signe pour la transmission orale /pu/: plus bas et fréquemment plus faible; on frappe la membrane au centre en relâchant les ficelles à accorder.

La partie du *kotudumi* dans les patrons rythmiques du *nô* et du *kabuki* se définit par ces quatre sortes de timbres. Même si un musicien exécute les durées exactes des attaques du *kotudumi*, ces attaques ne seraient pas considérées comme les patrons rythmiques s'il changeait de type de timbres. Pour accentuer l'exactitude des choix de timbres, les musiciens ont l'habitude d'utiliser une notation orale que l'on nomme *kuti syôga* (alias *kuchi shôga*). /Ta/, /ti/, /po/ et /pu/ sont les signes pour le *kutisyôga* de *kotudumi*<sup>5</sup>. Le *kuti syôga* en général peut être défini comme une méthode vocale permettant de transmettre et mémoriser les parties instrumentales. Le *kuti syôga* ne se borne pas aux instruments du *nô*. Il s'applique aux instruments plus anciens comme ceux du *gagaku* ainsi qu'aux instruments plus modernes comme le *syamisen*<sup>6</sup>. Au contraire des chants ordinaires, le *kuti syôga* emploie des syllabes qui ne possèdent aucun sens. Ceux qui ne connaissent pas bien cette méthode entendent peut-être ces syllabes comme si elles avaient été arbitrairement fredonnées. Cependant, en réalité, les syllabes utilisées sont fixes pour chaque instrument ou chaque genre musical. Grâce à cela, ces méthodes peuvent contribuer à la communication entre les musiciens.

Les syllabes employées dans chaque méthode de *kutisyôga* ne représentent pas toujours les hauteurs des sons. Ici encore, les aspects pertinents de chaque instrument sont choisis pour les syllabes. L'importance des timbres est bien évidente dans les méthodes orales des tambours de *nô*. Le *kutisyôga* de *ryûteki*, flûte traversière de *gagaku*, consiste en doigtés tandis que le *kutisyôga* de *syô*

4. Bien qu'il y ait deux autres sortes de timbres pour le *kotudumi*, je ne les mentionne pas ici parce qu'ils ne sont employés que rarement. (Voir Komparu et Masuda 1973: 24.)

5. Traditionnellement on utilisait le mot *syôga*. Ce n'est que récemment que l'on a commencé à employer l'expression de *kuti syôga*, c'est-à-dire *syôga* par la bouche, pour éviter la confusion avec *syôka*, i.e. les chants scolaires qui se représentent avec les mêmes caractères chinois que le *syôga*.

6. Pour les discussions sur des systèmes de *kuti syôga*, voir Yokomichi et Gamô 1978, Fujita 1986, Gunji 1986, Kamisangô 1986.

(alias *shō*), orgue à bouche de *gagaku*, se compose de noms de tuyaux qui servent de note fondamentale à chaque accord.

Revenons au théâtre *nô*. Dans les cours d'instruments du *nô*, le maître enseigne à l'élève le *kuti syôga* d'une phrase à apprendre. Une fois seulement la mémorisation achevée, il joue la phrase sur son instrument. Puisque le *kuti syôga* de *kotudumi*, par exemple, se représente avec des phonèmes japonais, il est facile à prononcer comme à écrire en japonais. Les musiciens et acteurs qui ne jouent pas de *kotudumi* doivent eux aussi connaître leur *kuti syôga*. On demande aux connaisseurs-amateurs de reconnaître le *kuti syôga* lorsqu'ils assistent à une représentation. En d'autres termes, ceux qui peuvent catégoriser les sons eux-mêmes du *kotudumi* dans les timbres systématisés peuvent articuler musicalement les chaînes des attaques de cet instrument.

Il en est de même pour le *syamisen*. Pour cet instrument, le *kuti syôga* est désigné par l'expression *kuti syamisen* (prononcé comme *kuti zyamisen*), i.e. *syamisen* par la bouche. Malgré les nombreuses différences stylistiques entre les genres, et malgré la différence de notation entre les guildes, ce *kuti syamisen* est en principe assez uniformisé<sup>7</sup>. Il vise principalement à faire distinguer des autres sons les sons produits sur les cordes à vide. Par exemple, le son *si* de la troisième corde à vide est baptisé «ten», alors qu'un son de même hauteur obtenu sur la deuxième corde pressée a pour nom «ton», comme le montre l'exemple musical 3. Il faut également parvenir à différencier les diverses façons

Figure 3. *Kuti syamisen* (p): position pressée (v): corde à vide.

de pincer les cordes. Le *si* de la troisième corde sera baptisé «ten» s'il est pincé vers le bas avec le plectre, mais «ren» s'il est pincé vers le haut ou avec un doigt de la main gauche. Donc, un joueur de *syamisen* chante sa partie instrumentale en suivant cette technique de *kuti syamisen* plutôt qu'en la fredonnant. Cela lui permet d'exercer sa mémoire non seulement en ce qui a trait aux cordes mais encore en ce qui concerne les techniques de jeu de l'instrument. Quand il apprend une mélodie nouvelle, il lui faut savoir son *kuti syamisen* en plus de la mélodie, parce que les cordes et les façons de jouer la mélodie sont

7. Les musiciens du *gidayû-busi*, musique de *bunraku*, nomment par exemple la première corde à vide «don» contrairement à la dénomination plus fréquente «ton».

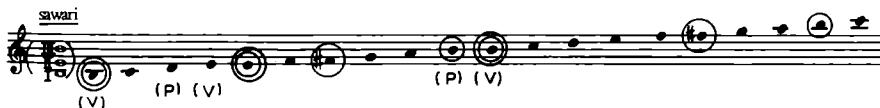
rigoureusement fixes et que l'on n'a pas le droit de les changer. Si l'on ose les changer, la mélodie ne s'entend plus comme telle. Le système de *kuti syamisen* représente merveilleusement les aspects pertinents en ce qui concerne les distinctions entre les cordes et les façons de jouer.

Les musiciens, c'est-à-dire les chanteurs-narrateurs et les instrumentistes, utilisent le *kuti syamisen* pour se référer à leur musique dans les leçons et les répétitions. Par conséquent, comme dans le cas du *nô*, même les musiciens qui ne touchent pas le *syamisen* doivent posséder la connaissance exacte de ce système.



*Figure 4.*

Prenons une figure mélodique de *gidayû-busi* nommé *daizyo* comme exemple (l'exemple musical 4). Cette petite figure de caractère solennel inaugure un long drame de plusieurs actes. Bien que l'on puisse changer la hauteur absolue de cette mélodie en gardant ses relations d'intervalles, on doit toujours être fidèle au *kuti syamisen*, c'est-à-dire aux distinctions des timbres qu'il définit. Même si le *syamisen* est accordé en *si-mi-si*, la deuxième note (*si* haut) et la troisième note (*mi*) pourraient être produites avec les cordes plaquées. Conformément au *kuti syamisen*, cependant, il faut les jouer avec les cordes à vide qui résonnent avec des sons harmoniques plus complexes que les sons de même hauteur produits sur les positions pressées. L'effet acoustique appelé *sawari* provoque cette distinction radicale du timbre selon les positions sur le manche. On appelle *sawari* le bourdonnement du *syamisen* né du léger frottement de la première corde (corde la plus grave) sur la surface du manche. Cet effet de *sawari* permet de distinguer les *syamisen* de l'île principale du Japon de ceux d'Okinawa et des nombreux luths chinois à trois cordes. En effet, les trois cordes du *syamisen* d'Okinawa et les luths chinois reposent sur le dessus du cordier, alors que seules les deux cordes les plus hautes (la deuxième et la troisième) sont ainsi disposées dans le cas du *syamisen* de l'île principale du Japon : la largeur du cordier n'atteignant pas celle du manche, la première corde repose directement sur le manche<sup>8</sup>. Dans l'exemple musical 5 qui indique la position des doigts sur le *syamisen*, les hauteurs marquées d'un rond résonnent avec plus de densité que les autres.



*Figure 5.*

<sup>8</sup>. Pour une description plus précise, cf. Tokumaru 1987.

Ce n'est pas toujours le timbre le plus complexe qui fonctionne comme déterminant d'une figure. La figure *iro dome* de *gidayū-busi*, par exemple, qui s'emploie plusieurs fois dans un morceau, remplit la fonction de donner la demicadence au narratif. Il ne se compose que de deux notes *la* et *si* (exemple musical 6). Il est indispensable de jouer la note *si* ainsi que la note *la* sur les positions plaquées de la deuxième corde. Si la note *si*, du fait d'une erreur du joueur de *syamisen*, était jouée sur la troisième corde à vide, ces deux notes ne constituerait aucune figure et causeraient une réaction défavorable et différente chez le chanteur qu'il accompagne, et aussi chez les auditeurs.

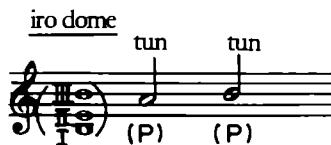


Figure 6.

Nous pouvons en conclure que l'écoute musicale doit permettre de reconnaître chaque son de *syamisen* non seulement en termes de hauteur et de durée mais aussi en termes de timbre systématisé.

### III. Le timbre institutionnalisé

Nous avons pu voir que le timbre personnel de chaque musicien doit être travaillé dans le cadre des timbres systématisés traditionnellement et globalement définis pour chaque instrument. On demande, cependant, aux musiciens des traditions japonaises de se conformer à une autre contrainte. C'est la contrainte du timbre que chaque style, chaque guilde de musiciens, a historiquement développé comme son identité.

Dans le cas de la musique de *syamisen*, chaque style se caractérise par son propre timbre et par d'autres traits stylistiques comme, par exemple, les figures mélodiques. Les facteurs suivants déterminent grossièrement le timbre de *syamisen*: 1. la tension de la membrane; 2. le poids du chevalet; 3. la hauteur du chevalet; 4. l'épaisseur des cordes; 5. le plectre.

Un chevalet léger et bas en ivoire confère au *syamisen* de *nagauta* une sonorité stridente et pénétrante. Par contre, un lourd chevalet en corne de buffle (avec deux petites boules de plomb fixées à la base de chaque chevalet) rend la sonorité du *syamisen* de *gidayū-busi* sombre et grave. La forme du plectre varie également selon les différents genres de musique interprétés. Le plectre utilisé pour le *nagauta* est léger et à bord mince. Le plectre employé pour le *gidayū-busi* est lourd et à bord épais. D'après mes mesures, le plectre le plus léger pèse 23 g et le plus lourd 280 g.

Le poids, et par conséquent l'épaisseur des cordes, varient selon le genre de musique interprété. Les cordes de *syamisen* sont fabriquées à partir de fils de soie grège roulés ensemble et fixés à la colle de riz. La première corde (la plus grave) est la plus épaisse, la deuxième, plus mince et la troisième plus mince encore. Les poids relatifs moyens de ces trois cordes sont en proportion de 3: 2: 1 et se mesurent en *monme*, unité japonaise de poids (1 *monme* équivaut à 3.75 g). Si une corde pour la troisième corde est appelée 15-3 (3 signifie qu'elle est la troisième corde), cela veut dire que 200 de ces cordes pèsent 15 *monme*.

De même une corde 13-2 indique que 100 (1/2 de 200) cordes pour la deuxième corde pèsent 13 *monme* et 15-1 que 66 (environ 1/3 de 200) de ces cordes pour la première corde pèsent 15 *monme*.

Chaque genre, ou chaque guilde d'un même genre, a tendance à choisir son épaisseur (poids) de cordes favorite. Si nous faisons une comparaison des poids des troisièmes cordes, en simplifiant, nous possédons un spectre en partant de 12-3, passant par 15-3 et 18-3 et finissant avec 25-3.

Toutes ces variétés sont institutionnalisées plutôt que personnelles. Mais du point de vue des auditeurs, ces variétés fixées par les styles ou par les guildes<sup>9</sup> contribuent à augmenter le plaisir de percevoir les différences artistiques. Il me semble que les musiciens ainsi que les auditeurs compensent la fixation relative des répertoires avec la diversité des timbres, au moins, aux trois niveaux, c'est-à-dire au niveau institutionnalisé, au niveau systématisé et finalement au niveau individuel.

---

9. Cf. Tokumaru 1986 quant à la fonction des guildes dans la tradition musicale au Japon.

## **Quelques réflexions sur le contrôle formel du timbre**

par André RIOTTE

La recherche de sons nouveaux est globalement assimilable à une recherche sur les timbres. Ceci nous conduit à une interprétation plus ambitieuse que prévu des problèmes de formalisation, puisque s'y adjoignent des problèmes de « modélisation » du son.

Jusqu'à présent, les formalisations usuelles s'attachent à deux niveaux distincts sans communication véritable :

- la représentation des sons isolés, qui passe par une typologie des sons existants (instrumentaux), englobant l'exploration des sons instrumentaux marginaux (Artaud et Geay 1980);
- la représentation quantifiée des sons dans l'espace-temps musical (classes résiduelles, cribles) et de leurs groupements fonctionnels pouvant constituer les bases d'un langage (algorithmes, processus, transformations diverses) (Amiot, Assayag, Malherbe et Riotte 1986).

Or il est clair qu'idéalement les deux niveaux devraient communiquer, et plus l'écriture se fonde sur la complexité, plus on observe qu'en effet ils se rapprochent. Deux exemples :

- l'écriture des cordes en micro-intervalles continûment variables de Dusapin (*Inside*, trio à cordes),
- les compositions de Malherbe (*Nonsun*, *Color*) tendant à intégrer fonctionnellement les sons marginaux dans la structure globale du discours (Assayag, Castellengo et Malherbe 1985).

### **I. Quels modèles ?**

Quels outils possédons-nous actuellement pour décrire au plus près un phénomène sonore isolé, émanant d'une seule source cohérente? L'enveloppe spectrale est un instrument d'observation puissant et complexe qui permet de couvrir un large éventail de sons, y compris les inharmoniques. Toutefois, son utilisation comme modèle de génération de sons synthétiques suppose une série d'hypothèses supplémentaires sur la source.

La description la plus complète — encore que, étant ponctuelle, elle ne tienne pas compte de la spatialisation du son — est le graphe  $p = f(t)$  qui décrit les variations de pression de l'air en un point donné en fonction du temps. C'est au moins la seule description qui tienne compte d'une manière globale de l'ensemble des paramètres que nous avons coutume de dissocier, imprégnés faute de mieux par le carcan de l'approche cartésienne: hauteur, durée, intensité, timbre. Malheureusement, sa complexité même rend cette description difficilement utilisable, surtout si le son n'est pas périodique. En particulier, la communication avec des formalismes du niveau suivant (« profils » traduisant des relations d'ordre entre hauteurs ou durées, noyaux généralisant l'usage des permutations cycliques) ne serait possible que si un son pouvait rester caractérisé par un nombre très restreint de paramètres.

Revenons donc un instant à notre point de départ. Nous avons besoin d'une méthode, ou au moins d'un mode d'approche qui nous permette d'intégrer le timbre non plus comme qualificatif du son, mais comme propriété fonctionnelle — dynamiquement fonctionnelle — de l'invention musicale.

Partant des instruments traditionnels, nous serons amenés à nous fonder sur leurs limites, sur leurs lacunes. Encore que les êtres, comme les matériaux, ne réagissent efficacement qu'en utilisant leurs lacunes, nous ne pouvons maîtriser que partiellement, à coups d'astuces, la transformation dynamique du timbre (dont le champ est d'une complexité inépuisable). Nous n'avons donc pas le choix: seule la synthèse — digitale bien entendu — pourrait nous permettre théoriquement de maîtriser toute transformation de cet ordre.

Mais si nous synthétisons le son, le problème de la formalisation se déplace. Il ne s'agit plus de décrire, mais de formuler des modèles fonctionnels.

Quels sont les modèles mathématiques les plus aptes encore aujourd'hui à décrire, à simuler les vibrations de structures? Les systèmes différentiels — aux dérivées totales si l'on simplifie le modèle ( constantes localisées), ou aux dérivées partielles si l'on veut se rapprocher de la complexité de la matière ( constantes réparties). De toute façon, on les transformera en équations ou en systèmes d'équations aux différences. C'est l'approche choisie par Claude Cadoz: partir de la simulation d'unités mécaniques élémentaires (masses, ressorts, frottements) et utiliser leurs couplages comme modèles générateurs de sons (Cadoz 1979).

## II. Les aléas du déterminisme

On pourrait trouver désuet le recours à un instrument purement déterministe comme l'équation différentielle. Déterministe puisqu'elle résume en un formalisme tout l'historique (passé et futur) du système, et qu'on pourra ainsi s'imaginer «avoir enfermé l'éternité dans l'instant présent» (Ekeland 1984). C'est l'occasion d'une parenthèse sur les deux conceptions du temps entre lesquelles oscillent les mathématiques selon Ekeland:

- le langage géométrique: conception globale selon laquelle le présent appelle l'avenir et répond au passé;
- l'écoulement du temps, considéré comme une succession d'états indépendants dans une large mesure, les traces du passé s'estompant très vite; chaque instant apporte quelque chose de fondamentalement nouveau.

Dans l'équation différentielle, le comportement du système est entièrement déterminé par ses conditions initiales (par exemple position et vitesse dans

l'équation du pendule), et il semble à première vue sans espoir d'obtenir l'imprévu avec l'instrument type de la régularité. Pourtant, même dans la catégorie très restreinte des systèmes dissipatifs — c'est-à-dire les systèmes qui, dissipant leur énergie, rejoignent avec le temps une position d'équilibre — on a pu montrer que si plusieurs équilibres stables coexistent et sont en correspondance univoque avec des sous-ensembles de conditions initiales, cette correspondance peut être suffisamment critique (fonction de variations suffisamment faibles) pour que le résultat final soit imprévisible.

Ceci n'est vrai que si le système atteint un certain degré de complexité (espace des états multidimensionnel). Or, si ces domaines sont explorés par les physiciens, ils ne s'intéressent qu'aux situations stabilisées et à leur prévision. Alors que ce qui nous concerne, nous, musiciens, c'est au premier chef la manière dont l'énergie sonore se dissipe, c'est-à-dire le parcours pour atteindre la stabilité. Nous pourrions déjà explorer ainsi un champ très vaste d'investigation. Mais un système multidimensionnel devient vite difficile à manier, même s'il est inconditionnellement stable.

En revanche, il existe des modèles simulant des systèmes recevant un apport permanent d'énergie vibratoire. C'était déjà le cas du modèle basé sur la modulation de fréquence mis au point par John Chowning (1973) avec le succès que l'on sait.

### III. Quelles équations ?

Théoriquement, tous les modèles sont bons pour simuler une source sonore, du moment qu'ils sont efficaces et maniables. Puisqu'il s'agit de synthèse digitale, que demanderons-nous à nos modèles régis par des équations différentielles ?

- une économie de moyens mettant en jeu en temps réel un minimum de circuits (afin de pouvoir assembler par la suite un nombre suffisant de sources);
- autant que possible, les moyens d'agir séparément et continûment sur certaines propriétés du son, c'est-à-dire un découplage de l'action des paramètres.

Une caractéristique du traitement des systèmes différentiels qui les distingue des autres modèles actuels de synthèse est leur réalisation, au niveau du flux instantané des données, sur le principe des systèmes à rétroaction ou systèmes bouclés ; ils ont donc vocation à une approximation — même grossière — des systèmes multibouclés, que la théorie des systèmes considère comme la meilleure représentation actuelle des sous-systèmes de la vie (Von Bertalanffy 1973; Atlan 1979).

D'autre part, notre intérêt actuel pour les sons inharmoniques en général n'est pas encore suffisamment étayé par l'étude physique du fonctionnement complexe des instruments lorsqu'ils les produisent pour que nous soyons en mesure d'en formuler des équivalents formels élaborés. Pour leur synthèse informatique, il ne nous reste donc que l'usage de modèles théoriques simplifiés simulant l'apport d'énergie extérieure à un oscillateur. C'est le cas de l'équation de Mathieu et de sa version plus complexe, l'équation de Hill (Riotte 1984).

### IV. Entre ordre et désordre

Il est instructif de noter que, pour les physiciens, l'oscillateur paramétrique

formalisé par l'équation de Mathieu est un exemple type pour l'étude de la zone de transition continue entre le totalement prévisible (l'équation du pendule) et le totalement aléatoire (le bruit blanc), c'est-à-dire le passage de l'ordre au chaos, approché par eux pour rendre compte des phénomènes de turbulence dans les fluides (Bergé, Pomeau et Vidal 1985). Ce modèle et ses dérivés correspondent en effet à la situation instable où peuvent se trouver certains systèmes physiques, chimiques, biologiques (en allant du simple au complexe); si un apport d'énergie extérieure — la perturbation — les empêche d'atteindre un état d'équilibre, des fonctionnements périodiques ou pseudo-périodiques complexes, parfois même imprévisibles sous certains aspects, peuvent apparaître alors que la formulation des modèles qui les régit reste déterministe (Nicolis 1982).

Si nous voulons enrichir le spectre des solutions inharmoniques, nous pouvons imaginer d'autres modèles par extrapolation : par exemple le couplage réciproque de deux oscillateurs paramétriques, ou encore une équation de Hill dont le terme perturbateur sera une solution non divergente d'une équation de Mathieu, etc.

Il s'agirait d'introduire dans le champ des ondes sonores des paramètres faisant fonction d'attracteurs étranges, comme les ont poétiquement baptisés les physiciens. L'éventail des modèles à explorer et des timbres résultants — au sens le plus général de l'évolution dynamique d'ondes sonores — est donc extrêmement vaste, mais là encore, tout reste à faire.

# **Exploration du timbre par analyse et synthèse\***

par Jean-Claude RISSET et David WESSEL

## **I. Le timbre**

Le timbre, se référant à la qualité du son, est l'attribut de la perception permettant de distinguer les instruments de l'orchestre lorsque ceux-ci jouent la même note avec la même dynamique. Mais, contrairement à l'intensité (la «sonie») et à la hauteur, cet attribut perceptif n'est pas clairement défini. Ses diverses définitions tendent à indiquer ce qu'il n'est pas plutôt que ce qu'il est : tel est le cas de l'énigmatique définition donnée par l'American Standard Association (1960: 45) : « Le timbre est l'attribut de la sensation auditive suivant lequel un auditeur peut différencier deux sons présentés dans les mêmes conditions, et ayant la même sonie et la même hauteur. »

La notion de constance ou d'invariance du timbre est plus vague encore que celle évoquée par les définitions posant le timbre comme élément de base de la discrimination. Il semblerait qu'une forme de constance du timbre soit due à l'observation courante selon laquelle une source sonore peut être correctement identifiée en de nombreuses circonstances.

Un saxophone est immédiatement identifié comme tel, quelles que soient la hauteur ou la dynamique du jeu. Qui plus est, qu'il soit restitué avec des distorsions par l'intermédiaire d'un poste à transistors ou qu'on l'entende en direct en salle de concert, le saxophone reste un saxophone. Existe-t-il un invariant physique ou un trait caractéristique, médiateur d'un timbre donné?

La réponse n'a pas un intérêt purement académique. L'électronique et la technologie informatique nous donnant accès à un univers de timbre sans limites, la question possède une pertinence musicale. Encore doit-on savoir comment évoquer un timbre donné, c'est-à-dire comment le décrire en termes de structure physique.

---

\* Traduction de « Exploration of Timbre by Analysis and Synthesis », J.C. Risset et D. Wessel, in *The Psychology of Music* (D. Deutsch édit.), Academic Press, 1982, pp. 25-58.

## II. Timbre et spectre de Fourier: point de vue classique

Les physiciens se livrent depuis quelques décennies à l'analyse de sons instrumentaux. La plupart de ces analyses acoustiques ont pour but de déterminer les corrélats physiques du timbre.

Nombre de ces résultats ont fait l'objet de publications (Miller 1926; Meyer et Buchman 1931; Richardson 1954; Culver 1956; Olson 1967). Ces études mènent en général à la conclusion que les sons musicaux sont de nature périodique, et que le timbre est exclusivement associé à la forme d'onde — ou, plus précisément, au spectre de Fourier. Ces premières analyses ont été très fortement motivées par le théorème de Fourier. Selon celui-ci, une forme d'onde périodique se définit exclusivement par les amplitudes et les phases d'une série harmonique de composantes fréquentielles (Feynman, Leighton et Sands 1963: chapitres 21 à 25; Jenkins et Watts 1968). Mais une autre loi acoustique, connue sous le nom de la loi d'Ohm, stipule que l'oreille reste insensible à la phase. En termes plus clairs, cette loi soutient que si les représentations de Fourier de deux sons montrent une même configuration d'amplitudes d'harmoniques tout en présentant des relations de phase différentes, l'auditeur sera dans l'incapacité de les distinguer, même si leurs formes d'ondes sont très différentes (Fig. 1).



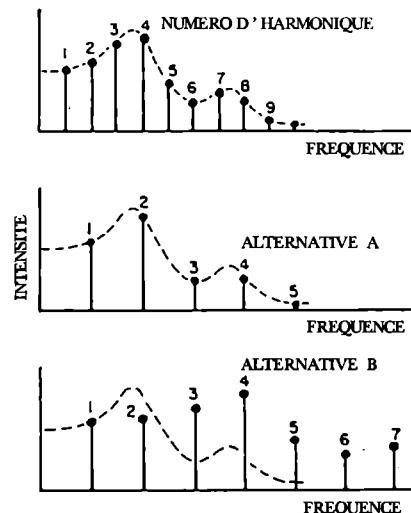
Figure 1. Les formes d'onde 1 à 4 correspondent à des sons synthétisés ayant un même spectre d'amplitude, mais des relations de phase différentes; ces sons de formes d'onde très différentes ont pourtant des sonorités très proches (Plomp 1976).

Certains ont depuis longtemps avancé que l'oreille n'était pas, à proprement parler, insensible à la phase. Il est vrai en effet que, dans certaines conditions, changer la relation de phase entre les harmoniques d'un son périodique peut altérer le timbre (Mathes et Miller 1947; Plomp et Steeneken 1969). Néanmoins cet effet reste faible et généralement inaudible dans une salle normalement réverbérante brouillant les relations de phase (Cabot, Mino, Dorans, Tackel et Breed 1976; Schroeder 1975). Il faut ne pas oublier cependant que cette frappante insensibilité auditive, illustrée par la figure 1, ne s'applique qu'aux relations de phase entre les harmoniques de sons périodiques<sup>1</sup>.

1. Une variation de phase peut également être interprétée comme une variation fréquentielle. De plus, la propagation dans des milieux dispersifs (pour lesquels la vitesse de propagation est dépendante de la fréquence) produit une distortion de phase inaudible pour les sons périodiques, mais aussi une distortion des retards générante pour les sons non périodiques (par exemple, les hautes fréquences peuvent, dans un long câble téléphonique de mauvaise qualité, être déplacées de quelques secondes par rapport aux basses fréquences, rendant la parole inintelligible).

Ainsi, il apparaîtrait que le timbre dépend exclusivement du spectre de Fourier de l'onde sonore. Helmholtz, promoteur de ce point de vue, avait bien remarqué que « certaines particularités propres aux sons de divers instruments dépendent de la façon dont ceux-ci commencent ou s'achèvent ». Cependant, Helmholtz n'étudia que « les particularités uniformes et continues des sons musicaux », considérant qu'elles seules déterminaient « la qualité musicale du son ». Ne mesurant qu'un spectre moyen, les premières analyses ont masqué les caractéristiques temporelles des sons instrumentaux (Hall 1937). Mais ces derniers possédant des spectres moyens distincts, on a pensé cette différence spectrale entièrement responsable de celle des timbres. Ce point de vue est encore largement répandu. Le célèbre Cours de Physique de Feynman (1963) en est un exemple récent : il ne fait aucune mention d'éventuels facteurs du timbre autres que celui de « la proportion relative des divers harmoniques ».

En fait, le timbre de l'onde sinusoïdale elle-même varie selon la fréquence (Köhler 1915; Stumpf 1926). Pour garder approximativement invariant le timbre d'un son périodique alors que la fréquence change, doit-on transposer le spectre de manière à garder les mêmes relations d'amplitude entre les harmoniques, ou doit-on maintenir invariante la position absolue de l'enveloppe spectrale ? Cette question fut le sujet d'un débat entre Helmholtz et Herman (Winckel 1967: 13). Dans le domaine de la parole, une voyelle s'apparente à un spectre doté d'une structure en formants. Un formant désigne un pic dans l'enveloppe spectrale, apparaissant à une fréquence déterminée, souvent associé à une résonance dans la source sonore — ceci est le cas dans la parole, les formants étant liés aux résonances du conduit vocal. Dans de nombreux cas, une structure de formants fixes produit un timbre qui varie moins avec la fréquence que ne le ferait un spectre fixe (Slawson 1968; Plomp 1976: 107-110; Plomp et Steeneken 1971) (Fig. 2).



*Figure 2.* Ce schéma se réfère à une expérience de Slawson sur l'invariance du timbre alors que la fréquence fondamentale monte d'une octave. L'expérience rejette l'alternative B, basée sur un spectre fixe (ou théorie des harmoniques), en faveur de l'alternative A, basée sur une enveloppe spectrale fixe (ou théorie des formants).

De certaines caractéristiques spectrales naîtraient certaines qualités de timbre. Ainsi, la « brillance » (ou « acuité ») serait liée à la position de l'enveloppe spectrale sur l'axe des fréquences. La « présence » dépendrait de l'intensité des composantes situées autour de 2000 Hz.

Le concept de bande critique, lié à la résolution auditive du spectre (Plomp 1966), devrait mener à une meilleure compréhension des corrélations entre spectre et timbre. Plus particulièrement, si plusieurs harmoniques de rang élevé se trouvent être en grande proximité, c'est-à-dire dans une même bande critique<sup>2</sup>, le son devient rugueux. Ainsi, par exemple, des creux (ou antirésonances) dans la réponse fréquentielle des instruments à cordes tiennent une grande part dans l'atténuation de la rugosité. Il serait sans doute plus significatif de considérer des spectres modifiés de manière à tenir compte des bandes critiques. Ceci fut fait dans certaines études : l'axe des fréquences était alors transposé sur un axe des « Barks » [1 Bark correspond à la largeur d'une bande critique sur toute l'étendue des fréquences (Zwicker 1961 ; Zwicker et Scharf 1965 ; Grey et Gordon 1978)].

### III. Limites de la conception classique

Pour les sons périodiques, le timbre dépend donc du spectre, et l'on a longtemps cru en la périodicité des sons musicaux, tout au moins en ce qui concerne l'essentiel de leur durée. On considère souvent le son musical comme formé de trois périodes : attaque, période stationnaire et chute. Notons que Helmholtz et ses successeurs considéraient le timbre comme déterminé par le spectre de la période stationnaire. Cependant, cette conception rencontre de sérieux obstacles. Comme nous le remarquions au début de cet article, les instruments de musique peuvent être reconnus même à partir d'un enregistrement médiocre, en dépit du fait que leurs spectres subissent alors d'importantes distorsions (Eagleson et Eagleson 1947).

En réalité, une salle normalement réverbérante possède une réponse fréquentielle étonnamment irrégulière dont les fluctuations, pouvant aller jusqu'à 20 dB, diffèrent en chaque point de l'espace (Wente 1935). Ainsi le spectre se transforme-t-il totalement suivant le point considéré. Cependant, lorsque l'on se déplace dans cette salle, les timbres ne sont pas totalement bouleversés, comme on pourrait l'attendre s'ils dépendaient strictement de la structure du spectre fréquentiel.

De plus, diverses méthodes de manipulation du son montrent l'influence des variations temporelles sur le timbre. Supprimer le segment initial de notes jouées par plusieurs instruments perturbe leur reconnaissance, comme l'a constaté Stumpf dès 1910 (Stumpf 1926). La manipulation sur magnétophone (George 1954 ; Schaeffer 1966) a rendu clairement démontrable l'influence du facteur temporel. Si, par exemple, un son de piano enregistré est écouté à l'envers, le timbre ne sera plus celui du piano, bien que le son d'origine et le son rétrogradé partagent le même spectre. La plupart des premières analyses

2. Pour une certaine fréquence, la bande critique mesure approximativement la région dans laquelle cette fréquence interagit avec d'autres. La largeur d'une bande critique est d'environ un tiers d'octave au-dessus de 500 Hz et approximativement de 100 Hz au-dessous de 500 Hz (Zwicker et Scharf 1965). Elle constitue pour l'oreille un paramètre important, et est liée à la résolution spectrale (Plomp 1964).

ne tenaient cependant pas compte des facteurs temporels (Hall 1937): les méthodes d'analyse ne pouvaient traiter des évolutions temporelles rapides.

Plus récemment, la synthèse numérique (Mathews 1963, 1969) a rendu virtuellement possible la synthèse de tout son à partir de sa description physique. Les efforts se sont tournés vers l'utilisation d'analyses de sons instrumentaux — telles que les proposent les traités d'acoustique musicale — comme donnée de base pour la synthèse sonore numérique. Dans la plupart des cas, les sons ainsi obtenus n'offrent que peu de ressemblance avec les sons réels produits par un instrument donné, restant fades et manquant d'identité comme de vie (Risset et Mathews 1969). Ainsi a-t-on jugées inadéquates les descriptions existantes des sons instrumentaux qui ne pouvaient passer le test de la synthèse. Cet échec met en évidence le besoin d'analyses plus détaillées et pertinentes, et d'une conception plus valide des corrélats physiques du timbre. En clair, il est nécessaire de réaliser des analyses «éolutives» qui suivent les variations temporelles du son.

## IV. Transitoires d'attaque

Quelques chercheurs ont, depuis 1930, tenté l'analyse des transitoires d'attaque (Backhaus 1932; Richardson 1954). Ces transitoires constituent une part importante du son — en fait, de nombreux sons, tels ceux du piano ou des instruments à percussion, ne présentent pas de période stationnaire. Toutefois, ces analyses n'ont rien apporté de bien significatif. Les transitoires, intrinsèquement complexes, ne sont pas reproductibles d'un son à l'autre, ce, même lorsque ces sons sont perçus comme similaires (Schaeffer 1966). La plupart des analyses se sont limitées à un ensemble de sons restreint, les chercheurs se risquant alors à des généralisations non valides pour d'autres échantillons sonores du même instrument. Ces insuffisances, sources de contradictions dans la littérature spécialisée, ont jeté un doute sur l'ensemble des données acoustiques.

## V. Complexité des sons: importance des traits caractéristiques

Les sons possèdent pour la plupart une complexité intrinsèque. Les instruments de musique, au comportement physique complexe (Benade 1976), présentent souvent un faible amortissement et des transitoires importants par rapport à la durée totale de la note. De plus, les sons ne sont pas engendrés par un exécutant standardisé et mécanique, mais bien par des hommes, des musiciens introduisant des variations aussi bien intentionnelles qu'involontaires. Même s'ils le désiraient, ces interprètes ne pourraient reproduire une note aussi rigoureusement qu'une machine. Une bonne maîtrise de l'instrument devrait leur permettre de jouer deux notes aux sonorités à peu près identiques, mais dont les structures physiques différeraient malgré tout. Le plus souvent, un musicien ne suivra pas cette démarche; son interprétation de certaines nuances dépendra de son sens stylistique comme de sa technique. Tout ceci impliquant différentes disciplines — physique, physiologie, psychologie, esthétique — rend plus difficile encore l'isolation d'invariants caractérisant les sons instrumentaux.

Cela met en évidence la nécessité d'extraire les caractéristiques significa-

tives d'une structure physique complexe. Il faut de plus pouvoir contrôler par la synthèse la pertinence auditive des traits relevés par l'analyse. Ce contrôle n'est devenu possible que récemment.

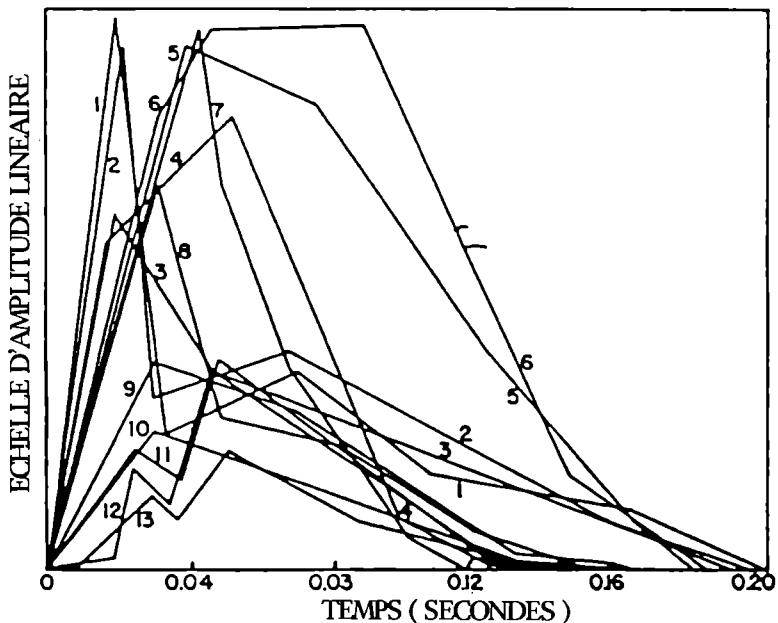
Donnons à présent un bref résumé des récents travaux d'exploration du timbre par analyse et synthèse.

## VI. Timbres instrumentaux et vocaux : synthèse additive

L'étude des sons de trompette effectuée dans les années 60 par l'un de nous illustre certaines des conclusions exposées plus haut (Risset 1966; Risset et Mathews 1969). Le problème posé par la synthèse numérique des sons cuivrés motiva notre choix des sons de trompette. Les sons synthétisés à l'aide de spectres fixes dérivés de l'analyse de ces sons instrumentaux restaient en effet peu convaincants.

Dans le but d'obtenir plus de données, nous avons enregistré dans une chambre sourde des fragments musicaux exécutés par un trompettiste professionnel. Les spectrogrammes obtenus mettent en évidence, pour une intensité donnée, la structure en formants du spectre, montrant qu'il varie avec la fréquence de telle sorte que son enveloppe spectrale est approximativement invariante. Ces spectrogrammes ont apporté des informations utiles quoique encore trop imprécises. Aussi les sons sélectionnés ont été convertis sous forme numérique puis analysés par ordinateur à l'aide d'un programme d'analyse synchrone à la fréquence (programme PISA, Mathews, Miller et David 1961). L'analyse synchrone à la fréquence suppose que le son est de nature quasi périodique ; elle fournit une représentation de l'amplitude de chaque harmonique en fonction du temps (un point par période de fréquence fondamentale). L'approximation des courbes issues de ce programme d'analyse a été réalisée par segments linéaires (Fig. 3). Ces fonctions ont, par la suite, alimenté le programme de synthèse *MUSIC V* : les sons de synthèse issus de ce traitement se sont avérés indifférenciables des sons d'origine, et ce, même par des auditeurs musiciens. Ainsi, le modèle de synthèse additive, aux composantes contrôlées en amplitude par des fonctions du temps linéaires par morceaux, parvient à capturer les caractéristiques du son importantes à l'audition.

Conceptuellement, ce modèle est simple. L'analyse synchrone à la fréquence fournit une représentation harmonique évolutive qui peut, grâce aux segments linéaires, être ultérieurement simplifiée en une approximation de l'enveloppe d'amplitude de chaque composante. Cependant, le traitement par ordinateur s'avère peu économique. La figure 3 nous montre combien des fonctions peuvent être complexes : et les paramètres doivent être réestimés pour chaque son. Aussi a-t-on cherché à simplifier encore le modèle. En faisant varier systématiquement — et un par un — chaque paramètre, il était possible d'en estimer l'importance relative. Certains paramètres s'avérant auditivement non pertinents — comme, par exemple, les fluctuations à court terme d'amplitude —, n'ont été retenues que les quelques caractéristiques physiques les plus importantes. Elles comprennent : le transitoire d'attaque — avec apparition plus rapide des harmoniques de faible rang que de rang supérieur —; pour certains sons, une fluctuation fréquentielle quasi aléatoire ; et, caractéristique essentielle, un pic entre 1 000 et 1 500 Hz dans le spectre fréquentiel accompagné d'une hausse de la proportion d'harmoniques d'ordre élevé lorsque l'intensité augmente.



*Figure 3.* Cette figure montre des fonctions par segments linéaires qui schématisent l'évolution temporelle de 13 harmoniques d'un DO 3 de 0,2 sec joué par une trompette. Des fonctions semblables, obtenues par analyse de sons naturels, ont été utilisées pour contrôler les amplitudes harmoniques de sons synthétiques (Risset et Mathews 1969).

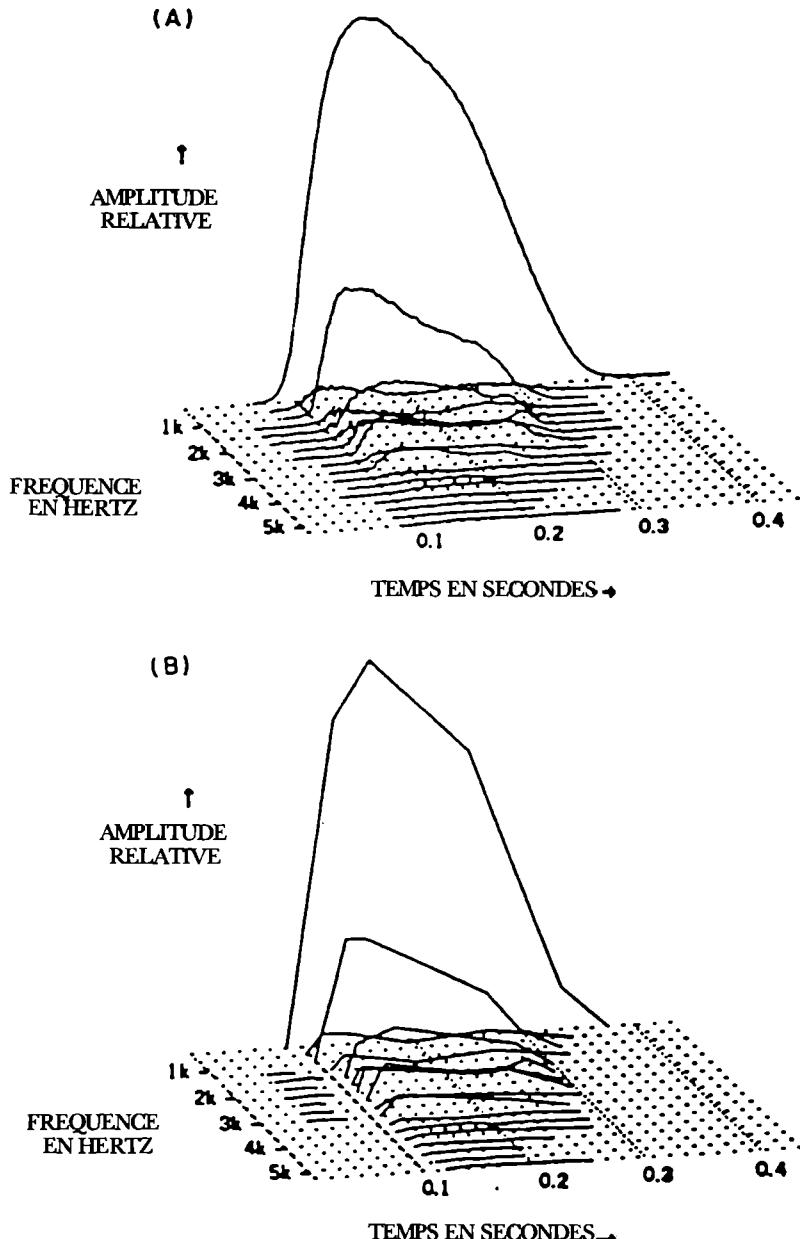
En fait, cette dernière propriété nous a permis d'abstraire un modèle simplifié des sons cuivrés. Dans celui-ci, seule la fonction d'amplitude du premier harmonique est prescrite : celles des autres composantes sont déduites comme des fonctions fixes de l'amplitude de la première, telles qu'elles augmentent plus vite. Une telle spécification se révèle plus économique et ne nécessite pas un ajustement précis pour obtenir la qualité d'un son cuivré. Cette propriété d'enrichissement spectral avec l'amplitude semble être, pour ce timbre, le corrélat le plus saillant. Beauchamp (1975) étudia les relations interharmoniques non linéaires du cornet à pistons, et attribua un caractère cuivré au type de relations non linéaires dépendant toutes du premier harmonique, quel que soit le niveau global d'intensité. La base acoustique de cette relation n'a été décrite que plus tard (Benade 1976: 439-447; Backus et Hundley 1971). Cette propriété de non-linéarité a été utilisée dans la production de sons cuivrés à l'aide de synthétiseurs : la fréquence de coupure d'un filtre passe-bas commandé par tension doit augmenter avec l'amplitude. Cette caractéristique a été aussi mise en œuvre de manière très simple et élégante grâce à l'utilisation de la technique de génération spectrale par modulation de fréquence développée avec succès par Chowning (Chowning 1973; Morrill 1977).

Notre étude des sons de trompette a montré que certains facteurs du timbre de la trompette sont importants dans certaines conditions, et peuvent être inaudibles dans d'autres. Les détails de l'attaque, par exemple, sont mieux

perçus dans le cas d'un son soutenu que dans celui d'un son bref. Il est apparu de plus que certains auditeurs, ayant pour tâche de décider si un son était réel ou synthétique, se fondaient sur des propriétés particulières. Ainsi supposaient-ils souvent qu'un son réel devait être plus rugueux et complexe qu'un son synthétique. Ceci suggère qu'en augmentant la rugosité d'un son de synthèse, on peut amener l'auditeur à le croire réel. Dans ses étonnantes synthèses de sons cuivrés, Morrill (1977) a simulé des glissements d'intonation améliorant de beaucoup le caractère réaliste et humain de ces sons. Dans leur étude des instruments à cordes, Mathews, Miller, Pierce et Tenney (1965, 1966) ont de même intégré une composante fréquentielle initiale aléatoire correspondant à la vibration irrégulière qui apparaît au moment où l'archet met la corde en mouvement. Exagérée, elle entraîne un grincement évoquant de manière frappante la sonorité d'un violoniste débutant. De telles imperfections, de tels accidents ou détails idiomatiques (Schaeffer 1966), sont caractéristiques de la source sonore, et l'audition semble y être très sensible. En tenir compte permettrait d'apporter aux sons de synthèse un plus grand intérêt comme une meilleure identité. Ainsi, une variation de fréquence imposée au son de synthèse le plus simple contribuerait largement à lui donner un caractère naturel et une identité subjective. L'évolution des hauteurs lors du transitoire d'attaque constitue souvent l'un des traits caractéristiques d'un instrument: l'oreille considère les très subtiles différences entre ces évolutions (telles celles d'un violon, d'un trombone ou d'une voix chantée) comme des signatures de la source sonore.

Le paradigme d'exploration du timbre par analyse et synthèse utilisé dans l'étude des sons cuivrés a été suivi de manière plus approfondie encore par Grey (1977) et Moorer (1977) dans leur étude de l'évaluation perceptive de sons instrumentaux synthétiques. Ils sélectionnent ici 16 sons instrumentaux de courte durée situés aux alentours du *mi* bémol au-dessous du *la* du diapason. Cette hauteur étant jouable par de multiples instruments (clarinette basse, hautbois, flûte, saxophone, violoncelle, violon, etc.) de nombreuses variétés de timbres appartenant aux familles des cuivres, vents et bois ont pu être représentées. Ces sons ont été analysés numériquement à l'aide d'une technique de filtrage hétérodyne créant un ensemble de fonctions donnant la fréquence et l'amplitude en fonction du temps pour chaque partiel (Fig. 4). La synthèse additive numérique a été utilisée pour produire un son synthétique constitué d'une superposition de partiels, chacun contrôlé en fréquence et amplitude à l'aide des fonctions précédentes échantillonées dans le temps. Chacun des 16 sons instrumentaux pouvait être présenté dans au moins quatre des cinq conditions suivantes: 1) sons d'origine; 2) sons complexes resynthétisés, utilisant des fonctions extraites de l'analyse; 3) sons resynthétisés à l'aide d'une approximation de ces fonctions par segments linéaires (4 à 8 segments linéaires); 4) approximation sans transitoire d'attaque pour certains sons; et 5) approximation avec fréquences constantes. Dans le but d'évaluer l'audibilité de ces types de réductions de données, des tests d'écoute systématiques ont été suivis par des musiciens confirmés. Les sons étaient tout d'abord égalisés en durée, hauteur et sonie. On utilisait un paradigme de discrimination de forme AA AB. A chaque essai, 4 sons étaient présentés, trois seulement étant identiques; l'auditeur avait pour tâche d'identifier le son différent, de le localiser parmi les paires, et d'estimer sa différence subjective. Les jugements étaient traités par des techniques d'analyse multidimensionnelle.

Les résultats ont démontré la proximité subjective des sons originaux et



*Figure 4.* (A): fonctions d'amplitude variant avec le temps dérivées de l'analyse hétérodyne d'un son de clarinette basse, représentées en perspective; (B): approximation par segments linéaires des fonctions représentées en A. Les formes A et B ont été utilisées pour resynthétiser le son. La forme B apporte une réduction d'information considérable (Grey et Moorer 1977).

directement resynthétisés. Le bruit de bande de l'enregistrement des sons originaux constituait l'indice essentiel permettant aux auditeurs de les discriminer à un taux supérieur au hasard. Les résultats montrent aussi le succès de l'approximation en segments linéaires des courbes de fréquence et d'amplitude des partiels en fonction du temps, menant à une réduction d'information considérable tout en conservant l'essence du caractère subjectif. Ceci suggère qu'une microstructure hautement complexe dans ses fonctions de fréquence et d'amplitude évolutives n'est pas essentielle au timbre, et qu'une réduction de données radicale peut être réalisée sans l'affecter beaucoup. Les approximations à fréquences constantes (pour des sons sans vibrato) étaient satisfaisantes pour certains timbres mais pouvaient en altérer d'autres considérablement. Les coupures d'attaques confirmaient, quant à elles, l'importance de la forme du transitoire d'attaque.

Une étude récente de Charbonneau (1979) a démontré que la simplification pouvait être poussée plus loin encore pour la plupart des sons analysés par Grey et Moorer (à savoir les sons brefs d'instruments non percussifs). Les différentes enveloppes contrôlant chaque harmonique sont remplacées par une seule enveloppe moyenne; pour chaque harmonique, cette courbe est pondérée afin de préserver son maximum d'amplitude; elle est également, sur l'axe temporel, étirée ou raccourcie afin de préserver les périodes d'apparition et d'extinction des divers harmoniques. Bien que non approprié aux sons de flûte, ce modèle permet une bonne imitation de la plupart des autres timbres.

Fletcher et ses collaborateurs (Fletcher, Blackham, Stratton 1962; Fletcher, Bassett 1978; Fletcher, Blackham, Christensen 1963; Fletcher et Sanders 1967) étudièrent le timbre de plusieurs instruments par analyse et synthèse à l'aide d'un modèle de synthèse additive. (Les premières recherches n'utilisaient pas d'ordinateur, mais des dispositifs *ad hoc* d'analyse et de synthèse.) Une étude de la qualité des sons de piano (1962) indique que l'attaque ne doit pas excéder 0.01 seconde alors que le temps de décroissance peut varier de 20 secondes pour les notes graves à moins d'1 seconde pour les notes très aiguës. La variation du niveau des partiels en fonction du temps durant l'extinction s'avère hautement complexe et rarement monotone — par moments, les partiels peuvent croître au lieu de diminuer. Pourtant, la complexité des formes d'extinction ne semble pas pertinente à l'audition, les synthèses simplifiées pouvant paraître très proches du son réel. Par ailleurs, cette étude attribue à l'inharmonicité des partiels la « chaleur » subjective. Les fréquences des partiels successifs d'une note grave du piano sont proches de celles d'une série harmonique mais plus élevées [le 15<sup>e</sup> partiel peut correspondre à seize fois la fréquence du fondamental (Young 1952)]. Mais cette structure légèrement inharmonique fait apparaître un ensemble complexe de battements créant un timbre singulièrement vivant. Elle constitue un caractère important des notes graves du piano (comme des sons d'orgue; Fletcher *et al.* 1963). Le timbre du piano a été sujet à de nombreuses analyses (Martin 1947) en vue de la création de claviers électroniques (Dijksterhuis et Verhey 1969) dont la qualité sonore (quoique non satisfaisante) dépend du modèle simplifié abstrait des analyses.

Dans l'analyse des sons de violon, Fletcher et Sanders (1967) étudièrent la modulation à basse fréquence (autour de 6 Hz) appelée vibrato, montrant qu'elle module le spectre lui-même. Ils s'intéressèrent aussi à deux caractéristiques qui, simulées dans le son de synthèse, peuvent accentuer l'impression de naturel: son de l'attaque de l'archet et résonance par sympathie des cordes à vide (cette dernière n'étant signifiante que pour certaines fréquences).

Clark, Luce et Strong réalisèrent également des recherches significatives sur les instruments à vent par analyse et synthèse. Dans une première étude (Strong et Clark 1967a) les sons furent synthétisés comme une somme d'harmoniques contrôlés par une simple enveloppe spectrale (invariante selon la fréquence) et trois enveloppes temporelles (Luce et Clark, 1967, cherchèrent aussi un modèle plus spécifique pour les cuivres). Était testée la capacité de l'auditeur à identifier la source sonore. Les identifications étaient presque aussi bonnes que dans le cas d'instruments réels, ce qui indique l'efficacité du modèle à saisir les éléments permettant de différencier les sons d'instruments divers. La probabilité de confusion entre deux timbres reflète d'ailleurs la similitude subjective entre ces sons; cet indice a permis d'établir le fondement perceptif des familles instrumentales conventionnelles (Clark, Robertson et Luce 1964). Les résultats suggèrent que certaines familles d'instruments (en particulier les cordes et les cuivres) représentent assez bien les différenciations subjectives. Une famille des anches doubles apparaît aussi, scindée en une sous-famille unie (hautbois et cor anglais) et un membre isolé (basson).

## VII. Synthèse croisée et synthèse de la voix

Strong et Clark (1967b) ont, dans une autre étude, eu recours à un intéressant processus dans le but d'évaluer la pertinence relative d'enveloppes spectrales et temporelles: ils intervertissent les deux types d'enveloppe parmi des instruments à vent, et demandent aux auditeurs d'identifier ces timbres hybrides. Les résultats indiquent que l'enveloppe spectrale est dominante lorsqu'elle existe de façon univoque pour l'instrument (hautbois, clarinette, basson, tuba et trompette); sinon l'enveloppe temporelle devient au moins aussi importante (flûte, trombone, cor).

Notons que ces conclusions s'appliquent aux instruments à vent, dont les caractéristiques temporelles peuvent être différentes quoique non extrêmes. Par ailleurs, la synthèse permet de vérifier aisément qu'une attaque rapide suivie d'une extinction exponentielle confère à toute forme d'onde un caractère percussif ou de corde pincée. Dans ce cas, les indices temporels tendent à dominer les indices spectraux.

On parle souvent de synthèse croisée pour caractériser la production d'un son alliant certains aspects d'un son A et certains autres d'un son B. Lorsque la production sonore peut être modélisée comme une combinaison de deux processus relativement indépendants, la synthèse croisée offre d'intéressantes possibilités. Une source sonore peut ainsi être souvent conçue comme comprenant une excitation transformée d'une manière que l'on caractérise en termes de réponse stable (Huggins 1952) — imaginons quelqu'un frappant un gong ou soufflant dans un tube. Les propriétés temporelles du son sont souvent largement liées à l'excitation, dans la mesure où la réponse dépend des propriétés structurelles d'un système physique relativement stable; les caractéristiques spectrales résultent de la combinaison des aspects de l'excitation et de ceux de la réponse. (Huggins suggère que le mécanisme auditif est bien équipé pour parvenir à séparer les facteurs temporels et structuraux d'une onde sonore). La production vocale en est un bon exemple (Fant 1960): l'excitation quasi périodique des cordes vocales est largement indépendante de la réponse du conduit vocal, celle-ci variant selon l'articulation. Ainsi, les formes d'onde de la parole peuvent être décrites par les fréquences des *formants* (c'est-à-dire

par les fréquences de résonance du conduit vocal) et par la fréquence fondamentale (*mélodie ou pitch*) de l'excitation — excepté lorsque l'excitation est bruitée (pour les consonnes non voisées comme s et f).

De multiples travaux sur la synthèse de la parole démontrent la validité de ce modèle. La parole de synthèse est parfois très naturelle, mais il reste pourtant difficile de reproduire avec assez d'exactitude et de souplesse les transitions spectrales et fréquentielles de la parole. En fait, si l'on peut imiter fidèlement par analyse et synthèse une phrase donnée, créer une «synthèse par règles» satisfaisante reste fort complexe; celle-ci met en mémoire les éléments phonétiques (phonèmes et diphonèmes) sous la forme de leur description physique, et les enchaîne selon la phrase à reproduire, ajustant automatiquement les paramètres physiques selon un ensemble de règles génératives. Nous ne pouvons nous appesantir sur cet important problème, mais notons que les corrélats de l'identité du locuteur sont multiples, et que la qualité spectrale d'une voix comme les formes rythmiques et d'intonation sont significatives. On ne peut encore identifier un locuteur avec certitude à partir de ses empreintes vocales comme on le peut à partir de ses empreintes digitales (Bolt, Cooper, David, Denes, Pickett, Stevens 1969, 1978).

Une expérience de Plomp et Steeneken (1971) confirme l'indépendance du conduit et des cordes vocales; cette notion d'indépendance doit cependant être nuancée pour la voix chantée. Dans le registre aigu, les soprani haussent la fréquence du premier formant pour la faire correspondre à celle du fondamental et augmenter ainsi l'amplitude (Sundberg 1977). Les travaux de Sundberg, Chowning, Rodet et Bennett confirment par la synthèse les caractéristiques spécifiques détectées dans la voix chantée. Grâce à certains processus d'analyse (tels le filtrage inverse ou le codage par prédition linéaire; Flanagan 1972), on peut décomposer un signal de parole et isoler le rôle des cordes vocales de celui du conduit vocal. Ces procédés ont permis à Joan Miller de synthétiser une voix comme si elle était produite par les cordes vocales d'un individu et le conduit vocal d'un autre (Mathews *et al.* 1961)<sup>3</sup>. Le signal source — dû aux cordes vocales — peut en fait être remplacé par un signal différent si celui-ci comporte un nombre suffisant de composantes fréquentielles pour exciter les résonances du conduit vocal (disons entre 500 et 3000 Hz). Il est ainsi possible de créer l'impression d'un violoncelle ou d'un orgue parlant (ou chantant?). Les compositeurs s'intéressent souvent à des effets moins voyants, et produisent par exemple des timbres en combinant deux qualités sonores spécifiques suivant des processus autres qu'un simple mixage ou mélange. Ceci peut être réalisé grâce à des processus d'analyse et de synthèse — tels le «vocoder de phase», le traitement par codage prédictif, ou encore en reconstituant des sons à l'aide de modèles comme la modulation de fréquence ou la synthèse additive. En interpolant physiquement les enveloppes d'harmoniques, Grey et Moorer (1977) sont parvenus à transformer graduellement un son instrumental en un autre (le violon devenant hautbois) par étapes intermédiaires monodiques non perçues comme un simple fondu enchaîné de timbres.

3. Bennett, Chowning, Olive et Petersen apportent des exemples frappants d'application musicale de la synthèse et du traitement de la voix. Le disque CRI SD 348 et l'album *New Directions in Music* (Tulsa studios) présentent des œuvres de Dodge, Olive et Petersen utilisant des voix de synthèse.

## VIII. Synthèse additive : instruments à percussion

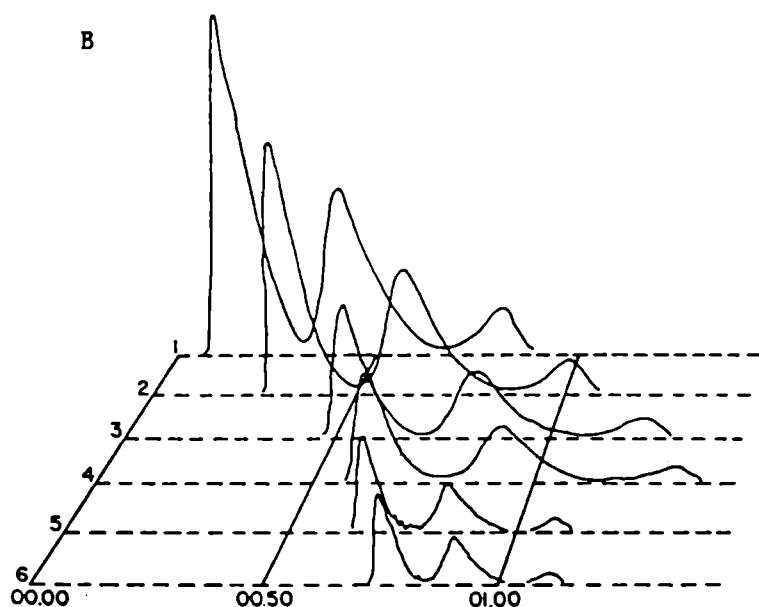
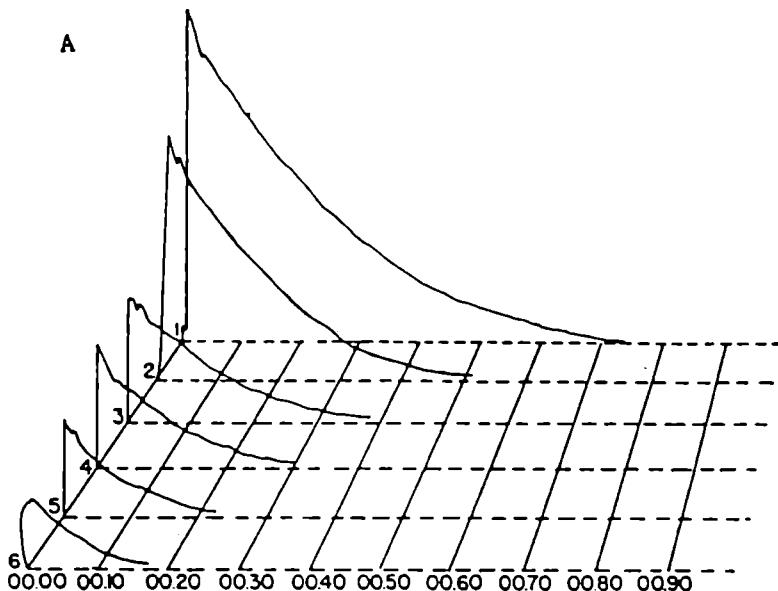
Les études exposées ci-dessus recourent à des modèles de synthèse additive, reconstitution du son par superposition de composantes fréquentielles contrôlées indépendamment. De tels modèles nécessitent de nombreuses informations détaillant la variation temporelle de chaque composante : ils restent ainsi peu économiques, nécessitant un nombre de spécifications et un temps de calcul élevés. Toutefois, comme nous l'avons précisé, on peut souvent simplifier l'information du comportement temporel des composantes. De plus, grâce aux progrès des techniques numériques, il existe maintenant des processeurs spécifiques d'une puissance de traitement considérable. Le synthétiseur numérique, produisant en temps réel des dizaines de voix séparées avec différentes enveloppes, en est un exemple (Alles et Di Giugno 1977). Si l'on considère son pouvoir et sa généralité, la synthèse additive constitue un processus d'intérêt pratique. Elle ne se limite pas aux sons quasi périodiques, mais peut être utilisée pour simuler le timbre du piano ou des instruments à percussion (Risset 1969-1970 ; Fletcher et Bassett 1978).

Dans les sons d'instruments à percussion, les partiels ne sont plus des harmoniques : leurs fréquences, déduites de l'analyse, sont celles des modes de vibration excités à l'attaque, et peuvent parfois être dérivées des théories acoustiques. Le modèle de synthèse peut être considérablement simplifié tout en restant fidèle à la réalité, à condition qu'il tienne compte des caractéristiques auditives saillantes. Fletcher et Bassett (1978) ont simulé des sons de grosse caisse en additionnant les composantes essentielles détectées par l'analyse — ondes sinusoïdales décroissant suivant une fonction exponentielle avec une baisse de la fréquence au cours du son. La simulation obtenue était aussi réaliste que l'enregistrement de sons de grosse caisse. Les auteurs notent pourtant que les haut-parleurs ne peuvent reproduire de manière entièrement satisfaisante les sons de cet instrument.

Un timbre peut souvent être évoqué par une synthèse tenant compte schématiquement de quelques propriétés saillantes du son. Des sons de cloche peuvent être synthétisés en additionnant quelques ondes sinusoïdales de fréquences convenablement choisies, décroissant de manière exponentielle à des taux différents — en général, plus haute est la fréquence, plus courte est l'extinction. Le réalisme est accru par l'introduction de lentes modulations d'amplitude pour certaines raies du spectre. Les cloches réelles montrent de telles modulations (elles peuvent incomber aux battements entre modes proches, car la cloche ne possède pas de symétrie cylindrique parfaite). La caisse claire peut elle aussi être imitée, car ses extinctions sont plus rapides que celles des cloches ; l'effet spécifique des timbres est évoqué par l'ajout d'une bande de bruit centrée sur une fréquence élevée (Risset 1969-1970). Les sons de type cloche ou tambour synthétisés de cette façon peuvent aussi être transformés morphologiquement en modifiant les enveloppes contrôlant l'évolution temporelle des composantes. Ainsi, par exemple, les cloches deviennent des textures fluides de même contenu harmonique (ou plutôt inharmoniques)<sup>4</sup> mais avec une qualité sonore assez différente (Fig. 5).

---

4. Cf. *Inharmonique*, dans le disque Risset-Mutations (INA-GRM C 1003).



*Figure 5.* Représentation tridimensionnelle de sons synthétiques inharmoniques : les axes vertical, horizontal et de profondeur donnent, respectivement, l'amplitude, le temps et la fréquence. En A, l'attaque raide est suivie d'une extinction typique des sons de cloche. En B, la fonction d'amplitude variant avec le temps résulte en un son fluide non percussif dont les composantes séparées peuvent être bien plus audibles que dans A. (En dépit d'une apparente équidistance, ces composantes sont inharmoniques).

## IX. Synthèse soustractive

Si la synthèse additive, utilisée dans la plupart des exemples précédents, construit un son par somme des composantes élémentaires, la synthèse soustractive consiste à soumettre une onde au spectre riche à un filtrage spécifique ; le son désiré est obtenu en éliminant les éléments indésirables plutôt qu'en assemblant des éléments choisis. Cette synthèse est mieux adaptée à certains types de sons. Comme nous l'avons mentionné, le processus d'articulation de la parole consiste à modeler le conduit vocal afin de filtrer d'une manière particulière le signal source au spectre riche produit par les cordes vocales. Le codage par prédition linéaire consiste en fait en l'ajustement des paramètres d'un filtre récursif de façon à minimiser la différence entre le signal original de parole et le signal obtenu par filtrage d'un seul train d'onde quasi périodique à travers le filtre récursif évolutif (voir p. 123).

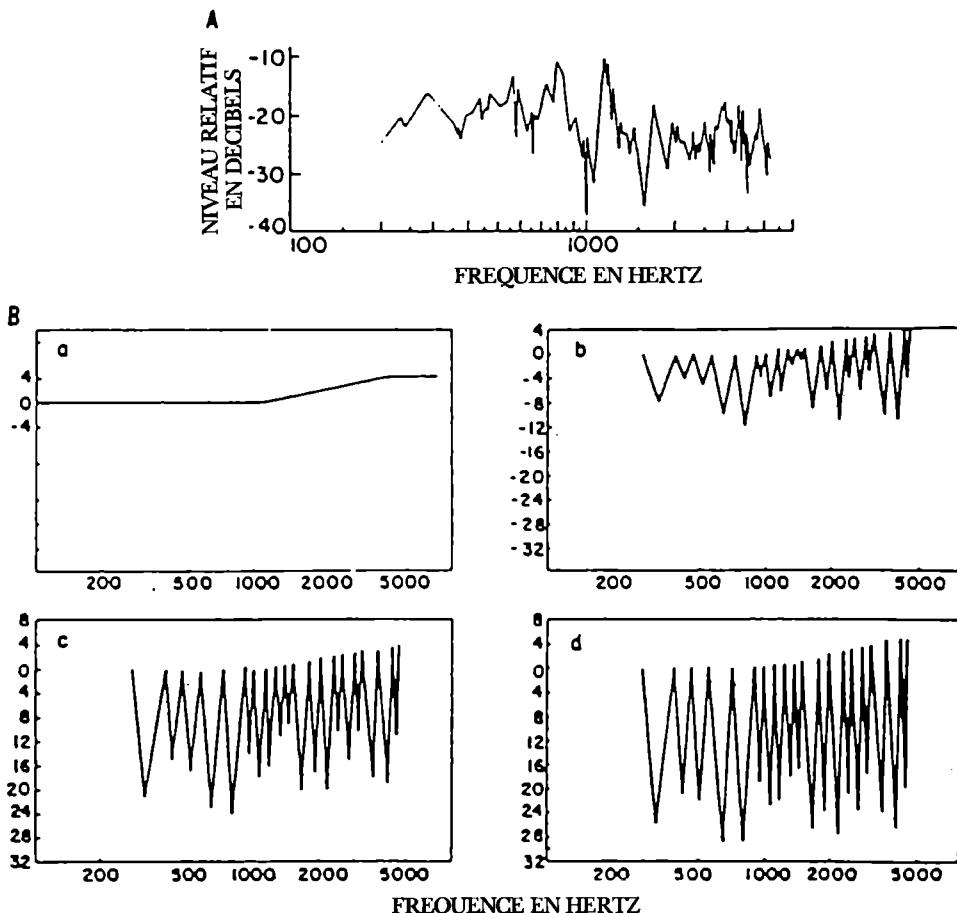


Figure 6. Réponse fréquentielle relative: A, telle qu'on la mesure à partir d'une excitation sinusoïdale sur un violon; B, telle qu'une réplique électronique du violon la simule: de (a) à (d), la valeur Q des résonances simulées passe d'un niveau trop bas à un niveau trop élevé.

Le violon électronique de Mathews constitue un autre exemple de l'utilité de la synthèse soustractive. Mathews et Kohut (1973) ont étudié par simulation électronique l'effet auditif des résonances de la caisse du violon. Ils ont réalisé l'approximation de la réponse fréquentielle complexe d'un violon (montrant des nombreux pics et minima, au nombre de 20 ou plus, dans la gamme des fréquences audibles) à l'aide de filtres résonants électriques (entre 17 et 37 filtres). La vibration de la corde près du chevalet a été ici convertie en un signal électrique par un capteur magnétique. Ce signal correspondait approximativement, comme l'avait prédit Helmholtz, et à une onde triangulaire (Kohut et Mathews 1971); il comprenait ainsi de nombreux harmoniques significatifs dont l'amplitude décroissait avec leur rang. Ce signal était alors soumis à un filtrage complexe approximant la réponse de la caisse. Il était possible de changer les caractéristiques de filtrage en modifiant à la fois l'amortissement des résonances et leur distribution sur l'axe des fréquences. Un son évoquant le violon pouvait alors être réalisé à partir de 20 ou 30 résonances distribuées sur une gamme de fréquence de 200 à 5 000 Hz, réparties soit de manière aléatoire, soit à des intervalles musicaux équivalents (Fig. 6). Le son le plus satisfaisant a été obtenu grâce à des valeurs d'amortissement intermédiaires correspondant à un rapport pic-vallée proche de 10 dB dans la courbe de réponse des filtres résonants. Avec un amortissement trop élevé, le son est égal mais terne; avec un amortissement trop faible, il devient creux et irrégulier en intensité pour différentes hauteurs.

Le violon électronique a été utilisé en composition pour obtenir soit des sons de violon (comme par exemple, dans un quatuor de M. Sahl) soit des sons de qualités très différentes par changement des paramètres du filtre (comme, par exemple, dans des pièces de V. Globokar ou M. Urbaniak).

Cette expérience a suggéré que la qualité spécifique du vibrato du violon devait être due aux interactions entre modulation de fréquence d'une part, et pics de résonance d'autre part, produisant une modulation spectrale complexe. Divers harmoniques sont modulés de manières différentes selon la pente de la réponse fréquentielle correspondant à leurs fréquences. Ceci peut se vérifier par la synthèse: cet effet n'est que peu sensible aux paramètres d'une réponse fréquentielle en dents de scie. La synthèse imitative du violon (Schottstaedt 1977) indique qu'une bonne qualité de vibrato peut s'obtenir, par des moyens apparemment plus simples, sans que l'enveloppe spectrale soit fixe, grâce à une variante de la technique de modulation de fréquence de Chowning.

## X. Modélisation acoustique comme technique de synthèse

En une approche ambitieuse de l'analyse et de la synthèse, Hiller et Ruiz (1971) ont utilisé des modélisations physiques de sons de cordes. L'étude analytique du comportement acoustique d'un instrument conduit à des équations gouvernant le mouvement d'éléments vibratoires. Résoudre ces équations différentielles peut permettre de synthétiser des sons, cette approche étant en quelque sorte la réciproque de celle employée par les calculateurs analogiques — ceux-ci assemblant un système physique dont les paramètres sont gouvernés par les équations à résoudre. Dans ce dernier cas, la mesure des paramètres fournit la solution des équations. Dans l'étude de Hiller et Ruiz, la résolution des équations différentielles donne une approximation du son

instrumental. Cette approximation est satisfaisante si les équations différentielles traduisent un bon modèle physique.

Cette méthode permet le changement à volonté des paramètres physiques du modèle — jusqu'au choix de valeurs totalement irréalistes (telle une raideur négative) ou la transformation progressive d'un objet vibrant en un autre — et la production du son correspondant. Malheureusement, dans la plupart des cas, les équations de mouvement ne fournissent que de grossières approximations pour des systèmes aussi complexes que des instruments de musique, et les calculs nécessaires à leur résolution sont alors souvent considérables, demandant une grande précision et une importante puissance de calcul. Le développement d'ordinateurs plus puissants et de processeurs particulièrement rapides rendra peut-être cette méthode plus utilisable, quoique son application reste encore difficile (si ce n'est à titre démonstratif). Ruiz a, malgré tout, réalisé de convaincantes démonstrations du comportement de la corde du violon à partir de la résolution des équations de mouvement (cf. aussi Cadoz 1979). Mentionnons de plus l'utilisation par Freedman (1967) d'un modèle basé, dans une certaine mesure, sur le comportement physique, et notons la pertinence des quelques processus physiques employés — bien que de manière schématique — comme base de la technique de synthèse. Nous avons déjà exposé quelques-uns de ces processus, dont la distorsion non linéaire (Risset 1969; Cadoz 1970: 150; Beauchamp 1975; Arfib 1979; Le Brun 1979). Weinreich (1977, 1979) a montré le rôle du couplage de cordes approximativement accordées dans le timbre du piano (assurant la prolongation du son et une qualité spécifique): il applique avec succès ce modèle à la synthèse de sons de piano.

## XI. Importance du contexte

L'importance d'un indice donné dépend du contexte. Ainsi, les détails de l'attaque d'un son de type trompette (et spécialement le taux d'apparition des divers partiels) sont plus significatifs dans un son soutenu que dans un son bref ou changeant (Risset 1965, 1966). Dans le cas d'une attaque très brève (comme pour le piano), l'impression subjective de l'attaque est plutôt déterminée par la forme du début de l'extinction d'amplitude (Schaeffer 1966). L'acoustique des salles peut, elle aussi, jouer un rôle important (Benade 1976; Schroeder 1966; Leipp 1971). Le son de l'orgue, par exemple, dépend considérablement de la salle ou de l'église où il se trouve.

La plupart des explorations du timbre par analyse et synthèse se sont attachées à l'étude de sons isolés. Mais la musique s'articule en phrases. Les paramètres physiques des sons évoluent au cours des phrases, et cette évolution peut masquer l'importance de certains paramètres qui sont essentiels pour des sons isolés. De même, dans le cas de la parole, les paramètres d'éléments acoustiques isolés (phonèmes) subissent de profondes modifications lorsqu'il s'agit de les enchaîner en une phrase. Spécifier des modèles simples et valides pour ces enchaînements constitue le grand problème de la synthèse par règles de la parole. L'importance des variations prosodiques tout au long d'une phrase est évidente; des inflexions et des glissements même subtils sont de même essentiels en musique. L'évolution des divers paramètres tout au long d'une phrase est donc, dans le contexte musical, très significative. La variation prosodique d'un paramètre peut subjectivement dominer d'autres paramètres de la phrase musicale. Ainsi l'étude de la prosodie musicale par l'analyse et la

synthèse est-elle essentielle, et paraît être aujourd’hui une nouvelle frontière de l’exploration. (Il fallait tout d’abord comprendre les paramètres de sons isolés afin de pouvoir décrire leur évolution dans la phrase musicale.)

Les études de prosodie musicale s’avèrent difficiles, le phrasé tendant à dépendre du style musical. Son rôle semble plus important, par exemple, pour le jeu de la flûte shakuhachi japonaise que pour le jeu instrumental occidental. Dans ce dernier cas, la musique s’organise autour de notes relativement stables et définies que le compositeur peut assembler afin de créer des timbres, alors que, dans l’autre cas, le régime de l’instrument subit de constantes perturbations. Ainsi l’étude de la prosodie au shakuhachi est-elle intéressante et même nécessaire, car le son ne peut être correctement décrit qu’au niveau de la phrase (A. Gutzwiler, communication privée). Utilisant le système de synthèse hybride GROOVE, Mathews a pu introduire des nuances d’exécution en temps réel et explorer certains corrélats du phrasé, comme le rôle du tuiage ou des transitions de fréquences entre les notes pour obtenir un effet de legato (Mathews et Moore 1970). A l’aide de son algorithme de synthèse de la trompette, Morrill a étudié le corrélat du phrasé de cet instrument. Grey (1978) a analysé la capacité d’auditeurs à distinguer entre des sons instrumentaux enregistrés et leur simulation par synthèse simplifiée, les items étant présentés soit isolément soit dans un contexte musical (monodique ou polyphonique). Il montre que les contextes polyphoniques perturbent la discrimination et que les contextes monodiques semblent renforcer les différences spectrales entre timbres, alors que la situation de présentation isolée rend les détails temporels plus perceptibles. Ce résultat serait lié au phénomène de « séparation des flux auditifs » (Bregman, Campbell 1971 ; McAdams, Bregman 1979 ; Deutsch 1982 : chapitre 4), effet perceptif important que l’on peut décrire ainsi : si une ligne mélodique se compose d’une suite rapide de sons appartenant en alternance à deux registres de hauteur suffisamment éloignés, le flux global se scinde perceptivement en deux lignes mélodiques distinctes. (Des compositeurs de l’époque baroque, tel Bach, utilisent ce phénomène d’entrelacs de lignes afin de permettre à des instruments monodiques de produire des structures polyphoniques.) Cette ségrégation est accrue par augmentation de la séparation fréquentielle entre les lignes. Plus récemment, des études de van Noorden (1975) et Wessel (1979) indiquent que l’influence de la séparation fréquentielle sur la fission mélodique s’explique davantage par la brillance — donc par la différence spectrale — que par la hauteur musicale *per se*, ce qui semble être en lien avec les observations de Grey sur les configurations monodiques.

Chowning a récemment réalisé la synthèse de phrases « chantées » souples et musicales. Ajustant soigneusement les paramètres sonores de chaque note, il s’est de plus appliqué à tenir compte des changements des paramètres musicaux apparaissant tout au long de la phrase. Chowning montre ainsi que les paramètres doivent varier de manière en partie systématique et en partie aléatoire. L’oreille musicale peut être rebutée par une trop grande fixité paramétrique, indice d’un son non naturel dont les détails même complexes seront alors ignorés par l’audition. On peut espérer développer la synthèse des phrases musicales « par règles », c’est-à-dire en définissant des règles de changement des paramètres pouvant engendrer des phrases musicalement acceptables. Dans le cadre de son étude, Chowning a mis en évidence un rôle du même vibrato (partiellement aléatoire) : appliqué à plusieurs sons, il augmente la fusion auditive de ces sons, fait étudié par Mc Nabb et McAdams (1982). Les synthèses de Chowning suggèrent avec force que l’oreille se base sur

de telles micromodulations afin d'isoler les voix au sein d'un mélange sonore complexe, comme l'orchestre.

Il apparaît souvent que, dans une situation auditive complexe, le trait dominant peut annuler de plus subtiles différences. On prend en considération l'aspect de différenciation inter-stimuli le plus frappant, plutôt que l'accumulation de plusieurs différences entre certains indices. Lashley (1942) a proposé un modèle de comportement semblable, dans lequel le trait dominant masque les caractéristiques moins saillantes. Dans un environnement complexe, la perception semble se comporter ainsi. Il est certain que, pour le timbre musical — dépendant de multiples indices —, le contexte joue un rôle essentiel pour déterminer la pertinence d'un indice.

## XII. Analyse-synthèse comme ajustement aux données des modèles acoustiques et perceptifs

Après avoir décrit certaines études signifiantes du timbre par analyse et synthèse, nous nous arrêterons ici afin de replacer ces recherches dans un cadre conceptuel qui nous aidera à comprendre cette démarche.

La figure 7 expose un schéma général utile à notre avis. Le traitement par analyse et synthèse part d'un son à modéliser. En termes généraux, l'analyse de ce son nécessite l'estimation des paramètres du modèle (dans le modèle d'analyse de Fourier — par exemple — fréquences, amplitudes et phases d'un ensemble de composantes sinusoïdales sont les paramètres à estimer). Alors seulement, le modèle peut être mis en œuvre avec ses paramètres et générer une version de synthèse du son original. En ce qui concerne notre propos, notons que la technique appropriée d'évaluation de la qualité de l'ajustement est la comparaison auditive du son original et de sa réplique de synthèse. Si le modèle saisit les traits perceptifs essentiels de manière exhaustive, l'auditeur doit être incapable de distinguer les deux versions.

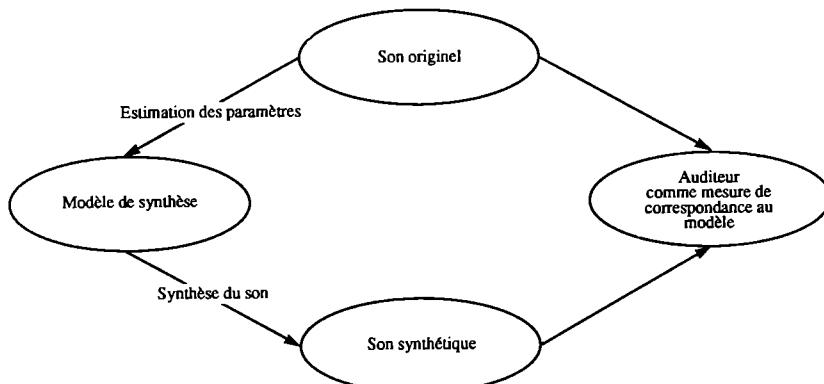


Figure 7. Cadre conceptuel du processus d'analyse et de synthèse.

Ce critère de validité caractérise ce que nous appellerons un *modèle perceptif*, par opposition à un *modèle acoustique*: ce dernier imiterait les mécanismes physiques qui génèrent les sons, alors que le premier simule le son à l'aide de processus qui peuvent très bien ne pas refléter la manière dont le son est réellement produit, à condition que le résultat auditif soit proche du son d'origine. Comme nous l'avons vu, un bon modèle acoustique peut être aussi un bon modèle perceptif; mais le comportement physique des corps émetteurs étant très complexe, les simulations acoustiques demandent de telles simplifications, qu'elles ne peuvent que rarement paraître fidèles. L'audition, bien qu'à certains égards exigeante, est à d'autres égards très tolérante: les modèles perceptifs peuvent donc se centrer sur les caractéristiques auxquelles l'oreille est plus sensible.

Les modèles acoustiques et perceptifs représentent souvent des formes d'onde en termes de fonctions mathématiques. Le lecteur trouvera en appendice quelques notions générales sur les représentations des signaux et leur utilité. Il y trouvera aussi la description d'un modèle perceptif applicable et relativement général.

### XIII. Utilisation des modèles d'analyse et de synthèse du timbre

Les modèles extraits de l'analyse et de la synthèse du timbre sont utiles à divers buts: aide à l'intuition et la compréhension; réduction de l'information; production de variantes et de transformations.

#### 1. Intuition

Le traitement par analyse et synthèse nous éclaire sur la perception du timbre, qui présente des traits hautement spécifiques. Nombre de ces traits sont mieux compris dans une perspective évolutionniste qui considère la façon dont l'audition s'est adaptée pour fournir sur l'environnement des informations utiles. L'audition est, par exemple, très sensible aux changements: elle est équipée pour rester en alerte, les sons se propageant à distance et autour des obstacles. C'est peut-être la raison pour laquelle l'oreille musicale tend à rejeter les sons stables, les jugeant ternes et sans intérêt. L'audition est très sensible aux aspects fréquentiels qui ne sont que rarement modifiés entre la source et l'auditeur. D'autre part, l'oreille est remarquablement insensible aux relations de phase entre les composantes d'un son complexe, ce qui est heureux, puisque ces relations sont brouillées dans un environnement réverbérant. Le timbre est lié à des configurations relativement complexes résistant à la distorsion (telle la relation entre le spectre et l'intensité des cuivres). A partir de ces structures complexes, l'oreille possède des moyens élaborés lui permettant d'extraire des informations sur la sonie (intensité perçue) et la distance. Les modèles du timbre éclairent notre capacité à assigner une même source à différents sons, et ainsi, par exemple, à reconnaître une note comme telle indépendamment de son registre. Ces modèles nous aident à comprendre quelles propriétés sont à la base d'une telle catégorisation<sup>5</sup>. Cette compréhension s'avère importante dans le

5. Il paraît clair que l'identité d'un timbre instrumental tel que celui de la clarinette, dont les notes graves et aiguës sont physiquement très différentes, doit être dégagée par un processus d'apprentissage. Il a été avancé que ce processus implique d'autres sens que l'audition; les expériences de Cadoz *et al.* (1981) aident à comprendre les aspects «moteurs» de la perception du timbre, en particulier comment l'expérience gestuelle de la production du son interagit avec la perception.

champ de la musique expérimentale — un compositeur peut vouloir conférer une identité distincte à certains sons artificiels.

## *2. Réduction de l'information*

Habituellement, nous demandons à un modèle d'analyse et de synthèse qu'il ait bien moins de paramètres qu'il n'existe de degrés de liberté dans les données du signal d'origine : ceci constitue une forme de réduction de données. Considérons par exemple un son échantillonné numériquement d'une durée d'1 seconde. Si le taux d'échantillonnage est de 40 000 échantillons par seconde, et si l'on désire prendre en compte dans notre modèle toutes ces valeurs, il serait alors possible de simuler ce signal de façon triviale à l'aide d'un modèle comprenant 40 000 paramètres. Un modèle réduisant la quantité d'information serait pourtant plus pratique. En fait, de nombreuses recherches sur l'analyse et la synthèse de la parole (voir le vocoder à canaux) ont été réalisées afin de trouver un codage de la parole réduisant la largeur de bande nécessaire à la transmission du signal (Flanagan 1972). Un tel codage constitueraient en fait un modèle d'analyse et de synthèse, car la parole serait analysée avant même d'être transmise, et resynthétisée en fin de circuit (voir appendice). De tels systèmes n'ont été que rarement mis en pratique. Il est en effet difficile de préserver une bonne qualité de parole. De plus, le coût de la bande passante de transmission ayant considérablement baissé, les dispositifs chargés d'effectuer l'analyse et la synthèse aux extrémités du circuit de transmission seraient plus coûteux encore que la largeur de bande économisée.

Pourtant, la réduction d'information peut fort bien fonctionner avec certains types de sons, comme nous l'avons montré plus haut (Grey et Moorer 1977). Le codage par prédiction linéaire, moyen économique de stocker la parole, est d'ores et déjà utilisé par les machines parlantes portables.

## *3. Possibilité de produire des variantes*

Si l'on manipule les paramètres avant même la resynthèse, on obtient des modifications utiles du son original. Ainsi, partant d'un enregistrement d'une phrase parlée, par exemple, on peut en changer la vitesse en le lisant sur un magnétophone à vitesse variable : mais la hauteur et les fréquences des formants sont en même temps modifiées et la parole originale s'en trouve totalement déformée. En revanche, si l'on analyse cette phrase suivant un procédé d'analyse et synthèse qui sépare l'excitation glottique de la réponse du conduit vocal (voir le vocoder à canaux, le vocoder de phase, le codage par prédiction linéaire — Flanagan 1972, Moorer 1978), on pourra alors modifier la vitesse d'articulation indépendamment de la hauteur. Moorer est ainsi parvenu à ralentir des échantillons de parole par un facteur de 20 ou plus, sans leur faire perdre qualité et intelligibilité. Cet exemple montre l'utilité de l'analyse et synthèse dans la production de variantes des sons originaux.

Nous distinguons ici deux applications de la modification du son : traitement musical classique et élargissement des ressources sonores. Le but du traitement musical classique est de transformer le son afin de conserver une identité de timbre tout en changeant hauteur et/ou durée (ou encore articulation et sonie). Par exemple, comme nous l'avons mentionné plus haut, l'analyse-synthèse faisant appel au codage par prédiction linéaire ou au vocoder de phase permet de changer indépendamment hauteur et vitesse. De plus, comme nous

l'expositions au début de ce chapitre (voir Fig. 2), il est souvent inadéquat de garder un même spectre lorsque l'on fait varier la hauteur. Il serait de même nécessaire de changer le spectre si l'on fait varier la sonie. De tels changements sont essentiels si l'on veut utiliser des sons réels soumis à un traitement numérique (par exemple, sons instrumentaux). Sans le recours aux processus d'analyse-synthèse, on ne peut que créer des modifications du son assez superficielles et souvent décevantes. Cependant, il faut considérer que ces procédés sont complexes et difficiles à mettre en œuvre, spécialement en temps réel. Même un processeur numérique rapide peut ne pas satisfaire aux exigences du temps réel lorsqu'il doit appliquer des processus d'analyse et de synthèse.

Le but de l'élargissement des ressources de timbre est encore différent : changer certains aspects du son afin d'en modifier le timbre tout en préservant la richesse du modèle original. Là encore, les processus d'analyse et de synthèse sont essentiels à la production de transformations de timbre intéressantes (telle la synthèse croisée), d'interpolations de timbres (Grey et Moorer 1977), d'extrapolations au-delà du registre d'un instrument<sup>6</sup>, de « perversions » de la synthèse additive produisant des sons paradoxaux et des illusions (Shepard 1964; Risset 1978 a, b, c; Deutsch 1975; Wessel et Risset 1979), ou de transformations de sons percussifs en textures fluides préservant leur contenu fréquentiel (voir note 4). L'extension des modèles conduit ainsi à la synthèse de timbres non conventionnels intéressants. Un espace fascinant s'ouvre aux musiciens.

#### XIV. Espace de timbres

Nous avons, jusqu'ici, discuté les modèles perceptifs et montré l'utilité de l'analyse et de la synthèse dans la modification des timbres. A cet égard, il serait utile de posséder de bonnes notions concernant la structure des relations perceptives entre différents timbres. Ceci est grandement facilité par les modèles géométriques apportés par les techniques multidimensionnelles, qui offrent en effet des descriptions de cette structure. Comme l'a écrit l'un des auteurs : « Un espace de timbres représentant de manière adéquate les différences perceptives pourrait devenir une sorte de carte, d'aide à la navigation pour le compositeur intéressé par la structuration des aspects du timbre » (Wessel 1973).

On peut en effet proposer des modèles géométriques d'espace subjectif de timbres représentant les sons individuels comme des points dans l'espace : les sons jugés très dissemblables y sont éloignés, et les sons jugés similaires, proches. Les modèles ne sont pas des constructions arbitraires : ils traduisent les jugements, par des sujets, de la similitude des membres de nombreux couples de sons, données ensuite soumises aux programmes d'analyse multidimensionnelle. Ces programmes, strictement dénués de conceptions préétablies, offrent un modèle géométrique compatible au mieux avec ces données. Les dimensions du modèle peuvent alors être interprétées en recherchant les stimuli

---

6. On peut en entendre des exemples dans les *Etudes pour trompette et ordinateur* de Morrill (enregistrées par Maurice Stith, Golden Crest, recital series RE-7068).

les plus (ou les moins) différenciés selon ces axes<sup>7</sup>. Wessel (1973, 1978) et Grey (1975) ont ainsi pu construire des modèles d'espace de timbres pour les instruments à cordes et à vent. Ces modèles dévoilent deux dimensions : l'une distingue les instruments d'une même famille (comme le violoncelle, l'alto et le violon) et semble liée à la distribution spectrale de l'énergie (cf. von Bismarck 1974) ; l'autre regroupe les instruments d'une même famille et semble être dictée par des caractéristiques temporelles telles que les détails de l'attaque (Wessel 1973 ; Grey 1977).

Les représentations correspondantes d'espace des timbres suggèrent de remplir l'espace, d'y dessiner des trajectoires, comme le faisaient les interpolations de timbres citées plus haut. Selon Grey (1975) « la mise en échelle d'ensembles de sons naturels suggère un espace hybride, dont certaines dimensions se basent sur des distinctions perceptives déduites de propriétés physiques évidentes du son, alors que d'autres dimensions ne s'expliquent qu'à partir de distinctions de niveau plus élevé, telle que la classification en familles d'instruments. » L'intervention d'aspects cognitifs, comme la familiarité ou la reconnaissance, indique qu'il est peut-être impossible d'obtenir un espace des timbres totalement continu. Néanmoins, des modèles d'espace subjectifs peuvent proposer de nouvelles voies et des concepts inédits et fascinants, comme celui des analogies entre transitions de timbres (Wessel 1979) qui permettrait de manipuler les timbres comme la transposition mélodique le fait avec la hauteur. Décomposer le timbre — « attribut » défini comme n'étant ni la hauteur ni l'intensité — en dimensions révélera peut-être des traits ou des paramètres susceptibles de se prêter à une différenciation précise et d'être appropriés à l'articulation de structures musicales.

Ainsi l'analyse multidimensionnelle dévoile-t-elle souvent une dimension corrélée à la distribution spectrale de l'énergie, correspondant à l'aspect du timbre appelé brillance. Comme Wessel (1979) l'a montré, cette dimension est la mieux à même d'expliquer la séparation des flux auditifs (McAdams et Bregman 1979). Isoler les dimensions des timbres permet ici de prédire le comportement de ces timbres dans leur contexte.

La représentation spatiale suggère des schèmes relativement simples pour contrôler le timbre. L'idée de base est de faire entendre un timbre représenté par des coordonnées en spécifiant celles-ci dans un espace de timbres particulier. Si ces coordonnées correspondaient à un point situé entre deux timbres de l'espace, nous pourrions attendre de ce timbre interpolé qu'il soit lié aux autres en cohérence avec la structure de l'espace. Grey (1975) accorde cette hypothèse. Utilisant des couples de timbres sélectionnés dans son espace, il forme des séquences de sons interpolés. Il modifie pour ce faire les enveloppes de deux sons par une simple interpolation linéaire. Ces séquences, jugées perceptivement régulières, ne donnaient pas de changement de timbre abrupt. Des membres de l'ensemble initial et les timbres interpolés nouvellement créés ont été alors soumis à une expérience de jugement de dissimilarité, afin de définir un nouvel espace de timbres. Ce nouvel espace possédait fondamentalement la même structure que l'espace initial, les sons interpolés se localisant correctement entre les timbres qui les avaient générés. Il ressort de ces résultats

7. L'analyse multidimensionnelle peut révéler, à partir de simples jugements quantitatifs des différences entre les sons, en quoi ces sons diffèrent — ce que Schaeffer n'avait pas perçu dans sa critique du processus comme l'a décrit Babbitt (1965) (cf. *Music and Technology* 1971 : 77-78).

que les régions intermédiaires de l'espace des timbres réels pourraient être remplies, et que des transitions régulières finement gradées soit concevables.

La manière la plus naturelle de se déplacer dans l'espace des timbres serait de relier directement les leviers de commande aux dimensions de l'espace. L'un des auteurs étudia un schème de contrôle de ce type dans un contexte en temps réel (Wessel 1979). Un espace de timbres bidimensionnel était représenté sur le terminal graphique de l'ordinateur commandant le processeur numérique conçu par Di Giugno à l'I.R.C.A.M. Une dimension de l'espace servit à manipuler la forme de la distribution spectrale d'énergie. Ceci a été réalisé en modifiant les enveloppes d'amplitude suivant une fonction déterminant la forme spectrale. On utilisa l'autre axe de l'espace pour contrôler soit la raideur d'attaque soit le taux de synchronicité des diverses composantes. Dans l'ensemble, les trajectoires des timbres dans l'espace étaient régulières et montraient, au regard de la perception, un bon comportement. Pour faciliter des modes plus complexes de contrôle, il faudrait un langage d'ordinateur capable de traiter des enveloppes. L'idée sous-jacente à ce langage serait d'apporter une structure de contrôle souple permettant de spécifier, de mettre en séquence et de combiner diverses procédures créant et modifiant les enveloppes. Ces procédures comprendraient des opérations telles que l'étirement ou la contraction de la durée, le changement de la hauteur, le remodelage du spectre, la synchronisation ou la désynchronisation des composantes spectrales, etc. Un tel langage permettrait de mettre en rapport direct les opérations réalisées sur les enveloppes et les propriétés des représentations perceptives du matériau.

## Conclusion

Comme nous l'avons expliqué plus haut, l'exploration du timbre par analyse et synthèse peut servir différents propos. Elle nous fait pénétrer les paramètres physiques du son et leur pertinence vis-à-vis du timbre créé; elle conduit à des modèles simplifiés permettant de réduire les données lors de la synthèse; elle utilise enfin des modèles de transformation du son d'origine, soit afin de réaliser un traitement musical classique (par exemple, en variant indépendamment hauteur, durée, articulation et intensité) soit pour étendre les ressources de timbre (réorganisant à volonté les variations complexes extraites de l'analyse dans le but d'obtenir des sons riches et nouveaux).

L'exploration du timbre par analyse et synthèse s'avère complexe mais fructueuse. Depuis le développement d'outils comme l'ordinateur et ses descendants, elle nous a amenés à une meilleure compréhension des corrélats physiques du timbre comme à l'application de nouvelles ressources musicales.

Bien que beaucoup reste à faire, ces nouvelles possibilités offertes aux musiciens accroîtront probablement le rôle musical du timbre. Dans la musique classique occidentale, les timbres étaient employés essentiellement à la différenciation de lignes musicales. Cette organisation linéaire fut, plus tard, bouleversée par Debussy, Varèse et d'autres encore. La *Klangfarbenmelodie* de Schoenberg associait à des notes successives différents timbres; Boulez soumit la succession de timbres à l'organisation serielle. Grâce au contrôle du timbre maintenant réalisable par analyse et synthèse, les compositeurs peuvent non seulement composer avec des timbres, mais de plus composer des timbres: ils ont la possibilité d'articuler leurs œuvres, non plus sur la base des variations

de la hauteur, mais sur celle du timbre. Il a été objecté que la perception du timbre est trop vague pour servir de fondement à une communication musicale élaborée; néanmoins, comme le remarque Mathews, il existe déjà un exemple de système de communication sophistiqué basé sur la différenciation des timbres: la parole<sup>8</sup>. Ainsi peut-on concevoir qu'un contrôle du timbre adéquat mènera à de nouvelles architectures musicales, le processus d'analyse et de synthèse aidant grandement au développement d'un vaste potentiel musical. Ceci exigea du musicien une oreille subtile mais aussi un savoir-faire psychoacoustique et un bon environnement interactif, qui lui permettront d'accorder et de manipuler le timbre avec finesse. Ainsi l'exploration du timbre par analyse et synthèse peut-elle devenir une activité musicale essentielle.

## APPENDICE

### A. Représentation du signal et processus d'analyse et de synthèse

L'analyse et la synthèse, selon un processus donné, impliquent l'estimation des paramètres d'un modèle du son. Ce modèle peut être, ou ne pas être, adéquat; il peut ou non se prêter à une bonne imitation du son. Ainsi, par exemple, la décomposition en séries de Fourier est-elle un outil fructueux pour les sons périodiques; utilisant les données de l'analyse de Fourier, la synthèse de Fourier permet en effet la synthèse fidèle d'une copie d'un son périodique. Néanmoins, comme nous l'avons explicité plus haut, la plupart des sons dignes d'intérêt ne sont pas de nature périodique; la décomposition en séries de Fourier est impropre à la réplication, par exemple, d'un son dont le spectre varie avec le temps.

Un son peut être mathématiquement décrit par une fonction d'onde  $p(+)$  donnant la pression acoustique en fonction du temps sur l'axe temporel. Les mathématiques nous enseignent que des fonctions raisonnablement régulières peuvent être analysées de diverses manières, en termes de l'un ou l'autre d'ensembles de fonctions de base. Un ensemble est dit complet si une fonction arbitraire peut s'exprimer comme une combinaison linéaire adéquate de ces fonctions de base (les coefficients de cette combinaison sont donnés par le processus d'analyse, qui consiste en une estimation des paramètres correspondants). Par exemple, le théorème de Fourier établit que toute fonction périodique (de fréquence  $f$ ) peut être développée en une combinaison linéaire des fonctions sinus et cosinus de fréquences  $f, 2f, 3f\dots$ , telle que cette combinaison puisse être arbitrairement proche de la fonction périodique. L'ensemble des fonctions sinus et cosinus de fréquences  $f, 2f, 3f\dots$  est ainsi «complet», recouvrant l'espace des fonctions périodiques de fréquence (Panter 1965; Rosenblatt 1963).

En fait, la représentation des signaux non périodiques en termes de fonctions de base demande habituellement un nombre infini de ces fonctions, si bien que le développement en séries devient une transformation. Ainsi les signaux non périodiques peuvent être représentés selon la transformée de Fourier (ou intégrale de Fourier) dans laquelle les composantes spectrales

8. Comme Moorer le démontre à travers l'analyse et la synthèse, la parole peut rester intelligible sous certaines conditions après suppression des informations de hauteur et de rythme.

discrètes sont remplacées par un spectre d'amplitude continu; les phases discrètes sont, elles aussi, remplacées par un spectre de phases. L'analyse et la synthèse peuvent recourir à d'autres transformations (comme celles de Walsh-Hadamard et de Karhunen-Loève). Une telle décomposition en somme de signaux de base est comparable à la décomposition d'un vecteur en termes d'ensemble de vecteurs de base. Il est commode d'utiliser une transformation orthogonale — c'est-à-dire d'utiliser des fonctions formant un ensemble orthonormé (et complet) (Harmuth 1972).

L'application d'une transformée donnée à un signal sonore peut résulter en une représentation révélatrice et rendre possible la reconstitution du signal par transformation inverse. La représentation est donc étroitement liée aux processus d'analyse et de synthèse. En réalité, la représentation des signaux vise à la fois à caractériser l'information (les éléments porteurs d'information dans le signal) et à décrire de manière simple l'effet des modifications sur le signal (comme celles introduites par un système de transmission imparfait ou par une simplification délibérée du signal).

Bien que nous ne puissions entrer ici dans les détails, notons certains points:

1) Certains processus d'analyse-synthèse et les représentations correspondantes se limitent intrinsèquement à certaines classes de signaux. D'autres peuvent être transparents s'ils sont « complets » (au sens défini ci-dessus), tels les transformées de Fourier ou de Hadamard, le vocoder de phase, le codage par prédition linéaire. Pourtant, ces deux derniers schèmes ne permettent de reproduire le signal original qu'au prix d'une analyse extrêmement détaillée, d'une explosion d'information, plutôt que d'une réduction d'information. Cette analyse ne peut être simplifiée que pour certaines classes de signaux (des signaux quasi périodiques aux mécanismes d'excitation et de réponse relativement indépendants, tels que la parole; le codage par prédition linéaire, par exemple, simule avec efficacité les sons de hautbois, mais médiocrement les sons de clarinette basse, car éliminer les harmoniques pairs suppose un filtrage poussé). Cependant, l'essentiel des travaux sur l'analyse-synthèse et la transformation du signal visait à l'origine à créer un codage efficace de la parole en vue d'assurer une transmission économique par les canaux techniques (Flanagan 1972; Campanella et Robinson 1971; Schaffer et Rabiner 1975). De même, la représentation du signal sera plus révélatrice pour certains types de signaux (les programmes du vocoder de phase mis en œuvre par Moorer (1978) ont pourtant permis à Castellengo d'extraire des sons « multiphoniques » inharmoniques des informations utiles).

La décomposition du signal en signaux élémentaires gaussiens réalisée par Gabor s'est avérée elle aussi complète (Bastiaans 1980). Elle est capable en principe de produire une synthèse comparable à celles de Fourier et d'autres (Gabor 1947; Xenakis 1971; Roads 1978). La spécificité des méthodes complètes d'analyse-synthèse n'apparaît qu'en ce qu'elles permettent — ou suggèrent — lors d'une utilisation simplifiée et archétypale.

2) La transformée Walsh-Hadamard semble prometteuse, car elle conduit à des opérations aisément réalisées par des circuits numériques. Néanmoins, cette transformée apparaît, du point de vue psychoacoustique, assez inappropriée. Les fonctions de base ne sont pas jugées élémentaires par l'oreille; elles sont spectralement riches, et une représentation approchée en ces termes conduirait à des résultats peu satisfaisants. Le processus d'analyse-synthèse ne se détériore pas « avec grâce » et a de grandes difficultés à produire des timbres

qui ne soient pas riches et rugueux (par exemple, il approxime difficilement l'onde sinusoïdale).

3) L'analyse (et synthèse) de type Fourier s'est vu opposer de nombreuses critiques, parfois peu documentées. Bien que la décomposition en séries de Fourier soit inadéquate aux sons non périodiques, il en existe des variantes plus élaborées et fort utiles. La transformée de Fourier apporte une information complète sur les spectres d'amplitude et de phase; toutefois, ces derniers caractérisent l'évolution temporelle du signal de façon peu intuitive et difficilement utilisable. Cette évolution temporelle étant très signifiante pour l'audition, une analyse de type évolutif est nécessaire. Celle-ci s'obtient en calculant, en fonction du temps, le spectre du signal, ce dernier étant vu à travers une *fenêtre temporelle* (appelée aussi *fonction de pondération*) qui, à chaque moment, ne montre que les valeurs les plus récentes du signal. De telles représentations sont très utiles et ont d'ailleurs été employées dans la plupart des études citées ici. Le spectrographe sonore (Koenig, Dunn, Lacey 1946) intègre ce type d'analyse évolutive: ses « fenêtres » permettent un portrait utile des sons de la parole, mais il dévoile aussi des traits signifiants de la musique (Leipp 1971) — quoique l'analyse soit souvent par trop grossière pour fournir les données à une synthèse adéquate.

La pertinence de l'analyse de Fourier a des fondements multiples. Il apparaît clair que les niveaux périphériques de l'audition, grâce au filtrage mécanique de la membrane basilaire, réalisent une analyse fréquentielle grossière dont la résolution est liée à la largeur de la bande critique (Plomp 1964; Flanagan 1972). La distribution de l'activité sur la membrane basilaire s'apparente ainsi à un spectre de Fourier. De même, lorsque le son est quasi périodique, la surdité à la phase permet une réduction substantielle de l'information. On peut également tirer parti dans ce cas de la concentration de l'énergie aux fréquences harmoniques, et décrire alors le son par l'évolution temporelle de l'amplitude de quelques harmoniques. Nous avons vu qu'une telle synthèse additive pouvait constituer un modèle utile (Risset et Mathews 1969; Keeler 1972; Grey et Moorer 1977).

4) Les méthodes globales, telles la modulation de fréquence (Chowning 1973) et la distorsion non linéaire (ou « waveshaping ») (Arfib 1979; Le Brun 1979), sont attrayantes, car elles offrent un contrôle puissant des caractéristiques saillantes du spectre par le biais de quelques paramètres seulement: le degré de spécificité et de traitement est très réduit en comparaison de la synthèse additive. Cependant, la puissance va aux dépens de la généralité. Il est difficile d'obtenir certains résultats avec les méthodes globales, à moins de les utiliser d'une manière raffinée mais complexe (Schottstaedt 1977).

## B. Modèle de synthèse basée sur des principes perceptifs

Montrons maintenant rapidement comment des procédures de synthèse peuvent amener à un contrôle direct de quelques attributs perceptifs essentiels. Le principe de base de ces schèmes de synthèse est la décomposition du signal musical en attributs perceptifs en grande partie indépendants les uns des autres. Le but poursuivi est d'apporter à la synthèse additive un schème de contrôle relativement général mais toutefois simple, les applications de cette forme de synthèse bénéficiant des progrès du matériel de synthèse numérique ultra-rapide.

## *1. Hauteur et sensation globale de l'enveloppe spectrale*

Plusieurs études (Plomp et Steeneken 1971; Risset 1978b, c) montrent l'indépendance relative de la hauteur et de la distribution globale de l'énergie spectrale en tant qu'attributs perceptifs. Ceci se vérifie dans une large mesure pour les sons harmoniques produisant une claire perception de hauteur, mais se révèle inexact pour les spectres inharmoniques, dont le contenu de hauteur, ambigu et par ailleurs multiple, dépend de l'équilibre spectral entre les composantes. Ce que nous entendons par indépendance signifie qu'il est possible de manipuler, par exemple, l'emplacement et la forme des formants sans influer sur la hauteur perçue et, inversement, de manipuler la hauteur tout en gardant constante la forme spectrale perçue. La voix, bon exemple d'un tel schème de contrôle indépendant, joue sur une large gamme de hauteurs et de formes spectrales. Un chanteur peut produire une même note avec une grande variété vocalique, mais peut également maintenir constante la qualité d'une voyelle sur toute une gamme de hauteurs.

## *2. Rugosité et autres effets d'élargissement des raies spectrales*

Terhardt (1978) a montré que notre impression de rugosité dépendait d'une combinaison additive de fluctuations d'amplitude distribuées spectralement. Considérons l'exemple d'un son composé de trois fréquences: 400, 800 et 1600 Hz. Ces composantes sont ici assez éloignées (séparées de plus d'une bande critique); les fluctuations d'amplitude, correspondant à environ 10 % de l'amplitude des composantes fréquentielles situées entre 10 et 35 Hz, contribuent indépendamment à l'impression générale de rugosité. La synthèse doit ainsi contrôler indépendamment les fluctuations d'amplitude sur différentes régions du spectre.

Par «élargissement des raies spectrales», nous entendons l'étalement de l'énergie autour de ces raies. Ceci s'obtient en modulant l'amplitude et / ou la fréquence d'une sinusoïde. De nombreux timbres instrumentaux comportent, dans leurs transitoires d'attaque, des composantes de bruit, et leur position spectrale est, le plus souvent, essentielle à leur timbre. Lors de la synthèse d'attaques de type cordes, par exemple, les régions spectrales médiane et supérieure nécessitent plus de bruit que les régions inférieures. Le positionnement indépendant des effets de bruit dans des régions distinctes du spectre, grand avantage de la synthèse, s'accomplit en élargissant les raies spectrales dans ces mêmes régions.

## *3. Vibrato et fluctuations de fréquence*

Notre impression de timbre dépend souvent de la présence d'un vibrato ou d'une fluctuation fréquentielle. La procédure de synthèse devrait permettre une application aisée de ces effets, sans pour autant bouleverser la distribution globale de l'énergie spectrale. Si un oscillateur produit un glissement fréquentiel à spectre fixe, il s'ensuivra de même un glissement de la distribution spectrale d'énergie: ceci portera atteinte à l'indépendance désirée. Une telle indépendance a été obtenue par Risset (1978b, c) dans la version en glissando de l'illusion de Shepard (1964).

Notre procédure de synthèse additive devrait être capable de produire une enveloppe spectrale globale qui resterait constante en dépit des changements

des fréquences spécifiques des composantes. De plus, ce modèle devrait permettre une mise en place indépendante de la rugosité et des effets de bruit dans des régions distinctes du spectre, là aussi, sans porter atteinte à l'enveloppe spectrale globale. Ces types de contrôle peuvent être accomplis assez facilement par la plupart des langages de synthèse sonore, en utilisant des générateurs par consultation de tables, tel le VFMULT du langage MUSIC V. Ces générateurs permettent de stocker la fonction d'enveloppe spectrale utilisée pour déterminer, échantillon par échantillon, l'amplitude d'une composante donnée dont la fréquence varierait. Cette technique fonctionnerait de même pour contrôler la distribution spectrale de la rugosité ou d'autres effets d'élargissement des raies. Afin d'obtenir avec ces attributs des effets variant avec le temps, il faut définir les distributions des enveloppes spectrales et de la rugosité pour des points successifs et souvent proches dans le temps, l'interpolation étant réalisée entre paires successives de ces fonctions.

## Note de 1989

Depuis la rédaction de cet article (1979), le progrès technologique a permis la mise en œuvre de synthétiseurs numériques personnels, rendus compatibles par l'adoption de la norme MIDI (Musical Instrument Digital Interface). Ainsi ont été diffusés à bien plus de cent mille exemplaires les DX7, utilisant la méthode de modulation de fréquence de John Chowning pour la synthèse de spectres complexes, et permettant la production de spectres variés, de type instrumental ou non, grâce à l'exploitation des données accumulées sur le timbre par analyse et synthèse (cf. Chowning et Bristow 1986). D'autre part les échantillonneurs facilitent l'enregistrement numérique et la restitution de sons arbitraires. Cependant les transformations intimes de ces sons restent difficiles : ainsi la transposition en fréquence par le jeu sur un clavier modifie en même temps les aspects spectraux (comme la position des formants) et temporels (comme le rythme d'un vibrato).

Seules les méthodes d'analyse-synthèse peuvent permettre des transformations sonores intimes. Or elles ont beaucoup progressé. La méthode de Gabor, dont le caractère complet a été démontré par Bacry, Grossman et Zak avant Bastiaans, avait été mise en œuvre par Roads et Truax pour la synthèse granulaire : récemment Daniel Arfib l'a mise en œuvre pour l'analyse-synthèse, ce qui lui a permis de ralentir des phrases parlées ou des mélodies de clarinette dans un rapport supérieur à 100. Il faut surtout signaler l'apparition de la transformée en ondelettes, apparentée à la méthode de Gabor, en ce qu'elle décompose le signal en composantes élémentaires limitées dans le temps aussi bien qu'en fréquence : il s'agit en fait d'une méthode temps-échelle — intervalle d'analyse  $\Delta f$  tel que  $\Delta f/f$  soit constant — et non temps-fréquence —  $\Delta f$  constant. Introduite par Jean Morlet et formalisée par Alex Grossman, cette méthode très prometteuse continue d'être développée mathématiquement par Yves Meyer, Ingrid Daubechies et d'autres. Ses applications vont de la cosmologie à l'économétrie : mais la transformée en ondelettes a été largement développée dans le domaine sonore par Richard Kronland-Martinet, qui l'a appliquée avec succès à l'analyse et synthèse des sons musicaux [on citera aussi les travaux de Daniel Arfib, Frédéric Boyer, Pierre Dutilleux, Jean-Sylvain Liénard, Xavier Rodet, et l'ouvrage *Wavelets* (Combes *et al.* éd. 1989)].

J.C.R.



# RECHERCHES



## **Méthodologie de synthèse du timbre: l'exemple des modèles de résonance**

par Yves POTARD, Pierre-François BAISNÉE  
et Jean-Baptiste BARRIÈRE

### **Introduction**

Les méthodes et techniques d'élaboration du matériau sonore par synthèse directe recèlent ou impliquent par principe des représentations du timbre et des schémas d'organisation et de manipulation de celui-ci.

Dans une première partie, nous tenterons de dégager de notre expérience sur la synthèse des sons un appareil conceptuel et méthodologique qui soit indépendant des particularismes des techniques de synthèse. Le concept de *modèle*, la technique de la *synthèse par règles* et la méthodologie de la *simulation* peuvent ainsi constituer les bases d'un «système» de création des sons. Le musicien a alors à sa disposition un univers de modèles qu'il peut organiser pour y ancrer son travail compositionnel et enrichir en «opérant» sur les modèles. Nous reconnaîtrons un certain nombre d'opérations telles l'hybridation, les transitions, l'interpolation, etc. Nous réexaminerons trois techniques de synthèse majeures à la lumière de ces concepts et à l'épreuve de notre cognition.

Dans une seconde partie, nous présenterons notre travail sur les «modèles de résonance», qui utilise la synthèse formantique. On y trouvera une illustration concrète de la méthodologie que nous essayons de développer.

### **I. Mise en perspective des techniques de synthèse de sons par ordinateur**

Nous avons sélectionné trois techniques de synthèse qui témoignent de trois paradigmes très importants pour la représentation des sons :

- la synthèse additive (Risset-Wessel 1982)
- la synthèse formantique (Potard et Vandenhende 1984, Rodet 1984, Rodet et al. 1984-1985)
- la synthèse par modèle physique (Adrien et al. 1988).

La synthèse additive favorise une vision acoustique du son qui représente un

objet sonore comme une collection de partiels sonores, sinusoïdes dont la fréquence et l'amplitude varient au cours du temps.

La synthèse par modèle physique est tout entière du côté de la « production » du son. Elle privilégie la vision d'un objet sonore comme le résultat de la dissipation par un système physique de l'énergie apportée par des « excitateurs » physiques, et modélise avec les outils de la science physique la transmission de l'énergie à l'intérieur du système.

La synthèse formantique est une technique hybride qui se rattache au traitement du signal mais modélise un son comme la réponse d'un système linéaire à un signal sonore exciteur (théorie des filtres). La réponse du système est modélisée dans le domaine spectral par une collection de « formants » ou résonances, caractérisés par une fréquence, une largeur de bande et un gain. L'exciteur est moins bien défini et peut être une source de bruit, un générateur de sons voisés (périodiques), ou même échapper au synthétiseur formantique stricto sensu et provenir d'une source sonore quelconque, réelle ou synthétisée par une autre technique.

## *1. Modèles, synthèse par règles*

Dans un environnement logiciel de synthèse de sons, le synthétiseur n'est pas offert nu à l'utilisateur. Un certain nombre d'outils permettent un usage plus expressif de celui-ci. Que ce soit dans l'environnement MUSIC V (Mathews 1969) ou dans l'environnement FORMES il existe des outils pour créer, combiner, manipuler des objets, images informatiques de productions sonores, de « notes ». Ces objets sont des instances particulières d'objets plus génériques, paramétrables, d'« instruments ». Ces instruments représentent donc un certain territoire de l'espace sonore qu'on échantillonne par des « notes », en y précisant la valeur des paramètres, des « contrôles » dont dispose l'utilisateur. Ce qui nous intéresse ici est d'approfondir la notion d'*instrument* ou *modèle* qui concrétise la manière de cloisonner l'espace sonore et de le parcourir. Cette notion est enchaînable. En effet, on peut construire un instrument soit par l'extension d'un réseau de modules dans MUSIC V, soit par la combinaison de règles dans FORMES. Une règle de l'instrument englobant peut y contrôler des paramètres de l'instrument englobé et offrir à son tour de nouveaux paramètres de contrôle, une nouvelle interface. C'est ce qu'on appelle la « synthèse par règles ». Le synthétiseur additif, formantique, ou physique, peut ainsi être vu comme le niveau le plus bas dans la hiérarchie, le niveau d'« implémentation » de l'espace sonore. On peut alors tracer le portrait d'une technologie de structuration de l'espace sonore (qui a des parentés avec la technologie des langages orientés-objets).

Au fur et à mesure de l'enchaînement des modèles, on observera une spécialisation de ceux-ci, une perte de généralité par rapport au synthétiseur de base, mais au profit d'un enrichissement sémantique et de l'apparition de contrôles plus évolués. Par exemple, on pourra dans un premier temps contraindre les fréquences d'un synthétiseur additif à être les multiples d'une fréquence fondamentale, rendant les sons inharmoniques inaccessibles au profit d'une réduction drastique du nombre de paramètres et de l'émergence du contrôle de la hauteur. Cette hauteur pourra à son tour être calculée comme le résultat d'un vibrato contrôlé en fréquence et excursion autour de la hauteur musicale de l'objet sonore, etc. Pour prendre un exemple à une autre échelle, un synthétiseur formantique pourra être spécialisé dans les productions vocales : il commencera avec les voix chantées féminines de soprano pour finir avec un

modèle spécialisé dans le Bel Canto ou dans une technique vocale extra-européenne. Cette construction depuis les niveaux les plus élémentaires vers le haut résulte d'un travail à long terme qui vise à former une collection de briques harmonieusement imbriquées et réutilisables, à faire «système». Souvent, surtout dans le cadre d'une production d'œuvres, on procédera dans l'autre sens : partant d'une idée assez précise du modèle désiré, on tentera de le mettre en œuvre par décompositions successives en utilisant les briques plus élémentaires disponibles. Mais comment constituer ces briques élémentaires, comment acquérir le savoir-faire nécessaire à leur constitution, comment le tester, comment passer de l'imagination timbrale à la réalisation acoustique? Là aussi une méthodologie s'est dégagée au cours du temps : la *simulation*, science de la modélisation de sons ou d'instruments réels.

## 2. *La simulation*

Une forme primitive de cette approche scientifique est la technique d'analyse-resynthèse issue du traitement du signal. Elle repose sur l'existence de transformations mathématiques qui permettent de passer de l'espace réel des signaux à un espace dual et d'effectuer le chemin inverse, en reproduisant le signal original. La transformée de Fourier est la plus connue des transformations, mais on peut citer aussi les méthodes de prédictions linéaires et la transformée en ondelettes. L'intérêt réside dans le changement de perspective induit par l'«analyse». Ainsi, la transformée de Fourier a fourni une multitude d'indices dans le domaine spectral qui ont permis une meilleure compréhension de la perception ou de la production des sons. Ces transformées constituent des outils de base pour le scientifique qui construit des modèles de synthèse. Mais la capacité de resynthèse induit aussi une capacité d'engendrement de matériaux sonores distincts de l'original car on peut agir dans l'espace dual sur les données de l'analyse et ainsi, après resynthèse, obtenir un résultat sonore «transformé», où les transformations sont dépendantes des propriétés internes de l'analyse.

La projection dans l'espace dual est un début de modélisation rudimentaire et très idiomatique, lié à un seul objet sonore, une seule hauteur, intensité et mode de jeu, d'un instrument donné. La véritable simulation consiste à obtenir un modèle capable d'engendrer les productions d'un instrument dans une certaine plage de hauteurs, d'intensités et de modes de jeu. C'est le domaine de la synthèse par règles.

Le premier apport méthodologique de la simulation est de pouvoir donner une cible objective au «facteur» de modèles de synthèse, lui permettant de travailler, de constituer son savoir-faire avec, temporairement, une certaine indépendance de l'usage musical ultérieur du modèle. Il peut tester la qualité général du produit de synthèse par simple comparaison avec l'original mais surtout il peut beaucoup apprendre au cours du travail de modélisation de la différence entre son réel et synthétique. La qualité de cette différence permet de «découvrir» des aspects non modélisés, d'enrichir notre connaissance objective de l'instrument. Ainsi, par exemple, dans une tentative de modélisation d'une voix de soprano, on a pu découvrir qu'au cours d'une note la brillance du timbre, l'amplitude et la fréquence variaient selon des règles assez précises qui ont pu être modélisées.

L'outil d'analyse se trouve impliqué dans l'exploitation de la différence entre réel et synthétique. S'il «voit» la différence, il nous permet d'en analyser objectivement les caractéristiques. Mais il peut ne pas la «voir» et nous obliger à

retravailler l'outil, à le « sensibiliser », par exemple en lui faisant suivre plus fidèlement la hauteur d'un instrument ou en le dotant d'une meilleure résolution temporelle.

On peut remarquer à ce propos que les méthodes d'analyse peuvent se raffiner et se spécialiser en suivant les étapes du processus de modélisation. Si on peut suivre correctement la hauteur de la voix d'une soprano et qu'on pense avoir trouvé un modèle convenable de l'évolution du vibrato, on peut enrichir l'outil d'analyse de façon à ce qu'il fournisse les valeurs des paramètres qui, donnés en entrée du modèle de vibrato, fourniront l'excursion réelle de hauteur de la chanteuse. L'analyse peut ainsi fournir à la synthèse des paramètres réalisistes de haut niveau sémantique mais aussi permettre une « reconnaissance » toujours plus fine du jeu d'un instrument. Cela ouvre la voie d'une reconnaissance intelligente du jeu d'un instrumentiste en concert.

### *3. Comparaison de trois méthodes de synthèse : additive, formantique et par modèles physiques*

Nous comparerons les trois méthodes de synthèse confrontées au travail de simulation. Pour accentuer le contraste, nous nous sommes placés dans une perspective quelque peu caricaturale, illustrant au mieux ce qui est typique de chaque technique. Mais il est fort intéressant de croiser les perspectives et de raisonner sur chaque point de vue, même si l'on a choisi une seule technique pour la réalisation du modèle. Puis nous soumettrons chaque technique à l'épreuve de notre système perceptif. Enfin nous essayerons de les confronter dans leur usage musical.

#### *TECHNIQUE DE SYNTHÈSE ET SIMULATION*

La comparaison s'effectuera suivant plusieurs critères :

- le réalisme de la simulation;
- la complexité du processus de simulation;
- la généralité des méthodes développées au cours du travail.

#### *— Réalisme dans la simulation*

Si l'on déploie suffisamment d'énergie et d'imagination, on peut arriver à une synthèse de bonne qualité avec chaque technique, mais les chances de succès ne sont pas les mêmes au départ ; il existe des points forts ou faibles constitutifs de chaque technique.

*Modèles physiques* : Cette technique est la plus adaptée à la simulation. Par principe, l'intégralité des phénomènes physiques est accessible au travail de simulation. Toutefois, dans la pratique, on se restreindra à une partie du système physique en jeu. Dans un modèle du violon, par exemple, l'instrumentiste sera en dehors de l'épure, ou plutôt se réduira à un générateur de forces sur un excitateur physique — l'archet —, et de pressions sur les cordes. A l'autre bout de la chaîne, le modèle se limitera à la surface d'émission du corps de l'instrument, mais il pourra être mis en interface de façon homogène avec un éventuel modèle physique de salle.

Contrairement aux deux autres techniques (qui produisent du « signal »), aucune hypothèse n'est faite *a priori* sur le canal d'émission et, de ce fait, on peut atteindre en théorie une grande qualité de restitution du rayonnement de l'instrument dans l'espace, et non plus uniquement quant à la nature du son produit (stabilité, mode d'excitation, mode de jeu). Grâce à la possibilité d'atteindre une grande justesse dans le comportement temporel du système, la

restitution des transitoires peut être excellente (contact du plectre sur une corde, comportement instable, raclement de l'archet, etc.). Intrinsèquement, la réponse d'un modèle physique à l'évolution dynamique de ses paramètres de contrôle est bonne.

S'il on appelle *territoire* l'étendue couverte par les diverses émissions sonores que l'on peut obtenir d'un modèle donné, le territoire obtenu après modélisation physique est remarquablement étendu, même s'il ne couvre sûrement pas encore le territoire de l'instrument modélisé. Évidemment, lorsque nous aborderons la complexité technique de la modélisation, ces belles perspectives s'obscurciront quelque peu.

*Synthèse par formant*: la réalisation technique du synthétiseur est ici bien mieux définie que pour les modèles physiques. Comme la synthèse additive, la synthèse formantique traite et produit du signal, variation dans le temps d'une pression sonore en un seul point de l'espace. Elle cherche à modéliser un signal acoustique comme le résultat du filtrage linéaire d'un signal d'excitation par un filtre, analogue au corps résonant d'un instrument. Ce filtre est modélisé par une mise en série ou en parallèle de « formants », analogues aux *modes* de vibration d'un système physique. La technique est donc la transcription d'une certaine réalité physique. Et en effet, beaucoup d'instruments réels peuvent être fidèlement représentés ainsi, surtout en ce qui concerne les productions « normales » : anches lippales ou non et tube acoustique, souffle sur un biseau et corps de flûte, impact sur un instrument de percussion... On trouvera plus de détails dans la seconde partie du texte.

La technique modélise d'abord le résonateur. Elle est beaucoup moins spécifiée en ce qui concerne l'excitation, ce qui l'ouvre potentiellement à un grand nombre de modes de jeu : apériodique, bruité ou périodique, voisé. Elle rencontre ses limites lorsque le résonateur est très couplé à l'excitation, comme dans le cas de l'application d'un doigt sur une corde ou lorsque la notion même de résonateur semble dénuée de sens : battements d'aile, déchirement de matière. Par contre, les comportements instables de l'excitateur (multiphoniques par exemple) ne lui sont pas étrangers, puisqu'ils sont situés en amont du modèle proprement dit.

*Synthèse additive*: c'est de loin la mieux définie des techniques. Tout signal sonore doit être modélisé comme le résultat de la superposition de fréquences pures, sinusoïdales. Si aucune hypothèse n'est faite sur la vitesse à laquelle peuvent évoluer l'amplitude et la fréquence de chaque sinusoïde, tout signal est théoriquement reproductible. Mais dans une simulation où les sinusoïdes sont contrôlées par règle, ce n'est pas le cas. La sinusoïde y est toujours reliée à une certaine réalité, comme l'harmonique d'une source quasi périodique ou le partiel résonant d'une percussion. Les éléments bruités, souffles, sont exclus de la restitution. On peut essayer de simuler le modèle formantique, mais la tâche n'est pas aisée. La simple multiplication des amplitudes d'une source harmonique par une enveloppe spectrale calculée ne restitue pas fidèlement le comportement temporel d'un filtre, notamment si la hauteur est dans le grave et subit des variations. Mais c'est un exemple intéressant de pont entre les deux techniques.

#### — *Complexité du travail de modélisation*

La technique de simulation par modèles physiques est encore jeune. Les outils de base manquent cruellement. Les techniques d'analyse sont complexes ou mesurent des données acoustiques qui ne sont pas toujours utilisables directement dans le modèle. La technique même d'implémentation n'est pas du tout stabilisée ; elle va des techniques de la science physique à de simples méthodes

de traitement du signal. La qualité très bonne théoriquement se trouve encore limitée par les réalisations actuelles. De plus, indépendamment de toute technique de réalisation, les modèles restent une évidente simplification de la réalité. Une corde, surtout de la nature d'une corde grave du piano, est très difficile à modéliser directement. Les problèmes deviennent gigantesques lorsqu'il s'agit de modéliser le corps d'un violon ou pire, d'un piano. Un modèle physique de la voix représente une véritable gageure s'il faut modéliser la forme du conduit vocal et le comportement de la glotte à partir des commandes motrices des muscles de l'ensemble vocal, y compris le diaphragme.

La synthèse formantique dispose, pour aider le « facteur », d'outils d'analyse du signal bien établis. La transformée de Fourier, les techniques de prédiction linéaire, la méthode de Prony et d'autres encore fournissent des données fort utiles. Dans la seconde partie du texte nous décrirons en détail une technique d'analyse des sons produits par une excitation impulsive sur un résonateur. La tâche n'en reste pas moins délicate. Première difficulté, le modèle recherché, excitation/résonance, est un modèle abstrait qui se plaque plus ou moins bien sur la réalité instrumentale. Dans le cas où il est possible de faire cette hypothèse, le signal dont on dispose reste la convolution des deux termes que l'on cherche, l'excitation et la forme du système résonant. Et si les deux modèles manquent, il est difficile de dénouer ce mélange. Concrètement, cela force à faire un modèle hypothétique de l'excitation. Par exemple, on peut se placer dans le cas d'une source harmonique dotée d'un comportement spectral assez défini (c'est ce que l'on fait pour les percussions). Cela rend alors possible l'estimation des caractéristiques des résonances. Notons le cercle vertueux qui peut s'instaurer lorsqu'on commence à engranger des connaissances sur un instrument. Connaitre les résonances permet de mieux isoler l'excitation, d'en affiner le modèle et de là, d'améliorer le modèle de résonance. Un modèle déduit à partir d'un échantillon sonore pourra éventuellement couvrir un territoire assez important à condition de trouver des règles pour cette généralisation: par exemple, une règle qui, à partir des résonances d'un son de corde à une hauteur donnée, permettrait de calculer les résonances aux hauteurs voisines. La séparation excitation/résonance est souvent opératoire pour procéder à l'extension du modèle.

En synthèse additive, on possède des outils d'analyse assez perfectionnés qui peuvent fournir directement l'évolution en fréquence et en amplitude d'un jeu de sinusoïdes qui resynthétiseront le signal analysé. Mais il s'agit là du modèle d'un son bien défini, et, alors qu'il est relativement aisé dans le cas de la synthèse par formant, et plus encore dans celui des modèles à d'autres hauteurs ou intensités, ou à d'autres comportements temporels ou modes de jeu, l'opération est ici très difficile. A moins d'emprunter des données à un autre type de modélisation.

#### — *Généralité de la méthode*

Pour constituer un modèle sonore additif, la technique est très générale, les outils sont standards, mais le modèle obtenu reste très lié au signal sonore d'origine. Au contraire, les méthodes d'obtention d'un modèle physique restent très peu stabilisées et très spécifiques à un instrument donné ou à sa famille proche. Mais les modèles obtenus couvrent un grand territoire. Le modèle formantique semble occuper une zone intermédiaire. On y développe des méthodes qui doivent s'adapter à la nature de l'émission — percussive ou entretenu —, et également à la durée de la résonance.

Il est évident cependant que les techniques et connaissances accumulées pour chaque type de synthèse peuvent s'inter-féconder. Ainsi peut-on simuler un modèle excitation/résonance sur une base additive et réutiliser des données issues de modèles formantiques. On peut exploiter la connaissance physique d'un instrument pour perfectionner un modèle formantique. On peut par exemple déduire de la connaissance physique de l'instrument des règles de variation dynamique du comportement résonant de l'instrument en fonction de sa conduite.

Réciproquement, la construction d'un modèle physique peut être affinée en utilisant des données de modèles formantiques ou encore en utilisant à son profit les outils d'analyse développés pour cette méthode.

Il serait très intéressant de construire des outils permettant de passer d'un modèle à l'autre. Cela permettrait peut-être de réaliser un modèle physique sur la base d'un synthétiseur additif ou formantique. Un premier avantage serait de fournir les outils de la mise en œuvre, qui ne sont pas toujours évidents à réaliser pour les modèles physiques. Cela permettrait aussi d'exploiter musicalement le substrat additif ou formantique sous-jacent.

Il existe un autre croisement très fécond qui consiste à hybrider le modèle, par exemple utiliser un modèle physique de l'embouchure d'une clarinette pour fournir le signal d'entrée du corps simulé en synthèse formantique, ou employer un modèle additif de l'excitation vocale dans un conduit vocal formantique.

#### *TECHNIQUES DE SYNTHÈSE ET PERCEPTION*

Chacune des trois techniques sur un objet sonore présente un point de vue particulier. Chacun est pertinent perceptivement, mais à un niveau très différent des autres. Lorsqu'un signal sonore est perçu, il passe à travers divers étages de « reconnaissance » dont le résultat atteint plus ou moins la conscience.

On sait depuis longtemps que l'oreille effectue une véritable analyse spectrale des sons au cours du processus de reconnaissance, essaie activement d'analyser le stimulus sonore en termes d'harmoniques ou de partiels. Le résultat en est rarement perçu au niveau conscient, car le système cognitif utilise ces percepts élémentaires pour constituer des sources sonores. Les harmoniques y sont fusionnés pour former une image plus globale, possédant des attributs de plus haut niveau comme la hauteur musicale et l'ensemble des percepts constituant le timbre.

Lorsque cela a un sens, notamment pour les sons entretenus, le système perceptif tente d'«expliquer» la source sonore comme le filtrage d'une «excitation» par un «corps» sonore. Il utilise notamment les corrélations entre les fluctuations de fréquence et d'amplitude des partiels pour opérer ce décodage. Cela aboutit à une reconnaissance du corps sonore en termes de formants. Comme les partiels, les formants constituent une couche élémentaire de la perception qui ne parvient pas à un niveau conscient (sauf cas de mauvaise fusion). Ils fusionnent en des percepts de plus haut niveau comme, par exemple, la vocalité et le «timbre» d'une voix (reconnaissance de voyelles). De l'excitation reconstituée sont extraits d'autres percepts comme la hauteur, la raucité, la brillance, etc.

Mais le processus aboutit également à des percepts reliés à l'aspect physique de la source sonore. La brillance sera par exemple interprétée comme une mesure de la puissance émise par la voix, toutes sortes d'indices sont interprétés comme une éventuelle constriction du larynx, une certaine configuration du conduit vocal. Un chanteur écoutant un autre chanteur «entendra» véritablement tous

les mouvements de l'appareil vocal ainsi que les diverses tensions musculaires impliquées dans la production sonore. Ce niveau de perception est inaccessible à un auditeur n'ayant pas de pratique du chant. Il faut bien réaliser que les intuitions « physiques » sur une émission sonore sont de niveau très élevé, dépendent d'une expérience, d'un apprentissage, d'une accumulation de connaissances gigantesques. Elles reposent sur les niveaux plus élémentaires comme le partiel ou le formant. Ces percepts à interprétation physique ne constituent pas le but exclusif de notre appareil perceptif. Si utile fonctionnellement que soit la constitution d'indices physiques sur une source sonore, de nombreuses dimensions perceptives, notamment du timbre, ne se relient pas à une dimension physique évidente. Ainsi, le cuivrage d'un trombone, qui correspond à une rupture perceptive très nette — le son est cuivré ou ne l'est pas —, se produit lorsque le tromboniste augmente l'intensité de son émission au-delà d'un certain seuil sans que cela corresponde à une rupture quelconque au niveau physique.

#### *TECHNIQUE DE SYNTHÈSE ET USAGE MUSICAL*

La relation entre une technique de synthèse et l'usage musical qui peut en être fait constitue un thème évidemment très difficile à traiter. Nous avons essayé de l'aborder sous un angle opératoire. Quels sont les clés, les leviers, l'algèbre, la combinatoire qu'un musicien peut trouver dans un environnement de synthèse pour y exercer son activité compositionnelle, soit en constituant des modèles, soit en cherchant à les organiser ?

##### *— Synthèse par règles*

La modélisation par enchaînement de règles telle que nous l'avons décrite constitue un système abstrait sur lequel peut s'exercer un travail d'écriture. Sur un univers de modèles donné, un musicien peut disposer une structuration transversale statique, procéder à une typologie des règles, à une classification des modèles. Il peut aussi s'intéresser à la grammaire d'enchaînement des règles, établir des procédés d'engendrement des modèles, muter les règles, hybrider des modèles par échange de matière. Bien entendu, lors d'un travail qui se réduirait à ce jeu abstrait, l'on devrait s'attendre à produire beaucoup de matériaux mort-nés.

##### *— Simulation*

Le musicien peut partir de modèles reliés à des instruments réels en s'appuyant alors sur le système cognitif de l'auditeur. S'il exerce sur ces modèles les manipulations abstraites décrites plus haut, il peut engendrer une série d'hybrides qui, si la structure sous-jacente des modèles a suffisamment de sens par rapport à notre cognition, peuvent fonctionner remarquablement.

*Hybrides*: il peut créer un espace bipolaire en essayant par mutations successives de tracer un chemin par étapes discrètes d'un modèle de référence à un autre. S'ouvre alors la possibilité d'utiliser dans la forme-musicale la perception d'un tel cheminement.

*Transitions ou interpolations*: ce cheminement peut s'imaginer de manière continue à l'intérieur de ce qui serait perçu comme un seul événement sonore en utilisant des mutations sans rupture. On pense par exemple à une note attaquant comme un violon puis résonant comme un piano pour finir sur un timbre métallique.

*Dérivation, extrapolation, et abstraction*: en jouant sur l'ajustement des

paramètres d'une simulation, ou en extirpant quelques règles, ou bien encore en plaquant des règles abstraites, le musicien peut créer tout un espace de matériaux sonores plus ou moins proches du modèle réaliste, de la référence : artifice ou réalité.

On peut tenter de traduire ces opérations pour chacune de nos trois techniques.

En synthèse additive, les modèles sont des collections de partiels. On peut jouer abstrairement sur ces collections en les ciblant, les déformant, les additionnant, en permutant les amplitudes et les fréquences de deux modèles, etc.

Si on se réfère à l'importance perceptive des fréquences des partiels, on peut citer plusieurs techniques de dérivation de modèles :

— passage d'un son harmonique à un son inharmonique ou à hauteurs multiples, permettant l'introduction de l'harmonie à l'intérieur même du matériau ;

— jeu sur la cohérence<sup>3</sup> des mouvements de fréquences de chaque partiel pour focaliser plus ou moins l'image sonore ;

— jeu sur le déroulement temporel de chaque partiel par décalages, compression/expansion égales, inégales, etc.

On pourra réaliser des hybrides en permutant fréquences et amplitudes de deux modèles, ou exercer des transitions en passant d'un comportement fréquentiel et d'amplitude à l'autre.

En synthèse formantique, les modèles contiennent la description d'une collection de formants. On pourra procéder à des manipulations abstraites de cette collection proches de celles décrites en synthèse additive.

On opérera des dérivations en appliquant des fonctions de transformation sur les paramètres de la collection de formants, telles une compression des fréquences, une dilatation des durées de résonances...

On peut constituer des hybrides ou des transitions en établissant des règles pour passer d'une collection à une autre (voir à ce sujet une présentation plus détaillée dans la seconde partie du texte). La séparation excitation/résonance est très opératoire pour trouver des hybrides qui fonctionnent. On peut effectivement filtrer l'excitation d'un instrument dans la résonance d'un autre et vice-versa, et mélanger les résonances de plusieurs modèles.

Les modèles physiques offrent moins de prise *a priori*. L'hétérogénéité des structurations empêche un jeu abstrait entre des modèles quelconques. Toutefois, s'ils sont structurés en sous-systèmes physiques interconnectés de manière standard (par exemple par la transmission d'une force en un point), on peut alors imaginer une grammaire de combinaison de ces sous-systèmes physiques. Au titre des dérivations, on peut imaginer de modifier les caractères statiques du modèle, comme la raideur des cordes, les dimensions et masses en tout genre qui peuvent y intervenir. On peut imaginer la constitution d'hybrides par échange de sous-systèmes physiques, lorsque c'est possible, notamment à l'intérieur d'une même famille d'instruments. S'il est évidemment difficile de greffer une anche de clarinette sur une corde, on peut en revanche imaginer une touche de piano frappant une corde de violon. L'espace entre le modèle hybride et le modèle normal (avec l'archet) paraît toutefois difficile à franchir progressivement.

De cette confrontation, ressort surtout la complémentarité des techniques.

Chacune révèle un territoire particulier au musicien, capture un aspect important de notre cognition, et par là offre un point d'ancrage spécifique pour un travail musical pertinent, parce que pouvant être guidé par l'intuition. Cela confirme la nécessité de passerelles entre les techniques et l'intérêt d'un outil, quelque peu utopique aujourd'hui, qui intégrerait les diverses représentations et permettrait d'agir sur le matériau sonore en se déplaçant d'une technique à l'autre.

Nous allons présenter maintenant notre travail sur les modèles de résonances qui a utilisé la méthodologie exposée dans cette première partie : modélisation par règles, simulation, opérations sur les modèles, et en donnera donc un éclairage concret. On y traitera également de la capacité des modèles de résonances à « traiter » des sources sonores réelles, celles-ci prenant la place de l'exciteur dans le modèle. Nous n'avons pas parlé, dans cette première partie, de ce mariage entre synthèse et traitement qui constitue un outil particulièrement riche en possibilités d'exploitations musicales. Il est de plus tout à fait imaginable de transporter ce procédé aux modèles physiques en appliquant le signal réel capté au sous-système physique souhaité via le transducteur approprié.

## II. L'exemple des modèles de résonance

Notre travail de recherche sur les « modèles de résonance » s'est organisé autour d'une version du programme CHANT qui rend possible l'utilisation simultanée de Fonctions d'Ondes Formantiques (FOFs) et de filtres du second ordre (Rodet 1984, Rodet et al. 1984/1985). Il a pour premier objet la modélisation d'instruments musicaux. Il utilise la synthèse par règles, et tire parti de l'expérience accumulée dans ce domaine autour de CHANT. Dès le départ, il a été sous-tendu par les idées d'interpolation de timbre, de continuité entre synthèse pure et traitement de sources instrumentales, et d'interaction entre matériau sonore et organisation musicale.

Concernant le premier point, il s'agissait de rendre l'accès aux processus d'interpolation simple et général, et pour cela d'adopter si possible un principe unique de modélisation valable pour toutes les familles d'instruments.

La continuité entre synthèse et traitement par filtrage est envisageable avec le synthétiseur CHANT, car il est indifférent que l'entrée des filtres soit synthétique (du bruit, des FOFs...) ou « réelle » (un son instrumental numérisé). Un même modèle peut dès lors servir à la synthèse pure — conduite avec des filtres recevant une source synthétique, ou bien avec des FOFs —, comme au traitement par filtrage d'une source instrumentale, et il devient possible de se déplacer de façon continue d'un extrême à l'autre.

Quant au dernier point, ce sont la richesse du matériau, sa souplesse d'utilisation et la pertinence des contrôles, qui, en provoquant l'imagination de l'utilisateur, peuvent susciter une interaction du matériau avec l'organisation d'une œuvre.

Ce sont ces considérations, entre autres, qui nous ont amenés à retenir comme opératoire une distinction entre « excitation » et « résonance » dans le processus de modélisation : il semble *a priori* que l'on puisse aborder la simulation de tout instrument sous cet angle, qui convient par ailleurs à l'idée de traitement ou synthèse par filtrage et peut fournir des contrôles sur le matériau qui soient pertinents du point de vue perceptif.

Jusqu'à présent, notre travail a essentiellement porté sur la modélisation de la résonance des instruments étudiés, et très peu sur celle de l'excitation. Il a débouché sur une méthode originale d'analyse et modélisation d'instruments à partir de sons percussifs résonants, et sur des outils de synthèse et traitement par filtrage et d'interpolation de modèles instrumentaux, qui ont déjà été utilisés dans des contextes de production musicale, tant dans des environnements informatiques en « temps réel » qu'en « temps différé ». Nous exposerons les fondements du projet, puis présenterons les principaux résultats obtenus.

## 1. Principe de modélisation

### *Excitation et résonance*

Dans la structure du modèle que nous avons choisi, une distinction entre *excitation* et *résonance* intervient, et nous allons d'abord préciser le sens que nous attachons à ces deux termes, dans le contexte de la synthèse par formants.

Dans le monde instrumental, une *excitation* peut être l'action du doigt sur une corde, le mouvement des lèvres sur l'embouchure d'un instrument à vent, un coup de marteau sur une corde de piano, etc. Un *son résonant* est la réponse du corps d'un instrument — qui constitue le résonateur — à une excitation donnée. Dans la chaîne de production excitateur → résonateur, on peut considérer en première approximation que c'est la variabilité de l'excitation qui rend compte de celle du son résonant, tandis que le résonateur demeure pratiquement invariant pour un « état physique » déterminé — par exemple pour une longueur de corde donnée. La notion de *résonance* traduit la propriété du résonateur de répondre de façon spécifique et invariante à une excitation.

Une excitation peut être unique — un coup de mailloche, le relâchement d'une corde en dehors de sa position d'équilibre... —, ou bien répétée de façon plus ou moins périodique — un train d'impulsions glottales, le mouvement d'une anche, la succession de « captures » et relâchement d'une corde par un archet, etc.

Un son résonant peut être considéré sous plusieurs angles. Il correspond à la restitution dans l'air d'une partie de l'énergie communiquée par l'excitation — une autre partie étant dissipée sous forme de chaleur dans l'instrument lui-même —, au travers de modes de vibration élémentaires préférentiels ou modes de résonances, caractéristiques du résonateur. Il se traduit par un signal qu'on peut analyser comme une somme de résonances élémentaires, de sinusoïdes plus ou moins amorties qui correspondent aux modes de résonance de l'instrument. Du point de vue spectral, une résonance élémentaire se traduit par un sommet dans le spectre d'amplitude du signal. On appelle *dirac* une excitation idéale qui serait infiniment courte et d'amplitude infinie. Pour une telle excitation, la puissance est uniformément répartie dans le domaine des fréquences, et le spectre est donc « plat ». On comprend que toutes les résonances élémentaires potentielles d'un résonateur soient excitées par un *dirac*, et se « révèlent » avec leur taux d'amortissement propre dans le son résonant, qui constitue alors une *réponse impulsionale*.

Remarquons au passage que la perception de la hauteur d'un son musical peut avoir pour origine une caractéristique de l'excitation comme de la résonance : pour une excitation entretenu de façon périodique, la hauteur perçue correspond généralement à la fréquence de répétition de l'excitation élémentaire, tandis que pour un son produit par une excitation simple et unique, l'éventuelle sensation d'une ou de plusieurs « hauteurs » provient de l'espacement plus ou

moins régulier des fréquences des résonances élémentaires, voire de la perception de résonances élémentaires en tant que telles.

### *Signal source et fonction de transfert*

Une description de type traitement du signal représenterait l'excitation par un signal d'excitation ou signal-source, et le résonateur par un filtre caractérisé par sa fonction de transfert, c'est-à-dire par une enveloppe spectrale virtuelle, un spectre décrivant l'ensemble des résonateurs élémentaires potentiels de l'instrument, la manière dont ils redistribuent et restituent dans l'air l'énergie de l'excitation. Un son résonant devient le résultat du filtrage du signal source par le filtre; suivant la nature du signal d'excitation, le spectre du son résonant se rapproche plus ou moins de la fonction de transfert. Pour une excitation de type *dirac*, telle que nous l'avons définie plus haut, le spectre de la réponse impulsionale coïnciderait avec la fonction de transfert, et pour mesurer cette dernière, l'acousticien cherche à se rapprocher de cette excitation idéale. La variabilité des timbres que peut produire un instrument pour un même « état physique » répond à la variabilité du signal source — du mode de production du son —, tandis que le filtre demeure invariant, modélisant la résonance de l'instrument.

Cette représentation des choses, il faut le souligner au passage, est quelque peu simplificatrice : il y a toujours une interaction, un couplage de l'exciteur et du résonateur, qui fait que ce dernier ne peut pas être considéré comme invariable et séparable de l'exciteur. Si cet effet est négligeable pour nombre d'instruments, il se pourrait qu'il contribue de façon importante à la formation du son pour d'autres, dans le cas d'une corde frottée par un archet par exemple, ou encore dans celui d'une peau, déformée au moment de la frappe.

Elle a par contre l'avantage de pouvoir être reliée, d'une part, à la réalité physique des phénomènes vibratoires qui produisent le son : les pics de la fonction de transfert correspondent aux modes de vibration potentiels — aux modes de résonance — du résonateur, et d'autre part, aux mécanismes de perception : les pics peuvent correspondre aux résonances d'un conduit vocal, aux partiels d'une corde pincée, etc., c'est-à-dire à des éléments qui, s'ils ne constituent pas directement des éléments perçus de façon consciente, du moins participent à leur élaboration.

### *Modèles d'excitation et modèles de résonance*

Adoptant cette représentation simplifiée de l'instrument, *nous avons choisi de modéliser ce filtre global, auquel on assimile cette enveloppe spectrale caractéristique qu'est la fonction de transfert, par un ensemble de résonateurs individuels — en l'occurrence, des filtres du second ordre — fonctionnant en parallèle*. Chacun des pics de la fonction de transfert (i.e. des modes de résonance du résonateur) correspond pour la synthèse à un filtre du second ordre ou à un formant CHANT, contrôlé en fréquence, amplitude, et largeur de bande (Fig. 1). Rappelons que la largeur de bande correspond dans le domaine spectral à l'épatement des pics, et dans le domaine temporel, au taux de décroissance de la réponse du filtre à une impulsion. Cette réponse est une sinusoïde amortie, et pour un filtre du second ordre, la décroissance est exponentielle.

Notre but n'est pas d'obtenir la fonction de transfert de manière très précise et au moyen des méthodes acoustiques classiques : l'emploi d'un *dirac* — d'une amplitude « infinie » — peut se traduire par des comportements non linéaires des

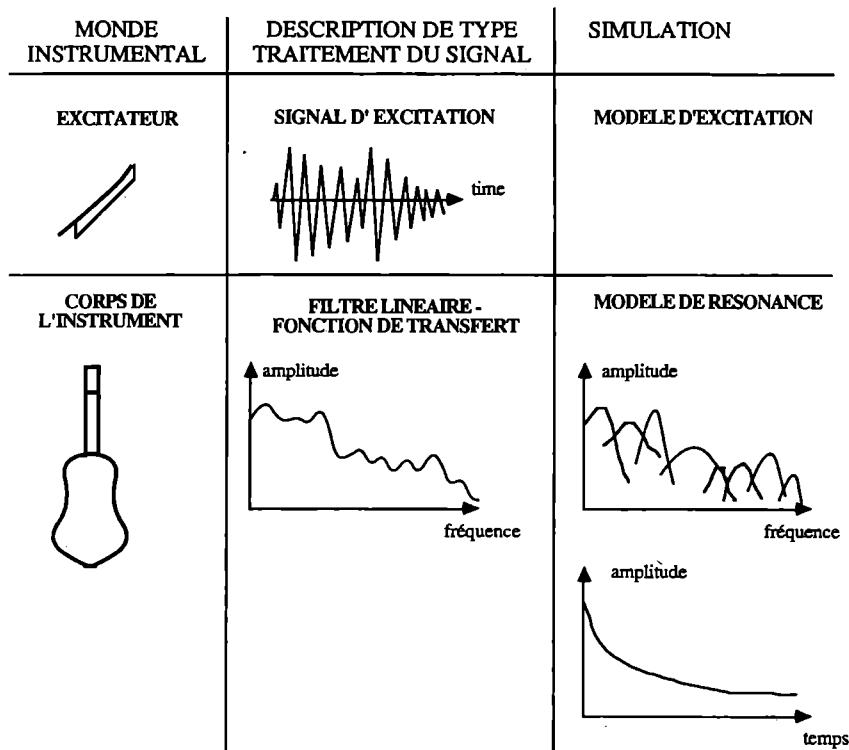


Figure 1. Principe de modélisation séparée de l'excitation et de la résonance.

résonateurs, qui peuvent être éloignés de leur réponse dans une situation musicale ; il peut aussi exciter des modes de résonance qui n'interviennent pas dans l'emploi habituel de l'instrument, et sont de peu d'importance pour notre propos ; enfin, ce ne sont pas tant les amplitudes des résonances élémentaires que nous cherchons à obtenir de façon très précise, que leurs fréquences et leur taux de décroissance — en effet, ce sont ces deux derniers paramètres qui caractérisent véritablement le résonateur du point de vue de la perception, tandis que nous relierons automatiquement les variations d'amplitude à une variation de l'excitation —, et l'emploi d'une excitation dont l'énergie serait uniformément répartie spectralement ne nous semble pas indispensable. Aussi nous satisfaisons-nous d'approximations obtenues par l'analyse de *sons musicaux* produits par une excitation unique, et se rapprochant le plus possible d'une réponse impulsionale — corde pincée ou frappée, «slaps» (c'est-à-dire des coups de langue produits dans l'embouchure) pour un instrument à vent, etc. Le spectre du son est décrit en termes de résonateurs individuels, et l'ensemble des triplets de paramètres (fréquence, amplitude, largeur de bande) les contrôlant constitue l'ensemble des accès au «modèle de résonance». Ce modèle représente le son résonant analysé, qui porte la marque d'une excitation particulière ; en toute rigueur, il ne décrit la résonance de l'instrument que de manière fragmentaire et

déformée. Mais, dans la mesure où le son est proche d'une réponse impulsionale, où, d'autre part, cette marque imprimée par l'excitation peut être compensée en modifiant les amplitudes des filtres, on peut dire que le modèle obtenu est très proche d'un modèle du résonateur lui-même, suffisamment à notre sens pour rendre compte des usages musicaux de ce dernier. (Le résonateur est ici bien entendu considéré comme assimilable à un filtre statique caractérisé par une fonction de transfert.)

Dès lors, il suffit de disposer d'un signal d'excitation, ou bien d'un modèle d'excitation permettant de produire un tel signal, pour reconstituer un son instrumental. Nous n'avons pas encore abordé le problème de la modélisation d'une excitation, nous contentant pour l'instant de bruit blanc, d'impulsions ou de trains d'impulsions, et de signaux numérisés, mais il semble que des modèles physiques pourraient dans certains cas convenir, et coexister avec les modèles heuristiques que sont les modèles de résonance.

### *Resynthèse et condition de validité des modèles de résonance*

Pour resynthétiser le son de type percussif à partir duquel on a obtenu un modèle de résonance, il suffirait, si l'on était parti d'une véritable réponse impulsionale, d'utiliser un *dirac* comme excitation. On utilise en pratique des signaux de type « impulsif ».

Si l'on suppose infinie la qualité de la méthode d'analyse employée pour passer du son original au modèle de résonance, la qualité de la restitution dépendra d'abord de la validité de l'assimilation du résonateur à un filtre linéaire caractérisé par une fonction de transfert, ensuite de celle de sa modélisation par un banc de résonateurs individuels fonctionnant en parallèle — c'est-à-dire indépendamment les uns des autres, et à partir de la même excitation. De ce fait et *a priori*, un modèle de résonance ne saurait traduire exactement tout phénomène lié à un couplage, à une modification dynamique, à un comportement non linéaire du résonateur.

On peut mentionner d'abord les effets de couplage de l'exciteur et du résonateur, ou d'un corps extérieur avec ce dernier, qui viennent soit modifier dynamiquement le résonateur (une frappe qui déformerait une peau de façon significative par exemple), soit interférer avec le résonateur (le timbre d'une caisse claire, la touche sur laquelle viendrait friser une corde, etc.).

Le modèle ne saurait non plus rendre compte de la manière dont l'énergie se distribue au cours du temps dans le résonateur, qui pourrait se traduire par des temps d'attaque différents pour les résonances élémentaires, et qui plus est, variables suivant l'excitation, ainsi que par une distribution préférentielle de l'énergie vers certains modes de résonance, des effets de seuils d'excitation, etc. Dans le cas d'un instrument à cordes, où des résonances sympathiques sont excitées indirectement par rayonnement à travers la caisse ou l'air, de tels phénomènes interviennent, dont on ne pourrait rendre compte précisément qu'en considérant les interactions des résonateurs que sont la caisse et les cordes.

### *Domaines d'utilisation*

Au-delà de la simple resynthèse, l'intérêt des modèles de résonance résulte en grande partie de la pertinence de la distinction exciteur-résonateur du point de vue du mode de production du son, et de celle de résonateur individuel — filtre ou formant — du point de vue de la perception. En jouant de façon indépendante sur les modèles d'excitation et de résonance, par déformations ou par hybridations, il devient possible tant de simuler divers modes de jeu instrumentaux, que de

s'écarte de la simulation pure, et d'exploiter la spécificité du matériau synthétique.

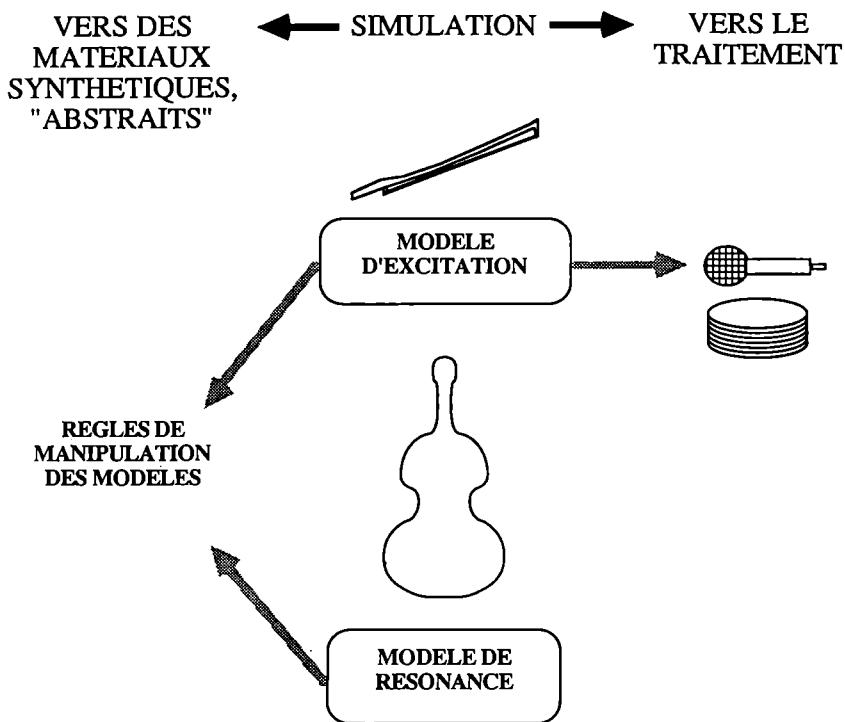


Figure 2. Utilisation des modèles de résonance.

On peut envisager la simulation fidèle d'un mode de jeu particulier dans la mesure, encore une fois, où les effets de couplage ne sont pas trop importants, ou bien dans celle où l'on est capable de les traduire et de les contrôler par des règles affectant le modèle d'excitation ou le modèle de résonance. Si on remplace ou déforme le signal ou le modèle d'excitation, on s'éloigne d'une simulation réaliste, tout en conservant l'identité du résonateur. Un cas *a priori* intéressant est celui du filtrage d'une source instrumentale par un modèle de résonance, qui revient à une forme de synthèse croisée, l'hybridation entre les deux instruments utilisés. Parmi les procédés de déformation des modèles de résonance, on peut citer l'hybridation, par simple mélange, ou bien par interpolation des modèles.

Enfin, les modèles de résonance recèlent une quantité importante d'information, qu'il devrait être possible d'organiser et d'interpréter, tant pour la synthèse qu'à des fins compositionnelles (Fig. 2).

## *2. L'obtention des modèles — Principe de l'analyse*

Le principe de modélisation d'un instrument<sup>1</sup>, tel que nous l'avons défini, consiste à identifier tous ses modes de résonance, de façon à reconstituer la fonction de transfert du filtre auquel on l'assimile par un ensemble de résonateurs élémentaires numériques — filtres du second ordre ou formants. Les méthodes classiques d'analyse du signal ne permettent pas d'identifier de façon suffisamment fine les résonances élémentaires constituant un son instrumental quelque peu complexe. C'est pourquoi nous avons développé un outil d'analyse et modélisation approprié, qui permet d'obtenir un modèle de résonance à partir d'un son musical de type réponse impulsionale. Le principe en est très simple : un mode de résonance se traduit dans le domaine spectral par une « bosse », un sommet centré sur la fréquence de la résonance élémentaire, et « culminant » à une amplitude qui décroît au cours du temps. Il s'agit, en observant la réponse impulsionale dans le domaine spectral à des instants choisis, de suivre l'évolution de l'amplitude de chacun des sommets observables, et d'en déduire les paramètres d'un filtre du second ordre qui produiraient le résultat observé.

Pour la mise en œuvre, nous utilisons deux outils de base classiques :

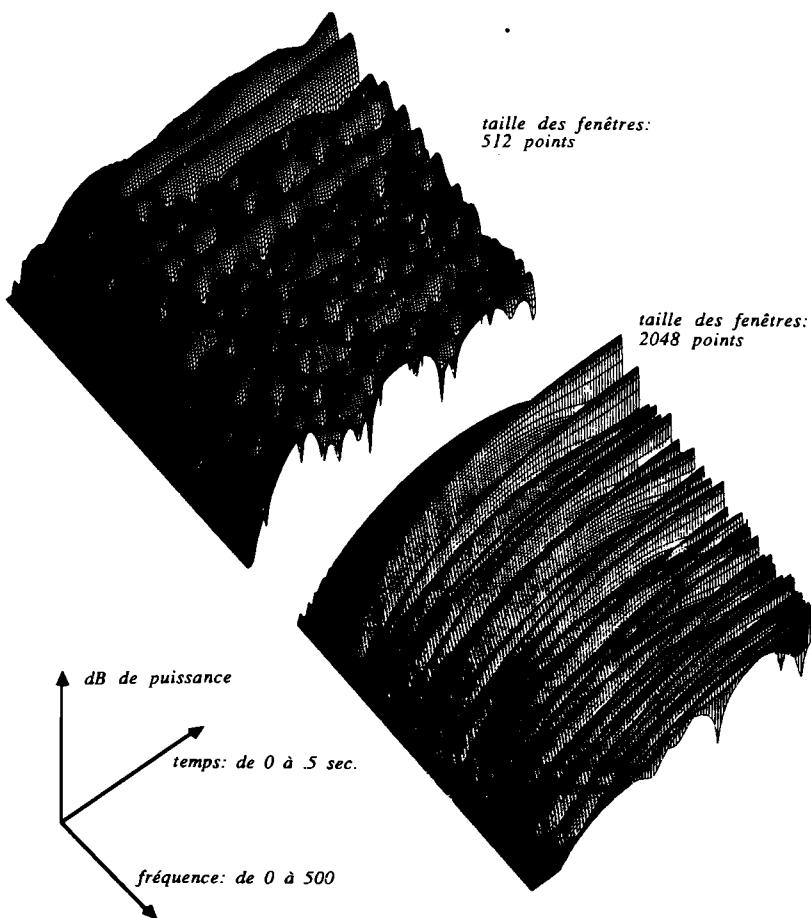
- la transformée de Fourier rapide (FFT), qui produit un spectre ;
- et un algorithme d'extraction de pics, qui permet d'obtenir les fréquences et les amplitudes correspondant aux sommets du spectre.

En différents points du son, et sur des portions où « fenêtres » de taille donnée, on effectue des FFT suivies d'extractions de pics ; on obtient des spectres de raies qui constituent autant d'« instantanés » de la résonance, chacune des raies correspondant à une résonance élémentaire.

On répète l'opération pour différentes tailles de fenêtres sur le son, ceci afin d'obtenir différents « grossissements » de l'image, ou en d'autres termes, d'avoir différentes résolutions fréquentielles et temporelles pour une partie donnée du son analysé (Fig. 3). Il est en effet impossible d'optimiser la précision de l'analyse à la fois dans les domaines temporel et fréquentiel : de petites fenêtres fournissent une bonne résolution temporelle, mais une mauvaise résolution fréquentielle, à l'inverse des grandes fenêtres. Avec les premières, il est possible de suivre un amortissement très rapide, mais des résonances élémentaires de fréquences proches risquent de se confondre en un seul sommet arrondi dans le spectre. Avec les secondes, ces résonances peuvent se traduire par autant de sommets aigus ; mais, si leur amortissement est très rapide par rapport à la durée de la portion de son que l'on analyse, elles peuvent tout aussi bien ne pas apparaître du tout dans le spectre.

---

1. Parler d'instrument est ici un abus de langage. Chaque modèle représente en fait, et comme il a été dit, un seul des états possibles de l'instrument : pour un tuba par exemple, un modèle correspondra à une certaine longueur de tube avec laquelle on pourra produire — comme sur l'instrument réel — plusieurs notes correspondant aux différents harmoniques de la fréquence fondamentale se rapportant à la longueur du tube. Pour modéliser l'instrument complet, il suffit de disposer d'un modèle pour chacun des doigtés — c'est-à-dire des longueurs de tubes — possibles. Pour une contrebasse, un modèle représentera l'instrument pour une longueur de corde donnée, et pour un état donné des cordes susceptibles d'entrer en résonance. Suivant le degré de raffinement désiré pour la reconstitution de l'instrument entier, on pourra se contenter d'un modèle que l'on transposera en fréquence pour produire différentes notes, ou bien d'un certain nombre de modèles répartis sur la tessiture de l'instrument, ou encore de plusieurs modèles pour chacune des notes « échantillonées », chacune correspondant à un état donné des cordes sympathiques, ou à un toucher de corde particulier. Remarquons que certaines variations de timbre sur une même hauteur, la qualité du toucher par exemple, peuvent être obtenues en variant l'excitation ou en manipulant les modèles suivant quelques règles simples.



*Figure 3.* Effet de la taille des fenêtres sur la résolution fréquentielle et temporelle du spectre tridimensionnel d'un son de timbale.

Les spectres 3D reconstituent l'évolution temporelle du son. Ils sont obtenus en mettant bout à bout les tranches «instantanées» que constituent les spectres obtenus pour une même taille de fenêtre, tout au long de la portion de son analysée. Là où l'on remarque des battements ou ondulations avec une petite taille de fenêtre, une plus grande taille de fenêtre révèle des résonances bien séparées, mais on observe aussi que les variations rapides d'amplitude (attaque) sont gommées.

Il s'agit ensuite de recouper l'information obtenue pour les différentes tailles de fenêtre et de suivre les résonances élémentaires au cours du temps. Pour chacune d'elles, reconstituer l'évolution d'amplitude permet d'estimer la largeur de bande, l'amplitude et la fréquence du filtre qui doit lui correspondre

dans le modèle<sup>2</sup>. Une résonance dont l'évolution d'amplitude ne peut être considérée comme exponentielle peut être représentée par plusieurs filtres de même fréquence, mais d'amortissements et de gains différents (Fig. 4).

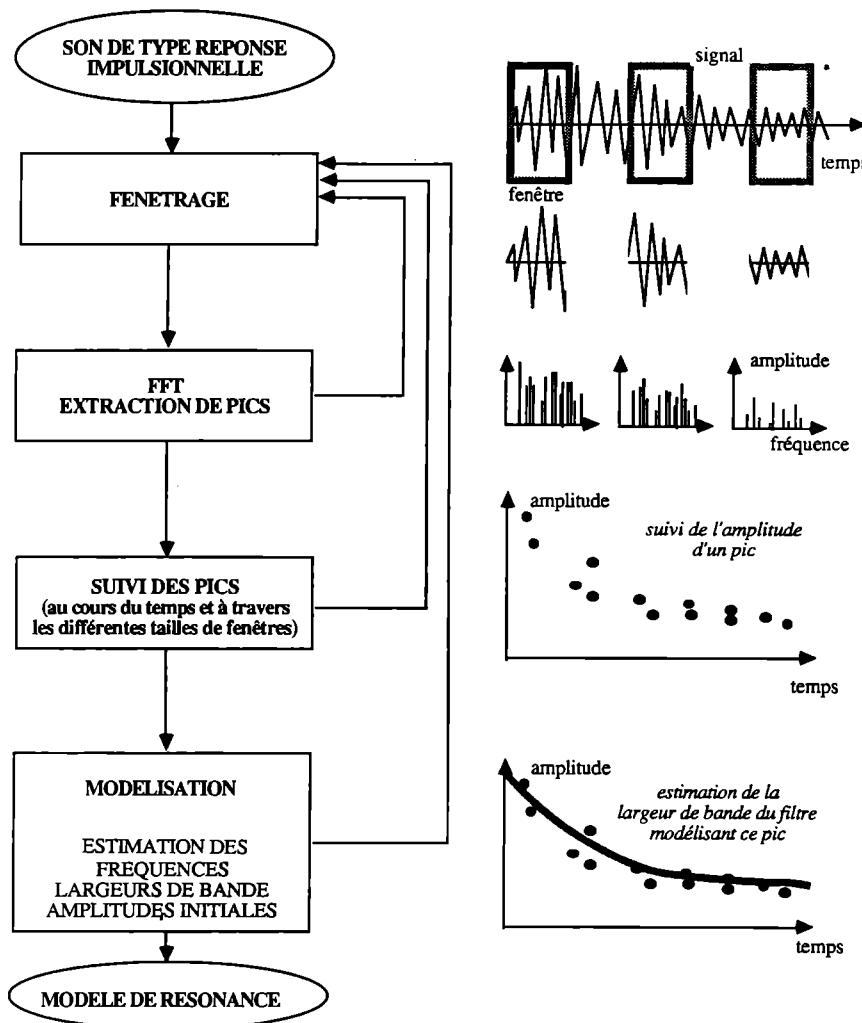


Figure 4. Principe de l'obtention de modèles de résonance à partir de l'analyse de sons percutifs résonants.

2. Rappelons à nouveau que la largeur de bande d'un filtre, si elle correspond à « l'épatement » des sommets de l'enveloppe spectrale, détermine dans le domaine temporel le taux d'amortissement de la réponse à une impulsion ; cette réponse est une sinusoïde exponentiellement décroissante pour un filtre du second ordre, et estimer la largeur de bande revient à approcher l'évolution de l'amplitude maximale de cette sinusoïde par une exponentielle. Le gain du filtre est choisi pour ajuster l'amplitude initiale de la résonance en extrapolant l'exponentielle au début de l'attaque. Quant à la fréquence, elle découle directement de l'extraction de pics.

### *3. Utilisation expérimentale des modèles*

#### *Analyse et qualité des modèles*

Nous avons réalisé un prototype de la méthode d'analyse, qui, malgré certaines imperfections, nous a permis d'obtenir de bons résultats sur différentes percussions métalliques (cloches à vaches, crotales, glockenspiel, vibraphone, cloches tubulaires, tam-tam, tuyaux métalliques de Beaubourg), sur des percussions à lamelles de bois (marimba), sur une peau (timbale), sur un cuivre (slap de tuba), et sur différents instruments à corde (contrebasse, piano, cymbalum). Dans les meilleurs des cas, original et simulation sont indiscernables, si ce n'est à cause du bruit présent dans l'enregistrement et qui n'est pas capturé par l'analyse. Pour d'autres instruments, il existe une différence plus ou moins perceptible dans l'évolution temporelle fine, ou encore dans la couleur de l'attaque; la simulation reste alors généralement réaliste, la différence n'excédant pas le domaine de variation qu'un auditeur pourrait attribuer à des légères variations de l'excitation, ou de la position d'écoute, ou encore de la facture de l'instrument. Les résultats dans la resynthèse, produite en utilisant comme excitation une impulsion proche d'un *dirac*, sont strictement équivalents, que l'on utilise des FOFs ou des filtres. La figure 5 compare les spectres d'un son original de cloche à vache et de sa resynthèse à partir d'un modèle de résonance.

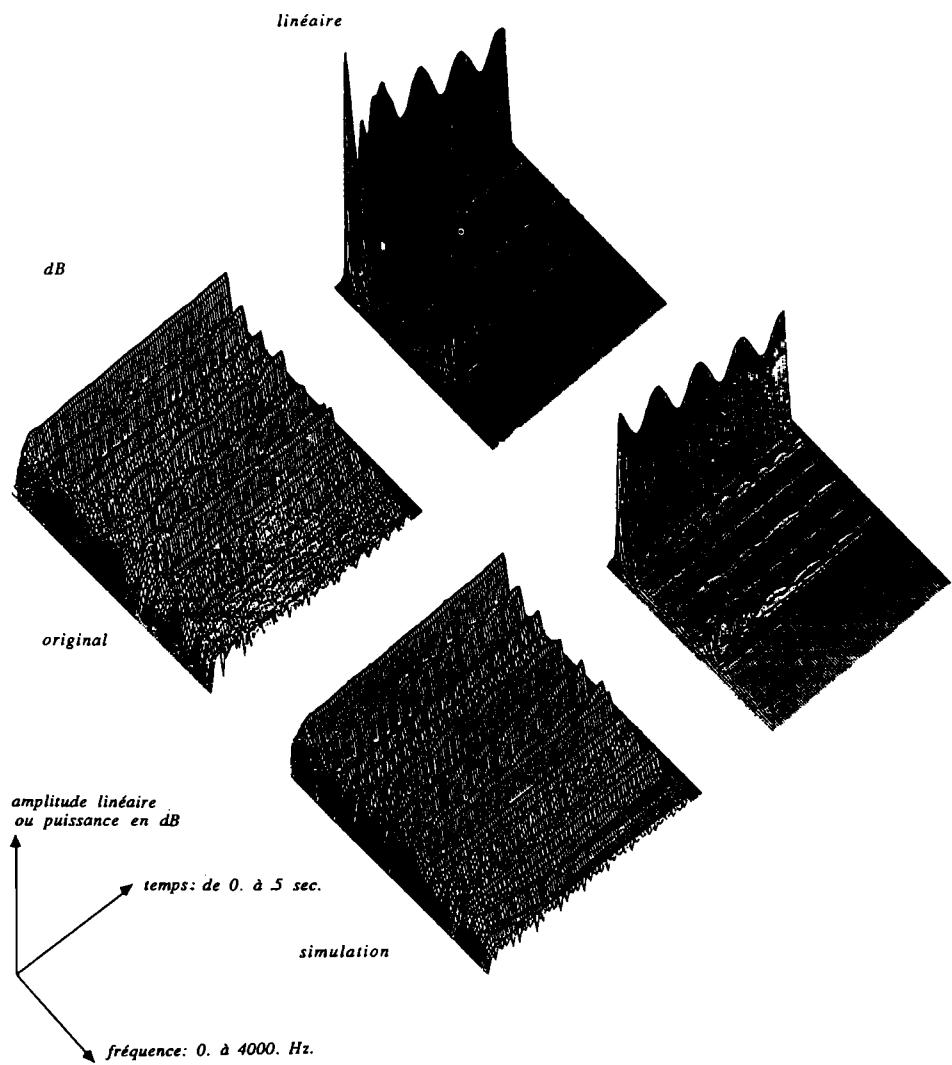
Les modèles de résonance obtenus se composent d'un nombre très variable de résonances élémentaires (de 5 à 700). Nombre de ces résonances n'ont aucune pertinence perceptive, et un algorithme complémentaire de l'analyse, prenant en compte de façon simplifiée mais efficace les effets de masquage réciproque des résonances qui interviennent à différents instants dans la réponse à une impulsion, permet de réduire de façon arbitraire le nombre de résonances d'un modèle donné, et, dans certaines limites, sans produire d'altération de la resynthèse à l'écoute.

La variété des instruments étudiés révèle une certaine robustesse de la méthode de modélisation. Tout d'abord, l'approximation d'amortissements non exponentiels par des résonances élémentaires différant par leurs taux d'amortissement et leurs amplitudes, réalisée de façon relativement grossière dans le prototype, s'avère efficace pour des sons de timbale, contrebas, piano, cymbalum. D'autre part, certains effets de couplage sont correctement rendus par la simulation, telle l'excitation des résonances sympathiques des instruments à cordes.

#### *Le travail sur l'excitation*

Si nous n'avons pas travaillé systématiquement sur les modèles d'excitation, nous avons reconstruit le jeu entretenu du tuba, et simulé des variations de la pente spectrale de l'excitation en les reportant directement sur l'amplitude des résonances élémentaires.

Pour le jeu entretenu, nous avons utilisé la synthèse par FOFs, où excitation et résonance sont étroitement liées; en recherchant une excitation appropriée, on pourrait cependant obtenir le même résultat avec des filtres. La hauteur de la note est déterminée par la fréquence de répétition de l'impulsion élémentaire (le mouvement des lèvres pour l'instrumentiste, le déclenchement de FOFs dans la simulation), et nous l'avons choisie égale à l'une ou l'autre des différentes hauteurs qu'un instrumentiste aurait pu produire en utilisant le doigté correspondant au *slap* de tuba analysé.



*Figure 5. Spectres 3D d'un son de cloche à vache et de sa simulation par modèle de résonance.*

Pour des raisons de lisibilité, l'axe des temps ne représente que 5 sec. du son à partir de l'attaque, et celui des fréquences va de 0. à 4000. Hz.  
 Les spectres ont été obtenus en utilisant des fenêtres d'une taille de 256 points pour les FFT.  
 Bien que les spectres révèlent quelques différences, simulation et original sont indifférenciables à l'écoute.

Les variations de la pente spectrale se traduisent pour tous les modèles par une modification du timbre que l'on peut relier de façon cohérente aux variations d'amplitude de l'excitation, simulant ainsi toute une gradation de

percussions plus ou moins fortes. On entrevoit ici que par l'ajustement de relations simples entre l'amplitude d'une excitation et sa pente spectrale on peut simuler des percuteurs de différentes natures, sans doute à bien moindres frais qu'à partir d'un modèle physique.

Dans le cas du tuba excité de façon entretenue, une simple modification de la pente spectrale avec l'amplitude a pu rendre l'effet de cuivrage. Ce résultat laisse augurer favorablement de la possibilité de simuler de façon réaliste le jeu entretenu de bon nombre d'instruments. Une source de bruit blanc finement modulée en amplitude, que ce soit pour produire des trains d'impulsions ou des variations lentes, permet d'obtenir une grande variété de types d'excitateurs ; par exemple, en modulant de façon quasi périodique une source de bruit blanc, nous avons pu simuler un exciteur de type archet.

En substituant à l'excitation synthétique un son instrumental réel numérisé (ou bien sa simulation), nous avons exploré le domaine de l'hybridation par filtrage. À travers la variété des résultats possibles, on remarque que l'on peut souvent décrire ce qu'on entend par un mode de production hypothétique — une voix qui exciterait un gong, par exemple —, qui correspond effectivement à la prédiction du résultat que l'on pourrait faire *a priori* ; dans d'autres cas, le caractère hybride du résultat efface la perception de ce mode de production, à un degré qui dépend des caractéristiques spectrales et temporelles de la source et du modèle de résonance. La qualité du résultat de cette synthèse croisée semble varier dans le même sens que le caractère « granulaire » ou « impulsif » ou encore bruité de l'excitation, le degré de recouvrement dans le domaine spectral de la source et du modèle de résonance, et la qualité « moyennement résonante » de ce dernier.

### *Le travail sur la résonance*

En opérant directement et globalement sur les modèles de résonance, nous avons cherché tout d'abord à étendre leur portée dans le domaine de la simulation, puis à exploiter les spécificités du matériau synthétique.

Une première opération est la transposition, qui permet d'utiliser un modèle donné sur une tessiture arbitraire. Il s'agit simplement de multiplier les fréquences des résonances élémentaires par un même facteur de transposition, et de corriger leur taux d'amortissement en fonction de ce facteur. La simulation demeure généralement réaliste dans la limite d'une demi-octave autour du modèle d'origine, beaucoup plus pour certains instruments. Remarquons que cette méthode de transposition n'est pas équivalente à celle employée dans les synthétiseurs par échantillonnage où le changement de la vitesse de lecture d'un son pré-enregistré, tout en déterminant la transposition, se répercute inévitablement sur la durée du son et produit une déformation spectrale et temporelle de l'attaque ; on pourrait en effet ici rallonger la résonance d'un son tout en le transposant vers l'aigu, ou greffer toutes sortes de règles sur le mécanisme de transposition ; par ailleurs, seul le modèle de résonance entre en jeu, ce qui laisse toute latitude pour le choix de l'excitation.

Dans le cas du tuba, pour une longueur de tube donnée, les résonances principales sont approximativement distribuées de façon harmonique. Dans le mode de jeu habituel, l'instrumentiste ajuste la fréquence de l'excitation qu'il produit pour qu'elle coïncide avec la fréquence fondamentale du résonateur ou bien avec celle de l'un de ses premiers harmoniques. À l'inverse, une hauteur donnée peut être produite en utilisant différentes longueurs de tube, en ajustant la position des pistons de telle façon que la fréquence fondamentale associée

soit un sous-multiple de la fréquence de l'excitation. La transposition de l'unique modèle de résonance de tuba dont nous disposions nous a permis de simuler et de contrôler très simplement ce mécanisme d'ajustement réciproque de la fréquence de l'excitation et de la longueur de tube du résonateur, et de l'extrapoler au-delà des dimensions ordinaires de l'instrument.

Au-delà de la simple observation du mode de production du son, on peut s'inspirer de résultats établis par les physiciens, pour transformer un modèle de résonance de façon plus ou moins réaliste. Une formule trouvée dans la littérature (Benade 1976) et qui permet de calculer les modes de résonance d'un résonateur « surfacique » à partir de celles d'un résonateur « linéique » a ainsi donné de bons résultats sur un modèle de cloche tubulaire. Le résultat sonore suggère effectivement l'idée d'une plaque métallique et l'empreinte du modèle d'origine est tout à fait perceptible.

Certaines opérations sur les modèles de résonance, sans avoir de claires correspondances physiques, produisent des variations cohérentes du timbre et semblent pouvoir être utilisées pour simuler certains modes de jeu. Pour des modèles utilisés en synthèse percussive, nous avons par exemple fait varier l'amplitude initiale des résonances élémentaires en fonction de leur taux d'amortissement. Suivant que l'on favorise les résonances très ou peu amorties, on obtient des sons très ou peu percussifs, et la variation de timbre peut être interprétée comme un changement de la dureté du percuteur. Cet effet peut être utilisé de deux façons : soit pour simuler effectivement un changement de la nature du percuteur, auquel cas on cherchera à niveler le niveau sonore des résultats ; soit pour simuler un changement de timbre lié à la puissance de la frappe, auquel cas on cherchera à établir une relation cohérente entre le niveau sonore et l'altération du timbre. Il peut être considéré soit comme équivalent à une modélisation très fine de l'excitation, soit comme une manière de prendre en compte des effets de couplage qui feraient que suivant la force de la frappe ou la nature du percuteur, l'énergie ne se distribuerait pas de façon homogène sur toutes les résonances élémentaires.

Sans plus chercher de correspondances dans le monde instrumental réel, nous avons aussi appliqué des règles arbitraires. Dans le cas de la synthèse de sons percussifs par FOFs, nous avons par exemple relié la durée de l'attaque des différentes résonances à leur taux d'amortissement, et dans celui de la synthèse par FOFs de sons entretenus, nous avons « plaqué » sur divers modèles de résonance un algorithme originellement conçu pour simuler des cymbales. Dans le cas des filtres, nous avons simulé le filtrage d'un modèle par un second banc de filtres, virtuel celui-là ; des zones spectrales du modèle original peuvent être ainsi accentuées ou au contraire effacées, et cela, de façon variable dans le temps.

Enfin, nous avons testé différentes méthodes d'interpolation ou hybrideation de deux timbres instrumentaux. Une première méthode consiste simplement à mélanger les résonances élémentaires des deux modèles avec des poids d'amplitude spécifiques. L'excitation étant la même pour les deux instruments, le résultat donne bien plus l'illusion d'une entité hybride et fusionnée que le simple mixage des deux sons originaux. Nous avons par ailleurs défini un indice de la qualité plus ou moins résonante d'un modèle, qui permet d'interpoler les taux d'amortissement de deux instruments. Un *slap* de tuba peut alors résonner aussi longtemps qu'une note de vibraphone, ou, inversement, une note de vibraphone être aussi sèche qu'un *slap* de tuba. Une troisième possibilité consiste à apparter d'un modèle à l'autre les résonances qui semblent

suffisamment proches en fréquence, et de n'utiliser pour le couple ainsi formé qu'un seul résonateur — filtre ou formant CHANT — dont les trois paramètres fondamentaux sont obtenus par interpolation. Ces trois types d'interpolation de modèles de résonance peuvent être combinés, et sont tous contrôlables par un paramètre de «balance» entre les deux modèles originaux. Il est possible de les utiliser pour produire une multitude d'instruments intermédiaires chimériques, ainsi que pour conduire des processus continus de transition d'un timbre instrumental à un autre.

#### *4. Les outils développés pour le musicien*

Différents outils, relativement simples d'utilisation, ont été construits et mis à l'épreuve d'un travail de production d'une œuvre musicale.

Il s'agit tout d'abord de l'analyse et de l'opération de réduction des données obtenues; si l'obtention de modèles satisfaisants requiert une certaine expérience, la mise en œuvre de l'analyse elle-même est très simple. Les modèles de résonance ont été regroupés par instruments standards au sein d'une bibliothèque, de façon que le choix du modèle adéquat en fonction de la hauteur de la note à produire soit rendu transparent pour l'utilisateur. Ce dernier peut créer ses propres modèles et instruments et les regrouper dans une bibliothèque personnelle. Il dispose alors de trois outils de synthèse standards, qui utilisent le programme CHANT pour la synthèse et le langage FORMES pour le contrôle continu des paramètres de la synthèse. Le premier permet de produire avec des FOFs des séquences de notes percussives. Outre la simple resynthèse, cet outil permet de produire des interpolations entre deux modèles, différentes à chaque nouvelle «note», et de déformer les modèles par le jeu de règles, dont certaines ont été décrites plus haut. Le second outil a été conçu pour la synthèse par FOFs «entretenues»; l'interpolation peut ici être variée de façon continue à l'intérieur de chaque «note». Dans le troisième outil, les FOFs sont remplacées par des filtres. Enfin, nous avons réalisé des programmes adaptés au processeur numérique 4X conçu à l'I.R.C.A.M. pour la synthèse et le traitement en «temps réel», notamment en situation de concert (Bainsée et al. 1986). Les contraintes d'efficacité liées au «temps réel», et celles propres à la machine, interdisent dans notre cas la synthèse par FOFs, ainsi que l'utilisation dynamique des modèles, telle que l'interpolation continue. Un banc de 120 filtres allouables dynamiquement est néanmoins disponible, qui peut être excité par des impulsions de bruit, une source de bruit blanc indépendante dont l'amplitude est modulable dans le temps, et les instruments sur scène, ces trois sources pouvant être mélangées. Un instrumentiste, dont le clavier est divisé en deux parties correspondant chacune à un instrument, contrôle les hauteurs et l'enveloppe spectrale générale des modèles.

#### *5. Modèles hybrides, transitions et interpolations de timbres — Aspects compositionnels*

Le mélange des propriétés caractéristiques de deux ou plusieurs modèles afin de construire une seule et même entité permet de composer ce que l'on peut considérer comme des chimères acoustiques. La même idée peut être aussi transposée dans le temps, pour alors obtenir des transitions ou des interpola-

tions de timbres: le modèle d'un instrument donné peut, plus ou moins lentement, se transformer en un autre, «réel» (c'est-à-dire ici référentiel) ou bien totalement abstrait. On peut définir ainsi un axe de variation du timbre qui part de la modélisation, et procède ensuite par hybridation, interpolation, extrapolation, et enfin abstraction.

Il ne s'agit pas ici de développer une esthétique de l'anamorphose, voire même de la métamorphose, dont l'histoire de l'art a montré le statut particulier de représentation, presque toujours enfermé dans la logique de l'effet. La simulation, parce qu'elle procède d'un langage de description des phénomènes et de leur causalité ainsi que de leur perception, rend possible l'émergence d'une esthétique de ce que J.-B. Barrière a appelé l'*hypermorphose*, recherche d'un au-delà de la forme, devenir tout à la fois biologique, métaphysique (au sens étymologique), et métaphorique de la forme. C'est cette nature langagière qui justifie l'utilisation des connaissances opératoires développées dans la méthodologie de la simulation comme support d'une création artistique et qui en fait l'originalité fondatrice. Les métaphores organiques qui sont sollicitées pour décrire le type d'engendrement, de mutation qui sont à l'œuvre ne font que traduire avec d'autant plus de force l'ambiguité et la force déstabilisante de ces productions sonores, mais elles ne doivent pas masquer la différence fondamentale d'avec la simple métamorphose.

Dans une mutation, génétique ou générique, ce qui est le plus intéressant n'est ni le point de départ, ni le point d'arrivée. Pas plus que dans la simulation ce n'est le modèle en tant qu'imitation, mais bien plutôt en tant que potentiel de dérivation. C'est le chemin entre les deux à travers les différentes stations munies d'une identité propre que l'on peut tout à la fois définir, contrôler et percevoir. Car ce qui est sous-tendu là concerne le continu et le discret: on ne peut pas construire un langage sur le continu, il faut des unités discrètes pour permettre l'émergence d'un langage et par conséquent d'une articulation, d'une forme et d'un discours musicaux.

La musique avec ordinateur a rendu possible un travail sur le matériau sonore, et par conséquent sur le timbre, qui bouleverse la composition. Il est en effet aujourd'hui possible au compositeur de penser librement son matériau et de le façonner selon ses exigences musicales, en fonction par exemple des besoins différents d'une succession de contextes compositionnels, à la manière d'une instrumentation renouvelée, particulièrement flexible et adaptative. Mais le compositeur peut aussi vouloir chercher une relation plus forte entre le matériau sonore et l'organisation, par exemple une dialectique entre micro, macro, et structures intermédiaires. Cette vision se trouve favorisée par le fait que la gestion des structures de contrôle des uns et des autres est en continuité dans le travail avec ordinateur, et est éventuellement justifiable des mêmes structures de description.

Cependant l'élaboration croisée de structures de timbre et de processus formels pose des problèmes cognitifs complexes, et pour lesquels le compositeur, devant l'urgence et les contraintes de la production, se voit souvent forcé d'envisager des stratégies heuristiques à défaut de méthode vraiment scientifique, ce qui d'ailleurs ne préjuge pas dans un sens ou dans l'autre du résultat musical, celui-ci dépendant largement de l'équilibre toujours remis en question entre intuition et calcul.

L'intérêt de la simulation dans ce contexte est de proposer un substrat, une démarche qui garantisse une cohérence exceptionnelle. Envisageons plus en détail la constitution d'objets sonores par des processus d'extrapolation et

d'abstraction graduées et évolutives à partir de la référence au modèle instrumental. Le premier problème posé au compositeur est leur constitution comme entités sonores autonomes, et non seulement comme transformations d'un modèle de base. En effet, si l'intérêt de la référence est de fournir des points de repères aussi bien pour diriger les manipulations formelles du compositeur que pour guider la perception de l'auditeur, force est de reconnaître qu'en retour l'on se heurte aux caractéristiques centripètes de la référence, qui ont tendance à annihiler les petites différences entre les objets dérivés d'un modèle en les assimilant au modèle lui-même, et réciproquement à exagérer les grandes différences en les mettant « hors du monde » du modèle. Ce qui est en question ici semble ressortir à une théorie de la référence, qui fait jusqu'à présent cruellement défaut, et dont l'urgence se fait ressentir : une telle théorie pourrait être un domaine clef des futures recherches psychologiques sur l'audition.

Cette difficulté disparaît ou s'estompe dans le contexte d'une variation continue de timbre, qui joue un rôle essentiellement expressif et non formel, telle une ornementation de timbre bâissant une aura autour d'un véritable instrument dans le cas d'une musique mixte par exemple. En revanche, l'utilisation du timbre comme support constitutif d'un travail formel, particulièrement dans le cas d'une musique pour bande seule, c'est-à-dire en l'absence de référence « immédiate », nécessite presque inévitablement la re-connaissance d'identités « bien formées », définies et délimitées, l'interaction entre une hiérarchie d'une part, basée sur la segmentation en unités, significatives perceptuellement, d'un continuum entre deux ou plusieurs objets, et le travail de la mémoire d'autre part. En d'autres termes, le travail formel doit reposer sur une bonne connaissance et une bonne maîtrise de la *résistance des matériaux*, par analogie avec l'architecture.

Une discréétisation « sélective » (presque au sens du combat pour la vie) du continuum de timbre, rendue possible grâce à la synthèse par ordinateur, permet aussi d'éviter la situation d'impasse à laquelle le compositeur se trouve parfois ramené dans la construction arbitraire de tels hybrides ou transitions : situation de manipulation d'objets trouvés et pourtant introuvables sur lesquels il n'a quasiment pas de prise, et qui ne peuvent donc s'organiser entre eux que comme pure juxtaposition plus ou moins élégamment agencée, tel un catalogue.

Le processus de discréétisation, extrêmement critique, peut être réalisé de manière heuristique en fonction d'une détermination causale qui tient compte par exemple du découpage acoustique classique entre modes d'excitation et de résonance. Ceci rend possible à tout moment l'émergence de la structure des relations entre production et perception. Ce processus satisfait en effet, dans une large mesure, aux mécanismes de catégorisation perceptuelle, et permet ainsi d'organiser un espace virtuel de timbre, une topologie, qui intègre les idées de trajectoire et de directionnalité indispensables au travail formel.

Les modèles de résonance que nous avons décrits peuvent être mis en œuvre de façon à réaliser des assemblages et/ou des trajectoires de timbres : ils peuvent être combinés ou chainés de manière à former des hybrides, agencés de manière à former des interpolations, transformés de manière à former des extrapolations et enfin des abstractions progressives.

Comme on l'a vu, ces modèles, simples ou composés, peuvent être conçus comme une représentation de la résonance de l'instrument, servant à contrôler des bancs de filtres. Ceux-ci pouvant être excités par une source d'excitation telle qu'un bruit blanc enveloppé, ou un son concret numérisé, ou n'importe

quel modèle représenté sous forme algorithmique, comme par exemple les modèles physiques de production du son.

Le modèle du couplage entre excitation et résonance se prolonge dans celui du couplage entre synthèse et traitement. Avec cette méthode, un instrument présent sur scène peut devenir, comme dans la pièce *Épigenèse* de J.-B. Barrière, la source d'excitation du modèle d'un autre dans l'ordinateur. Pratiquement, n'importe quel instrument peut filtrer n'importe quel autre, et réciproquement, n'importe quel instrument peut devenir l'exciteur de l'autre.

L'idée originale de cette approche est venue de l'étude, à des fins de simulation, d'un mode de jeu typique des instruments à vent, où l'interprète peut chanter en même temps qu'il joue presque normalement de son instrument. Ce qui se produit alors est un hybride extrêmement riche qui se compose :

- du son normal de l'instrument,
- auquel s'ajoute le chant de l'interprète filtré à travers le conduit (les résonances de l'instrument),
- enrichi encore d'un phénomène de modulation d'amplitude des deux spectres correspondants qui produit un troisième spectre résultant très hétérogène (constitué de la somme et de la différence de leurs partiels respectifs).

Ce mode de jeu a fonctionné comme une réelle métaphore de l'idée d'une hybridation de timbre. Avec la technique des modèles de résonance, il est possible d'imaginer à l'infini des variations sur ce modèle. Nous avons notamment renversé la situation prototypique et filtré le son d'un instrument à vent à travers les résonances des phonèmes d'une voix. Ce qui se produit dans de telles situations est tout à fait étonnant du point de vue perceptif, bien que le plus souvent reconnaissable tant que le mécanisme causal est justifié ou introduit, i.e. en quelque sorte expliqué par un mécanisme formel. Si en effet le son d'instrument à vent filtré par la voix succède au mode de jeu produit par le chant dans l'instrument à vent, la liaison causale est évidente. On peut bien sûr vouloir le contraire, c'est-à-dire la surprise, et dans ce cas simplement, par exemple, les jouer dans l'ordre inverse et en quelque sorte expliquer rétrospectivement la liaison en se fondant sur un travail créatif de la mémoire.

Les interpolations de timbres avec cette technique posent des problèmes de discréétisation qui ont été évoqués plus haut. Ici le travail sur la mémoire à court terme est obligé. La proximité temporelle du modèle et de ses dérivations est indispensable, par exemple par des effets de réexposition, pour à chaque fois permettre à la mémoire de recadrer les différentes variations autour du ou des modèles, entre lesquelles on va intercaler. La distance temporelle du modèle et de ses dérivations peut avoir comme effet destructeur du point de vue formel sa non-reconnaissance par la perception et son assimilation à une mauvaise image du modèle. Ce que l'auditeur perçoit est une mauvaise imitation et non des dérivations progressives à partir d'un modèle de référence, pas plus qu'il ne perçoit le vecteur qui mène d'un modèle à un autre. Le risque est toujours de créer un halo, une zone d'incertitude autour d'un modèle, et que la trajectoire de l'interpolation entre deux modèles ne soit qu'un saut catastrophique d'une image floue à une autre. L'interpolation ne peut plus alors fonctionner comme support formel, elle demeure un effet « coloristique ».

Dans le contexte d'une musique mixte, ceci peut être évité par la récurrence de l'original et du modèle. Plus généralement, de manière typique, on jouera sur la différence et la répétition entre deux modèles, ou entre l'original et une déclinaison de modèles, confrontés termes à termes, tour à tour très proches puis très éloignés. Il faut remarquer la difficulté, voire l'impossibilité de penser

ici un discours d'interpolation poly-timbrale, sinon polyphonique: il est quasiment impossible de distinguer plus de deux interpolations de timbre simultanées, et il est à fortiori difficile de suivre une polyphonie dans les mêmes conditions.

L'extrapolation et l'abstraction posent des problèmes similaires concernant la proximité ou l'éloignement par rapport au modèle de référence, et bien sûr le parallélisme concurrentiel de différents processus. Cependant, ceux-ci sont moins critiques dans la mesure où ici le vecteur formel est moins spécialement directionnel, puisqu'il s'agit de partir d'un modèle pour clairement s'en éloigner, puis éventuellement s'en détacher complètement en oubliant même la référence. Les techniques d'extrapolation et d'abstraction sont par définition infinies, puisqu'il n'est plus nécessaire de coller à l'objet de référence. La plus grande liberté est possible, mais une fois de plus c'est la perception qui jugera en dernière analyse à travers le codage/décodage complexe de la structure des processus perceptifs et cognitifs.

Nous avons choisi de transposer dans ce domaine aussi une partie de la démarche de la simulation plutôt que d'appliquer strictement des formules abstraites. Nous avons par exemple plaqué sur des modèles des algorithmes abstraits qui ne proviennent pas directement d'une analyse stricte et détaillée du fonctionnement d'un instrument, mais bien plutôt d'une représentation superficielle et simplifiée d'une idée de ce fonctionnement. Par exemple, nous avons appliqué à différents modèles instrumentaux ou de voix un algorithme de «cymbalisation» qui retranscrit de manière totalement imaginaire l'idée de ce qui se passe spectralement dans un son de cymbale. Le résultat, par exemple un chœur ou un tuba «cymbalisés», n'est pas un hybride puisqu'il ne s'agit pas de l'hybridation de deux modèles, et que la formule qui est appliquée au modèle n'est pas utilisée pour être reconnue sous forme d'un «instrument»; il s'agit bien d'une extrapolation puisque ce qui est perçu est le modèle modulé, plus ou moins reconnaissable suivant le degré d'application de la formule, attiré en quelque sorte vers une altérité au caractère mystérieux, évanescence et fugitif, sans identité définie.

N'importe quel phénomène acoustique peut servir là aussi de métaphore ou bien de déclencheur. Nous avons à titre d'exemple utilisé pour moduler divers modèles:

- la modulation d'amplitude observée dans le mode de jeu complexe précédent,
- mais aussi des formules d'enrichissement spectral correspondant au phénomène bien connu du cuivrage,
- ou bien des déformations d'enveloppes spectrales correspondant à l'observation des phonèmes dans la voix,
- ou bien encore une formule trouvée dans la littérature acoustique décrivant le comportement des résonateurs carrés du type plaques métalliques.

Dans le domaine des abstractions, la liberté est encore plus grande. Une idée parmi d'autres est d'extraire, à partir d'un timbre complexe (analysé avec l'algorithme de Ernst Terhardt pour la détection des hauteurs spectrales), les hauteurs dotées des poids perceptifs les plus importants et, par conséquent, les plus prégnantes, afin d'abstraire littéralement du modèle l'information la plus significative sur le plan harmonique, et d'élaborer un modèle totalement abstrait qui va ensuite vivre sa vie propre, subir lui-même des transformations spécifiques, dégagé totalement du modèle d'origine, seulement relié à lui par la mémoire et le travail formel. K. Saariaho a, par exemple, utilisé cette technique

dans son œuvre mixte *Io*, ceci avec des sons de contrebasse. Un autre processus d'abstraction consiste par exemple à filtrer en chaîne différents modèles ou bien à les rendre progressivement inharmoniques, jusqu'à perte totale des identités initiales constitutives.

De telles manipulations de timbre amènent à une écriture formelle pré-contrainte, et principalement basée sur des systèmes d'oppositions, que certains risquent peut-être de trouver trop simple et linéaire. Nous pensons cependant qu'il n'en est rien, car il est tout à fait possible de construire des formes élaborées et complexes avec des systèmes d'oppositions et de progression graduée entre des extrêmes : il ne s'agit après tout que de restituer des hiérarchies, des systèmes de tension/relaxation basés sur des dimensions nouvelles et spécifiques. L'expérience musicale le prouve déjà et le prouvera avec toujours plus d'évidence au fur et à mesure d'une maîtrise accrue du phénomène : les contraintes ainsi exprimées ne diffèrent pas de manière fondamentale de celles rencontrées dans l'orchestration et l'écriture traditionnelles, elles les prolongent ; mais l'expérience manque encore pour les rationaliser complètement.

On remarquera par comparaison que l'orchestration traditionnelle reste dans le même temps extrêmement empirique. Nous faisons volontiers l'hypothèse que la simulation, par le regard différent qu'elle provoque sur son objet d'étude, contribuera justement de manière significative à développer des attitudes plus rationnelles et satisfaisantes. Un système d'aide à la composition par exemple devrait comporter des fonctionnalités sophistiquées d'aide à l'orchestration, qui ne pourront être vraiment efficaces que si elles sont réalisées notamment avec des outils dérivés de la simulation plutôt que simplement à travers l'échantillonnage sommaire de l'ensemble de l'orchestre. Ce qui fait ici justement la différence est la nature cognitive de la simulation, qui offre au compositeur non pas une réplique pure et simple de l'objet de référence, mais une somme des connaissances par définition évolutives sur celui-ci.

D'un point de vue heuristique, cette méthode s'est avérée très puissante car elle permet d'engendrer facilement et intuitivement des familles de sons complexes et vivants, qui peuvent dans le contexte d'une œuvre mixte fusionner remarquablement avec des sons instrumentaux du fait de leur parenté, mais qui peuvent aussi s'en écarter progressivement à travers une palette très riche de transformations. Il est en effet facile avec cette approche de produire une palette complète de couleurs sonores, de la fusion à l'hétérogénéité totale, entre des matériaux de synthèse et des instruments réels sur scène.

Il convient d'insister sur le fait que c'est la même raison qui permet d'atteindre avec la simulation une cohérence à l'intérieur de la synthèse, qui conditionne une autre cohérence, externe celle-là, entre synthèse et écriture instrumentale.

D'une manière générale, cette approche, nous semble-t-il, offre un point de vue nouveau et constructif sur l'orchestration, à partir d'une réinterprétation de la perception de la résonance, et de son rôle dans l'écriture. C'est pourquoi elle a pu intéresser notamment les compositeurs qui s'attachent particulièrement aux relations entre timbre et harmonie (cf. : Saariaho, et Dalbavie dans le même volume).<sup>1</sup>

Rien n'empêche par ailleurs de multiplier les supports de description/variation comme autant de dimensions, de relations sur lesquelles s'organisera le travail formel ; pourvu que les étapes issues, par exemple, du processus de discréétisation, dans le cas des interpolations de timbre, puissent être hiérarchisées entre elles et validées en dernier lieu par la perception.

## Conclusion

La démarche heuristique que nous avons suivie se trouve validée tant par la qualité des resynthèses de sons percussifs résonants et des matériaux spécifiquement synthétiques produits, que par la souplesse d'utilisation des modèles et le fait que ces derniers se plient à l'intuition d'une part, à des règles déduites de modèles physiques d'autre part.

Si l'on considère uniquement l'outil d'analyse et resynthèse de sons percussifs résonants, on dispose d'une méthode de modélisation et de synthèse certes coûteuse en puissance de calcul, mais relativement économique — qualité propre aux modèles paramétriques — en termes de mémoire de données : du fait que l'information temporelle est tout entière contenue dans les modèles de résonance, le gain est important par rapport à la synthèse additive ou à la synthèse par échantillonnage, à qualité comparable. De plus, l'excitation — une impulsion de bruit blanc par exemple — peut être variée à peu de frais pour restituer la variabilité propre au jeu instrumental.

Mais l'intérêt principal de la méthode est ailleurs et tient à la souplesse de la synthèse par règles, au travail séparé de l'excitation et de la résonance, à la continuité entre synthèse et traitement, et au fait que l'information contenue dans les modèles de résonance peut être analysée et exploitée de façon pertinente à des fins de lutherie informatique ou de composition.

Un pont a déjà été construit avec un prototype d'environnement d'aide à la composition, qui permet de manipuler l'information contenue dans les modèles à l'aide de fonctions « musicales » et d'utiliser le résultat comme un nouveau modèle pour la synthèse (Bainsée *et al.* 1988).

Concernant l'aspect lutherie informatique, une perspective intéressante serait d'interpréter les modèles de résonance d'une part en termes « physiques », pour pouvoir par exemple associer tel ou tel jeu de résonances à telle ou telle caractéristique du mode d'excitation, et d'autre part en termes de perception pour essayer d'extraire les caractères spécifiques et invariants d'un instrument donné. Ceci présente un intérêt pour le contrôle par règles de la simulation instrumentale, ainsi que pour établir la base de processus d'hybridations d'instruments autres que l'interpolation et le filtrage, qui s'apparenteraient plus au « placage » de qualités instrumentales définies d'un modèle sur un autre. A titre d'exemple, si un modèle de résonance comportait des clés pour interpréter les résonances élémentaires en termes de mode de production ou de qualités spécifiques, il deviendrait possible de transposer de façon plus sophistiquée, par exemple en choisissant les résonances sympathiques, ou encore en conservant intacts les battements.

Le travail sur les modèles de résonance s'est largement inspiré de l'approche propre aux modèles physiques, et les perspectives évoquées plus haut montrent l'intérêt qu'il y aurait à pousser plus loin une confrontation constructive. Sur un plan plus général, une inter-fécondation entre les diverses techniques de synthèse nous semble indispensable, non seulement au niveau de l'approche, mais aussi au niveau de la réalisation de la synthèse elle-même. Tout environnement de synthèse et de traitement des sons doit à notre avis être pensé dans une perspective unifiante qui permette de créer des modèles mêlant plusieurs techniques (par exemple excitation additive et résonateur physique), voire en faisant cohabiter sur le même modèle plusieurs représentations (par exemple en permettant des opérations issues de la représentation additive sur un modèle physique ou vice versa).

# **Qualités et fonctions du timbre musical\***

par Stephen McADAMS et Kaija SAARIAHO

La capacité des diverses dimensions du timbre à porter la forme musicale soulève de nombreuses questions. Cet article décrira les aspects musicaux et psychologiques d'une recherche des éléments porteurs de forme en musique. De quelle nature sont-ils? Comment réagissent-ils? Peut-on dégager des qualités applicables au timbre qui nous aideraient à élaborer un langage capable d'exploiter les matériaux nouveaux issus de la synthèse numérique? Nous décrirons les six critères qui, pour nous, définissent cet élément porteur, puis nous analyserons la fonction du timbre comme élément musical de la parole poétique, en cherchant à comprendre ce que cela implique pour les structures psychologiques sous-jacentes qui permettent que cette forme d'art sonore atteigne un tel degré de complexité. Nous verrons ensuite ce que la parole poétique peut apporter à des considérations générales sur le timbre en musique, puis nous étudierons les effets de la répartition des fréquences et de la forme spectrale sur le timbre, en termes de musicalité, de fonctions, et de possibilité de modifications.

## **I. Nature des éléments porteurs de forme**

Lorsque nous parlons de forme, nous nous référons à celle que l'on perçoit ou que l'on appréhende, et qui ne se confond pas nécessairement avec la structure imaginée par un artiste. Maintes expériences réalisées au xx<sup>e</sup> siècle montrent que la structure en soi ne suffit pas si elle ne peut pas être appréhendée ou décodée en raison, entre autres, des limites que la biologie impose au traitement psychologique des structures optiques ou acoustiques. Il faut donc absolument tenir compte des facteurs psychologiques dans la recherche des éléments porteurs de forme. Nous proposons pour cela six critères<sup>1</sup>:

1. Les éléments porteurs de forme sont différenciés en catégories percep-

---

\* Première publication en anglais in *Proceedings of the International Computer Music Conference*, 1985, Vancouver, Computer Music Association, San Francisco.

1. Une redéfinition des contraintes psychologiques sur les dimensions musicales a été publiée récemment in McAdams 1989.

tives discrètes. Soit ils sont artificiellement limités à des catégories distinctes telles que les hauteurs musicales, soit, comme c'est le cas pour les phonèmes dans la parole, le système auditif lui-même divise en catégories un paramètre acoustique continu. L'accumulation de la forme musicale dans la mémoire, au fil du temps, est par ailleurs une de ses caractéristiques principales. Ainsi, si un élément est facilement mémorisé, sa contribution potentielle à la forme est bien plus importante que celle d'un élément difficilement remémorable. La facilité de mémorisation doit donc être l'un des attributs essentiels d'un élément porteur de forme. Il est amplement prouvé que l'on se souvient mieux des phénomènes discrets que des phénomènes continus, ce qui ne veut pas dire, par exemple, que l'on ne puisse pas reconnaître une fausse note ; la plupart d'entre nous sommes en mesure de le faire. Mais, si l'on imagine une mélodie créée à partir de hauteurs qui varient continuellement et qui se contente de glisser par les notes appropriées sur les temps justes, il sera difficile de la mémoriser pour la comparer ensuite à une autre semblable. Si une dimension divisée en catégories peut contribuer à l'élaboration d'une structure, des variations continues dans cette dimension peuvent, elles, permettre des transformations expressives des catégories « idéales », par exemple dans l'intonation expressive ou dans les ornements microtonaux des musiques indiennes et arabes. Le fait de classer des points sur une dimension unique (ou sur plusieurs dimensions corrélées) aide également à caractériser les propriétés des entités musicales, car la structure musicale se construit sur les contrastes entre ces entités. La notion de « propriété » s'applique aussi bien au caractère d'une entité qu'aux relations entre plusieurs entités ou à leurs fonctions dans un contexte musical. Une entité est, pour nous, une image auditive dont les composantes ont un comportement de groupe cohérent. Ce terme peut s'appliquer aussi bien à l'ensemble des fréquences que forme un son complexe qu'aux différentes voix d'une écriture orchestrale homophonique.

2. Les catégories de la perception sont organisées de façon à ce que leurs relations soient d'ordre fonctionnel. Il s'agit là du caractère syntaxique des propriétés des entités musicales, trait dominant des hauteurs dans les musiques modales et tonales. Ainsi, dans la gamme majeure, la relation fonctionnelle entre le septième degré et la tonique est très différente de celle qui existe entre les septième et sixième degrés. Ces relations ne sont évidemment pas totalement indépendantes du contexte, mais elles ont de fortes tendances propres liées à leur position dans le système, dont il est difficile de ne pas tenir compte dans l'écoute de la musique non tonale, du moins pour l'auditeur occidental. Cet ordonnancement peut prendre diverses formes : hiérarchique dans la musique tonale, séquentielle dans la musique dodécaphonique. Le type d'ordre adopté impose souvent de sévères contraintes aux formes musicales que l'on peut produire avec succès dans un tel système. Les schémas de classification et leur ordonnancement doivent, en conséquence, se plier aux exigences de la psychologie de la perception, sous peine de perdre leur lisibilité pour l'auditeur et de ne pas contribuer à l'appréciation de la forme musicale. L'un des grands problèmes musicaux de notre temps, outre la perte d'un langage musical commun au monde occidental, est d'inventer des fonctionnalités psychologiquement pertinentes, qui permettent de gérer la masse croissante des paramètres musicaux significatifs pour la composition.

3. Les différences de nature et de force entre les relations fonctionnelles permettent l'existence de phases de tension et de détente. Dans la musique tonale, par exemple, la relation de la tonique à la dominante est beaucoup plus

forte que celle de la médiane à la dominante, ce dernier intervalle étant en effet beaucoup moins important, en termes de structure, que le premier. La fonction et l'intensité des relations existant entre les entités peuvent être décrites de bien des façons ; similitude / dissemblance, consonance / dissonance, domination / subordination, etc. Il importe que la nature des relations soit relativement indépendante du contexte de l'œuvre, tout en étant, cependant, étroitement liée au contexte du système d'organisation.

4. L'attention peut se porter directement sur les qualités distinctives d'une catégorie, sur les qualités des relations entre les catégories, ou sur la façon dont ces dernières se conjuguent entre elles. En ce qui concerne les hauteurs, par exemple, on peut se concentrer soit sur la hauteur elle-même, soit sur le caractère d'un intervalle, soit sur celui d'un accord considéré comme un ensemble d'intervalles. En fonction du contexte, chacun de ces niveaux peut jouer un rôle important dans l'extraction de la structure musicale. Voilà qui démontre l'importance des propriétés émergeant de la perception des relations ou des groupements. Dans ce domaine, les processus psychologiques d'organisation auditive influent sur ce qui est disponible à un moment donné, tel que le matériau musical émergeant de la structure acoustique. Il est d'un intérêt évident de concilier les qualités proprement dites et leurs relations émergeantes. Cela pose des problèmes de composition liés à l'interdépendance entre la manipulation des entités musicales et celle des propriétés naissant des interactions entre ces entités.

5. Pour être en mesure de contribuer à la forme musicale, les catégories, les relations fonctionnelles et l'ordonnancement d'un système de classification doivent soit refléter les structures mentales existantes et celles du monde environnant, soit pouvoir être apprises par l'auditeur. Ceci ouvre un domaine très vaste de la cognition musicale, qui évoque les schémas de perception en tant que modèles d'organisation mémorisés de l'expérience perceptive. La catégorisation, la structuration, puis la mémorisation de l'expérience sont, bien entendu, parmi les points les plus importants à cet égard. Des recherches poussées sur les capacités perceptives ont démontré que les mécanismes d'interprétation du monde sont présents dès la naissance, que l'apprentissage est un processus de discrimination progressive ou de réduction de la discrimination, c'est-à-dire l'élaboration de schémas innés et la multiplication de catégories existantes ou la suppression des frontières entre certaines catégories. Essentiellement, nous recherchons les limites biologiques du traitement des structures et des formes. Certes, il existe des formes qui nous échappent, du fait de notre inaptitude à développer des outils perceptifs pour les discerner, mais cet argument est dangereux, car il risque d'alimenter l'artillerie lourde des attitudes conservatrices, et faire dénigrer des œuvres que seules ces attitudes empêchent de comprendre. L'art n'est-il pourtant pas à la fois une lutte contre le conservatisme et une exploration des limites du possible ?

6. Les relations entre catégories doivent pouvoir maintenir un certain degré d'invariance entre les différentes classes de transformations. Si des patterns composés au sein d'un ensemble de dimensions ne sont pas reconnus comme semblables après qu'ils ont été soumis à des variations, ces dimensions ne peuvent alors contribuer fortement à la forme musicale. Variation et transformation sont des processus universels en musique. Le concept de transformation musicale se heurte aux limites psychologiques de la reconnaissance d'un original dans ses modifications successives. Les patterns des hauteurs, par exemple, supportent la transposition (translation dans l'échelle

logarithmique des fréquences qui conserve les intervalles et le contour), le changement de tonalité (transformation qui conserve le contour et les classes d'intervalles), l'expansion et la contraction (facteur multiplicatif qui conserve le contour tout en perdant les informations intervalliques), etc., sans que soit remis en cause le rapport avec le motif original. Sur le plan psychologique, cela implique une représentation mentale du concept ou modèle (motif) original, où certaines propriétés structurelles sont conservées et perçues en tant que telles au cours des transformations. L'exploration de ce domaine pourrait révéler un vaste territoire de substituts fonctionnels aux processus de variations si communs dans les musiques du monde. Cela impliquerait, toutefois, une limitation des transformations possibles dans l'immense champ des dimensions qualitatives des entités musicales, ainsi que des possibilités de structuration cohérente et significative du matériau musical objet de ces transformations.

La plupart des exemples précités faisaient référence à la structure des hauteurs, cet aspect étant, dans notre culture, plus facilement accessible. Toutefois, nous désirons explorer les aspects du timbre susceptibles de répondre à ces critères, et voir comment ils peuvent servir à la construction de formes musicales. Nous parlons des «aspects du timbre», car la multidimensionnalité de celui-ci nous semble à présent bien établie, et nous estimons que ces multiples dimensions ne seront pas toutes également aptes à porter la structure des formes. Nous ne prétendons pas ainsi que certains aspects n'ont pas d'importance sur le plan musical, mais tentons de déterminer les dimensions appelées à jouer un rôle structurel et celles qui resteront dans le domaine de l'ornementation et de la coloration expressive. Se pose aussi la question des «lois et principes» *a priori* permettant de choisir les dimensions à vocation structurelle. Le problème, lorsqu'il s'agit d'évaluer le rôle du timbre en soi, est que, pour la plupart des musiques occidentales dont l'importance esthétique est avérée, l'utilisation du timbre est largement subordonnée aux structures de hauteurs et de rythmes. Pour circonvenir ces limites, nous nous sommes demandé s'il existait une forme d'art sonore où le timbre jouerait un rôle plus important que la hauteur comme élément porteur de forme. La poésie est évidemment apparue comme la candidate toute désignée, et plus particulièrement celle dans laquelle le poète manifeste une égale sensibilité aux sonorités et aux formes sémantiques.

## II. La parole poétique en tant qu'art sonore fondé sur le timbre

La voix humaine est la source sonore sur laquelle nous exerçons sans doute la plus fine discrimination de timbre, et pour laquelle notre compréhension structurelle est la plus riche. D'abondantes recherches en neuropsychologie et en psychologie expérimentale établissent clairement que nous sommes dotés de mécanismes mentaux spécifiques pour le décodage et le traitement de la parole humaine. Les êtres humains disposent par ailleurs d'un appareil vocal sans équivalent dans le règne animal. La plupart des informations que transmet le flux vocal sont véhiculées par des éléments acoustiques qui correspondent à ce que, en musique, nous associons au timbre. Si les hauteurs jouent un rôle important dans la prosodie (fonctions de segmentation et de phrasé de la parole), et, à certains égards, sur le plan sémantique (en levant, par des inflexions appropriées, d'éventuelles ambiguïtés dans la communication du sens), leur rôle comme éléments structurels est beaucoup plus restreint que celui des voyelles et des consonnes dans les langues non tonales (indo-européennes,

par exemple). Le chinois et certaines langues africaines donnent aux hauteurs une fonction phonologique qui permet de modifier la signification des complexes voyelles-consonnes par des variations des patterns de hauteurs ou du niveau de la hauteur relative. Dans le chant des cultures africaines à langue tonale, le fait que la hauteur ait une fonction sémantique impose d'ailleurs des contraintes mélodiques à la mise en musique des mots.

## 1. *Les éléments sonores porteurs de forme dans la parole poétique*

Présentons sommairement les éléments sonores porteurs de forme les plus couramment utilisés en poésie :

1. Les *voyelles* sont des timbres créés par la résonance du conduit vocal, et peuvent être considérées comme l'équivalent des couleurs spectrales dans le domaine du timbre musical. La rime constitue l'un des cas où, en poésie, les voyelles assument une fonction structurelle. Sur le plan acoustique, on les décrit par leur forme, ou enveloppe, spectrale. Elles ont une longueur variable, et peuvent être allongées pour certains effets d'emphase. Il existe d'autres cas où les voyelles portent la structure, par exemple les clusters et les patterns de voyelles, où certaines d'entre elles sont conçues comme des « notes de passage » vers d'autres dont la fonction structurelle est plus importante. On peut voir l'ordonnancement des voyelles comme une « progression harmonique » de timbres, impliquant une structuration ordonnée des principales voyelles utilisées dans le poème. Ce type de construction peut assumer la fonction musicale des tensions et détentes.

2. Les *consonnes*, quant à elles, sont généralement émises par de rapides variations de résonance du conduit vocal, souvent accompagnées de bruits produits par le resserrement de la cavité buccale et le placement de la langue près du palais, ou en approchant la langue ou les lèvres des dents. Sur le plan du timbre, on peut associer les consonnes aux phénomènes d'attaque et d'extinction, ou, encore, aux divers sons de transition. L'allitération est une structure sonore de la poésie qui repose sur la répétition de motifs de consonnes. Certaines consonnes ont des longueurs plus ou moins fixes (par exemple, les occlusives n, d, p, et k), d'autres, au contraire, peuvent être allongées pour marquer une emphase (par exemple, les fricatives ou les sifflantes f, v, s, z, sh). Les consonnes sont les articulations et les transitions entre les voyelles porteuses. Elles peuvent, en ce sens, être considérées comme des pivots complexes entre divers « états » de voyelle dotés d'une forte signature propre, et sont susceptibles même, le cas échéant, de modifier légèrement la nature de la voyelle accolée, donnant forme et place aux voyelles dans la chaîne des timbres. Les consonnes sont également des repères temporels en ce qu'elles provoquent des changements brusques dans le flux acoustique.

3. Le *rythme* provient en grande partie des patterns d'accentuation ainsi que des patterns de consonnes et de l'allongement des voyelles ou de certaines consonnes. Il peut être produit par les fluctuations du niveau d'émission, par de brusques changements de hauteur, par des modifications du spectre délimitant les frontières des syllabes, et par des variations des paramètres de bruit et d'harmonicité liés à la phonation (selon la vibration ou la non-vibration des cordes vocales). Les pauses, également, jouent un rôle important dans la perception rythmique de la parole.

4. Comme nous l'avons déjà indiqué, la *hauteur d'intonation* contribue elle aussi au découpage et au phrasé de la parole. Ce paramètre, pour lequel il

n'existe pas de notation graphique dans la poésie écrite, apparaît en revanche dans la récitation orale. Là encore, nous pensons que cet élément a une valeur plus expressive que structurelle lorsqu'on le compare aux voyelles et aux consonnes.

Ce qui nous intéresse ici étant la structuration du timbre, nous nous concentrerons sur la production, la perception, et l'organisation des voyelles et des consonnes.

## 2. Production et codage des phonèmes

Pour caractériser les aspects des sons de la parole qui ont une importance linguistique, on peut décrire la parole comme un enchaînement de phonèmes discrets (Liberman, Cooper, Shankweiler et Studdert-Kennedy 1972). Un phonème est, avant tout, une classe abstraite de sons élémentaires qui se ressemblent assez entre eux et diffèrent suffisamment des autres classes pour être perçus et identifiés, compte tenu des idiosyncrasies du locuteur et du contexte. Nous devons ainsi être en mesure de reconnaître toutes les formes de la voyelle /a/, indépendamment des différences d'accents, et de les distinguer, par exemple, des /o/. On nomme «alophones» ces diverses versions de la même entité fonctionnelle; en musique, on pourrait envisager de les utiliser comme des variations expressives du même groupe de timbres.

La science de la parole a identifié un ensemble de «caractéristiques distinctives» des phonèmes dont les spécificités et les règles d'agencement rendent compte des invariants permettant de différencier les phonèmes. Chaque phonème peut être considéré comme un agrégat de traits distinctifs, eux-mêmes étroitement liés au mode de production des phonèmes. C'est pourquoi nous disposons de mécanismes permettant de déduire les causes physiques des sons perçus et de les interpréter et les organiser ensuite. Les voyelles, par exemple, pourraient être classifiées en fonction du degré d'ouverture de la cavité buccale, de la position de la langue par rapport à l'avant de la bouche lorsqu'elle se pose contre le palais, ou, encore, en fonction de l'arrondi de la bouche. Les consonnes, elles, pourraient être classées en fonction du délai de déclenchement des vibrations des cordes vocales, de l'endroit où, dans la cavité buccale, le



*Figure 1.* Modèle spectrographique des fréquences des deux premiers formants de la synthèse du /d/ précédant différentes voyelles. Les fréquences relatives des états stables des formants spécifient la voyelle. On remarquera que la forme de la phase de transition initiale du formant supérieur change en fonction de sa fréquence: elle est ascendante au-dessus de 1800 Hz, constante à cette fréquence, et descendante pour les fréquences inférieures. En résumé, la trajectoire du formant s'éloigne de 1800 Hz en se rapprochant de la position du formant de la voyelle. Ceci reflète le point d'articulation de la consonne /d/, et montre la façon dont sa structure acoustique dépend à la fois de la consonne elle-même et de la voyelle qui lui succède. Malgré ces différences acoustiques non négligeables, ces phonèmes sont tous perçus comme des /d/ (d'après Liberman *et al.*, 1972, Fig 2.2, p. 20).

passage de l'air se trouve réduit par l'obstruction de la langue ou des lèvres, ou selon que le blocage de l'air, avant que la cavité buccale ne forme la voyelle suivante, est total ou partiel. Tous ces éléments en amont des phonèmes ont leur équivalent acoustique, mais là, un phénomène très curieux intervient : le chevauchement important, dans le temps, des constituants d'une consonne et de ceux de la voyelle qui la suit ; c'est ce que l'on appelle la « co-articulation ». Cela signifie que l'information acoustique véhiculée par ces constituants comporte un haut niveau de codage, et des mécanismes perceptifs spécialisés sont nécessaires pour décoder cette information et retrouver les phonèmes originaux. Autre implication : les informations contenues dans les phonèmes ne sont pas purement séquentielles, mais étroitement imbriquées les unes dans les autres, de telle sorte que chaque phonème témoigne d'une restructuration importante de ses caractéristiques acoustiques en fonction du contexte (Fig. 1).

### 3. *Décodage et perception des phonèmes*

Du fait de ce codage de la parole, des mécanismes perceptifs de décodage sont indispensables ; il faut également déterminer la fonctionnalité des phonèmes. L'étude de l'organisation mentale des relations perceptives entre les phonèmes peut s'avérer utile à l'agencement musical — de sons de même nature.

Des recherches sur la perception des similitudes entre les phonèmes, réalisées selon les mêmes méthodes que les études sur l'espace des timbres de Grey (1977) et de Wessel (1979), indiquent que la structure multidimensionnelle de la perception semble correspondre aux modes d'articulation des phonèmes. Plus précisément, les phonèmes dont les modes de production sont proches, comme les voyelles arrière (/i/, /I/, /ɛ/), ou les consonnes explosives voisées (/b/, /d/, /g/), ont tendance à être voisins dans « l'espace des phonèmes ». Ces diagrammes montrent également quels sont les aspects de la production les plus importants en termes d'organisation perceptive des phonèmes.

Une représentation tridimensionnelle peut donner une idée assez exacte des voyelles américaines : y figurent la « hauteur » (ouverture de la cavité buccale), l'avancement (position avant/arrière de la langue) et la rétroflexion (incurvation et replis de la langue vers l'arrière de la bouche, typique du /ʒ/ américain) (Fig. 2). Slawson (1985) a récemment mené une étude sur la structure de l'espace des voyelles et sur son rôle dans l'organisation du timbre.

Pour les consonnes, il faut une représentation en trois ou quatre dimensions, où figurent la manière (occlusive, fricative, etc.), l'emplacement (où la langue ou les lèvres opèrent un resserrement), l'oralisation (nasale ou buccale), et la phonation (effet de vibration des cordes vocales au début de la production des consonnes). Cette représentation spatiale établie sur la base de comparaisons perceptives est intéressante car elle reflète les modes de production ; de plus, elle nous amènerait *a priori* à considérer qu'un sens de la causalité physique doit servir de base à la classification des timbres. Dans une perspective de synthèse, on peut donc établir qu'il existe des dimensions bien définies susceptibles d'être extrapolées fructueusement en des matériaux musicaux et à leur organisation.

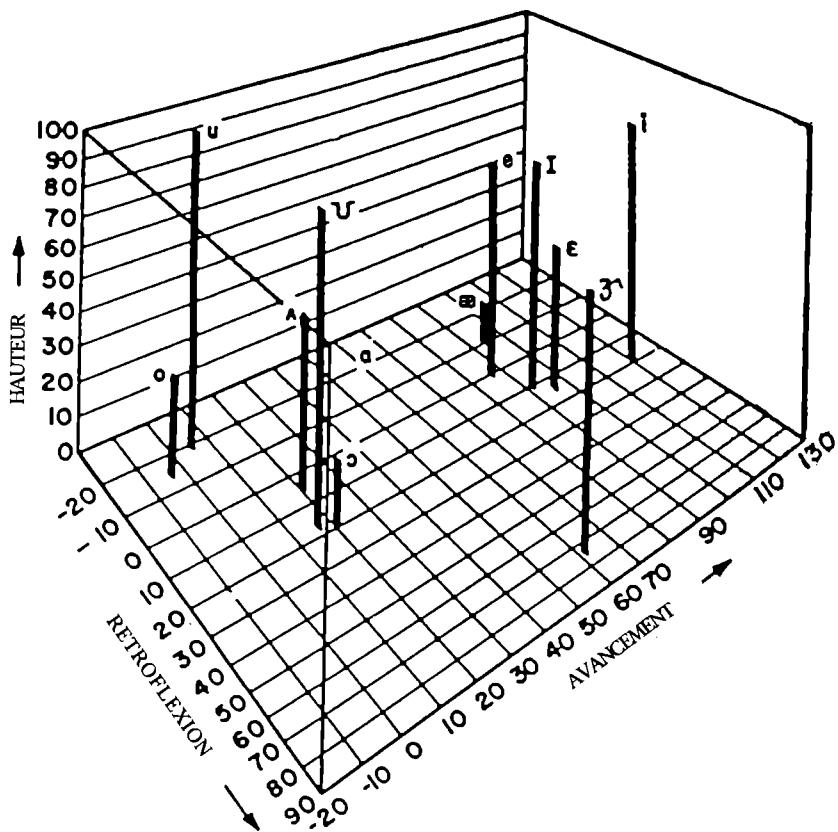


Figure 2. Représentation de la structure de similarité entre douze voyelles américaines selon trois critères d'émission. Les unités indiquées sur les axes sont arbitraires. Les voyelles représentées sont /o/-go, /u/-glue, /ʊ/-hood, /ʌ/-mud, /ɑ/-father, /ɔ/-awe, /æ/-had, /e/-great, /ɪ/-hit, /ɛ/-bet, /ɪ/-sheet, /ɜ/-nerd d'après Singh et Woods 1971 : 1864 (Fig. 3).

Il ne suffit certes pas d'avoir une idée des mécanismes mentaux qui gèrent ces phonèmes isolés ou regroupés en syllabes pour être en mesure de préjuger de leur utilité ou de leur intérêt pour la création musicale ou poétique. C'est lorsque l'on développe un langage qui organise et assujettit leur organisation en morphèmes, ou syllabes, pour le langage, et en événements sonores, pour la musique, que se manifestent leur intérêt et leur valeur en tant qu'éléments porteurs de forme. On remarque que, dans le langage, les voyelles (porteuses, ou « états stables ») peuvent, pour la plupart et pourvu que l'on respecte certaines contraintes, être combinées et arrangées en séquences complexes, même si certaines combinaisons sont plus ou moins rares selon les langues. Par exemple, les principales voyelles /a/, /o/, /i/ et /u/ offrent une liberté combinatoire bien plus grande que la voyelle rétroflexe américaine /ɜ/ (la voyelle finale de « father »). Cette dernière, lorsqu'elle est accolée à d'autres voyelles, se trouve toujours en seconde position. Les assemblages de consonnes sont en revanche soumis à des restrictions beaucoup plus nombreuses. On ne

rencontre jamais, par exemple, la combinaison /lb/ au début d'une syllabe en anglais, alors que /bl/ n'est pas rare. Pour l'élaboration d'un langage des timbres, les règles et, plus encore, les contraintes des assemblages phonétiques pourraient constituer un niveau d'organisation préliminaire à une syntaxe du timbre.

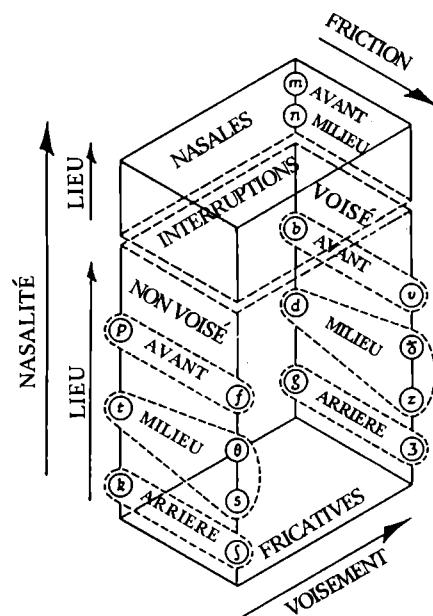


Figure 3. Représentation de seize consonnes anglaises selon quatre paramètres. Les symboles les moins connus sont : /θ/-think, /ʃ/-sheet, /ð/-that, /ɹ/-garage d'après Shepard 1972: 88 (fig. 48).

#### 4. Vers le sens et la forme

En ce qui concerne ce thème, le développement de notre réflexion reste manifestement incomplet, car, orienté essentiellement sur les aspects phonétiques de la parole, il n'a pas tenu compte de la complexité de la signification et de la fonction qui déterminent, de toute évidence, le choix des phonèmes ainsi que les relations fonctionnelles des phonèmes entre eux. Nous avons gardé ces aspects présents à l'esprit, mais, dans l'optique d'une synthèse numérique qui est la nôtre, nous avons été entraînés dans une démarche d'amont en aval. Les travaux de linguistique structurale, dont ceux de Roman Jakobson qui se distinguent par leurs considérations sur les aspects linguistiques de la poésie, ont largement insisté sur le fait que l'existence d'une catégorie phonémique ne lui confère pas, en soi, une signification phonologique et fonctionnelle dans une langue donnée (cf. Jakobson 1976-1978). La valeur d'un phonème réside dans sa *fonctionnalité* spécifique par rapport aux autres. Ce qui revient à dire que si l'on peut remplacer un phonème par un autre dans un mot sans en changer le sens, ces phonèmes appartiennent vraisemblablement à la même classe fonctionnelle. Il y a des exemples classiques : absence de différence entre le /l/ et le /r/ dans certaines langues orientales, entre le /b/ et le /v/ en

espagnol, entre le /v/ et le /w/ en hongrois, etc. Si les nouveau-nés semblent capables de faire ces distinctions, ils finissent par ne plus en tenir compte lorsqu'elles ne sont pas signifiantes dans leur langue maternelle, pour les redécouvrir lorsqu'ils apprennent une autre langue où ces distinctions sont manifestes (Eimas 1985). Le problème serait d'élaborer un langage du timbre musical comparable dans lequel ces fonctionnalités seraient évidentes à l'écoute, puisque, dans ce domaine, il n'existe pas de langage commun comme point de repère. Le développement de fonctionnalités distinctives est du ressort de la phonologie du timbre, qui se différencie de la phonétique en ce qu'elle se préoccupe davantage de la fonction et du sens que de la structure acoustique.

L'arrangement harmonieux, dans la durée, de tels assemblages de timbres relève de la syntaxe. C'est sur ces bases que débute le véritable travail de composition, car c'est à ce niveau que la complexité des relations peut commencer à prendre une forme musicale. Plus avant, nous présenterons quelques réflexions sur ce thème, ainsi que les premiers matériaux sonores. En conclusion, c'est dans la construction de myriades de relations et de références entre les éléments du matériau sonore élaborés en un réseau autoréférentiel, que se développe le sens musical, royaume de la sémantique.

### III. Traductions vers le timbre dans des contextes musicaux

Il est temps de quitter le langage pour revenir à la musique. D'ailleurs, la différence est-elle si grande en ce qui concerne le timbre? Passons à la complexité des timbres, utilisés avec une séduction expressive extrême dans le jeu des tablas indiens. Le joueur de tablas fait parler ses tambours dans une troublante imitation de la voix. On ne s'étonne guère de découvrir que l'apprentissage des tablas commence par l'assimilation d'un vocabulaire syllabique que l'on s'exerce à réciter *avant même de toucher aux instruments!* On pressent fortement la présence d'une syntaxe très élaborée qui donne aux combinaisons sonores des tablas toute leur richesse de signification musicale. Une part importante de cette richesse revient évidemment à la complexité du système rythmique, mais le timbre en reste un élément essentiel. Devons-nous penser que la perception de cette richesse et le sentiment de cette analogie vocale sont dus au fait que certains mécanismes d'appréciation musicale occupent le domaine du langage, du moins en ce qui concerne le timbre? La richesse de nos capacités de reconnaissance des structures du langage et l'importance du rôle qu'a toujours la voix en musique sont des raisons suffisantes pour envisager que les mécanismes du langage ont, au moins, un rôle à jouer dans la perception des organisations de timbres.

Il ne faudrait cependant pas mener trop loin ces analogies en les prenant au pied de la lettre. Il est établi que les sons du langage disposent de mécanismes de traitement qui leur sont propres, et que les sons autres que la parole sont traités différemment. On pourrait établir une analogie fructueuse en envisageant que la perception des timbres repose en partie sur un décodage du comportement physique de la source sonore. Nous ne nous limitons bien évidemment pas à la production de sons par des objets physiques, mais nous nous demandons pourquoi les structures dans lesquelles sont inscrits de nombreux sons synthétiques de la musique sur ordinateur paraissent souvent si simples, voire simplistes, à l'oreille. Il semble tout à fait vraisemblable que ces structures sonores, bien que très riches acoustiquement, prennent en défaut

l'oreille musicale dans sa capacité d'apprécier la cohérence de leurs comportements.

Ce sont ces comportements cohérents qui permettent à l'oreille de suivre une source sonore et de l'identifier avec assez de précision pour pouvoir l'associer à d'autres sons. Cette cohérence de la perception donne une grande marge de flexibilité à la source sonore dans ses différentes dimensions musicales, surtout dans celles qui ont trait au timbre. Phénomène bien connu de l'informatique musicale, la simple transposition d'un son dans une autre plage de fréquences lui confère souvent une identité nouvelle, et les tentatives visant à créer des structures musicales plus complexes telles que la polyphonie sont très délicates, parce que l'oreille n'arrive pas à conserver l'identité de la source sonore hypothétique qui véhicule la forme musicale. Nos recherches ont pour but de trouver un moyen de créer des sources sonores complexes gardant une cohérence perceptive. On pourrait peut-être obtenir ce type de cohérence en créant une pseudo-causalité plausible dans le comportement du timbre de la source sonore, grâce à sa covariation avec, par exemple, le registre et la dynamique. Un modèle pseudo-physique qui décrirait une source sonore en termes de source d'excitation et de résonance pourrait jouer ce rôle.

La notion de cohérence du comportement ne se limite pas nécessairement à la source du son ; elle peut, en effet, s'appliquer à des groupes de sons, comme les accords ou les complexes de timbres, où plusieurs sources forment une image musicale unique.

Nos recherches sur les modèles de résonance ont pour objet de puiser, dans les structures psychologiques qui sous-tendent la perception de la parole, des concepts tels que ceux de porteuses (états stables, fonctions, résonances), et de transitions (attaques/extinctions, opérateurs, articulations, pivots). Nous nous sommes concentrés sur deux aspects principaux des sources sonores, à savoir la forme spectrale et la distribution des fréquences, et nous avons entamé des recherches sur les propriétés des timbres et les applications musicales qui en découlent. Ce choix est dû, en grande partie, au fait qu'il s'agit de deux paramètres qui peuvent être contrôlés et modélisés indépendamment, en fonction du type de synthèse choisi. On peut également considérer que ces éléments correspondent plus ou moins aux concepts de structure de résonance et de source d'excitation pour divers types de sources sonores physiques.

## 1. La forme spectrale

C'est là que l'on se rapproche le plus du domaine acoustique, dans la parole, des voyelles et d'une grande partie des consonnes. L'environnement CHANT/FORMES de l'I.R.C.A.M. offre un catalogue de phonèmes en constant accroissement, basé essentiellement sur les phonèmes vocaux. Ils ont été abondamment utilisés dans la composition de Saahario *Jardin secret* (1985). Rodet et Depalle (1985) ont, dans leurs travaux, commencé à développer une bibliothèque de procédures pouvant être utilisées dans le même sens que les porteuses et les transitions dont nous parlons ici. En ce qui concerne les porteuses, nous pourrions envisager des formes spectrales évoluant plus lentement, dont les qualités seraient identifiées par les caractéristiques distinctives non temporelles d'un système à résonances multiples. Les qualités retenues seraient les notions classiques de brillance et de couleur du spectre, ainsi que les différents paramètres identifiant les voyelles : l'avancement (acuité), la compacité (petitesse), la fermeture, le degré de tension, et la nasalité (Fant 1973 :

chap. 8; Slawson 1985). Avec *Formes*, il est possible d'élaborer des modes relativement directs de déplacement entre ces états, sans suggérer la présence de phonèmes de transition.

Les phonèmes de transition, en réalité, permettent de relier deux étapes en empruntant une voie plus détournée qui, selon sa rapidité, suggère plus ou moins la présence d'un élément d'articulation. Ceci peut servir à marquer plus nettement la transition entre les porteuses et, ainsi que le suggère l'allitération en poésie, favoriser l'introduction de nouveaux matériaux dans l'élaboration de la forme musicale. Les qualités des phonèmes de transition se reconnaissent à leurs caractéristiques distinctives temporelles — par exemple, les modifications relatives des résonateurs sur de brefs intervalles. Dans la voix, ces transitions de formants durent souvent moins de 100 ms pour certaines consonnes, et sont produites par le déplacement de l'articulation et la nasalisation. Pour les sons instrumentaux, ces transitions durent moins de 50 ms, et se manifestent au début et à la fin des différentes régions fréquentielles, dans l'attaque et l'extinction d'un son. Avec la synthèse musicale, on peut évidemment jouer en toute liberté sur ces durées. Lorsqu'on les dilate dans le temps, nombre de transitions entre les consonnes perdent leur identité de phonèmes au point d'en acquérir une autre: une simple transformation qui donne naissance à de nouvelles formes de timbre.

## 2. *Le contenu fréquentiel*

Nous estimons que le domaine du contenu fréquentiel comporte deux volets principaux: les signaux bruités, et les signaux «tonaux» dont la composition en fréquences peut être déterminée. Ces derniers se subdivisent encore en sons harmoniques et inharmoniques. Les chemins qui vont du son harmonique au bruit, en passant par les sons inharmoniques de plus en plus complexes, sont nombreux, car, dans les sons inharmoniques, on perçoit des hauteurs multiples ou dispersées; ces sons deviennent de plus en plus rugueux à mesure qu'augmente la densité du spectre, au point que le système auditif perd la capacité d'isoler les partiels ou de dégager les périodicités ou les pseudo-périodicités des formes d'onde.

Les contrastes entre les bruits et les sons purs, en tant que porteurs, peuvent être de puissants facteurs de structuration, comme on a pu l'entendre dans l'œuvre de Saariaho *Verlendungen* (1984). Il est malaisé de savoir jusqu'où l'on peut utiliser cette rugosité à des fins de structuration, car il semble difficile d'établir des échelles de rugosité valables. Cette qualité peut, néanmoins, avoir une valeur très réelle au niveau de la texture et de la surface d'une œuvre.

On commence seulement à explorer dans son intégralité le domaine des sons tonaux possibles, et plus particulièrement la diversité de leur contenu harmonique. Il faudrait pouvoir caractériser les sons inharmoniques à partir de la «couleur» des intervalles, dérivée d'une impression globale de la qualité des intervalles de hauteurs présents dans le son, comme on le fait pour la perception des qualités des accords. Les tentatives passées de théorisation *a priori* des caractéristiques de ces sons n'ont pas entièrement réussi (McAdams, Gladkoff et Keller 1985), essentiellement parce que les modèles de perception utilisés étaient inadaptés. Toutefois, les travaux de Assayag, Castellengo et Malherbe (1985) sur les sons instrumentaux inharmoniques existants, c'est-à-dire les sons multiphoniques, ont permis des progrès importants concernant les regroupements de sons selon des fonctions et des relations musicales. Nous avons donc

opté pour une méthode plus empirique dans la recherche de sons inharmoniques agréables à l'oreille, pour suivre, ensuite, un processus de caractérisation analogue à celui des auteurs précités.

Nous avons développé un système de synthèse — sur la 4 X à l'aide du langage 4 X Y développé par Robert Rowe — qui permet d'élaborer, sans se référer à un modèle, des sons inharmoniques complexes, ou d'ajouter progressivement des partiels à une entité complexe déjà existante. On peut ensuite transposer ces sons, ou d'autres, dans divers registres ou sur d'autres dynamiques, puis les comparer au son de départ et corriger les enveloppes spectrales ou les contenus fréquentiels, de façon à construire une identité de timbre qui reste cohérente au travers des changements de registre et de dynamique. Cela se révèle également utile pour trouver des gammes dans lesquelles les intervalles mélodiques et harmoniques soient accordés spécifiquement en fonction de cette famille de sons inharmoniques. Nous pouvons envisager le développement d'outils capables de réaliser les interpolations nécessaires entre les diverses façons d'accorder ces sons, qui permettraient la modulation entre plusieurs familles de sons inharmoniques. Lorsque de telles familles auront été assemblées, nous examinerons les possibilités de relations séquentielles et harmoniques entre elles, afin de développer un langage de séquences et de progressions adapté à une composition donnée. Un défaut du système actuel réside dans le fait qu'il n'y a pas encore sur la 4 X la flexibilité de l'évolution spectrale à laquelle nous sommes parvenus avec les bibliothèques de phonèmes dans FORMES. Une discontinuité est introduite entre l'exploration et l'application musicale qui n'est pas très satisfaisante.

Le bruit et l'inharmonicité sont également importants pour les transitions. Le bruit est une caractéristique des consonnes fortement affriquées (fricatives non voisées, f, sh, s, fricatives voisées v, j, z), ainsi que des consonnes occlusives non voisées (p, t, k). L'occurrence temporelle (moment du voisement) et l'aspect spectral (emplacement de l'articulation) du bruit sont très importants pour l'identification de ces sons; ainsi, la nature de la transition, ou de la co-articulation, entre le bruit et les sons harmoniques peut fournir des indications importantes sur l'articulation. Dans les sons instrumentaux, on remarque souvent une phase d'instabilité lors du déclenchement de la vibration de la corde ou de la colonne d'air, qui comporte à la fois des bruits et des éléments inharmoniques. Des études psychologiques ont montré à quel point ces éléments transitoires influent sur l'identification des instruments. Il faudrait, finalement, analyser ces éléments en fonction de leurs caractéristiques distinctives temporelles dans le domaine du contenu fréquentiel.

### *3. Les fonctions musicales*

Nous allons examiner trois domaines d'utilisation fonctionnelle de ces idées et de ces matériaux en musique: la classification du matériau, sa mise en forme visant à la réalisation de mouvements «dirigés», ainsi que les transformations et interactions entre les pôles: porteuses/transition et résonance/excitation.

Si l'on examine attentivement la nature implicite de la production de sons, aussi bien en termes de résonance que d'excitation, il semble possible d'élargir amplement les notions d'espace de timbre, de voyelle et de consonne; cela serait très utile pour guider le développement d'une synthèse par règle, dans la création de structures sonores au comportement complexe mais cohérent. En

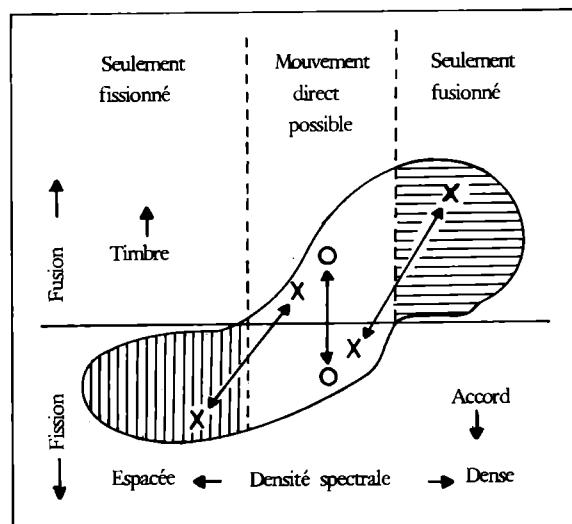
restant attentifs à l'intuition des mécanismes physiques inscrits dans ces représentations, on peut mettre en lumière leurs possibilités latentes d'organisation musicale. Ainsi, on disposerait d'un cadre qui faciliterait une classification des qualités et des relations entre les éléments. La classification des qualités liées à la forme spectrale peut reposer davantage sur l'intuition, surtout pour les sons se rapprochant de la voix. Cette capacité de discernement s'estompe à mesure que les sons deviennent plus inhabituels et qu'ils s'éloignent de la voix et des sons familiers. Comme l'ont montré les travaux de Vandenheede et Harvey (1985), cette question de l'équilibre entre familiarité et ambiguïté des sons est délicate. Il en va de même pour la classification des qualités liées au contenu fréquentiel, en particulier celles des sons inharmoniques ; comme nous l'avons déjà dit, nous avons adopté une démarche empirique pour déterminer les qualités de ce type de sons et les relations fonctionnelles existant entre eux et entre les familles de sons.

D'après Lerdahl (1985 ; cf., ici même, le chapitre de l'auteur), ce sont les organisations de type hiérarchique qui ouvrent les perspectives de structuration musicale les plus riches. Dans ses recherches sur la création de hiérarchies dans les couleurs spectrales des timbres, il a commencé par constituer des familles de sons semblables, puis des sous-familles, et des familles élargies, etc. Sa démarche, comparable à celle de Assayag *et al.* sur les sons instrumentaux multiphoniques, lui a permis de mettre en évidence des degrés de contraste, des «distances» cognitives, des contraintes pesant sur les trajets d'une famille à une autre, ainsi que des relations qui rappellent la dissonance et la subordination existant dans les structures des hauteurs tonales qui sont particulièrement aptes, semble-t-il, à porter des formes complexes de cette nature. Avec ce type de matériaux, certains critères des éléments porteurs de forme semblent plus difficiles à établir : l'évaluation de la force des relations — excepté si l'on considère la «distance» cognitive entre des membres de différentes familles de sons sur un trajet de «modulation» acceptable — ainsi que l'évaluation des relations existant entre des propriétés de la perception nées de la combinaison des membres de ces familles. Toutefois, le développement d'un environnement de synthèse interactive en temps réel orienté sur ce type d'explorations aidera considérablement à découvrir les possibilités et les pièges que ce domaine nous réserve. En outre, il autorisera une exploration plus exhaustive et moins frustrante des modes de transformation des matériaux qui permettent, malgré tout, de percevoir des similitudes ou, du moins, des liaisons musicales.

Pour construire une forme musicale, il faut absolument pouvoir développer un sens du mouvement qui soit orienté. L'orientation crée l'attente. La construction, le prolongement, et la satisfaction de l'attente sont des éléments fondamentaux de l'expérience musicale. Le mouvement orienté implique à la fois un sens de direction, d'ampleur ou de force du mouvement. La notion d'intervalle harmonique dans la hauteur est relativement neutre, à cet égard, comparée à celle d'intervalle mélodique où la force du mouvement dépend autant de la direction de l'intervalle que de sa taille. La notion d'intervalle de timbre, lequel serait une sorte de vecteur multi-dimensionnel dans le temps, apparaît dans les travaux de Wessel (1979) sur les analogies de timbre : là, en choisissant une paire de timbres perçue comme analogue à une autre lorsque les deux sont jouées de façon séquentielle, on retrouve un équivalent de l'orientation. Un sens comparable de vecteur de timbre est très présent dans les poésies de Robert Duncan et Michael Palmer qui travaillent tous deux sur l'idée que des progressions de voyelles jouent, dans la musique d'un poème, un rôle

de notes de passage et de progression harmonique. Mais, puisque les relations ne sont pas hiérarchisées *a priori* dans l'espace des voyelles, l'élaboration de structures où l'orientation puisse produire le sens musical dépend des contraintes pesant sur les relations établies dans un poème donné. Le choix des voyelles-clés et leur ordonnancement ne peuvent être faits arbitrairement, pas plus que ceux des voyelles renforcées par les motifs d'accentuation.

Quand les sons inharmoniques sont perçus comme des accords, on peut faire usage de son intuition des fonctions de l'harmonie musicale. Se pose alors la grande question, que l'on commence à peine à comprendre, de savoir si un même sens d'orientation se dégage selon que l'on entend dans ces sons des timbres fusionnés ou des accords. Est-ce que la couleur intervallique dans le cas de la fusion fonctionne de la même manière que lorsque les éléments sont perçus distinctement ? Il n'existe pas de réponse claire à cette question pour de multiples raisons qui ont trait, généralement, aux mécanismes de l'organisation auditive ; l'une de ces raisons est que tous les sons inharmoniques ne se prêtent pas à la fusion, et qu'une telle comparaison est donc, pour ces sons, impossible. Il nous paraît à présent clair que, pour un compositeur qui s'intéresse à la « modulation » entre le timbre et l'harmonie, le domaine des matériaux acceptables est relativement limité (Fig. 4). L'un des facteurs-clés qui limitent la fusion des sons inharmoniques (outre le fait qu'ils sont déjà perçus comme



*Figure 4.* Zone de sons inharmoniques utilisables pour le mouvement entre timbre et harmonie, en fonction du degré de fusion et de la densité spectrale. Étant donné la difficulté de jouer sur les accords pour les sons denses, et sur la fusion des timbres pour les sons les plus ténus, seule la région centrale permet le passage des timbres aux accords ( $0 < -> 0$ ) par la simple action sur les paramètres de fusion (asynchronie de l'attaque, vibrato, etc., cf. McAdams 1984). Pour les autres cas de figure, il faut emprunter un trajet oblique ( $X <-> X$ ) qui implique un changement de densité du spectre ainsi que des paramètres de fusion nécessaires pour passer de l'accord au timbre, et inversement.

« multiples » en termes de hauteurs) est leur densité spectrale. Les spectres à raies éparses dont les partiels sont facilement isolés par l'oreille, c'est-à-dire dont les composants sont tous dans des bandes critiques distinctes, sont très difficiles à fusionner en un objet unique, et plus encore si l'on souhaite que cette fusion dure un certain temps. Dès qu'ils ne sont plus perçus comme des sons percussifs, ils le sont comme des accords. On réalise la fusion plus facilement avec des sons denses, mais il est alors plus difficile de les traiter comme des accords quand ils sont « défusionnés ». Il est possible de contourner le problème (si l'on abandonne toute idée de rigueur dans la procédure) en trouvant des relations acceptables entre des spectres de densités différentes, en les densifiant pour travailler sur le timbre et en les raréfiant pour les opérations harmoniques.

Nous avons expérimenté d'autres types de transformations susceptibles de produire un sentiment de progression, dont la déformation progressive des structures de fréquences ou de formants par expansion ou contraction de leurs relations fréquentielles (Saahario 1985). Ce sont les déformations sur les enveloppes spectrales qui ont donné les résultats les plus intéressants, surtout lorsqu'elles allaient de pair avec des structures de fréquences inharmoniques. Lorsqu'on applique cette déformation dans la durée, il se produit un changement dans la perception globale de la couleur spectrale, mais on peut toujours établir le lien entre le matériau transformé et l'original. Les transformations sont plus opérantes lorsque les trajectoires des formants sont continues. Les techniques d'étirement de fréquences en continu, toutefois, s'accompagnent d'un fâcheux effet de glissando incohérent. C'est pourquoi Saariaho a mis au point une technique générant des micro-intervalles entre les fréquences de départ et d'arrivée. Avec cette opération, les transformations de structure donnent une sorte de micro-polyphonie dotée d'une texture temporelle.

Nous avons obtenu des résultats très intéressants sur les sons inharmoniques grâce à ces deux types de transformation spectrale et à ces séquences de phonèmes basées sur les formes spectrales. Avec les sons très denses, il se produit un effet de transformation du timbre. Avec les sons plus épars, et lorsque ceux-ci rencontrent des pics de résonance, on entend varier les amplitudes des différentes fréquences en une sorte de mélodie de partiels. Il se crée alors comme un mur de structures fréquentielles stables ou mobiles, qui est éclairé par les différentes enveloppes spectrales; ces dernières mettent certaines zones du spectre en relief et créent une enluminure mélodique autour de l'espace des accords. Le problème, du point de vue de la composition, est de trouver des sons inharmoniques qui génèrent des mélodies intéressantes en présence des formes spectrales désirées.

Il existe une autre sorte de transformation entre le domaine de la couleur spectrale et celui de la couleur des intervalles inharmoniques, qui entraîne un rétrécissement progressif de la largeur de bande des formants, amplifiant la résonance jusqu'à ce qu'ils se comportent comme de véritables partiels. L'effet obtenu dépend en grande partie de la façon dont les résonances sont stimulées. Pour les fréquences très basses, on obtient un effet de grain (dû à un taux de pulsation proche du seuil de perception de hauteur, à ou au-dessous de 20-30 hertz), et pour les modulations entre, par exemple, les formes spectrales de différentes voyelles, on l'entend alors à la fois le grain du battement et une hauteur plus ou moins bien définie qui change d'une voyelle à l'autre, et qui est déterminée par le premier formant. Cette sensation de hauteur est plus faible lorsque la forme spectrale est stable, tandis que lorsqu'elle bouge, on l'entend

presque comme un intervalle de hauteurs. Cette sensation s'affirme à mesure que la largeur de la bande rétrécit, et elle est renforcée par le fait que les anciennes fréquences de formants prennent une apparence de partiels. Ce phénomène illustre très bien la comparaison entre formes spectrales et accords inharmoniques équivalents. Si, par ailleurs, on stimule les résonances aux fréquences audibles, ce qui produit une nette impression de hauteur, le timbre de la forme spectrale se rapproche de celui de la voix, et les formants se résolvent en une image unique. L'effet de hauteur dû aux harmoniques domine totalement toute sensation de hauteur ou de timbre provenant du premier formant. Lorsque la bande passante se rétrécit et que l'on évolue vers un accord, la relation entre le timbre et l'accord est beaucoup moins évidente si l'on part d'un timbre vocal à une seule hauteur pour aboutir à un accord inharmonique. Dans cette dernière classe d'effets, les structures qui produisent à la fois des formes spectrales et des accords intéressants et des relations intéressantes entre eux sont localisées dans une région restreinte, comme l'indique la figure 4. On est limité, ici, par la force de la sensation de hauteur. Précisons de nouveau que le problème est de trouver des exemples de matériaux intéressants et reliés entre eux, puis de découvrir un moyen, présentant un intérêt musical, pour passer des uns aux autres sans perdre la cohérence musicale dans les étapes intermédiaires.

Lorsque l'on travaille sur un mélange de processus sonores dont certains sont familiers et d'autres non, l'un des problèmes les plus fascinants réside dans la différence d'aptitude à les mémoriser. A l'écoute de *Jardin Secret*, où alternent des passages de sons harmoniques et des nappes de sons inharmoniques, de nombreux auditeurs ont retenu en priorité les passages vocaux, qu'ils ont paru se rappeler plus en détail. Le souvenir des autres parties semblait plus global, et, apparemment, ce sont surtout les sections composées de sons familiers qui produisaient une impression de structure, de points de repères mémorables dans l'œuvre. Une fois de plus, le problème des schémas de la perception habituelle revient hanter le compositeur qui désire explorer de nouveaux champs d'expériences perceptives (McAdams 1982). On ne peut guère apporter d'éclaircissements sur ce problème, sinon en remarquant qu'il est omniprésent, et qu'il s'agit là d'un phénomène socio-perceptif d'une ampleur considérable, auquel nous devons faire face.

#### IV. Vers une composition projective avec le timbre

Nous avons progressé sensiblement sur la voie qui mène à une compréhension de la nature des éléments porteurs de forme et à une évaluation de la capacité qu'ont certaines dimensions du timbre de satisfaire à de tels critères. Des pas plus modestes ont été accomplis vers le développement aussi bien des outils nécessaires à l'exploration complète et systématique de ces domaines que de l'environnement permettant de synthétiser, avec un certain degré de flexibilité, des structures complexes de ce type.

Mais, si nous laissons de côté les problèmes techniques, que nous efforçons-nous d'obtenir?

Traduisons le poète Charles Olson, et mettons de la musique là où il considère le poème :

« Un poème, c'est de l'énergie transférée de l'endroit où le poète l'a trouvée (il aura des causes plurielles), à travers le poème lui-même, jusqu'au bout, jusqu'à l'auditeur. O.K. Le poème lui-même doit être, en tous points, une construction de haute énergie, et, en tous points, une décharge d'énergie. Alors : comment le poète

*peut-il obtenir cette même énergie, comment est-il, quel est le processus par lequel il entre, en tous points, une énergie au moins égale à celle qui l'a propulsé en premier lieu, mais une énergie qui est propre à la poésie seule, et qui sera, de toute évidence, différente aussi de l'énergie que l'auditeur, troisième maillon de la chaîne, emportera? Tel est le problème auquel doit particulièrement faire face tout poète qui se déprend des formes closes. Et cela entraîne toute une série de nouvelles reconnaissances. Dès le moment où il s'aventure dans la COMPOSITION EN CHAMP (field composition) — qu'il se met en champ libre — il ne peut emprunter d'autre voie que celle que le poème, sous la main, déclare être sienne. Ainsi doit-il se comporter, et être, d'instant en instant, conscient des forces plurielles qui commencent seulement maintenant à être examinées. La forme juste, dans tout poème donné, est la seule extension exclusivement possible du contenu à notre disposition »* (1950: 148).

Ce que nous recherchons, c'est une forme de connectivité, tant de surface que de structure, qui nous projette continûment ou abruptement d'un moment d'expérience musicale dans le suivant, de la qualité du matériau dans la nature de son organisation. Les multiples trajets à travers ce champ nous révèlent la forme. Mais il nous faut, en explorant des matériaux *nouveaux* plutôt que des relations nouvelles entre des matériaux *familiers*, acquérir une sensibilité au vocabulaire de ces matières, un sens dont nous puissions nous imprégner, et avec lequel nous puissions vivre *loin des ordinateurs, par exemple*, pour que nos imaginations musicales puissent découvrir les formes possibles au sein de ces matières. Il n'appartient pas à l'ordinateur d'assumer une fonction imaginative, laquelle est le propre de l'esprit humain. Malgré tout, puisque l'ordinateur nous a donné la possibilité d'explorer ces nouvelles matières, notre curiosité nous oblige à le faire, à les organiser et à apprendre leur nature, afin de mieux les plier à nos élans créateurs. Cette organisation implique que l'on élabore des façons de penser et d'imaginer ces matières, et, tant que nous n'aurons pas franchi cette étape et retrouvé toute notre *liberté d'imagination* loin de notre terminal, cette technologie ne servira aucun but artistique.

## Les hiérarchies de timbres\*

par Fred LERDAHL

« ... Le son devient perceptible grâce à la couleur sonore, dont l'une des dimensions est la hauteur... Ainsi, si, à partir de couleurs sonores différenciées en fonction de la hauteur, l'on peut créer des motifs — que l'on appelle « mélodies » —, des progressions dont la cohérence s'apparente à celle des processus cognitifs, on doit pouvoir également construire des progressions à partir des couleurs de l'autre dimension, à partir de ce que l'on peut appeler des progressions de la simple « couleur sonore », dont les relations suivraient une logique tout à fait équivalente à celle qui nous satisfait dans les mélodies de hauteurs » (Schoenberg 1911).

« Grâce au contrôle du timbre que permettent à présent l'analyse et la synthèse sonores, les compositeurs (...) peuvent élaborer des structures musicales qui déclinent des variations de timbre plutôt que de hauteurs (...) La possibilité de contrôler le timbre permet d'envisager une remise en question de l'architecture musicale (...) » (Risset et Wessel, ici même).

### Introduction

L'idée d'une organisation des timbres aussi riche que celle des hauteurs, entrevue par Schoenberg il y a trois quarts de siècle, reste encore à exploiter. Certes, le timbre joue, depuis, un rôle croissant dans la composition, mais, en l'absence d'un système plausible, les compositeurs ont généralement dû en faire un usage non structuré. Avec l'avènement de la musique informatique, la question s'est faite plus pressante. Le timbre offre désormais une infinité de possibilités, au point qu'il devient urgent de savoir comment les choisir et les organiser. Parallèlement, grâce à l'analyse et à la synthèse numériques, on dispose d'un laboratoire extraordinaire pour explorer l'univers du timbre. Le temps est venu d'élaborer une authentique syntaxe du timbre. Mais sur la base de quels principes? Comment? Et quelles peuvent en être les conséquences?

Cet article tentera d'apporter une réponse partielle à ces questions, dans le sillage naturel, bien que peut-être surprenant, de la théorie générative de la musique tonale que Ray Jackendoff et moi-même avons élaborée (Lerdahl et Jackendoff 1983). Mon cheminement conduit, en passant par certaines

---

\* Traduction de « Timbral Hierarchies », *Contemporary Music Review*, vol. 2, n° 1, 1987.

considérations théoriques, au concept de «développement structurel du timbre». Je décris ensuite les recherches préliminaires que j'ai menées à l'I.R.C.A.M. selon ces axes, en septembre 1984. Je conclurai par un aperçu des implications musicales et psychologiques de ce problème.

## I. Contexte

### 1. *La théorie générative de la musique comme psychologie*

Pour Jackendoff et moi-même, la théorie musicale est une des branches de la psychologie qui a pour objet d'expliquer la nature des facultés cognitives musicales. Lorsqu'il écoute une œuvre, l'auditeur priviliege certaines structures. Notre théorie s'efforce d'identifier ces structures dans un cadre formel, et de définir les principes qui font que l'auditeur les perçoit. Comme l'indique la figure 1, cette théorie se présente comme un ensemble de règles qui déterminent, ou «génèrent», les structures musicales qu'un auditeur familiarisé avec un idiome donné associe à une séquence de signaux musicaux appartenant à cet idiome. Au départ, la théorie se concentre sur un idiome particulier, en l'occurrence la musique tonale classique (un champ trop vaste ferait obstacle à toute recherche en profondeur), mais, en réalité, notre travail se propose de structurer la compréhension musicale en tant que telle, au-delà des contingences propres à un idiome. Bien que certaines règles ne s'appliquent qu'à la musique classique, nous estimons que la plupart ont une portée «universelle». Contrairement aux principes des théories spéculatives traditionnelles, elles permettent de tirer des conclusions vérifiables expérimentalement, et exigent révision lorsqu'elles sont inadéquates.

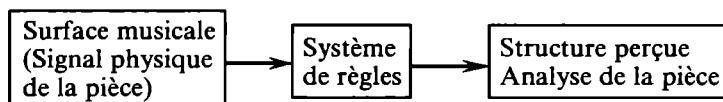


Figure 1.

Il est d'autant plus important de dégager la dynamique psychologique de cette théorie que l'organisation du timbre est, avant tout, une question de perception. Il est facile de construire arbitrairement une syntaxe des timbres — en la calquant, par exemple, sur celle des douze tons — qui soit rigoureuse, certes, mais imperméable à toute compréhension musicale<sup>1</sup>. Lorsqu'on explore des territoires musicaux inconnus, il importe de garder comme critère la perceptibilité. Il convient donc de s'appuyer sur une théorie solidement étayée de la compréhension musicale, comme Jackendoff et moi-même l'avons fait, même si, dans un premier temps, cela nous détourne de notre objet principal, le timbre.

Cela dit, je ne tiens à alourdir cet exposé ni de justifications méthodologiques, ni par un débat sur les processus opératoires de la théorie. Je propose,

1. C'est bien sûr ce qui s'est produit pendant la période de sérialisme absolu dans les années 50. Pour une version mise à jour, voir Slawson (1985). Son exposé des aspects psychoacoustiques de la perception des timbres ne manque pas de subtilité, mais il le passe ensuite au broyeur du sérialisme américain. Si, après toutes ces années, la structure sérielle d'une œuvre de Schoenberg n'est pas encore immédiatement perceptible pour un auditeur averti, que dire de séries de timbres totalement combinatoires? Elles ne peuvent que produire une impression d'incohérence.

plutôt, de ne citer que les éléments qui se rapportent directement au sujet, avec l'espoir que le reste soit provisoirement pris comme digne de foi.

## 2. Hiérarchies et associations

Au cœur de cette théorie réside la distinction entre structures hiérarchiques et structures associationnelles. J'entends par « hiérarchie » l'organisation d'éléments (ou régions) discret(e)s, dans laquelle un élément peut être subordonné à un autre, ou être contenu dans un autre; les éléments ne peuvent pas se chevaucher, ils doivent être adjacents à tous les niveaux, et le rapport de subordination peut être récurrent de niveau en niveau. La théorie distingue et formalise quatre types d'organisation hiérarchique.

*La structure de groupement* décrit la façon dont l'auditeur opère le découpage de la musique en unités de taille variable. *La structure métrique* désigne la hiérarchie des pulsations que l'auditeur attribue à la musique. *La résolution temporelle* établit l'importance structurelle relative des événements sonores par rapport aux unités rythmiques perçues d'une œuvre. *La réduction prolongationnelle* (qui rappelle à certains égards la réduction schenkerienne) développe une hiérarchie des stabilités de hauteurs liée à la perception de motifs de tension et de détente. Nous reviendrons sur deux de ces catégories lors de notre exploration du timbre.

Par « association », j'entends la distance ou la proximité relative que l'on perçoit entre les idées (ou objets) musicales(aux). Une idée est étroitement associée à une autre lorsque le passage de l'une à l'autre n'exige que quelques opérations psychologiques viables; c'est-à-dire que les idées entretiennent des relations spécifiques, mais non hiérarchiques. En général, on pense les motifs et les relations de timbres en termes d'association pure et simple. Le fait que le motif A ressemble davantage au motif B qu'au motif C est dû à un rapport de similitude, non de hiérarchie; de même, le hautbois se rapproche plus d'une trompette que d'un alto; il ne s'agit là ni de subordination ni d'inclusion.

Notre théorie fonde l'assignation de structures hiérarchiques en partie sur des associations (ou « parallélismes »), mais elle n'a pas encore de règle propre pour la structure associative en tant que telle. Il y a à cela plusieurs raisons, qui toutes sont liées à l'organisation du timbre. Tout d'abord, il nous a semblé important de commencer par les hiérarchies, car c'est un fait avéré en psychologie qu'un sujet apprend et mémorise d'autant mieux qu'il peut organiser de façon hiérarchique ce qu'il perçoit. Dans le cas contraire, la perception d'une organisation se trouve relativement diminuée<sup>2</sup>. En deuxième lieu, le degré d'association des éléments dépend en grande partie de la façon dont ils s'inscrivent dans une hiérarchie donnée: si leur classification hiérarchique est voisine, ils seront plus vraisemblablement perçus comme proches. Une théorie des associations exige donc que soit possée au préalable une théorie des hiérarchies. Troisième point, d'ordre plus pragmatique: les contraintes formelles d'une hiérarchie stricte facilitent l'élaboration de la théorie. Les associations, au contraire, ont une structure plus souple (il leur manque d'être « bien formées »), et, traitées séparément, se prêtent mal à l'élaboration d'un système.

---

2. On trouvera un point de vue général dans Miller, Galanter, et Pribram (1960), Simon (1962), et Neisser (1967), par exemple. L'aspect musical est débattu, entre autres, par Deutscher Feroe (1981), Deutsch (1982), Krumhansl et Kessler (1982).

Ces considérations valent également pour l'organisation des timbres. On a traditionnellement traité le timbre comme un élément purement associatif alors que, s'il est organisé et perçu de façon hiérarchique, il induira chez l'auditeur l'impression d'une structure beaucoup plus riche. Je dirais que si le timbre a été cantonné dans un rôle secondaire en musique, c'est que, contrairement aux hauteurs et aux rythmes, il a manqué d'une véritable organisation hiérarchique.

On pourra objecter que, par nature, les hauteurs et les rythmes se prêtent mieux à une organisation hiérarchique que les timbres<sup>3</sup>. C'est peut-être le cas, mais rien ne me semble *a priori* justifier un tel pessimisme. Après tout, à certains stades de l'évolution, nos ancêtres ne pratiquaient pas l'organisation métrique des sons et n'avaient ni toniques ni ornements. De la même façon, les gammes pentatoniques et diatoniques n'existent pas «dans la nature», mais sont des produits de la culture. Ces gammes présentent peut-être certains avantages psychoacoustiques et conceptuels pour la perception humaine, ce qui pourrait expliquer leur universalité culturelle. Toutefois, elles ont bien été *inventées* à un moment donné; peut-être pouvons-nous réaliser quelque chose de comparable avec le timbre. (Il est intéressant de remarquer que les premiers traités de musique — ceux des Grecs et des Chinois, par exemple — portent sur les gammes, leur accord et leur organisation fondamentale; peut-être arrivons-nous à une situation comparable avec le timbre).

### *Structure de groupement et réduction prolongationnelle*

Des quatre structures hiérarchiques possibles que propose la théorie, deux ne semblent guère prometteuses pour la construction d'une hiérarchie des timbres (quoiqu'elles puissent jouer un rôle dans un contexte musical, une fois établie une théorie hiérarchique): il s'agit de la structure métrique et de la réduction temporelle. Les deux autres — structure de groupement et réduction prolongationnelle — paraissent en revanche plus fécondes. Examinons-les brièvement, puis voyons comment elles s'appliquent au timbre.

La figure 2a montre l'organisation de base de la structure de groupement. Tous les événements du groupe **a** sont perçus comme apparentés; de même pour le groupe **b**; en outre, les groupes **a** et **b** sont perçus comme appartenant au groupe **c** (d'où la nature hiérarchique de la structure de groupement). Une organisation de ce type peut exister à tous les niveaux musicaux. Au niveau local, les groupes **a** et **b** peuvent être des motifs, au niveau intermédiaire, des phrases, et au niveau global, des sections. Dans une œuvre complète, l'auditeur entend une structure de groupement complexe dont les éléments sont fortement imbriqués<sup>4</sup>.

3. Boulez partage ce point de vue (1963; 1985), bien qu'il s'intéresse depuis longtemps aux nuances et aux transformations de timbre. Babbitt (1965b) affirme que le timbre, «pour lequel une gamme ne serait jamais que nominale, est le paramètre musical le moins susceptible d'être structuré». Par gamme «nominale», il veut dire que l'on peut à peine identifier les timbres; ce qui est faux, puisque les timbres peuvent également être organisés en gammes ordonnées selon des paramètres perceptifs propres (Cf. Wessel 1979).

4. Dans le domaine de la psychologie, le terme «groupe» renvoie souvent aux premiers niveaux d'agrégats musicaux (Cf. Deutsch 1982a pour un panorama de cette littérature). Jackendoff et moi-même avons généralement considéré ces niveaux comme allant de soi, et réservé le terme de «groupe» à des degrés d'organisation supérieurs comme le motif ou la phrase. Pour bien rendre compte des phénomènes de groupe, il faudrait inclure tous ces niveaux car tous obéissent aux principes d'organisation des lois de la Gestalt sur la proximité, la similarité et la bonne continuation. Aux niveaux les plus bas, toutefois, les groupements ne font que séparer le signal en unités ou courants divers, sans les organiser en les inscrivant dans une hiérarchie.



Figure 2.

La figure 2(b) montre une organisation comparable pour la réduction prolongationnelle. Comme les groupes a et b de 2(a), les régions d'extension i et i de 2(b) contiennent des séquences d'événements. L'arbre du haut, en revanche, s'applique à des événements individuels (en général des « événements de hauteurs », mais pas nécessairement). La branche orientée vers la droite indique qu'un événement est subordonné à celui qui le précède ; vers la gauche, il est subordonné à l'événement suivant. En 2(b), e1 (« événement n° 1 ») est entendu dans la région i, et e2 dans la région j ; tous deux appartiennent à la région k, et, dans ce contexte, e1 est perçu comme subordonné à (ou comme développement de) e2. Rappelons que de tels motifs peuvent se rencontrer à tous les niveaux d'organisation.

Il existe trois types de nœuds de ramifications dans un arbre prolongationnel qui indiquent le degré de continuité entre les événements. Un cercle vide, comme sur les figures 3(a) et 3(d), représente une liaison où un événement est répété ; c'est ce que l'on appelle une *prolongation forte*. Un cercle plein, comme en 3(b) et 3(e), indique une liaison où un événement évolue vers une forme modifiée de lui-même ; c'est ce que l'on appelle une *prolongation faible*. Un nœud sans cercle, comme dans 3(c) et 3(f), représente une liaison où s'enchâînent deux événements totalement différents ; c'est ce que l'on appelle une *progression*. Ces nœuds présentent un autre aspect important, à savoir qu'une ramifications à droite (3 [a]-[c]) indique un mouvement de tension vers un événement moins stable, et une ramifications à gauche (3 [d]-[f]) une détente vers un événement plus stable. En outre, il y a divers degrés de tension et de détente. Avec une ramifications à droite, la liaison la moins tendue est une prolongation forte, ou répétition (3 [a]). Avec une ramifications à gauche, la liaison la plus détendue est la progression vers un événement plus stable (3 [f]). Si tout le reste est égal, l'auditeur, afin d'entendre la structure la plus stable possible, recherche les liaisons les moins tendues avec le degré le plus élevé de résolution. Dans une composition, l'arbre prolongationnel forme un ensemble très complexe, et décrit tous les niveaux de tension et de détente entre les événements et leur agencement.

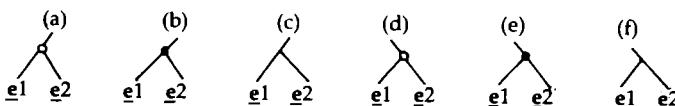


Figure 3.

Revenons à la figure 2. Les groupements et les régions prolongationnelles sont similaires, dans le sens où elles représentent toutes deux des segmentations

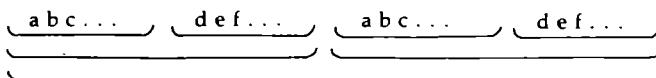
hiérarchisées du temps musical (a, b, et c dans 2(a); i, j, et k dans 2(b)). Toutefois, elles diffèrent sur deux points essentiels. Tout d'abord, leurs segmentations sont souvent conflictuelles, ce qui produit un contrepoint structurel entre les hiérarchies essentielles au flux musical. Deuxièmement, et c'est le point le plus important, il n'y a dans la structure de groupement rien de comparable à un arbre prolongationnel analysant les événements individuels. Dans la figure 2(a), les groupes a et b appartiennent au groupe c, mais il n'existe aucun rapport de domination ou de subordination entre a et b tel qu'il en existe entre les événements e1 et e2 dans 2(b). Un événement structurel non négligeable a été ajouté en 2(b).

### *Les structures de groupement du timbre*

Comment ces structures peuvent-elles s'appliquer au timbre? Voyons d'abord le groupement : il existe dans les familles et sous-familles d'instruments une sorte de structure de groupement implicite, fondée sur la similarité. A l'époque classique, ces familles jouaient un rôle déterminé, qui renforçait l'organisation rythmique et mélodique alors prévalente. Cette tendance s'expliquait en partie par les limites propres aux instruments. Par exemple, les cuivres (et les timbales) ne pouvaient produire que les notes des accords de tonique et de dominante, et, en les jouant, accentuaient la force des principales harmonies résolutives.

On peut aisément imaginer, en particulier compte tenu des possibilités de contrôle qu'offre l'informatique musicale, une extension des familles de timbres vers une profondeur d'imbrication dépassant largement deux ou trois niveaux. Là aussi, les familles et sous-familles joueraient des rôles spécifiques.

On peut envisager d'autres possibilités, plus conformes à l'esprit des structures de groupement décrites précédemment, qui dépendraient moins des familles que de la redistribution du rôle des timbres par rapport aux autres paramètres musicaux dans les structures de groupes. Imaginons, par exemple, que des motifs de rythmes ou de hauteurs suggèrent faiblement la structure de groupement de la figure 4. Cette structure s'imposerait avec plus de force si les timbres s'articulaient sur le modèle de cette figure. Plus précisément, la séquence des timbres a b c débute, et renforce ainsi, par un effet de parallélisme, les deux groupes du niveau intermédiaire.



*Figure 4.*

Ce type de développement est déjà utilisé, dans une certaine mesure, en musique contemporaine. Pensons, par exemple, à la mise en place temporelle des combinaisons instrumentales dans *Chronochromie*, de Messiaen. Dans cette œuvre, les principaux découpages sont suggérés de la façon la plus évidente qui soit, à savoir par des pauses; mais ces pauses ne suffisent pas pour opérer un regroupement des sections en ensembles plus vastes. C'est la répartition des timbres qui assume l'essentiel de cette fonction. Sans cette organisation, *Chronochromie* n'aurait aucun relief hiérarchique, d'autant que la structure des hauteurs dans l'œuvre est très peu marquée. Le timbre n'est donc plus

uniquement une « couleur », mais il devient un élément porteur de forme essentiel<sup>5</sup>.

Il me semble méritoire mais quelque peu limité de développer plus avant l'organisation du timbre sur ces axes. La structure de groupement est, après tout, la plus simple des organisations hiérarchiques. Posons plutôt la question suivante : comment faire bénéficier les rapports de timbres de paramètres semblables à ceux des hauteurs, tels que transposition, renversement, ornementation et résolution ? Il faut pour cela aborder le timbre sous l'angle de la réduction prolongationnelle.

## II. Préliminaire à une structure prolongationnelle des timbres

### 1. *Consonance et dissonance de timbre*

La réduction prolongationnelle se décrit à deux niveaux. Premièrement, parmi les configurations possibles, des échelles de stabilité sont nécessaires. Pour la structure des hauteurs, ces échelles sont déterminées par les principes de consonance et de dissonance des intervalles, de voix dominante, et d'articulations modales et harmoniques. Lorsqu'il apprend un idiome musical, l'auditeur intérieurise ces « conditions de stabilité », qui diffèrent plus ou moins d'un idiome à l'autre. En élaborant notre théorie, Jackendoff et moi-même sommes passés outre ce premier niveau pour nous concentrer sur le second, produit direct du premier. Le deuxième niveau décrit l'interaction entre les conditions de stabilité et les éléments rythmiques, dont dépend la perception des hiérarchies dans un passage musical donné. Comme nous l'avons déjà indiqué, notre modèle de composante prolongationnelle donne une image détaillée de ce processus<sup>6</sup>.

Nous avons pu établir en détail les conditions de stabilité grâce à la richesse, tant théorique que pratique, de la tradition de la musique tonale. Il n'existe rien de comparable lorsqu'on touche à l'organisation des timbres. Il faut donc élaborer les conditions de stabilité des timbres en partant de zéro. Je pense qu'ici, intuitivement, il est utile de penser cette question de stabilité ou d'instabilité relative en termes de consonance et de dissonance, au sens large. Dans la musique tonale, par exemple, une septième est plus dissonante et moins stable qu'une sixte ; un accord de trois notes non tonique est plus dissonant et moins stable qu'un accord parfait, et ainsi de suite. Mais alors, en quoi consistent la consonance et la dissonance de timbre ?

Quelques exemples vont illustrer les intuitions nécessaires. Afin d'isoler les effets de timbres, partons du principe que l'intensité et la hauteur ne varient dans aucun des cas.

1. Un violon est plus « brillant » qu'un alto, un hautbois qu'une clarinette, une trompette qu'un cor. Toutes choses égales par ailleurs, un son relativement

5. Dans sa préface à la partition de *Chronochromie*, Messiaen écrit que le timbre a pour fonction de faire ressortir la trame des séries de durées. L'utilisation des timbres pour mettre en valeur le contrepoint est très ancienne, et elle a été étudiée en psychologie comme un élément de la catégorisation du flux auditif (McAdams et Bregman 1979). Cette utilisation du timbre contraste avec les structures de regroupement recherchées ici (voir note 4).

6. Bharucha (1984b), poursuivant certaines expériences pluridisciplinaires (Castellano, Bharucha et Krumhansl 1984), et partiellement en réaction à notre théorie, insiste, à juste titre, sur cette distinction entre les différents niveaux de perception. Il parle de « hiérarchie d'événements » (pour les arbres prolongationnels se rapportant aux séquences d'événements).

brillant est plus tendu qu'un son plutôt plat. (La brillance reproduit au niveau de la perception la répartition de l'énergie sur le spectre (Wessel 1979).)

2. Un violon, ou une voix, possède un degré de vibrato (vitesse de modulation) optimal, qui est plus consonant, moins tendu, que le *molto vibrato*, ou même que le *non vibrato*. Un vibrato profond perturbe la perception, tandis qu'une absence totale de vibrato favorise la dispersion (audition des composantes du spectre) au détriment de la fusion, et peut produire un effet de son grinçant. Il en va de même pour le trémolo (modulation d'amplitude) (McAdams 1984b).

3. Une attaque ou un relâché rapide est plus tendu et dissonant qu'une attaque ou un relâché progressif. Par ailleurs, une enveloppe d'amplitude qui monte « très lentement » produit un effet gênant. De même que pour le vibrato et le trémolo, il semble qu'il y ait une forme spécifique d'enveloppe optimale.

4. Une octave ou une quinte non accordée — ou tout autre intervalle de petite taille — produit le phénomène bien connu des battements ; elle est plus « rugueuse », ou dissonante, qu'une octave ou une quinte accordée. (Les battements et la rugosité sont dus à une interférence, dans l'oreille interne, de fréquences d'une même bande critique. Cf. Plomp et Levelt 1965.)

5. Une note dotée d'un spectre harmonique (multiples entiers de la fréquence fondamentale) est plus consonante qu'une note au spectre inharmonique. Au-delà d'un certain degré d'inharmonicité des spectres, les mécanismes d'extraction des hauteurs (centres auditifs supérieurs) hésitent sur le choix de la fondamentale, et peuvent même diagnostiquer un « bruit » (Terhardt 1974).

6. Les sons identifiables sont plus apaisants et plus consonants que les sons non identifiables. Imaginons, par exemple, la transformation électroacoustique d'une clarinette en violoncelle ; les étapes de transition seront perçues comme relativement dissonantes, parce qu'elles produiront des sons inhabituels et donc difficiles à classer.

Cette liste n'est pas exhaustive — on pourrait ajouter les effets stabilisateurs, tels que le « jitter »<sup>7</sup> et le glissando, sans parler des divers bruits — mais elle devrait suffire à notre propos. Notons sa diversité : (1) est fondamental pour la perception des voyelles, et joue un grand rôle dans la perception du timbre (pour l'élaboration des structures en formants, dont nous parlerons plus loin). (2) et (3) représentent des variations de certains paramètres physiques qui sont évalués à la fois au niveau auditif et en référence à des archétypes culturels. (6) renvoie également à des archétypes, mais qui, là, sont purement culturels. (4) et (5) illustrent les théories actuelles des doubles composantes de la perception des hauteurs (la théorie de la rugosité de Helmholtz/Plomp et les récentes théories sur la reconnaissance des motifs (Terhardt 1974)).

Le timbre est, de toute évidence, un phénomène multidimensionnel, ce qu'occulte le fait d'user du même terme pour désigner tout un ensemble de caractéristiques. La diversité même du timbre explique en grande partie pourquoi il s'est si mal prêté à une organisation. Les notions de consonance et de dissonance de timbre présentent l'avantage d'unifier ces multiples dimensions autour d'un concept unique. Il est essentiel que ce concept ne soit pas purement abstrait, mais qu'il intègre l'intuition ; on peut, en déclinant un paramètre donné, sentir que le timbre est de plus en plus consonant ou

---

7. Micro-variations aléatoires de la fréquence fondamentale.

dissonant. Cette intuition peut nous aider à établir des conditions de stabilité qu'exige une structure prolongationnelle appliquée au timbre.

On se pose la question de savoir — et c'est l'objet d'un débat intéressant — quelles sont les conditions de stabilité, pour la hauteur comme pour le timbre, du son en soi, naturel, par opposition au système et au contexte dans lequel il s'inscrit. C'est, entre autres, par réaction contre l'utilisation abusive des vertus explicatives de la série des sons naturels que des auteurs tels que Babbitt (1965) ont rejeté l'idée que la consonance et la dissonance ont des bases naturelles. Et pourtant, au même moment, des psychoacousticiens parachevaient de savantes explications de la consonance et de la dissonance. Sans entrer dans les détails, je pense qu'il existe un cadre sensoriel pour la consonance et la dissonance, même si le système et le contexte jouent un rôle important et souvent décisif. Il serait difficile de créer un système ou un contexte ayant la moindre profondeur hiérarchique pour lequel l'octave se résoudrait en septième, car ces deux intervalles sont trop différents en termes de consonances. Les consonances de la tierce et de la quarte, en revanche, sont perceptivement assez proches pour que leur dissonance ou consonance musicale dépende principalement du style. Il y a donc une marge à l'intérieur de laquelle on peut construire des hiérarchies de timbre complexes, pourvu que ces dernières s'appuient sur et renforcent les bases naturelles de la perception, bases acoustiques, physiologiques et neuropsychologiques. Il en va de même pour le timbre. A mon sens, il est tout simplement raisonnable de développer des consonances et des dissonances de timbre à partir de l'expérience sensorielle, plutôt que sur quelque base arbitraire. Le système produit, loin de partir de zéro, peut s'inspirer des données de la perception brute.

## 2. *Differences entre hauteurs et timbres*

Comme le faisait remarquer Schoenberg dans la citation en épigraphe à cet article, la hauteur et le timbre sont les attributs perceptuels d'un même signal acoustique. Les praticiens de la musique informatique savent à quel point la frontière qui les sépare est facile à brouiller. Certains compositeurs contemporains, en France notamment, font de la fusion entre timbre et hauteur un point de départ (cette tendance trouve son origine dans les *Klangfarbenmelodien* de Schoenberg). Toutefois, il existe entre ces deux paramètres des différences qu'il convient de mentionner avant de les associer davantage. Tout d'abord, le continuum des hauteurs s'est mieux prêté à la création de catégories discrètes, d'intervalles mesurables, que le continuum des timbres. Presque toutes les cultures musicales ont constitué des structures de hauteur; sans elles, il est impossible d'élaborer un idiome cognitif (Burns et Wards 1982). Ce qui n'exclut pas, à l'occasion, l'utilisation de hauteurs intermédiaires étrangères à celles du modèle, pourvu que ces dernières restent les points de référence. Il n'est pas nécessaire d'avoir une justesse absolue des fréquences des hauteurs, mais il faut que les intervalles *entre* ces fréquences soient réguliers. Un accord absolu n'est pas nécessaire, pourvu que les intervalles restent identifiables<sup>8</sup>.

L'univers du timbre, après tout, n'est pas totalement continu, et l'on peut

8. Selon Becker et Becker (1979), cette exigence ne s'applique pas à certaines musiques de gamelan. J'aurais tendance à penser, toutefois, que la notion d'intervalle perçu est de beaucoup la plus répandue. (La structure des hauteurs n'y est pas très développée sur le plan hiérarchique, mais ceci est compensé par l'organisation des rythmes et des timbres.)

reconnaitre les catégories et les familles d'instruments même lorsque le signal acoustique et le contexte connaissent de grandes variations. Ces catégories n'ont cependant pas été jusqu'à présent aussi précises que celles des hauteurs, ce qui a empêché qu'une notion d'« intervalle de timbres » puisse vraiment leur être appliquée. Si l'on veut obtenir une structure prolongationnelle des timbres, il faut que ces derniers soient séparés par des intervalles fixes. Comme pour les hauteurs, il ne s'agit pas d'exclure ornements de timbres ou glissando au sein d'une même catégorie ou entre catégories de l'espace du timbre.

Par ailleurs, il est préférable que les catégories de timbres comportent un nombre limité d'éléments, car, d'une façon générale, la multiplicité des éléments complique considérablement le traitement des phénomènes perceptuels (Miller 1956, Burns et Ward 1982). Ceci conduit à une deuxième différence importante entre la hauteur et le timbre : la hauteur permet les relations d'octave (soit périodiquement récurrentes), contrairement au timbre. Par exemple, les 88 notes du piano se décomposent en séries chromatiques de 12, en séries diatoniques de 7, et en triades de 3, qui se répètent d'octave en octave. L'existence de l'octave facilite l'apprentissage et la mémorisation, et permet de décrire le réseau des relations musicales avec la théorie mathématique des groupes (Longuet — Higgins 1962a,b ; Balzano 1982). L'absence apparente de relation d'octave dans le timbre fait obstacle à son organisation.

La multidimensionnalité du timbre est, comme nous l'avons déjà signalé, la troisième grande différence entre hauteur et timbre. Certes, on peut représenter les relations de hauteurs en deux dimensions ou davantage (comme dans Shepard 1982a), mais on s'accorde généralement pour ne considérer qu'une hauteur relative dans un espace linéaire, associée, sur le plan acoustique, à une fréquence donnée. Pour obtenir un résultat comparable avec le timbre, il faudrait le réduire à un seul de ses paramètres, tel que la brillance. La nature multidimensionnelle du timbre permet de pallier l'absence de relation d'octave, en même temps qu'elle complique l'établissement d'intervalles de timbres, car les facteurs reliant un timbre à un autre sont très complexes sur le plan acoustique et perceptif.

Il existe une quatrième différence : les hauteurs ne sont pas consonantes ou dissonantes dans l'absolu, et la structure des hauteurs est exclusivement relative. Consonances et dissonances naissent des combinaisons de hauteurs et de leur relation à la tonique définie par le contexte. Toutefois, comme nous l'avons suggéré, certains timbres sont, par nature, plus consonants ou plus dissonants que d'autres. Cette différence influe sur les types de conditions de stabilité qui se manifesteront.

### *3. Prototypes de timbres*

Nous devons, à ce stade, examiner le timbre sous l'angle des prototypes psychologiques (Rosh 1975). Un bon nombre de catégories cognitives et perceptives incluent des éléments qui occupent une position centrale, plus stable, ou plus représentative. Par exemple, certains rouges (certaines chaises) sont plus prototypiques que d'autres rouges (ou d'autres chaises). Les catégories peuvent se conjuguer, ce qui crée une interaction entre leurs paramètres ; ainsi, une chaise rouge peut être moins prototypique qu'une autre (et cette dernière peut être soit moins « rouge », soit moins « chaise » que la première, soit les deux à la fois). Les prototypes tendent à « absorber » les non-prototypes dans leur catégorie : on dira qu'un rose ou un fuchsia est psychologiquement plus proche du rouge que l'inverse.

Pour appliquer ce principe au timbre, il faut considérer le timbre le plus consonant d'une catégorie comme prototypique. C'est ce que nous avons fait implicitement lorsque, précédemment, nous nous sommes référés à des vibratos, trémolos et enveloppes d'amplitudes « optima » (points (2) et (3), dans la liste des variétés de consonances et de dissonances de timbre). Notons que, dans ce cas, les valeurs prototypiques se situent vers le milieu du paramètre considéré, alors que si l'on considère l'harmonicité (point (5) de la liste), elles sont situées à l'extrême de sa consonance.

Les timbres prototypiques correspondent parfaitement à ce que l'on appelle en terminologie informatique des « valeurs par défaut », c'est-à-dire les valeurs des paramètres fournies par le programme en l'absence de spécification de l'utilisateur. Tout comme les prototypes, elles doivent être des valeurs de référence standard. Les prototypes peuvent servir de points de repère et d'étalons sur la base desquels on mesure d'autres valeurs. Ce concept comprend aussi bien les paramètres isolés que les combinaisons de paramètres, comme avec nos chaises rouges : par exemple, le timbre le plus consonant d'un ensemble où varient à la fois le vibrato et la distribution des harmoniques. Il faut, pour inventorier ces interactions, pratiquer un bon nombre d'expérimentations (Grey 1977; Wessel 1979)<sup>9</sup>.

Il ne suffit pas, toutefois, de déterminer des timbres prototypiques pour pouvoir mesurer la distance psychologique entre les membres d'une catégorie : pour cela, il faut des intervalles de timbres.

#### 4. Échelles et intervalles de timbres

Notons, avant de poursuivre, qu'aucune de nos tentatives de structuration ne serait envisageable sans l'aide de l'ordinateur. Les instruments acoustiques n'ont ni la précision ni la souplesse nécessaires, et, même s'ils peuvent émettre un timbre prototypique, ils ne sauraient le reproduire avec une quelconque fiabilité ; de même pour les intervalles de timbres, que l'on doit pouvoir reproduire aussi sûrement qu'avec les hauteurs. En outre, les intervalles de timbres des instruments relèvent le plus souvent d'un hasard historique. Avec les cordes, par exemple, les distances sont trop rapprochées, alors qu'avec les bois elles sont trop irrégulières. Seule la synthèse numérique permet de contrôler avec suffisamment de précision les paramètres du timbre en même temps que la diversité de la palette.

Il est plus simple, dans un premier temps, de se limiter à l'élaboration d'échelles à une seule dimension où la distance entre un timbre et un autre reste la même. On part du principe que la hauteur et le volume ne changent pas, afin de prendre en compte les seuls effets de timbre. La distance entre les timbres s'apprécie non en fonction de mesures acoustiques mais par la perception d'une différence (ce qui ne revient pas toujours au même, les psychologues le savent bien). On considère qu'il y a équidistance dès qu'il n'existe pas de discontinuité

9. Krumhansl (1983) examine les indications selon lesquelles un système de hauteurs tonal est organisé autour d'un prototype, la tonique, lequel est environné d'autres notes et d'accords qui sont plus ou moins éloignés dans un espace psychologique. Les hauteurs ont cependant ceci de particulier qu'une hauteur en soi ne peut pas avoir valeur de prototype, mais qu'il faut faire appel à tout un contexte tonal. En outre, les hauteurs prises séparément ne se décomposent pas en sous-groupes qui les renforcent ou les contredisent, comme c'est le cas pour nombre de catégories possédant des prototypes (pensez à toutes les sortes de chaises, par exemple). (Cf. Rosch et Mervis 1975; Jackendoff 1983.) En ce sens, le timbre est plus prototypique des prototypes que la hauteur.

flagrante. Le déplacement sur un axe de timbre doit donner l'impression d'une progression régulière. Il faut que l'intervalle le plus petit dépasse nettement le seuil de perception et produise un effet sensible, sans pour autant occuper trop d'espace sur l'axe des mesures. A cet égard, le principe est le même que pour les gammes de hauteurs (Burns et Ward 1982).

La figure 5a illustre le vibrato. Dans l'événement  $\underline{y}0$ , il n'y a aucun vibrato ; il y en a un léger en  $\underline{y}1$  ;  $\underline{y}2$  correspond à une valeur prototypique, et ainsi de suite jusqu'à  $\underline{y}5$ , qui a un vibrato très profond. La progression de gauche à droite par intervalles de temps réguliers (pour neutraliser toute influence du rythme) produit l'arbre prolongationnel tel qu'il apparaît dans l'exemple, c'est-à-dire que le passage de  $\underline{y}0$  à  $\underline{y}1$ , puis de  $\underline{y}1$  à  $\underline{y}2$  (l'élément dominant de la série, et le plus stable) traduit une diminution de tension, tendance qui s'inverse ensuite de  $\underline{y}2$  à  $\underline{y}5$ . La figure 5b illustre le même phénomène dans la dimension des harmoniques (quoiqu'il soit là plus difficile d'établir une échelle ordonnée). On évolue progressivement de l'événement  $\underline{h}0$ , le prototype, qui ne contient que des harmoniques naturels, vers l'événement  $\underline{h}5$  qui est, lui, tout à fait inharmonique. En progressant par intervalles de temps égaux, on obtient un arbre ramifié à droite, avec augmentation progressive de la tension. En procédant inversement de  $\underline{h}5$  à  $\underline{h}0$ , on obtiendrait une diminution de tension, avec un arbre ramifié à gauche.

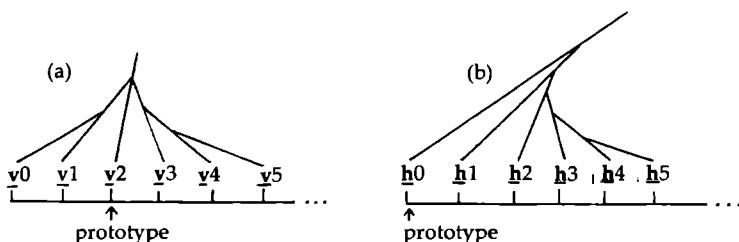


Figure 5.

Sous certains angles qu'il est intéressant d'examiner, ces premières gammes de timbres paraissent structurellement pauvres en comparaison avec une gamme diatonique inscrite dans un contexte chromatique. En premier lieu, bien entendu, il n'y a pas d'octave de timbres, ni de palier intermédiaire stable comme la quinte pour la gamme diatonique ou la tierce dans la musique harmonique occidentale. Il n'y a que des progressions linéaires se rapprochant ou s'éloignant des prototypes. En outre, on ne retrouve pas l'asymétrie de la disposition en tons et demi-tons de la gamme diatonique, car les gammes de timbres, elles, ne comportent qu'un type de degré. Ces gammes de timbres, en revanche, possèdent une certaine polarité — contrairement aux gammes chromatiques — due à l'existence de prototypes intrinsèques. Toutefois, cette orientation empêche le développement de gammes de timbres « modales », où une même série peut comporter plusieurs points de références. Enfin, ces gammes de timbres ne permettent pas la modulation<sup>10</sup>.

10. On doit ce débat à l'importante contribution de Balzano sur l'interprétation des structures des gammes par la théorie des groupes. Pour reprendre ses termes, les gammes de la figure 5 ne forment pas des groupes fermés, et ne satisfont pas aux critères d'« unicité » et de « simplicité » (et le fait qu'elles obéissent au troisième critère, celui de « cohérence » des paliers, est quelque peu accidentel).

## 5. Espaces de timbres

On peut améliorer la situation en combinant les figures 5a et 5b pour former un espace comme dans la figure 6 : le vibrato est indiqué en ordonnées, et, en abscisses, les variations de la structure harmonique. A un événement donné est donc associée une valeur sur chacun des deux axes. Le prototype sera vraisemblablement  $\underline{h}0$  —  $\underline{v}2$ , qui conjugue les prototypes de la figure 2.

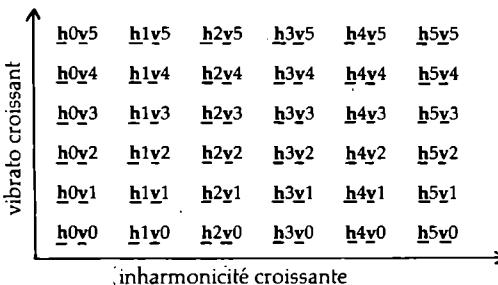


Figure 6.

Supposons, ce qui est plausible, que l'élément harmonicité ait un champ de consonance-dissonance plus vaste et plus expressif que l'élément vibrato. On peut alors choisir un degré sur l'axe des distances perceptives d'harmonicité qui soit environ le double de celui du vibrato. Cette possibilité est illustrée par la figure 7a (on a également augmenté le champ de variation). On peut alors établir un équivalent approximatif de la gamme diatonique majeure, comme l'indique le trait continu, où un palier d'harmonicité correspond à un degré, et un palier de vibrato à un demi-degré. Une modulation limitée est également possible : la ligne en pointillés suit un trajet semblable, mais commence un degré « plus haut ». Cette gamme comporte cinq éléments répétés et trois éléments nouveaux. (D'autres degrés de modulation sont possibles, en conjuguant les éléments semblables et différents du champ de variation disponible, mais sans atteindre le niveau optimal offert par le cycle des quintes, car il manque la « résolution » d'octave.)

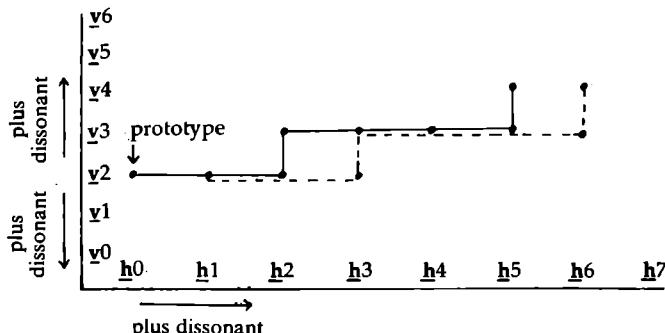


Figure 7a.

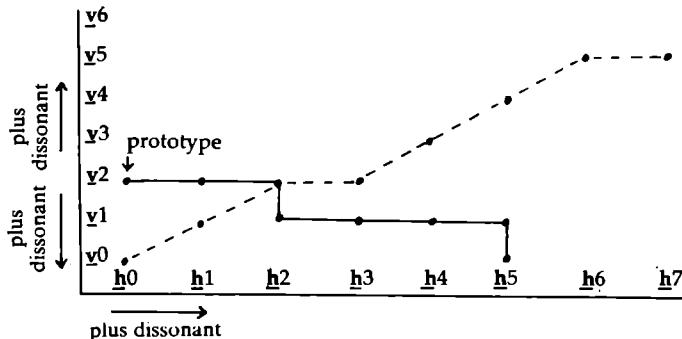


Figure 7b.

La figure 7 illustre des possibilités plus inattendues. La ligne continue est l'équivalent «en miroir» de la ligne continue de 7a, et la décroissance du vibrato s'accompagne d'une augmentation de la dissonance (rappelons que le vibrato prototypique est en  $v_2$ ). La ligne en pointillés de 7b est une version étirée «en diagonale» de celle de 7a, mais il y a un conflit consonance-dissonance dans les trois premiers degrés, dû vraisemblablement à la prépondérance de l'harmonicité sur le vibrato.

On est encore loin d'un équivalent avec la gamme diatonique, du fait, principalement, que la dissonance ne va que dans un sens (vers le «haut») puisqu'il n'y a pas de paliers de stabilité intermédiaires, et pas de récurrence comme avec l'octave; en outre, la distinction entre ton et demi-ton implique le recours à deux variables. Bien sûr, on peut toujours associer les degrés et dire que  $\underline{h_0-h_2}$  ou  $\underline{h_1-h_3}$  forme un degré entier; ce subterfuge est cependant peu commode sauf si la gamme comporte un grand nombre de paliers. Mais, dans ce cas, les degrés seraient sans doute trop petits, et cela alourdirait le traitement. De meilleures solutions seront proposées plus loin.

Il est peut-être superflu d'expliquer que ce n'est pas un désir régressif d'écrire de la musique de timbre «diatonique» qui m'a fait invoquer l'analogie de la gamme diatonique. Je souhaite au contraire explorer des structures perceptibles dans un domaine musical neuf. La gamme diatonique comporte un bon nombre d'éléments intéressants, musicalement et psychologiquement, et témoigne d'une longévité exemplaire; elle fournit donc un heureux point de comparaison pour les premières tentatives d'organisation des timbres. À mesure que les syntaxes de timbres seront élaborées, je pense qu'elles se différencieront du modèle des hauteurs, comme elles le font déjà en 7b.

En fait, une telle différenciation vient immédiatement à l'esprit. Pourquoi ne pas utiliser la diversité des dimensions du timbre pour augmenter le nombre des paramètres figurant sur les espaces? Un axe «bruit» pourrait, par exemple, se greffer sur l'axe de l'harmonicité au point où les spectres inharmoniques commencent à produire un effet de bruit. Ainsi, l'axe important du phénomène de brillance pourrait trouver sa place, et d'autres paramètres encore, avec la perspective d'un espace à N dimensions.

Mais notre débat tend à devenir trop abstrait; je ne l'ai poussé jusqu'à ce point que pour respecter la logique de l'argumentation, que l'on peut résumer

ainsi : (1) une structure prolongationnelle implique, pour le timbre, l'établissement de conditions de stabilité ; (2) l'intuition fondamentale pour établir ces conditions de stabilité est que, dans leurs différentes dimensions, les timbres sont plus ou moins consonants ou dissonants ; (3) le continuum de la consonance-dissonance peut, pour un paramètre donné, s'articuler autour de son point le plus consonant et le plus représentatif, le prototype de timbre ; (4) la distance au prototype peut se mesurer par des intervalles perceptivement égaux (moyennant certaines contraintes sur la taille), et se présenter sous forme scalaire ; (5) ces différentes échelles peuvent s'associer en tableaux à deux ou plusieurs dimensions qui engendrent des espaces de timbres propices au développement de motifs musicalement pertinents. J'abandonnerai à présent mon argumentation abstraite pour présenter des recherches concrètes sur le timbre que j'ai menées avec le programme CHANT de l'I.R.C.A.M.

### 3. Arbres de timbres

#### 1. *Le programme CHANT et les voyelles*

Une courte digression s'impose avant de présenter ces études de timbres. Le programme CHANT (Rodet *et al.* 1985) réalise la synthèse vocale de sons de voyelles et fournit les outils permettant de les modifier d'une façon intéressante sur le plan du timbre. Il fonctionne sur le modèle de production sonore source/filtre.

Dans la voix, la *source* est l'air qui passe entre les cordes vocales dont la vibration détermine la fréquence. Le *filtre* est le conduit vocal flexible (la gorge et la bouche) qui joue le rôle de caisse de résonance pour les différents partiels ; il en renforce certains et en atténue d'autres. Les régions du spectre à forte intensité, que l'on nomme souvent formants, déterminent le timbre de la voyelle. Il est pratique de parler des formants en termes de bosses et de creux de l'enveloppe du spectre. Les deux premières bosses déterminent la nature de la voyelle, et les trois suivantes, de plus en plus petites, produisent des nuances de timbre plus subtiles. L'indépendance entre la source et le filtre permet à la voyelle de conserver son identité lorsque la hauteur change : le taux de vibration des cordes vocales peut changer, alors que le conduit, lui, reste stable, de sorte que les crêtes des formants conservent les mêmes fréquences. A l'inverse, on peut changer l'identité d'une voyelle sans toucher à la hauteur, en modifiant la forme du conduit vocal et, donc, la structure des formants.

Le programme CHANT permet de stimuler tous ces processus et de manipuler les voyelles en agissant sur les formants. Il offre l'avantage de fournir des valeurs par défaut pour tous les paramètres physiques ; ainsi, l'utilisateur peut obtenir immédiatement un son acceptable puis se consacrer aux variables qui l'intéressent. Une « bibliothèque » de voyelles standard permet de faire son choix en première approximation.

Plusieurs raisons m'ont poussé à choisir ce programme pour les premières expérimentations de mes théories sur le timbre. Tout d'abord, il fallait pouvoir restreindre l'univers des timbres à un champ d'étude traitable. De plus, l'environnement CHANT me convenait. Troisièmement, les voyelles sont essentielles à notre perception du timbre. Enfin, les voyelles offrent un espace de timbres plus homogène que beaucoup d'autres domaines sonores..

Précisons ce dernier point. On peut considérer que les formants relèvent d'un des aspects du timbre : la brillance (répartition de l'énergie sur le spectre).

Or, l'effet perceptif des différents patterns de formants exige une représentation multidimensionnelle. Dans mes recherches, j'ai manipulé ces patterns pour créer un espace de voyelles à deux dimensions de brillance. Malgré cette bidimensionnalité, le résultat restait homogène car seule la brillance variait<sup>11</sup>.

## 2. Espace de voyelles

Avant tout, il fallait créer un espace de voyelles correspondant aux conditions de stabilité des timbres. Je n'ai utilisé qu'une hauteur (Fa # 2), dans le registre de baryton, et une dynamique. En prenant les valeurs par défaut pour les largeurs de bande des formants et pour l'intensité relative des crêtes de formants, il ne restait comme variables que l'emplacement des crêtes de formants (en Hz) et, en deuxième lieu, le nombre de crêtes de formants retenues (quatre ou cinq). Nous avons pris comme prototype approximatif une version assez terne de la valeur par défaut de la voyelle /a/.

Trois catégories de voyelles ont été retenues en fonction de leur brillance relative: /a/ (terne), /u/ (moyen), et /i/ (brillant)<sup>12</sup>. Dans chacune de ces catégories, j'ai ensuite créé un nouvel axe de brillance à trois éléments : un /a/1 terne, un /a/2 moyen, et un /a/3 brillant, et de même pour /u/ et /i/, ce qui produit l'espace de voyelles à deux dimensions de brillance de la figure 8. Pour accentuer la séparation entre les différentes catégories, j'ai décidé d'appliquer un vibrato normal (valeur par défaut) aux /a/, un vibrato léger aux /u/, et de laisser les /i/ sans vibrato, ce qui a fait ressortir la brillance des /u/ et, surtout, des /i/. (Une autre dimension de timbre entrait ainsi en jeu, mais dans des proportions limitées.) Enfin, j'ai ajouté, pour adoucir les transitions, une sous-routine qui créait une transition de l'ordre de la microseconde entre deux voyelles.

Il fallait ensuite faire en sorte que les intervalles de l'espace soient équidistants. La figuration choisie impliquait que les intervalles /a/1-/a/2 et /a/2-/a/3 soient égaux ; de même pour les /u/ et les /i/, /u/1-/u/2 et /i/1-/i/2 devant être égaux à /a/1-/a/2. En outre, nous avons voulu que les distances entre les catégories de voyelles soient identiques, et à peu près égales à /a/1-/a/2.

L'élaboration de ce réseau d'intervalles identiques a demandé beaucoup de temps, les voyelles manifestant une tendance indésirable à glisser au sein de leur catégorie (par exemple, /a/ à se transformer en « aw »). Il était difficile de prévoir le son d'une voyelle d'après son formant, même après de nombreuses tentatives. Comme je disposais d'un temps limité, j'ai dû me restreindre à l'espace de ces neuf éléments pour atteindre un certain degré de précision, mais rien ne s'oppose, en principe, à l'élargissement du champ d'expérimentation. Cela dit, un simple espace de neuf éléments offrait déjà beaucoup de possibilités, pourvu que les voyelles restent stables et les intervalles à la fois assez réguliers et assez importants. Cet espace a permis de créer des structures perceptiblement saillantes.

11. Dans sa théorie phonologique des éléments discriminatoires, Slawson (1985) postule un espace de voyelles à quatre dimensions. Cet espace plus riche est peut-être viable, mais je ne l'ai pas exploré systématiquement. Un espace bi-dimensionnel suffit actuellement à mon propos, lequel diffère d'ailleurs de celui de Slawson du point de vue musical. La théorie discriminatoire a également influencé Cogan (1985), d'une façon qui ne concerne mon propos que marginalement.

12. /a/ correspond au a de /vase/, /u/ à /mou/ et /i/ à /ville/.

### 3. Fonctions musicales élémentaires

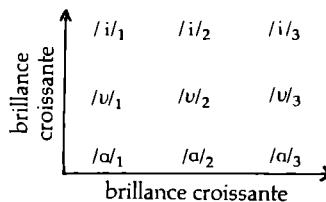


Figure 8.

Une fois l'espace constitué (Fig. 8), l'élément prolongationnel de notre théorie (élaborée par Jackendoff et moi-même) pouvait être directement appliquée au timbre. Examinons tout d'abord quelques relations simples mais essentielles :

Une *prolongation forte*, ou répétition, telle qu'elle apparaît sur la figure 9a, est évidemment possible dans toute condition, et correspond presque toujours à une ramifications à droite. On peut définir une *prolongation faible* comme une relation subsistant entre deux voyelles de même classe. Cela est logique, car cette expression s'appliquait à l'origine au passage d'un événement de hauteur à une forme modifiée de lui-même (par exemple, accord de fondamentale et ses renversements). Dans notre cas, la « version modifiée » est la variante d'une voyelle. Nous avons une ramifications à droite (9b) lorsque l'on va vers plus de brillance (de dissonance), à gauche dans le cas contraire. La *progression*, qui désignait le mouvement entre deux événements de hauteur complètement différente, convient parfaitement pour définir la relation entre deux voyelles de classes différentes. Le sens de la ramifications (9d et 9e) dépend, là encore, de l'évolution de la consonance, à ceci près que l'effet de tension-détente est plus prononcé qu'avec la prolongation faible.

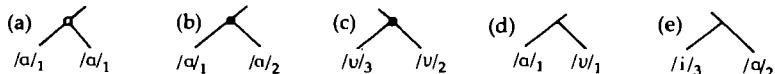


Figure 9.

On peut parler de *degré* pour désigner le passage entre deux éléments contigus du tableau (de /a/1 à /a/2, de /a/1 à /u/1, et de /a/1 à /u/2), et de *saut* pour les éléments éloignés (de /a/1 à /a/3, ou de /a/1 à /i/1). En assimilant l'étape /a/1-/a/2 à un *degré*, on se démarque de l'analogie tonale, où une prolongation faible de ce type est une « arpégiation ». On peut malgré tout considérer cette dernière comme un *degré* entre un élément d'une catégorie et l'élément le plus proche de la catégorie contiguë — en musique tonale, il s'agit de la gamme par tierces plutôt que de la gamme diatonique. En revanche, l'arpégiation tonale porte sur des intervalles plus grands que les degrés, et cette distinction ne se retrouve pas ici avec le timbre.

Une *fonction de voisinage* apparaît dans les ramifications de la figure 10a ; on peut la définir comme une progression dominée par une prolongation forte. La prolongation est plus consonante que la simple fonction de voisinage, comme en 10b, mais dans certains contextes l'inverse peut se produire, comme

en 10c. Bien que le voisinage ne concerne en principe que des éléments contigus, un «saut» de voisinage, comme en 10d, est également possible.

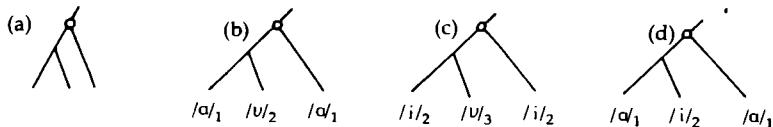


Figure 10.

Une fonction de passage donne les ramifications de la figure 11a ; elle peut se définir comme une progression marquée par une prolongation faible. L'orientation à droite ou à gauche de l'événement de passage dépend de la proximité des événements voisins. Un passage s'effectue souvent par degrés successifs en une «arpégiation par degrés», comme en 11b et 11c (11c est comparable à 10c, en ce sens que l'événement subordonné est plus consonant). Il peut également se produire un mouvement de passage incomplet, comme en 11d, où il y a d'abord un saut, puis un pas<sup>13</sup>.

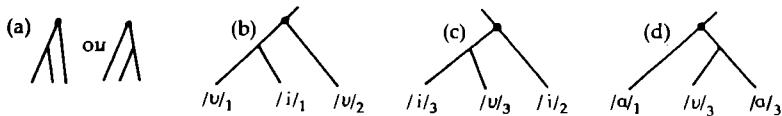


Figure 11.

Le tableau permet de faire facilement les transformations élémentaire de *transposition* et d'*inversion*. La figure 12a, par exemple, est une transposition de 10b, et 12b une inversion de 11b<sup>14</sup>.

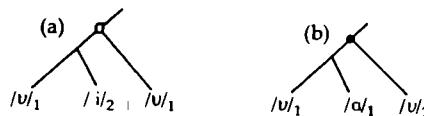


Figure 12.

*Quelques exemples brefs:* les fonctions simples que je viens de décrire me semblent essentielles à toute syntaxe musicale tenant compte de la perception. On peut maintenant les conjuguer en brefs enchaînements.

La figure 13a comprend des événements de passage en double arpégiation.

13. Voir dans Bharucha (1984a) une explication psychologique intéressante des raisons pour lesquelles l'inverse — un degré suivi d'un saut — est moins stable. En quelques mots, une note instable a besoin d'être «ancrée», et cette fonction est mieux assumée par un degré que par un saut (du fait du principe de proximité de la Gestalt).

14. Voir Dowling (1972) à propos de la perception moindre de la rétrogradation et de la rétrogradation inversée. A mon avis, cela s'explique essentiellement par le fait que les arbres qui décrivent une séquence changent beaucoup plus lors d'une rétrogradation ou d'une rétrogradation inversée que lors d'une transposition, voire d'une inversion.

13b élargit 13a pour créer une structure analogique à la gamme diatonique, à ceci près que le retour ne se fait pas ici à l'octave mais à l'événement initial en repassant par les mêmes événements, /u/1 et /u/2 (la ligne en pointillés pour /u/2 représente une autre ramification possible). Le résultat rappelle curieusement Shepard (Shepard 1964). 13c est une transposition de 13b, mais les dimensions réduites de l'espace empêchent une « modulation » plus complexe.

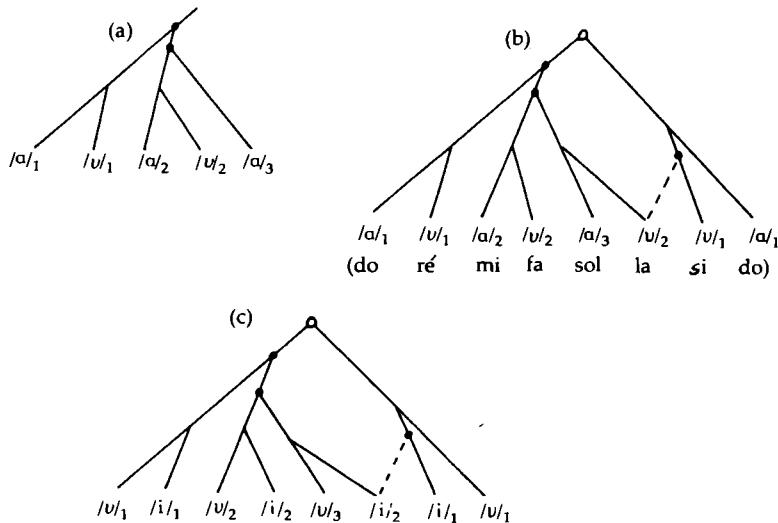


Figure 13.

Il est instructif de comparer ces résultats avec les précédents analogues de la gamme diatonique (Fig. 7). En 7a, si l'on s'en souvient, nous avions un équivalent des deux intervalles d'un degré diatonique, à savoir le ton et le demi-ton. On ne tente pas de reproduire cette structure en 13b, mais de construire deux *fonctions* de degré, la progression et la prolongation faible. En conséquence, 13b reproduit les schémas de stabilité et d'instabilité propres à la gamme diatonique. La différence principale, à savoir le retour à l'événement initial au lieu d'une continuation à l'octave, est inévitable compte tenu du fait qu'il n'existe pas d'octave de timbres; mais le résultat obtenu ici est nettement préférable à la simple dissonance croissante que l'on avait en 7a. En d'autres termes, 7a simule les distances acoustiques de la gamme diatonique, alors que 13b en simule les distances cognitives. L'arbre prolongationnel de 13b est identique à celui de la gamme diatonique.

La figure 14 introduit un minimum de rythme dans les exercices de timbres. En 14a, les soupirs délimitent de petits groupes; 14b ajoute des nuances de durée. J'ai fait en sorte que ces découpages renforcent la structure prolongationnelle au lieu de la contredire. Dans la réalité, la musique se comporte rarement ainsi, mais à ce stade il eût été présomptueux de vouloir trop en faire.

Examinons ces exercices dans le détail. Il serait utile de garder l'espace de la figure 8 bien présent à l'esprit, et d'essayer d'*« entendre »* ces motifs.

La figure 14a est un exercice portant sur les patterns de tension et de détente. Dans le groupe A, on passe de la catégorie dissonante /i/ à /a/2,

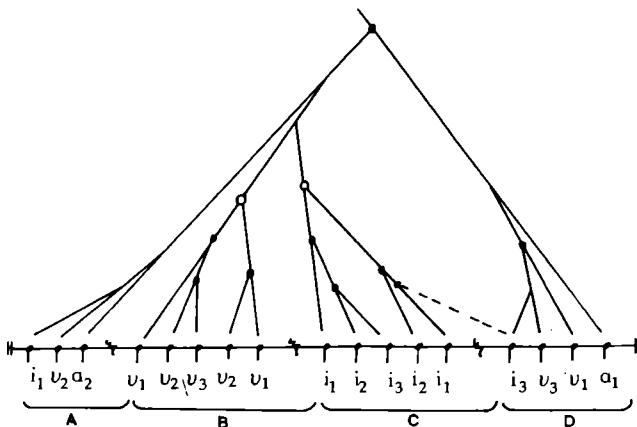


Figure 14a.

élément qui vient en seconde position en termes de détente. Dans le groupe D, /a/2 va finalement s'associer à /a/1, dans un ensemble prototype-« tonique ». Mais, auparavant, on entendra deux groupes construits sur le /u/ et le /i/ décliner des tensions par rapport à /a/2. Le groupe B crée un pattern de tension-détente à l'intérieur de la catégorie /u/ ; le groupe C reprend l'enchaînement de B dans la catégorie /i/ , la plus brillante. Le groupe D part alors de /i/3 et forme une version plus élaborée du groupe A, amenant la ligne musicale à se résoudre en /a/1.

La figure 14b est un exercice de prolongation et de cadence. Voyons d'abord la prolongation ; 14b, comme 14a, est encadré par une prolongation en /a/2-a/1. Le groupe A prolonge également /a/2, et le groupe C se termine par un retour plus marqué à /a/2 ; ainsi l'exercice apparaît-il comme un développement de /a/2. Dans ce contexte, il se produit une forte tension dans le groupe

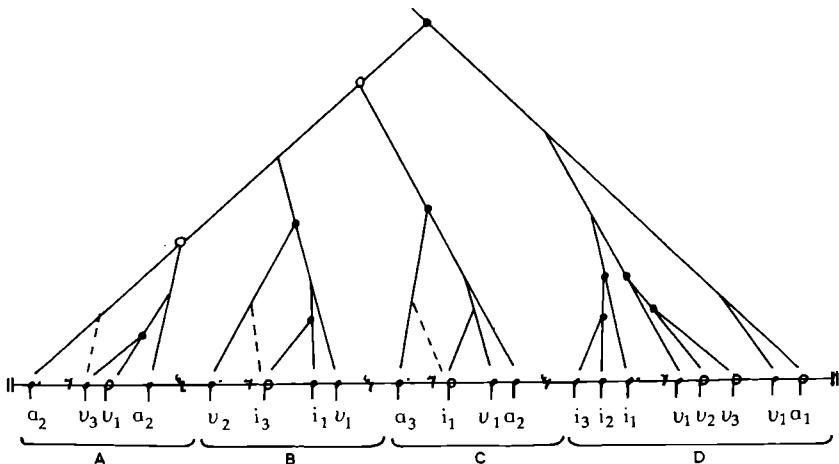


Figure 14b.

B, qui prolonge la catégorie /u/. L'élément de cadence de l'exercice part de l'idée qu'une cadence implique deux mouvements de détente. C'est ainsi que se termine chacun des quatre groupes — c'est-à-dire avec deux ramifications à gauche — même s'il existe des différences de détail. La cadence de B est une transposition de celle de A. La cadence du groupe D est une version élaborée de celle du groupe C — tellement élaborée, en fait, qu'elle s'applique à tout le groupe par des prolongations internes des catégories /i/ et /u/. Ces prolongations en D accentuent le caractère final de l'arrivée sur /a/1.

Nul besoin de pousser plus loin l'analyse. Signalons simplement que ces relations sont audibles et qu'elles sont cohérentes. Il serait évidemment possible d'élaborer des exemples plus complexes.

## IV. Conclusion

### 1. *Implications musicales*

A ce stade, il faut bien admettre que ces exercices de timbre ne sont guère séduisants à l'écoute. Je dirais plutôt qu'ils sont déconcertants. Que peut-on faire avec de la musique à une note, à une seule intensité, avec seulement quelques rythmes élémentaires, où tout l'intérêt réside dans des enchaînements complexes de voyelles? Du minimalisme, à coup sûr. Il vaudrait certes mieux travailler avec des sonorités superbes, mais nous nous sommes contenté des simples voyelles du programme CHANT.

Je tiens donc à souligner qu'il s'agit là d'études préliminaires, que nous avons volontairement limité notre champ d'exploration afin de mieux isoler les phénomènes, que nous n'avons aucune prétention esthétique et ne revendiquons aucun monopole sur les modalités de structuration des timbres. Ces recherches ont simplement démontré qu'il est *possible* d'organiser et de percevoir le timbre selon une hiérarchie complexe. A mon sens, nous avons entrebâillé une porte qui s'ouvre sur un très vaste domaine. Il appartient désormais à chacun de décider jusqu'à quel point cette porte peut être ouverte, et si cela en vaut la peine. Quoi qu'il en soit, je souhaiterais hasarder quelques hypothèses.

Je pense qu'il est possible de pousser beaucoup plus avant la hiérarchisation des timbres, mais que si l'on veut obtenir de belles sonorités — et ce doit être le but recherché — la tâche sera ardue. La beauté d'un son naît de variations complexes et subtiles des paramètres acoustiques dans le temps, selon des modalités encore mal comprises. Si mon raisonnement est juste, malgré tout, on ne pourra créer une structure prolongationnelle du timbre que si les éléments de timbres sont soigneusement choisis et disposés dans des tableaux multidimensionnels établis en fonction des dissonances et des consonances. En bref, il existe une contradiction entre la fluidité qu'exige la matière sonore et la rigidité indispensable à toute syntaxe. On peut, en réalité, résoudre cette contradiction par la hiérarchie même, c'est-à-dire en assignant une valeur structurelle au «centre» d'un son, à laquelle renverraient les variations de ce dernier dans le temps. En procédant ainsi, toutefois, il sera plus difficile d'établir la valeur structurelle du son. Je ne crois pas qu'il y ait de solution facile à ce dilemme.

C'est là une des raisons pour lesquelles j'estime que les hiérarchies de timbres offriront sans doute un intérêt esthétique accru si on les faisait se

conjuguer avec les hiérarchies de hauteurs. Il arrive souvent, par exemple, qu'un compositeur souhaitant attribuer une hiérarchie particulière aux hauteurs ait du mal à le faire. Une hiérarchie de timbres pourrait renforcer la structure des hauteurs pour faire ressortir les éléments souhaités. Ou, à l'inverse, timbres et hauteurs peuvent s'opposer si c'est une ambiguïté structurelle que l'on recherche. Si un compositeur désire estomper la frontière qui sépare ces deux paramètres sonores, les arbres de prolongations peuvent faire le lien entre les deux puisqu'ils sont identiques. Avec ce type d'interaction, le timbre serait déchargé de son rôle purement sonore et syntaxique, et deviendrait un élément hiérarchique parmi d'autres.

Il existe une autre voie, non sans rapport, qui consiste à enrichir des lignes de timbres par un contrepoint et une « harmonie ». Les monodies de la figure 14 ne surpasseront jamais en intérêt le chant grégorien, par exemple, et il est difficile de prévoir comment les arbres prolongationnels se comporteraient avec des polyphonies de timbres. On pourrait commencer avec un accord de six notes, le décomposer, à partir du timbre, en deux groupes de trois, puis composer un contrepoint de timbre et, enfin, fusionner les deux groupes en une entité en suivant des schémas de tension-détente soutenus par la structure rythmique. J'entrevois, dans un avenir plus lointain, un « champ » dynamique de timbres et de hauteurs régulé par une syntaxe.

## 2. *Implications psychologiques*

Du point de vue de la psychologie de la perception, il est particulièrement intéressant de découvrir des structures analogues à celles des hauteurs dans un domaine tel que le timbre, si différent en apparence. On pourra objecter que c'est l'orientation même des recherches qui mène à cette conclusion, ou bien estimer, arguments à l'appui, que les analogues hauteurs-timbres obéissent à des principes qui régissent la cognition musicale (entre autres). Je pense ici à la position centrale qu'occupent les hiérarchies élaboratives et les continua consonance-dissonance, au fait que ces derniers reposent sur des niveaux physiques de description, aux diverses lois applicables de la Gestalt, à la force structurante des prototypes, à l'utilité pour la cognition des intervalles, des gammes et des tableaux multidimensionnels, au rôle indispensable des transitions et des variations, à la distinction entre degrés et sauts, et, enfin, à la nécessité des fonctions de voisinage, de passage, et de prolongation.

Psychologues et compositeurs ont longtemps cru que, pour ce qui touchait à l'esprit, tout était possible. Des travaux récents s'accordent, au contraire, à reconnaître que des contraintes précises pèsent sur la cognition musicale. La possibilité d'établir des hiérarchies de timbres met en lumière la nature de ces contraintes.

# **Timbre, orchestration, dissonance et organisation auditive**

par Albert S. BREGMAN

Cet article traite de deux propriétés du son, le timbre et la dissonance, et de leur relation à l'orchestration. Si l'on considère généralement que le timbre caractérise le son d'une note instrumentale, et la dissonance le timbre de deux ou plusieurs notes, pour moi, en revanche, tous deux sont des qualités d'un spectre complexe. De même qu'existe le timbre d'une note isolée, on peut parler de timbre orchestral pour un groupe d'instruments ; c'est d'ailleurs dans ce contexte, lorsqu'ils émergent du mélange des sons, que l'on peut percevoir le plus clairement l'analogie entre timbre et dissonance.

Je suis psychologue, spécialisé dans la psychologie de la perception. Les compositeurs manifestent souvent peu d'intérêt pour nos travaux, peut-être à juste titre ; en effet, nous nous sommes souvent penchés sur des questions n'ayant qu'un rapport très lointain avec la musique. Tout compositeur sait fort bien que le son d'une note varie en fonction du contexte, et que c'est le pattern sonore, et non la note isolée, qui détermine la perception. Mais je puis dire que la situation est en train de changer, et que les psychologues étudiant la perception auditive commencent à s'intéresser à la question des patterns. Les progrès accomplis dans un certain nombre de domaines connexes ont stimulé cette curiosité, et le développement de l'informatique, en particulier, a permis aux psychologues comme aux musiciens de contrôler les patterns sonores avec facilité et précision.

J'entends présenter ici une version nouvelle du timbre et de la dissonance, et montrer qu'ils ne sont pas simplement régis par l'occurrence isolée du son, mais aussi par le contexte général ; je me réfère là au contexte acoustique, et non musical. En d'autres termes, je tenterai d'établir le degré de dépendance du timbre et de la dissonance vis-à-vis du contexte, non à partir de principes propres à la musique, mais en me fondant sur des situations d'écoute habituelles, comme, par exemple, lorsqu'on essaye de traverser une rue à Paris aux heures de pointe sans se faire écraser.

Je partirai de l'idée que le timbre et la dissonance sont régis par le processus de fusion perceptive, et que le degré de fusion est fonction de principes que le système nerveux humain a élaborés afin d'isoler divers éléments dans un ensemble de sons. J'anticiperai quelque peu la suite de mon exposé en disant que lorsque le système auditif interprète un spectre de sons comme un mélange

accidentel, il ne tient pas compte des qualités d'ensemble de ce groupe (par exemple la dissonance, ou le timbre global d'une masse sonore) et privilégie les qualités des sons isolés. Ceci nous conduit à examiner comment le système auditif traite les mélanges de sons.

Il est bien évident que le système auditif n'a pas les mêmes buts que le compositeur. Dans la vie de tous les jours, l'oreille doit généralement isoler les sons plutôt qu'interpréter l'ensemble en tant que tel. Prenons l'exemple d'une soirée mondaine : ce que veut un auditeur, c'est comprendre ce que dit une seule voix, car en enchaînant des mots de différents locuteurs, il fabriquerait des hybrides de phrases peut-être plaisants d'un point de vue esthétique, mais parfaitement inutiles dans ce contexte.

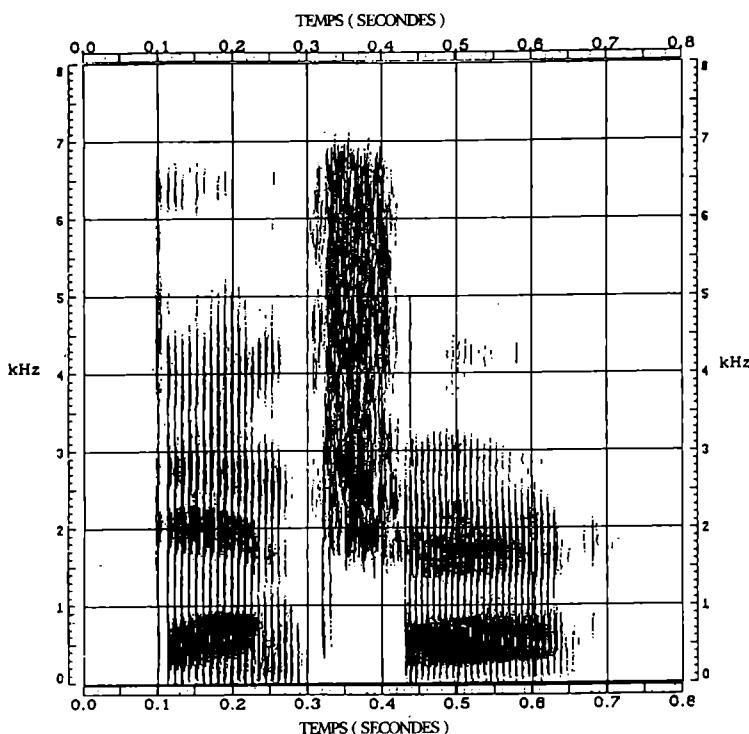
On peut penser que cette aptitude à isoler les sons est acquise, et qu'elle est peut-être dérivée de notre capacité de comprendre comment, dans le langage, les sons s'agencent en mots. L'acquis joue certainement un rôle, mais il n'est pas le seul. Pensons, par exemple, au petit enfant qui apprend à parler ; il a tendance à imiter les mots qu'il entend. Imaginons maintenant qu'au moment où la mère prononce un mot, un ressort de sa poussette grince. Si l'enfant imitait tout le spectre, il imiterait aussi le grincement ; or, cela ne s'est jamais vu. Même le tout jeune enfant sait éliminer les éléments invraisemblables de sa perception du langage.

On pourrait objecter que le petit enfant possède sans doute une aptitude primitive à résoudre certaines parties du spectre et à se concentrer sur d'autres, et que des problèmes se poseront si cette capacité de résolution est mise en défaut. Cet argument implique que la capacité de résolution est supérieure à la capacité de fusion, et que, simplement, on fusionne ce que l'on ne peut pas résoudre. Cependant, la résolution n'est pas toujours recommandée. Si, par exemple, l'enfant ne résolvait qu'une seule composante spectrale de la voix de sa mère, et qu'il n'imitait que celle-là, l'erreur serait aussi grave que s'il en fusionnait trop. Il doit différencier les éléments de la voix de sa mère et ceux du grincement selon deux plans différents. La fusion n'est pas mauvaise en soi, mais à condition qu'elle soit «correcte», c'est-à-dire qu'elle regroupe les éléments nés d'un même événement physique. Le compositeur, lui, a d'autres objectifs. Il (elle) ne désire pas forcément que l'auditeur entende chaque composante physique (chaque son instrumental séparé) d'un timbre musical. Parfois, il souhaite que l'on entende le timbre global d'une masse sonore, parfois — comme aux débuts de la polyphonie — le timbre de chaque ligne mélodique. Il peut aussi vouloir que des groupes de notes soient perçus comme des sons uniques, et que ces groupes soient différenciés d'autres agrégats sonores. Quoi qu'il en soit, le compositeur doit, pour atteindre son but, faire appel aux mêmes principes de regroupement que ceux du système auditif. Il faut donc voir en quoi ces principes consistent.

La perception pose un problème d'ordre général, que l'on appelle l'«analyse de scène», car on l'a d'abord étudié à propos des phénomènes visuels. Des chercheurs qui tentaient de faire reconnaître des objets par des ordinateurs reliés à des caméras vidéo ont rapidement constaté que ces ordinateurs n'arrivaient pas à assembler correctement les formes visibles en objets complets. En effet, un objet proche de l'objectif pouvait masquer la surface visible d'un autre objet, voire la couper en deux. Si, par exemple, un vase se trouvait entre un visage et la caméra, la superposition des deux images pouvait donner une surface visible dont l'un des bords aurait la forme d'un visage, et l'autre la forme d'un vase. Si l'image hybride était ensuite transmise à un système de

reconnaissance, celui-ci était incapable de trouver une description correspondante dans la liste d'objets stockés en mémoire. Il fallut donc introduire dans l'ordinateur des règles d'analyse de scène, chargées d'examiner les surfaces et les bords visibles, et d'en déduire les formes composant un même objet. Le système de reconnaissance était alors en mesure de rechercher l'objet présentant ces caractéristiques. Le même problème se pose pour l'audition, car les sons issus de plusieurs sources se mélangent naturellement avant d'être perçus (Bregman 1978). Pour notre tympan, il n'existe que des patterns de sons, les vibrations ne réagissent pas à chaque son isolément. Ainsi, le système auditif doit regrouper les composantes acoustiques de chaque son individuel, et reconnaître chaque groupe pris isolément ; sinon, nous sommes condamnés à entendre des sons hybrides.

Tout son peut être défini comme la présence simultanée de signaux acoustiques dans des régions fréquentielles très variées. Si l'on représente ce phénomène sur un graphique où la durée est en abscisses et la fréquence en ordonnées, et où l'intensité est indiquée par un trait plus ou moins gras, on obtient le spectrogramme tel que nous le connaissons (Fig. 1). Il ressemble à une partition de musique, à ceci près qu'il n'indique pas seulement les fréquences, ou hauteurs fondamentales, de chaque son, mais également toutes les composantes harmoniques et inharmoniques.



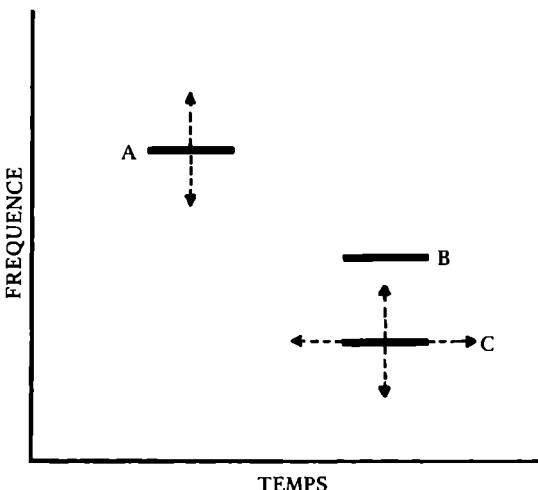
*Figure 1. Spectrogramme d'une voix parlée.*

Nous savons qu'aux premiers stades du processus auditif, la membrane basilaire de l'oreille interne et les fibres nerveuses décomposent l'ensemble du signal en messages neuronaux séparés pour chaque région fréquentielle et à chaque intervalle temporel du son perçu. On peut donc dire que le système auditif dispose de son propre spectrogramme, que l'on appelle souvent le neuro-spectrogramme.

Exammons un spectrogramme, et voyons s'il peut nous aider à assigner telle ou telle source à certains éléments du son. En général, on voit des bandes sombres qui représentent les régions du spectre où se concentre l'énergie. Mais quand on regarde le spectrogramme d'un mélange de sons, de deux instruments par exemple, on a l'impression de voir deux spectrogrammes superposés. Le système auditif doit donc reconstituer deux entités séparées à partir de cette superposition. Pourquoi est-ce difficile? Parce que, par exemple, bien qu'il sache à tout moment quelles régions du spectre contiennent de l'énergie, le système auditif ne sait pas distinguer celles qui viennent de l'instrument A de celles qui viennent de l'instrument B, car il n'a pas encore identifié les instruments. Dans la réalité, le processus est encore plus compliqué du fait que le système ne sait pas à l'avance combien d'événements acoustiques ont été mélangés. L'attribution de groupes de composantes spectrales à des sources distinctes pose le même problème que, dans le domaine visuel, le regroupement de surfaces et de contours en séries définissant des objets distincts. Voilà pourquoi j'ai appliquée au processus auditif la notion d'« analyse de scène ».

Un spectrogramme nous indique que le système auditif doit réaliser deux types de regroupement. Il doit décider quels événements spectraux simultanés appartiennent au même son; c'est ce qu'on peut appeler « l'intégration verticale ». Il doit déterminer également quelles portions de spectre non simultanées relèvent d'un même événement, par exemple les mots d'un seul locuteur; nous appellerons ce processus « intégration horizontale ». Si le système se trompe dans l'une ou l'autre de ces opérations, cela peut créer de sérieux problèmes. Si l'intégration « verticale » est déficiente, il y aura erreur sur le timbre ou sur la hauteur, et si les regroupements séquentiels se font mal, on n'entendra pas la bonne mélodie.

Ces considérations m'ont permis de suggérer en quoi le timbre et l'orchestration sont liés dans le processus d'analyse de scène auditive, mais, avant d'aborder les questions musicales, je souhaiterais revenir sur le fonctionnement du système auditif face à ces problèmes. En guise d'illustration, j'évoquerai une expérience réalisée il y a quelques années à l'Université McGill avec le concours de Steve Pinker (Bregman et Pinker 1978). Nous avons recréé un problème d'analyse de scène auditive à petite échelle, où les regroupements horizontaux et verticaux étaient ambigus. Nous sommes partis d'un cycle répétitif composé de trois sons purs (Fig. 2). On entendait d'abord le son A, suivi de B et C présentés presque simultanément. Il existe plusieurs façons de regrouper ces trois sons purs: on peut, par exemple, considérer B et C comme deux partiels d'un seul son riche, et A comme un son séparé. Dans ce cas, on doit entendre un cycle formé de deux sons alternés, un son pur, A, et un son riche, BC. Autre possibilité, on peut décrire que A et B forment une séquence de sons issus d'une même source sonore, auquel cas C provient d'une source séparée et ne fait qu'accompagner B. Il existe encore d'autres cas de figure, mais on peut faire en sorte de se limiter aux deux que j'ai cités.



*Figure 2.* Cycle d'un motif sonore utilisé par Bregman et Pinker (1978). A, B, et C sont des sons purs. Dans d'autres contextes, la fréquence de A peut monter ou descendre ; C peut avancer ou reculer dans le temps.

Qu'est-ce qui détermine le type d'organisation perçue ? A ce stade, permettez-moi de faire deux observations. Tout d'abord, plus les fréquences de A et de B sont proches, plus il est vraisemblable qu'ils seront perçus comme un flot cohérent distinct de C, car il semble que le regroupement séquentiel dépende étroitement de la proximité fréquentielle. Deuxièmement, on s'est aperçu que la synchronie (ou la quasi-synchronie) d'attaque ou de déclin des sons B et C favorise leur fusion en un son unique BC, lequel, parce qu'il n'a pas la même qualité que A, est perçu comme provenant d'une source différente. Par ailleurs, les deux types de regroupement semblent s'exclure mutuellement. Plus B paraît appartenir au même flux séquentiel que A, moins il semble former un timbre global avec C. C'est ainsi que l'on aboutit à une conclusion contraire à l'intuition, à savoir que l'on peut influer sur la qualité du regroupement séquentiel A-B en modifiant C. Si l'on affaiblit le groupe BC en avançant ou en retardant C, et donc en jouant sur son degré de synchronie avec B, non seulement B s'éloigne de C, mais, en outre, on semble le libérer et favoriser son regroupement avec A. Cela vaut également pour la relation inverse : si l'on augmente la hauteur de A au point de compromettre son association séquentielle avec B, B semble en profiter pour se rapprocher de C. Cela a pour effet d'enrichir le son de C, puisque, apparemment, il absorbe B sous forme de partiel, et l'on entend le timbre correspondant à cette structure. Autrement dit, à mesure que l'on rapproche les fréquences de A et de B pour les intégrer dans un même flux séquentiel, le son de C devient plus pur. Cette rivalité entre regroupement vertical et regroupement horizontal des composantes du spectre pourrait constituer le fondement d'une théorie scientifique de l'orchestration, qui permettrait de savoir quand les composantes se mêlent pour former des masses plus vastes avec leurs propriétés émergeantes, et quand, par contre, les propriétés individuelles des instruments se font entendre. Grâce à cette théorie, on pourrait prévoir si un trille de piccolo (ou de synthétiseur) sera perçu comme

l'accentuation chatoyante de l'événement sonore dominant, ou comme un simple trille de piccolo.

De ces idées, que j'ai développées avec le concours de James K. Wright à l'Université McGill (Wright et Bregman 1987), peut naître une nouvelle théorie de la dissonance qui nous aiderait à considérer la tradition de la conduite des voix du contrepoint non pas comme un diktat exercé par un style musical particulier, mais comme la conséquence logique des lois de la perception auditive.

Avant de poursuivre, je souhaiterais définir les deux usages possibles du terme « dissonance » ; tout d'abord, il y a l'événement sonore qualifié parfois de dissonance, c'est la dissonance acoustique, et la perception de cet événement, à savoir la dissonance perçue. Cette distinction est nécessaire, car la première n'implique pas systématiquement la seconde. Voilà pour le premier point. Ensuite, il convient de distinguer entre les divers types de perception de la dissonance : d'une part, ce que je nommerai la « dissonance psychoacoustique », c'est-à-dire cette rugosité que l'auditeur moyen qualifie de dissonance, et qui n'a pas grand-chose à voir avec la musique en soi. D'autre part, ce terme peut également s'appliquer au degré de stabilité dont fait preuve un intervalle harmonique dans un contexte musical donné ; on peut alors dire que la dissonance assume une fonction syntaxique. Je qualifierai cette dernière de « dissonance musicale », bien que, pour ma part, je préfère m'en tenir à la première notion, celle de rugosité. Cela dit, il n'est pas impossible qu'à l'origine d'un bon nombre des règles de la théorie du contrepoint il y ait une tentative de limiter cette impression de rugosité en utilisant les principes de base de la perception auditive ; ces principes n'auraient assumé une fonction syntaxique que plus tard, une fois inscrits dans les styles musicaux.

La dissonance psychoacoustique désigne généralement ce qui se produit lorsque les partiels de plusieurs notes simultanées font entendre un battement désagréable et incohérent (Plomp et Levelt 1965 ; Hutchinson et Knopoff 1978). J'ajouterai, pour ma part, que cette définition correspond à la dissonance acoustique, mais non à la dissonance psychoacoustique. Cette dernière se produit uniquement lorsque les divers processus de regroupement que nous venons d'examiner organisent les partiels qui ont des battements simultanés en même flux perceptif.

J'ai dit que la proximité des fréquences était un facteur de regroupement séquentiel, par exemple de A et de B dans le cas de figure que j'ai donné. Il y en a d'autres, tels que la similitude de la fréquence fondamentale — ou hauteur pour les musiciens. Je n'entrerai pas ici dans ce qui les différencie l'une de l'autre ; disons simplement qu'une similitude, qu'elle soit de fréquence ou de hauteur, favorise le regroupement séquentiel des composantes du spectre. La musique traditionnelle se prête donc assez facilement à ce regroupement, car on est en présence de séries de hauteurs, et non de fréquences.

D'autres facteurs encore favorisent le regroupement séquentiel des sons, dont la proximité temporelle, la similitude du contenu spectral, et la régularité de tempo. Précisons que la similitude du contenu spectral se définit, entre autres, par la hauteur totale du spectre, ou, pour employer un terme musical, par sa brillance (Cf. ici même la contribution de Risset-Wessel p. 102), et par le rapport son/bruit. Pour résumer, on peut dire que le regroupement séquentiel est favorisé par des similitudes de timbre. Voilà qui comporte une certaine contradiction car, comme nous allons le voir, l'émergence du timbre dépend aussi d'un regroupement perceptif.

Le rôle de ces différents facteurs dans le regroupement séquentiel n'est pas fortuit. En effet, si un son n'est qu'une légère variante de celui qui l'a précédé, le système auditif doit déduire que ce n'est sans doute pas une coïncidence, mais que, l'univers étant relativement stable, des similitudes marquées entre deux sons consécutifs sont dues au fait qu'ils proviennent d'une même source émettant une série de sons.

Les effets perceptifs du regroupement des sons et leurs rapports avec la musique sont aussi importants que les facteurs acoustiques qui déclenchent ces regroupements. Pour les décrire brièvement, disons que lorsque plusieurs composantes acoustiques sont regroupées dans un même flux, le système auditif commence à les définir en tant que groupe, par exemple comme motif mélodique ou rythmique, ou en fonction de leur timbre. Une mélodie peut exister dans les notes, mais si les notes qui la portent ne sont pas détachées des sons concurrents ou entremêlés et isolées du contexte, la mélodie ne sera pas perçue. Ce phénomène porte d'ailleurs un nom : le camouflage.

« L'organisation verticale », qui gère la fusion d'éléments simultanés, est déclenchée, quant à elle, par un autre type de relations, même si, foncièrement, le système auditif adopte la même stratégie. Si certaines relations entre des sons simultanés sont très fortes, il est peu probable que ce soit le fruit du hasard, mais cela indique que leurs différentes composantes appartiennent à un même événement acoustique détecté dans diverses parties du spectre. Il convient donc d'en reconstituer « l'image » acoustique. Si, par exemple, le système auditif détecte une série de partiels entretenant des rapports harmoniques, il les regroupera en un seul son dont il calculera la hauteur. Il y a peu de chances pour qu'une relation à une fondamentale commune soit le résultat imprévu de l'occurrence simultanée de sons sans rapports les uns avec les autres. De même, si les fluctuations des fréquences de plusieurs partiels sont exactement proportionnelles et synchronisées, c'est sans doute parce que ceux-ci font partie du même son. Tel est le cas des changements corrélés qui affectent tous les partiels sur un trémolo de voix ou sur un portamento. Ces changements peuvent porter aussi bien sur l'amplitude que sur la fréquence, comme avec le trémolo.

L'analyse de scène auditive obéit à une règle d'or, à savoir : qu'elle opère le regroupement des composantes fréquentielles provenant d'un même point de l'espace. Cette règle ne suffit pas à assurer un regroupement correct, mais elle y contribue largement. Pour que le système auditif en fasse bon usage, il doit être à même de déterminer séparément la provenance de chaque élément de chaque composante du spectre. Pour un certain nombre de raisons, on peut penser qu'il en est capable.

Outre le regroupement d'éléments simultanés, dont nous avons déjà parlé, un autre facteur agit. Appelons-le « principe heuristique de différenciation », et voyons comment il fonctionne : à chaque instant, il demande au système auditif de comparer le spectre présent avec celui des événements les plus récents ; s'il peut interpréter ce spectre comme étant constitué d'un son récent auquel s'est ajouté un nouvel élément spectral, il doit alors le faire et traiter la partie ajoutée comme un son nouveau. En clair, cette règle signifie qu'un son récent peut « capturer » une copie ou une prolongation de lui-même dans une structure sonore.

Les processus de regroupement ou de ségrégation du système auditif sont organisés de telle manière qu'il n'appartient pas à un seul facteur d'accomplir l'ensemble de l'opération ; ils sont au contraire nombreux à participer à ce

travail d'évaluation ; cela semble être la meilleure solution, car une information traitée isolément ne permet pas de déterminer à coup sûr l'origine des différentes composantes d'un spectre.

Lorsqu'une même origine a été attribuée à une série d'événements simultanés, ces derniers sont traités comme une entité pour permettre le calcul de certaines caractéristiques générales du son. Il apparaît que l'appréciation du timbre, de la dissonance, voire de la hauteur, dépend du choix des composantes qui sont regroupées en entités.

Certaines règles du contrepoint ont pour but de « contrôler la dissonance ». Pour moi, cette expression signifie que, dans certains cas, un compositeur peut souhaiter utiliser la dissonance à des fins musicales (la « dissonance musicale »), tout en évitant la dissonance psychoacoustique. Certaines règles de la conduite des voix l'y autorisent. Schématiquement, deux règles établissent que les attaques de deux notes dissonantes doivent être décalées, et que les notes d'un accord dissonant doivent être approchées et abandonnées séquentiellement (par les notes de leur propre flux) au moyen des notes les plus proches dans l'échelle.

Si la dissonance était un phénomène purement physique, ces deux règles ne permettraient pas de la contrôler. Wright et moi-même proposons l'hypothèse suivante : le battement des partiels crée des conditions physiques qui peuvent conduire à la perception d'une dissonance, mais celle-ci n'est pas perçue si les composantes du son sont affectées à des flux sonores distincts.

A notre avis, donc, les règles du contrepoint ont pour objectif de renforcer la cohésion horizontale au détriment des facteurs de groupement vertical (Wright et Bregman 1987).

Ces deux règles, dont je viens de dire qu'elles sont au cœur du contrôle de la dissonance dans la théorie du contrepoint, affaiblissent la fusion des notes dissonantes en agissant à deux niveaux : d'abord, directement, en imposant l'asynchronie des attaques et des chutes ; ensuite, en renforçant les liens horizontaux, et en comptant sur la concurrence entre horizontalité et verticalité.

Nous pouvons voir comment ces deux principes ont été appliqués dans le style Palestrina, où il apparaît clairement que les associations verticales produisant des dissonances psychoacoustiques sont censées être rejetées. (Ce style exigeait également l'élimination de certaines consonances, d'où l'interdiction des quintes parallèles, par exemple ; mais ceci est une autre histoire.)

Prenons quelques exemples de ce style, en figure 3, pour voir comment ce rejet opère. Dans tous ces exemples, au début de la dissonance acoustique, une note de l'accord dissonant change, tandis que l'autre ne bouge pas. En outre, les notes d'une même ligne mélodique qui sont adjacentes à la note dissonante n'ont qu'un degré de différence. Dans la partie a, nous voyons une note de passage (P), et, dans la partie b, une note de passage accentuée ( $\triangleright$ P). Dans les deux cas, P introduit une attaque et un changement de hauteur, tandis que la note avec laquelle elle est en dissonance ne bouge pas. En b, où P est accentuée — ce qui pourrait faire ressortir la dissonance —, la fin de P et la transition vers une autre hauteur ne s'accompagnent pas non plus d'un changement de la note avec laquelle P est en dissonance. L'indépendance des changements dans les deux séries de partiels dérivées des deux registres de hauteurs indique au système auditif qu'il ne faut pas fusionner les tons et, ainsi, la dissonance psychoacoustique est supprimée. Ces mêmes principes sont à l'œuvre dans les exemples c (la broderie (N)) et d (l'anticipation (A)). Le retard, montré en e, garantit que le ton dissonant mis en suspens (S) est attiré par la hauteur précédente (P), et par celle qui suit (R), hauteur de résolution. En outre, le début et la fin des notes

dissonantes sont asynchrones. Il s'agit là de variantes d'une seule et même technique qui donnent le même résultat psychoacoustique, bien qu'elles opèrent dans des contextes musicaux différents.



*Figure 3.* Différentes méthodes pour contrôler la dissonance en style Palestrina. (a) note de passage (P); (b) note de passage accentué ( $>$  P); (c) broderie; (d) anticipation (A); (e) retard (S) avec (P), et résolution (R). Les crochets horizontaux indiquent l'asynchronie des sons dissonants. (Exemples tirés de Wright et Bregman 1987.)

Des styles plus tardifs, tels que la *seconda prattica*, toléraient davantage de dissonance psychoacoustique, et assouplirent les règles qui l'interdisaient. Dans son rapport de maîtrise soutenu à l'université McGill, Wright expose les techniques de composition de diverses époques, et montre que, si les règles de la perception n'ont pas changé, les règles de la composition, elles, ont évolué à mesure que l'on apprenait à apprécier la dissonance psychoacoustique et à la créer sciemment (Wright 1986).

J'aimerais maintenant parler de la musique informatique, laquelle n'échappe ni aux lois de l'organisation, ni à celles de la composition. Si un compositeur de musique sur ordinateur désire créer des timbres complexes, il ou elle doit se poser la question de savoir si les composantes vont se fondre pour dégager une propriété d'ensemble, ou rester séparées; il faut également déterminer si les composantes distinctes du son conserveront leur identité distincte ou si elles se perdront dans une masse informe. Enfin, des sons censés être reliés seront-ils entendus comme tels?

A certains égards, les compositeurs de musique sur ordinateur sont dans une situation moins enviable que ceux travaillant sur des instruments traditionnels, qui, eux, peuvent tirer profit des règles élaborées au fil des siècles. Ces règles, liées à des styles musicaux particuliers, ne sont guère applicables en musique contemporaine, et le compositeur qui ne peut faire appel à des solutions traditionnelles est bien obligé de s'appuyer sur des principes fondamentaux.

En revanche, il a davantage la possibilité de jouer sur les mécanismes cérébraux de l'auditeur lorsqu'il applique ces principes, car l'ordinateur permet un contrôle très précis des paramètres physiques du signal. Étant convaincu que le groupement perceptif dépend en grande partie des propriétés physiques des séries de sons, je les crois assez contrôlables dans des sons générés par ordinateur. C'est ce qu'a fait Roger Reynolds à l'I.R.C.A.M., avec l'assistance de Thierry Lancino, dans *Archipelago*. J'en ai eu connaissance en lisant la thèse de Stephen McAdams, et, grâce à lui, j'ai également pu entendre la bande

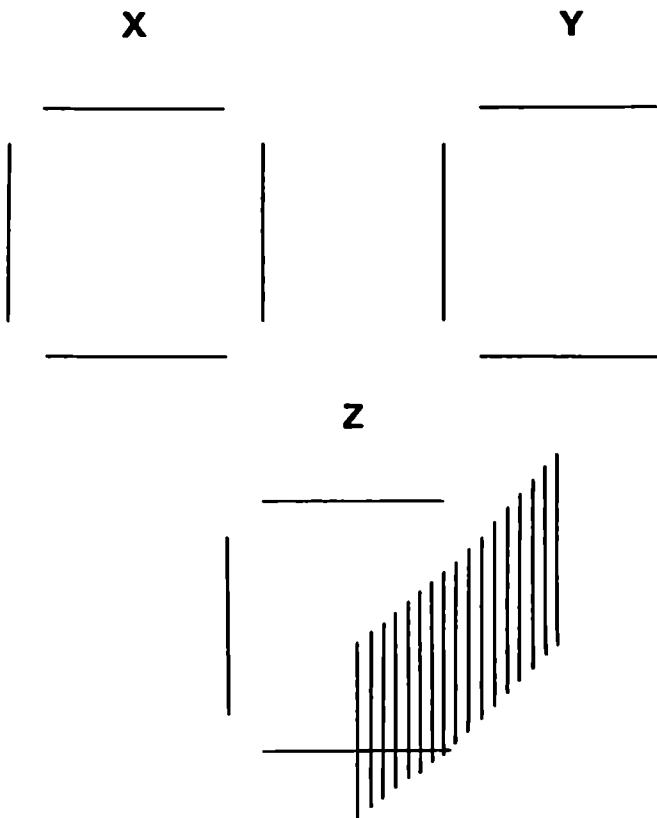
(McAdams 1984a). Les harmoniques pairs et impairs du hautbois sont synthétisés séparément et transmis par deux haut-parleurs différents. Au début, les deux séries d'harmoniques observent un même comportement, avec de très légères fluctuations de fréquence ; elles sont ainsi fusionnées et entendues comme un seul son situé entre les haut-parleurs. Puis, progressivement, les patterns de fluctuations des deux séries commencent à diverger, et l'auditeur entend deux sons, provenant chacun d'un haut-parleur, avec des hauteurs et des timbres distincts. Nous avons là un exemple frappant où un tout se divise en deux entités.

Je crois qu'il devrait être possible de rédiger un traité d'orchestration énonçant des principes assez abstraits pour être appliqués à tous les styles de musique. Ce ne serait pas un recueil de préceptes accumulant impératifs et interdits, mais une sorte de guide indiquant la marche à suivre pour obtenir tel ou tel son, et laissant toute liberté au compositeur de décider du résultat souhaité.

Jusqu'ici, j'ai axé ma réflexion sur ce que le compositeur peut apprendre du psychologue spécialiste de la perception. L'échange se fait aussi dans l'autre sens, et ma collaboration étroite avec le musicologue James K. Wright sur la question des relations entre musique et psychologie de la perception m'a fait changer d'opinion sur deux points.

J'ai remarqué que, dans une œuvre musicale, il pouvait exister deux lignes mélodiques plus ou moins distinctes, mais que l'ensemble qu'elles forment se distingue nettement des bruits de toux que l'on peut entendre dans une salle. Nous savons qu'en raison de la ségrégation des flux sonores, il est difficile d'identifier les propriétés reliant les événements de plusieurs flux. L'auditeur doit cependant être à même de percevoir les rapports existant entre les diverses parties d'une composition. Ce que je veux dire, c'est que le concept de flux en tant qu'entité perceptive autonome mérite d'être développé. Les flux perçus ont certainement une structure hiérarchique permettant que deux instruments aux sons distincts soient séparés à un premier niveau de hiérarchie et réunis à un niveau supérieur dans un «flux d'ensemble», tandis qu'un bruit de toux, par exemple, se détache de ces deux niveaux. Il existerait donc des facteurs acoustiques qui fusionneraient les lignes mélodiques d'une composition en même temps qu'ils les séparent. Aucune théorie vérifiable n'a encore été formulée en ce sens, mais je ne doute pas que cela soit possible.

J'ai appris autre chose encore de ma collaboration avec Wright, un fait lié au rôle de la répétition cyclique dans l'intégration. Wright recherchait d'autres principes de groupement en composition, susceptibles d'isoler un flux de sons séquentiels des conséquences harmoniques ou inharmoniques de sons simultanés. Il a trouvé la réponse avec l'ostinato, dans lequel une courte série de tons est inlassablement répétée avec parfois de légères variations. Il semble que, dans l'ostinato, la répétition opère une intégration horizontale si forte que les notes résistent à la fusion psychoacoustique avec des sons concurrents. Lorsqu'il y a un poly-ostinato, comme, par exemple, dans le *Quatrième quatuor à cordes* de Bartók, où chaque instrument joue un ostinato, l'auditeur est en présence de nombreuses dissonances auxquelles il n'est pas sensible. Nous pouvons voir que les attaques des ostinati de chaque instrument (la note la plus grave, par exemple) sont rarement simultanées, et qu'ils ont tous un rythme différent. Cette absence de cohésion aide le système auditif à isoler les lignes et rend possible ce que les Allemands appellent «*rücksichtsloser Kontrapunkt*», ou contrepoint téméraire.



*Figure 4.* « Ostinato visuel ». (Exemple tiré de Wright et Bregman 1987.)

Au départ, je ne considérais pas la répétition, facteur d'intégration des événements, comme un principe de groupement, mais après réflexion, d'autres exemples me sont venus à l'esprit. La figure 4 représente un « ostinato visuel », où la répétition d'un segment de ligne forme un groupe constitué des lignes répétées, et empêche l'une d'elles de former le bord d'un carré ouvert. La figure centrale, Z, ne ressemble pas à X, mais davantage à la forme Y, même si la ligne qui pourrait compléter la figure Z et la faire ressembler à X n'est pas absente, mais « masquée » dans le groupe de lignes parallèles. Lorsque le système visuel analyse cette figure, il conclut que la répétition régulière de certaines lignes ne peut pas être l'effet du hasard, et que toutes les lignes devraient donc être traitées comme appartenant à un seul et même objet ; ce groupement est assez fort pour empêcher que les éléments ne jouent un rôle dans d'autres structures dont le degré d'intégration est moindre.

Ces réflexions m'amènent maintenant à tirer quelques conclusions : les dernières découvertes en psychologie de la perception permettent de compren-

dre que certains principes de composition ne résultent pas de la syntaxe d'un style en particulier, mais sont dérivés des principes fondamentaux de la perception auditive humaine. J'ai évoqué comment les règles du contrepoint permettent de contrôler la dissonance. Je crois que ces principes ont été élaborés afin qu'il soit possible de reconnaître des motifs dans des environnements auditifs complexes, et qu'ils sont l'équivalent pour l'oreille des principes visuels qui opèrent l'analyse de scène.

Il ne s'agit pas de nier la spécificité de la musique. La musique crée des structures cognitives et esthétiques qui résonnent au plus profond de nous-mêmes, et notre écoute se nourrit en grande partie d'une connaissance acquise de ces structures. Je veux simplement dire que notre perception est filtrée par un système auditif conçu pour des tâches plus fonctionnelles, et que la structure musicale est passée au crible des principes qui régissent le fonctionnement concret et quotidien de notre système auditif.

## **Sourdine et « timbre » des instruments à vent (cuivres)**

par René CAUSSÉ

Jusqu'ici, était regroupé sous le terme musical « timbre » tout ce qui, mal défini, permettait de différencier les sources sonores à partir de l'analyse du signal acoustique, ce fourre-tout pouvant être associé à un instrument isolé (le timbre du trombone), à une combinaison d'instruments de l'orchestre (le timbre du pupitre des cuivres), à sa marque (le timbre du modèle « x » de tel fabricant) ou encore à ses registres (le timbre du registre grave du trombone).

Aujourd'hui la multiplication des recherches sur la perception et les applications musicales de la synthèse sonore numérique sont en train de bouleverser notre point de vue sur le « timbre »; devant la complexité des processus perceptifs qui mettent en jeu de nombreux mécanismes mentaux interagissant fortement avec la mémoire (Minsky 1985), nous ne sommes pas loin de constater que le concept de « timbre », en dehors de sa fonction évocatrice dans le langage compositionnel, est insuffisant, et qu'il est nécessaire de le compléter par un ensemble de « paramètres perceptuels » (cf. ici même le texte de Risset et Wessel), pondérés selon le contexte, la nuance ou le registre de l'instrument par exemple, et plus ou moins corrélés.

Pour décrire les transformations introduites par les sourdines, nous avons retenu comme paramètres pertinents pour l'observateur : les facteurs temporels, les facteurs d'espace (directivité du rayonnement) et la distribution spectrale de l'énergie. Ces paramètres agissent le plus souvent séquentiellement au cours de l'émission des sons instrumentaux ; ainsi, lors de l'attaque, notre perception se focalise plus ou moins inconsciemment sur l'ordre et la durée d'apparition des composantes spectrales du son, harmoniques ou bruit. Cependant, si l'usage d'une sourdine perturbe l'un de ces facteurs, notre attention pourra se reporter sur les autres paramètres pour différencier la source. Il peut arriver aussi, lors de transformations extrêmes, qu'un des paramètres masque partiellement les autres sur toute la durée de l'émission sonore.

Les sourdines des cuivres sont classées selon le mode de fixation au pavillon (Sluchin et Caussé 1987) ; se dégagent alors trois catégories principales : celle constituée de sourdines fixées dans le pavillon soit par des lames de liège, préservant ainsi une communication avec l'extérieur définie entre la face interne du pavillon et la face externe de la sourdine (« sèche »), soit par un anneau de liège qui obstrue totalement ce passage, remplaçant l'effet de la partie aval du

pavillon (« wa-wa »); la catégorie composée de sourdines tenues contre le pavillon par la main (« plunger ») ou par des crochets (« velvet », « bucket »); enfin, celle combinant les catégories précédentes (« bol », « sèche-plunger »).

Les exemples bien connus de suppression ou de substitution du transitoire d'attaque illustrent bien l'importance de ce facteur sur le plan perceptif. La durée de ce transitoire est déterminée par les échéances énergétiques à l'intérieur de l'instrument et par les pertes de rayonnement. Si la surface d'émission du pavillon est réduite, par l'insertion d'une sourdine « sèche » par exemple, il en sera de même pour l'énergie rayonnée avec, comme conséquence directe, une réaction plus forte sur les lèvres de l'instrumentiste et une attaque plus rapide.

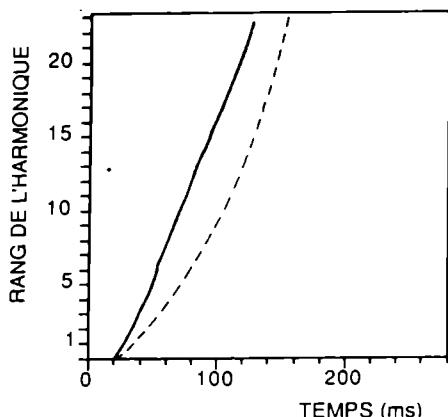


Figure 1.

Cet effet est représenté sur les courbes suivantes qui comparent les durées des transitoires en fonction du rang de l'harmonique pour la note  $\text{Si}^b_2$  du trombone ténor avec (trait plein) et sans (trait en pointillés) sourdine « sèche » (Fig. 1). La réduction du temps d'attaque est inégale sur tout le spectre, de 10 ms pour le deuxième harmonic, trois fois plus pour le dixième, et liée à la répartition des ondes stationnaires à l'intérieur de l'instrument qui varie avec la fréquence. Pour ce trombone, les ondes stationnaires n'évoluent dans la région du pavillon qu'à partir du troisième partiel puis, lorsque le rang du partiel augmente, s'étendent et sont donc de plus en plus influencées par le type de sourdine (Caussé et Sluchin 1988).

Si dans ce cas l'allure de la modification est continue, pour certaines sourdines, au contraire, les courbes d'attaque sont très irrégulières. C'est le cas par exemple pour la « whisper » (Fig. 2) pour laquelle la vibration de ses parois et un élément constitutif de la sourdine (tube interne) favorisent, pour quelques notes, l'attaque de certains harmoniques au détriment des autres et donnent lieu à une « indétermination » du processus d'identification de l'instrument. En faisant appel à un autre paramètre, normalement placé à un niveau perceptif moindre, ou à une référence antérieure, il sera possible de lever ce « trouble perceptif ».

Notre connaissance psychophysique souligne le fait que l'observateur est

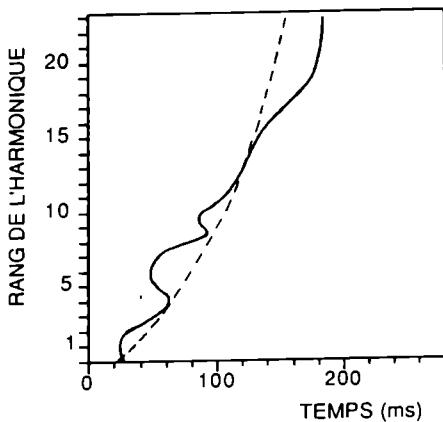


Figure 2.

sensible, bien souvent sans s'en rendre compte, aux caractéristiques directionnelles des sources sonores, à la fois à travers la résolution temporelle des réflexions de la salle et à travers l'exploration des caractéristiques du champ acoustique local par des mouvements de la tête (Blauert 1983). Les sourdines transforment les caractéristiques directionnelles des cuivres lorsqu'elles réduisent la surface émettrice ou lorsqu'elles la remplacent par un orifice aux propriétés directionnelles très différentes, comme c'est le cas avec le « stem » de la « wa-wa », petit tube coulissant terminé par un pavillon de faible diamètre (30 % du diamètre du pavillon). Elles agissent aussi comme un obstacle au rayonnement ou comme une deuxième source sonore lorsque l'amplitude de l'onde générée par la vibration des parois n'est plus négligeable devant celle du tuyau, donnant lieu à de curieux phénomènes d'interférence.

Lorsque la dimension caractéristique du pavillon (diamètre) est très petite comparée à celle du fondamental de la note émise (longueur d'onde), l'instrument agit comme une source sonore omnidirectionnelle pour ce fondamental, distribuant l'énergie de manière uniforme dans toutes les directions de l'espace. Nous sommes alors en basse fréquence. À l'opposé, les hautes fréquences ont une directionnalité bien prononcée, la dimension du pavillon étant alors très grande comparée à la longueur d'onde. Ainsi pour la note  $F_{A_3}$  de la trompette, le fondamental est encore une basse fréquence; la caractéristique sera donc omnidirectionnelle, mais les harmoniques supérieurs seront de plus en plus directs avec le rang de l'harmonique; c'est ce qu'illustre le diagramme de la figure 3 pour deux harmoniques du  $F_{A_3}$ , le fondamental (350 Hz en trait plein) et le cinquième harmonique (1750 Hz en pointillés). Pour ce dernier, la différence d'intensité entre la direction du pavillon ( $0^\circ$ ) et celle perpendiculaire à cet axe ( $90^\circ$ ) est de 20 dB.

Pour la sourdine « sèche », la forte « directionnalité » des harmoniques supérieurs risque de masquer, pour l'auditeur, l'isotropie du champ acoustique du fondamental et des premiers harmoniques, l'amplitude de ces derniers étant atténuée par le filtrage passe-bas de la sourdine, comme nous le verrons par la suite. De plus, lorsque la longueur d'onde approche le diamètre du pavillon,

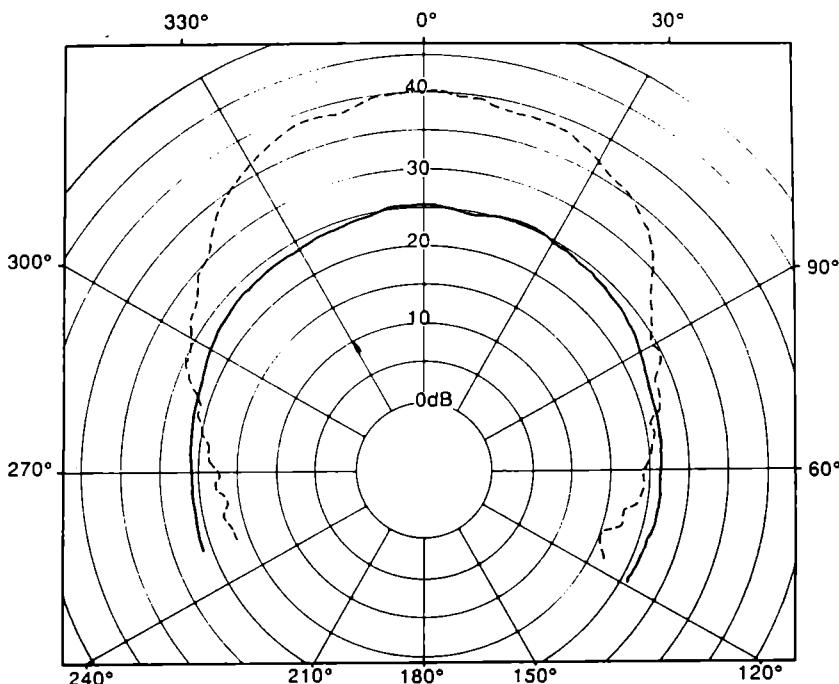


Figure 3.

les effets de diffraction du corps de la sourdine peuvent accentuer certaines directions et favoriser le masquage (Fig. 4, courbe en pointillés).

Les diagrammes de directivité des cuivres présentent généralement une symétrie de rotation autour de l'axe longitudinal ( $0^\circ$ ), à l'exception de ceux du cor d'harmonie, très marqués par la tenue de l'instrument: main droite dans le pavillon incliné et proximité du corps du musicien. Cette dissymétrie se retrouve chez quelques types de sourdines. La « bol », croisement de la « sèche » avec la « plunger », engendre des dissymétries importantes, comme on peut le voir pour le trombone sur la courbe en trait plein de la figure précédente, liées à la fermeture imparfaite du pavillon par le bol. Si le « creux » autour de  $330^\circ$  est très profond ( $\approx 30$  dB par rapport à la direction  $0^\circ$ ), il n'a que peu de signification du point de vue de la perception, car il est trop étroit. Par contre une plage plus large, entre  $315^\circ$  et  $340^\circ$ , et cependant moins atténuee (en moyenne 15dB), en aura beaucoup plus et pourra gêner la perception de l'auditeur.

L'audition du cor nous sensibilise fortement au rôle que jouent les réflexions de la salle, plus particulièrement les réflexions arrière. Cet effet est un trait dominant de cet instrument, à tel point qu'une sourdine propre au trombone (« Finch »), de type « velvet » mais construite en matériaux rigides et démunie d'absorbant hautes fréquences, pourra, en recréant pour quelques notes cet « effet arrière », donner l'illusion d'un transfert d'identité.

La distribution spectrale de l'énergie, troisième paramètre représentatif des transformations introduites par les sourdines sur le plan de la perception,

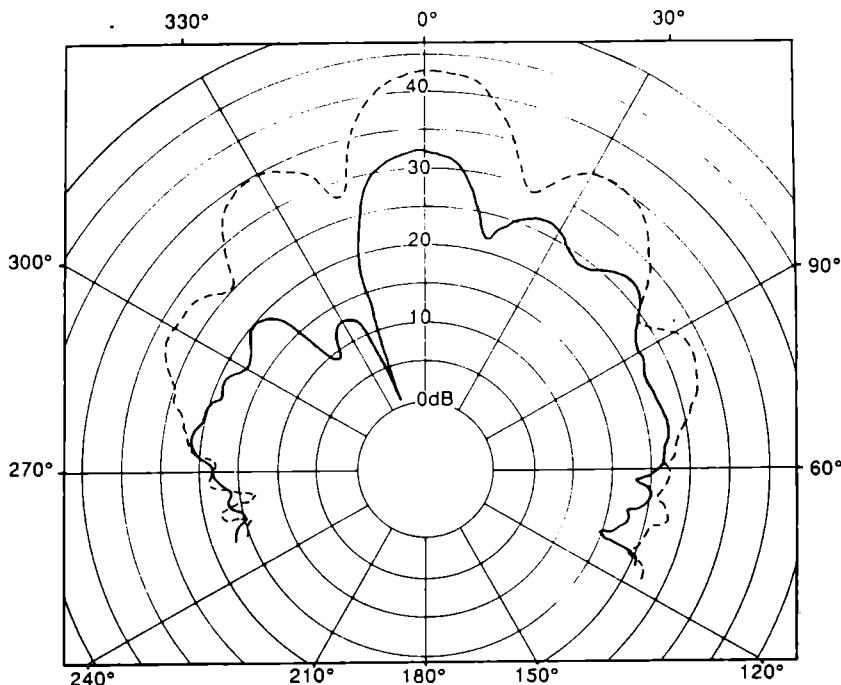
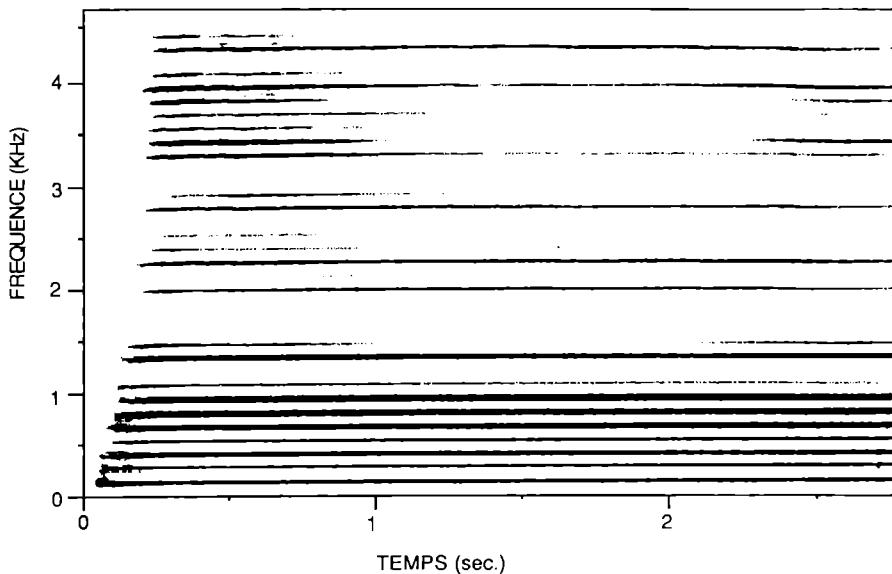


Figure 4.

présente un caractère évolutif dans le temps. Comme l'a montré J.C. Risset pour les « timbres cuivrés » (1986), « la caractéristique essentielle (du timbre) n'est pas un spectre typique, mais une loi de variation du spectre ». Il en est de même pour l'effet des sourdines. Prenons l'exemple de la « wa-wa » ou « harmon » : si l'identification de la loi de variation lors de l'émission de l'onomatopée oua-oua, produite par l'ouverture graduelle du petit pavillon (« stem ») par la paume de la main, est immédiate, par contre, dans le cas d'une note « stable » émise sans variation de l'ouverture, elle l'est moins. Cependant, sur la représentation temps-fréquence (sonogramme) de la note  $\text{Si}^b_2$  (233Hz), il est possible, au cours de l'émission, de visualiser l'évolution des parties du spectre déterminantes du point de vue perceptif (Fig. 5). Ainsi l'on remarque, superposé à la distribution spectrale « permanente » caractéristique de la « wa-wa » avec « stem rentré » que nous décrirons plus loin et à laquelle nous pouvons associer une qualité timbrale (cf. le texte de Risset et Wessel), un ensemble de composantes compris entre 3000 et 4200Hz environ, qui émerge lors de l'attaque, disparaît après 600 ms et se répète à la fin. Les vibrations des parois sont à l'origine de ces accentuations, à la fois lors de l'attaque et lors de petites variations de nuances.

A la différence des instruments à cordes, la distribution spectrale est assez régulière sur tout le registre des cuivres. Avec sourdine cette uniformité est rompue, et ce de façon aussi variée qu'il y a de modèles. Il est possible de corrélérer la distribution spectrale « permanente » à la forme et aux éléments constitutifs de la sourdine, bien que le lien ne soit pas facile à mettre en évidence, les transformations résultant du couplage entre l'instrument et la sourdine et non



*Figure 5.*

de la somme des transformations séparées. La mesure et la visualisation des transformations sont effectuées sur tout le registre de l'instrument par une méthode qui permet de prendre en compte aussi bien l'influence de la directivité que celle du lieu d'écoute (Caussé et Sluchin 1988). Bien entendu, il y aura autant de transformations que de nuances de jeu.

La sourdine « sèche » agit comme un filtre passe-haut dont la fréquence de coupure dépend du volume « utile », délimité par l'intérieur du pavillon et l'extérieur de la sourdine. Des creux à des fréquences spécifiques, correspondant aux résonances propres de la sourdine, se superposent dans le spectre à l'atténuation des basses fréquences. Ces creux sont cependant trop étroits pour être perceptivement significatifs. Nous avons comparé sur la figure 6 la transformation de la sourdine « sèche » (trait plein) à celle du trombone ténor seul (pointillé) pour une nuance mezzo-forte. Pour le trombone, on remarquera le résultat bien connu de la zone formantique entre 400 et 700 Hz, liée à l'influence de l'embouchure.

Pour la sourdine « bol », croisement de la « sèche » et du « plunger », on retrouvera la transformation précédente pour une fermeture lâche du « bol ». Au contraire si la fermeture est très serrée, la résonance de la nouvelle cavité, délimitée par le bol et le pavillon, viendra perturber la distribution précédente.

La position du « stem » de la « wa-wa » est déterminante pour l'allure de la distribution (Fig. 7); ainsi, lorsque ce petit tube est « rentré », nous observons une forte atténuation ( $\approx 20$  dB) des fondamentaux des partiels de l'instrument, suivie d'une zone formantique correspondant à la première résonance du « stem » dont la longueur est alors égale à une demi-longueur d'onde. Oter le « stem » dérègle encore plus l'adaptation entre le champ interne et le champ externe, ce qui a pour influence de relever les très basses fréquences; un petit formant est toujours présent, lié au guide de sortie du « stem ». Les trois spectres

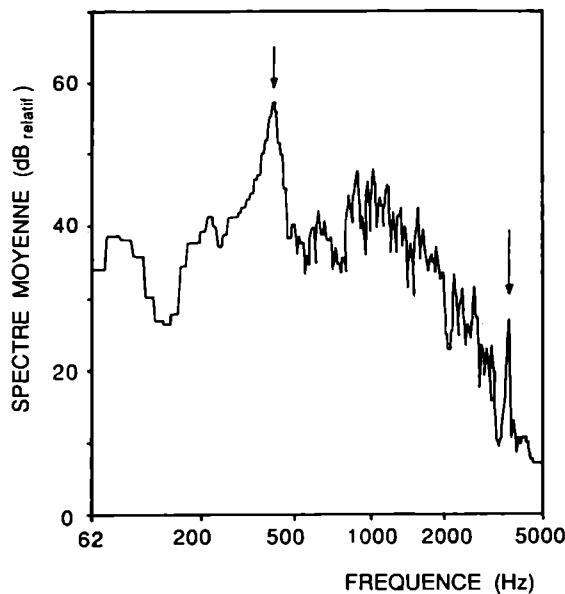


Figure 6.

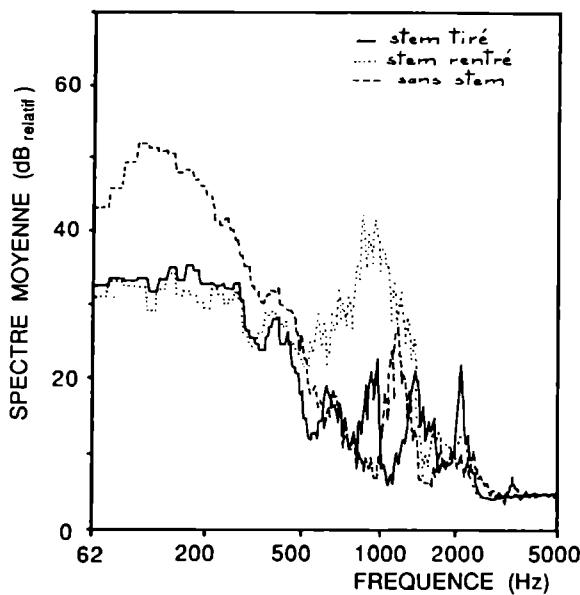


Figure 7.

superposés suivants permettent de comparer trois possibilités d'utilisation de cette sourdine, parmi six ou sept perceptivement différentes : «stem rentré», «stem tiré» et «sans stem». Les sourdines «solotone» et «whisper» modifient de façon similaire le spectre avec cependant, pour la dernière, une atténuation globale plus importante.

La deuxième catégorie de sourdines n'a que peu d'influence sur le registre grave, de par le mode de fixation sur le pavillon et de par la forme. Par contre, lorsque des matériaux très absorbants hautes fréquences sont fixés sur la paroi interne, comme c'est le cas pour la «bucket», le spectre mesuré sera appauvri de ces fréquences. L'effet est celui d'un filtre passe-bas.

Pour déterminer le tour d'horizon des modifications introduites pour les sourdines, nous parlerons de l'influence des matériaux. Selon ces matériaux, les parois de la sourdine vibreront plus ou moins, entraînées par la vibration de la colonne d'air. Sur le plan perceptif, l'influence sera beaucoup plus prépondérante pour les sourdines que pour les instruments seuls, pouvant aller jusqu'à dicter le choix de la sourdine. Ainsi l'effet recherché par l'emploi de la sourdine «sèche» dans l'*Opus 10* de Webern et dans *Octandre* de Varèse ne pourra pas être réalisé par la même sourdine; heureusement, plusieurs matériaux sont proposés sur le marché pour une forme donnée, qui permettent d'y répondre. De plus, il peut arriver que certaines techniques d'assemblage des différentes parties de la sourdine favorisent la vibration de ses parois, surtout lorsque celles-ci vieillissent, et soient utilisées comme effet musical supplémentaire, notamment dans le jazz. Sur la figure 8 sont mis en évidence ces deux effets, la vibration des parois dans la zone 350 Hz et l'effet d'un assemblage défectueux autour de 3600 Hz, pour une sourdine pour laquelle nous avons volontairement exagéré ces phénomènes. Ici aussi ces effets sont particulièrement sensibles à la nuance de jeu et avant tout dynamiques, évoluant en cours d'émission.

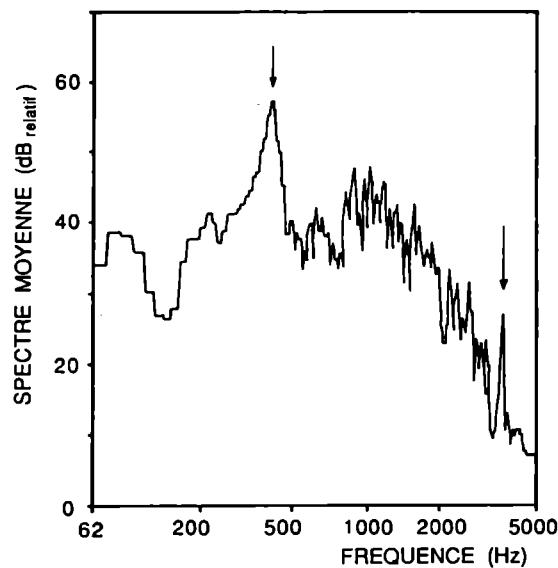


Figure 8.

## **Le timbre des instruments à anche**

par Jean KERGOMARD

### **Introduction**

Les instruments à anche, qui constituent l'une des deux grandes familles d'instruments à vent, sont d'une grande diversité: l'anche peut être en roseau (simple ou double), en métal (pour les tuyaux d'orgue), «lippale» (pour les cuivres), libre (pour l'accordéon)... Dans ce qui suit, nous limitons notre investigation aux instruments à anche en roseau, sans nous interdire de déborder sur les autres types en cas de besoin.

Tentons de faire le point sur les éléments constitutifs du timbre «physique», le contenu spectral du son rayonné par un instrument, et son évolution dans le temps, par opposition avec le timbre perçu par l'oreille. Nous laissons à d'autres le soin de traiter le vaste problème des relations existant entre timbre physique et timbre perçu. Malgré ces limitations, nous espérons intéresser le plus grand nombre de musiciens, tant il est vrai que bien des caractéristiques des instruments à anche sont communes avec d'autres instruments. Prenons deux exemples, essentiels: premièrement, on ne peut pas parler «du» son (physique) d'un instrument de musique, puisque celui-ci «rayonne» un champ d'interférences très hétérogène et complexe, et que par conséquent, même en oubliant le rôle de la salle, le spectre est très différent d'un endroit à un autre. Mais heureusement, bien des propriétés du spectre peuvent être observées «sous» l'anche, dans le bec (spectre «interne»), et l'hétérogénéité externe ne semble pas, en général, gêner l'auditeur pour juger de la qualité d'un instrument. Deuxièmement, de même que tous les instruments à vent et les instruments à cordes frottées, les instruments à anche ont un fonctionnement «non linéaire», puisque la source d'énergie est continue: l'instrumentiste produit les vibrations de l'air et de l'anche simplement en maintenant une surpression statique dans sa bouche; il n'a pas besoin d'aspirer et souffler alternativement cent fois par seconde pour produire un son de 100 Hz! Une conséquence est l'apparition d'harmoniques aigus de plus en plus intenses au fur et à mesure qu'il force le souffle (Fig. 1).

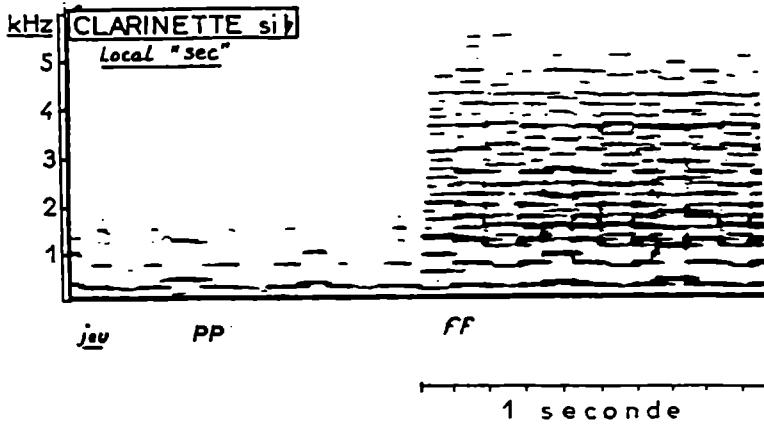


Figure 1. Analyse sonagraphique du même passage musical joué pianissimo et fortissimo à la clarinette (d'après E. Leipp).

Ce que nous présentons ci-dessous ne vise pas à l'originalité, mais plutôt à synthétiser de nombreux résultats déjà connus, publiés notamment par A.H. Benade, auxquels nous ajoutons quelques résultats de notre laboratoire. Nous discutons successivement l'influence, sur le spectre, interne du musicien, l'anche, la forme du tuyau, et de l'existence de trous latéraux; il reste alors à envisager les paramètres influençant le rapport entre spectre interne et spectre externe. Ce découpage (musicien, anche, tuyau, trous latéraux) peut sembler logique, il est pourtant imparfait puisque précisément le musicien, l'anche et le tuyau sonore sont couplés, et ne produisent pas de son lorsqu'ils sont séparés!

## I. Le rôle de l'instrumentiste

Il ne nous paraît pas absurde de traiter d'abord de la source d'énergie, l'instrumentiste. En effet, ce dernier a un rôle plus important encore que celui d'apporter l'énergie: il contrôle de nombreux paramètres afin d'affiner le couplage entre anche et tuyau sonore. Tout d'abord, ses lèvres (ou une de ses lèvres pour les anches simples) limitent la longueur vibrante de l'anche et contrôlent l'amortissement de ses vibrations: si on remplace les lèvres par les dents, on obtient un son tout à fait criard. La longueur vibrante de l'anche, couplée à la valeur de la pression (statique) dans la bouche, détermine le niveau du son résultant, ainsi que le timbre. De surcroît, les dents du clarinettiste permettent de durcir à volonté la lèvre inférieure, et de donner plus de latitude au contrôle de l'amortissement de l'anche. Pour le physicien, ces moyens d'action déterminent les caractéristiques de l'anche en tant qu'oscillateur, et en particulier sa fréquence propre; Thomson (1979) a étudié en détail la relation entre les possibilités de jeu, la sonorité et cette fréquence propre.

La langue de l'instrumentiste, comme sa bouche, peuvent contrôler l'arrivée de l'air ou relâcher brusquement l'anche, et ainsi produire une grande variété d'attaques, qui sont un élément constitutif important du timbre.

Enfin, un sujet encore controversé chez les physiciens est le rôle de la cavité

buccale. Agit-elle comme un second résonateur? Plusieurs articles récents semblent apporter une réponse contradictoire à cette question (Clinch *et al.* 1982, Backus 1985).

## II. L'anche

L'anche en roseau est très hétérogène; les instrumentistes connaissent bien ses réactions apparemment fantaisques par rapport à l'humidité, la fabrication, le grattage..., et les conséquences sur la facilité d'émission, la sonorité et même la justesse. Ce matériau végétal a été étudié très précisément par J.-M. Heinrich (1986) quant à sa structure: le roseau présente des couches externes denses et des couches internes moins denses, qui se comportent très différemment vis-à-vis de l'humidité, à la fois dans l'imprégnation à court et à long terme; d'où ce que l'auteur appelle «effet bilame hydrique», qui explique les propriétés de cintrage différencierées de l'anche selon la durée de l'humidification, et la nécessité de ne pas gratter n'importe comment à n'importe quel moment. Comme on le sait, les conséquences sonores sont plus dramatiques pour l'anche double que pour l'anche simple: en ce qui concerne l'anche de basson, nous avons pu montrer que selon le cintrage, l'anche pouvait sonner clair (beaucoup d'harmoniques aigus, attaques nettes) ou sourd (peu d'harmoniques aigus, attaques lentes) (Heinrich et Kergomard 1976).

L'anche simple est quelquefois remplacée soit par une anche en roseau plastifiée, soit par une anche en plastique, mais cette substitution n'a pas encore conquis la majorité des musiciens, en particulier classiques. Il est certain que les efforts pour une fabrication qui tienne compte des propriétés réelles du roseau, comme celle mentionnée ci-dessus, et permette une grande souplesse et une grande variété d'expression et de dynamique, n'ont pas encore été réalisés.

On notera que la conception d'une anche simple est étroitement liée à celle du bec, puisque la table de celui-ci, que l'anche vient obturer en battant, est légèrement incurvée de façon à rendre la fermeture plus progressive, par effet d'enroulement de l'anche sur la courbure de la table du bec, et à diminuer ainsi le nombre d'harmoniques aigus.

## III. La forme du tuyau

### 1. *Loi de Worman-Benade*

S'il n'y avait ni amortissement de l'anche ni dissipation d'énergie dans le tuyau sonore, le son interne aurait la forme d'un signal avec une succession d'angles droits, et donc un spectre très riche en harmoniques aigus. Mais la dissipation d'énergie, d'autant plus forte que la fréquence est élevée et le rayon étroit, émousse largement les angles; il est à noter que la dissipation se fait essentiellement près des parois du tuyau, en particulier par effets visqueux: les molécules d'air près de la paroi ne peuvent pas bouger, frottent avec celles qui peuvent bouger, d'où l'existence de pertes sous forme de chaleur. Le rayonnement du son à l'extérieur constitue l'autre forme de dissipation, qui se produit cette fois dans l'air libre; il est très important qualitativement, car c'est grâce à lui que nous entendons; cependant il est très faible, et influe de façon marginale sur le fonctionnement de l'instrument, donc sur le son interne. On peut le supprimer presque complètement, par des sourdines, sans modifier radicalement le jeu de l'instrumentiste!

Dans ce qui suit, nous commençons donc, à l'instar de Benade (1976), par nous intéresser à ce son interne. La première loi capitale de cet auteur, avec Worman (1971) et Thomson (1979), est que «toutes choses étant égales par ailleurs», l'amplitude d'un harmonique est proportionnelle à la valeur de l'«impédance» d'entrée du tuyau pour la fréquence considérée. Sans entrer dans le détail, disons que l'impédance acoustique est la mesure du degré de résonance d'une fréquence: si elle est maximum, la fréquence est dite de résonance (un haut-parleur placé à l'entrée du tuyau pourrait alors émettre un maximum d'énergie acoustique). Observons une courbe d'impédance d'entrée en fonction de la fréquence (Fig. 2), véritable signature de la forme du tuyau (elle ne dépend pas de l'anche). Ici, il s'agit d'un tuyau cylindrique: si l'on joue la note dont le fondamental correspond à la première résonance, ses harmoniques correspondront aux autres résonances, car celles-ci sont quasiment harmoniques, c'est-à-dire multiples entiers (si la première est 100 Hz, les suivantes seront 300 hz, 500 Hz,...). Donc, l'impédance des harmoniques est élevée, la note est aisée à émettre et riche en aigus.

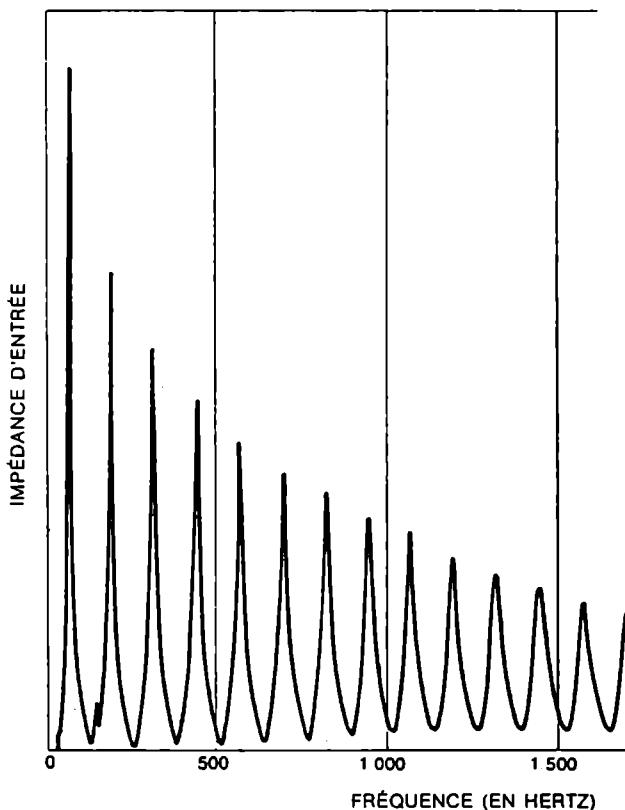


Figure 2. Courbe d'impédance d'un tuyau cylindrique de 1,4 m; les fréquences de résonance suivent presque parfaitement la série 1,3,5... (d'après A.-H. Benade).

C'est ici qu'intervient la deuxième loi de Worman-Benade; quand l'instrumentiste joue crescendo, l'amplitude du premier harmonique (fondamental) croît, mais celle du  $n^{\text{ième}}$  harmonique croît comme la puissance  $n$  du

fondamental : si celui-ci est augmenté de 10 dB (décibels), le 3<sup>e</sup> est augmenté de 30 dB, le 5<sup>e</sup> de 50 dB, ... D'où une explication de la figure 1.

Nous avons fait, avec Meynil, l'expérience suivante : prenons un tuyau cylindrique, et perturbons-le en le faisant déboucher sur un autre tuyau beaucoup plus étroit. L'impédance d'entrée (Fig. 3) présente des résonances complètement inharmoniques, et, pour retrouver un pic de valeur semblable à celle du premier, il faut franchir plus de trois octaves. Résultat : si l'on souffle avec un bec de clarinette, le son interne est quasi sinusoïdal — qu'on le joue pianissimo ou fortissimo — car les harmoniques du fondamental de la note jouée ne coïncident jamais avec des résonances de l'instrument !

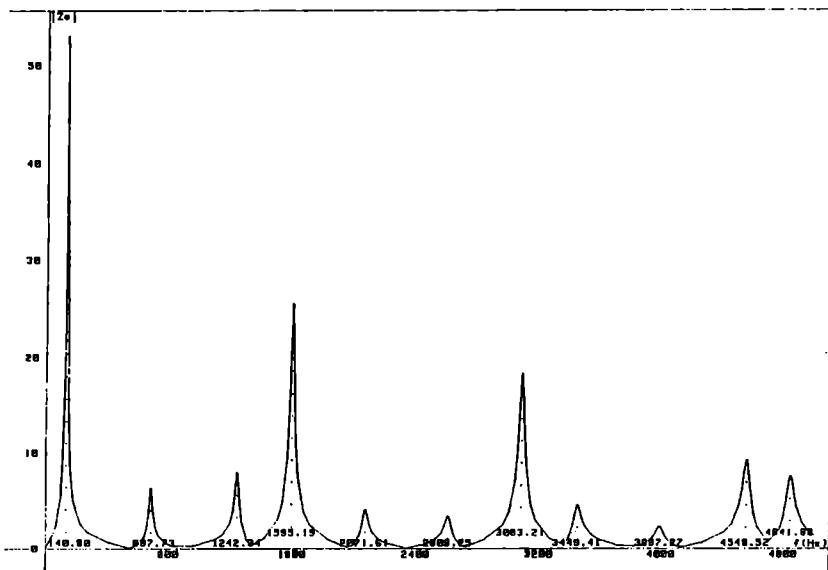


Figure 3. Courbe d'impédance d'un résonateur « monochromatique », produisant une pression interne quasi sinusoïdale : la plus basse fréquence de résonance présentant un rapport simple avec la première (140 Hz), est 3083 Hz, à 4 octaves et demi (d'après Meynil).

Les deux lois évoquées ci-dessus présentent toutefois des limites : d'une part, les instruments à anche double les vérifient mal pour diverses raisons, d'autre part, à fort niveau d'excitation, l'anche simple « bat » contre le bec, la forme du signal est plus hachée et dépend beaucoup de la forme de la table. L'ensemble de cette question est très clairement exposé par Benade (1976). Quant à la nécessité de l'harmonicité des résonances, elle avait été nettement affirmée par Bouasse (1986).

## 2. Tuyau conique

Tout au long d'un tuyau conique, et surtout vers l'entrée, une partie de l'énergie se réfléchit à cause de la variation de section, et d'autant plus que la fréquence est basse. Ceci explique que les premiers pics d'impédance d'un tronc

de cône soient très bas (Fig. 4), bien qu'il n'y ait pas plus de pertes que pour le cylindre de rayon équivalent au rayon moyen du tronc de cône. Ce fait présente de nombreuses conséquences : l'oscillation se fait moins facilement, surtout pour les notes les plus graves de la tessiture ; les harmoniques graves sont peu intenses ; l'instrument est très souple (l'instrumentiste a une grande liberté en timbre et en hauteur). Ces traits sont d'autant plus marqués que le cône est évasé, donc davantage pour le saxophone que pour le hautbois et le basson. Une autre caractéristique bien connue des instruments coniques à anche est qu'ils octavent, avec en corollaire de la loi de Benade-Worman le fait que les harmoniques pairs sont aussi intenses que les impairs, contrairement à la clarinette.

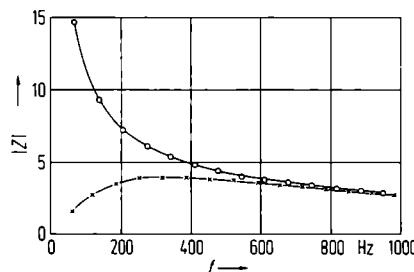


Figure 4. Courbe enveloppe des pics d'impédance d'un cône (XXX) et d'un cylindre (000) de dimensions comparables. Aux basses fréquences, les pics d'impédance du cône sont très atténusés.

Pour des raisons qui apparaîtront ultérieurement, nous traitons du rôle du pavillon (évasement terminal) conjointement avec celui des trous latéraux (§ 4).

### 3. Le rôle du bec dans la réponse du tuyau sonore

Il est bien connu que le volume et la forme de l'embouchure des cuivres influent sur le diapason de l'instrument et surtout sur l'harmonicité des résonances ; de plus, ils sont choisis pour favoriser l'oscillation, en particulier pour certaines notes medium et aiguës. Le bec du saxophone joue un rôle assez similaire, comme l'ont montré Gilbert (1986) et Meynil (1987). D'abord, il doit avoir une dimension transversale nettement supérieure à celle de l'entrée du tuyau (contrairement à la clarinette), afin de rendre possible l'émission des notes graves. Ensuite, afin d'assurer l'harmonicité des résonances, son volume doit être à peu près égal au volume manquant au tronc de cône quasi parfait — corps de l'instrument — pour être un cône complet (Benade 1976), et sa forme intérieure doit être correctement conçue (de façon essentiellement empirique, compte tenu des nombreux paramètres entrant en jeu). Enfin, sa forme intérieure doit assurer l'existence d'un formant (région de fréquences renforcées indépendamment de la note jouée) vers 2500-3000 Hz, pour produire une sonorité satisfaisante (Fig. 5). Gilbert a montré que ce formant était lié à la résonance du bec correspondant à la fréquence propre du bec fermé aux deux bouts, contrairement à la résonance d'une embouchure de trompette qui correspond à la fréquence propre de l'embouchure fermée à un bout, ouverte à l'autre : la différence tient simplement au fait que le

bec s'adapte par l'extérieur au tuyau, alors que l'embouchure s'adapte par l'intérieur.

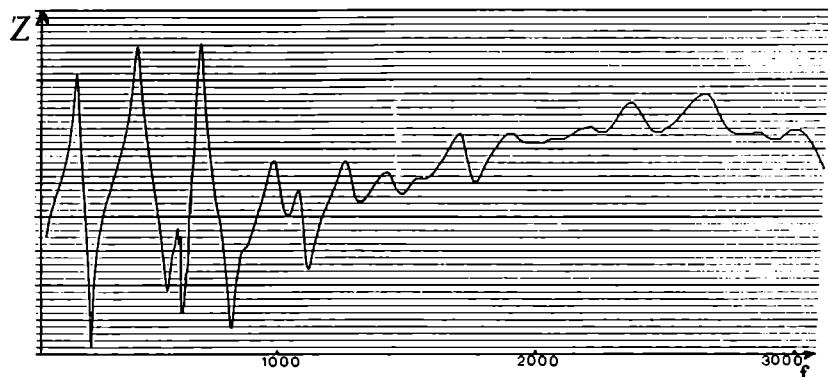


Figure 5. Impédance d'entrée d'un saxophone alto (note la plus grave): le premier pic d'impédance est plus faible que le second (à cause de la conicité); autour de 2500 Hz, il n'y a plus de pics, mais l'impédance est grande, ce qui explique la présence d'un formant dans le spectre.

Ce qui précède vaut tout autant pour le bec de saxophone ; le hautbois et le basson n'ont pas de bec, mais le tube du hautbois, intermédiaire entre l'ancre et le tuyau, et son équivalent pour le basson — partie non vibrante de l'ancre —, ont des propriétés assez voisines, avec toutefois quelques différences. On pourra se reporter à l'article de Benade sur le tube du hautbois (1983).

On retiendra que le bec des instruments à anche simple joue deux rôles essentiels : d'une part, grâce à la forme incurvée de la table, il permet d'affiner la vibration de l'ancre, d'autre part, grâce à ses dimensions et sa forme intérieures, il permet d'affiner la « réponse » du tuyau.

#### 4. Le rôle du matériau

Ce sujet étant un véritable serpent de mer, on ose à peine l'aborder ! Essayons de synthétiser la question : la forme intérieure du tuyau, donc de la « colonne d'air », joue le rôle premier, et dans la hauteur, et dans la sonorité. Ce rôle est très critique : d'infimes modifications peuvent provoquer des changements de sonorité d'autant plus importants qu'elles sont situées près de l'ancre. Ceci nous amène à préciser que, pour comparer le rôle de deux matériaux, il faut impérativement contrôler la perce (il ne faut pas oublier que deux matériaux différents ne se travaillent pas de la même façon et qu'un même outil peut donner des résultats différents). C'est donc en supposant qu'il est possible d'obtenir une forme soigneusement contrôlée que nous traitons maintenant du rôle du matériau : les parois, surtout métalliques, peuvent agir de deux façons ; d'une part elles vibrent, d'autre part, en raison de leur rugosité ou de leur porosité, elles absorbent le son. On notera que les vibrations des parois et celles de l'air interne à l'instrument (qui sont à un niveau très élevé, souvent supérieur à 150 décibels !) sont couplées, c'est-à-dire dépendent l'une de l'autre. En outre, les vibrations des parois sont influencées par la présence de trous, de clés, d'anneaux de serrage... Tout ce qui précède est quasi certain. Ce qui l'est moins, c'est le résultat : il semble que les vibrations de parois

métalliques favorisent certains harmoniques aigus, et que des parois en bois pas assez lisses augmentent l'absorption et gênent l'oscillation. Il reste beaucoup de travail aux chercheurs. Citons néanmoins le travail de Watkinson et Bowsher (1982).

#### IV. L'effet des trous latéraux sur le son interne

C'est en 1960 que Benade a appliqué la théorie des filtres acoustiques aux instruments à trous latéraux, montrant qu'un réseau de trous latéraux ouverts, même s'il n'est pas tout à fait régulier, joue le rôle d'un filtre passe-haut. Ceci signifie que les basses fréquences sont réfléchies pratiquement dès le premier trou ouvert (en venant de l'anche), alors qu'au-delà d'une certaine limite (dite fréquence de coupure), les hautes fréquences atteignent l'extrémité de l'instrument où elles se réfléchissent. La première conséquence est connue depuis des temps immémoriaux : pour la hauteur des notes, tout se passe comme si le tuyau était coupé au voisinage du premier trou ouvert. En effet les fréquences de résonance les plus basses correspondent à une petite longueur de tuyau, et perdent moins d'énergie que les plus hautes ; l'impédance d'entrée est donc plus grande (Fig. 6), et ces basses fréquences déterminent la hauteur jouée. La deuxième conséquence est la quasi-impossibilité d'émettre des notes dont le fondamental est situé au-dessus de la fréquence de coupure, ce qui explique que le nombre de partiels (notes jouées avec le même doigté) soit beaucoup plus réduit pour les doigtés comportant beaucoup de trous ouverts, que pour le doigté obtenu tous trous fermés. Une troisième conséquence est l'existence de formants, limités vers le haut aux environs de la fréquence de coupure.

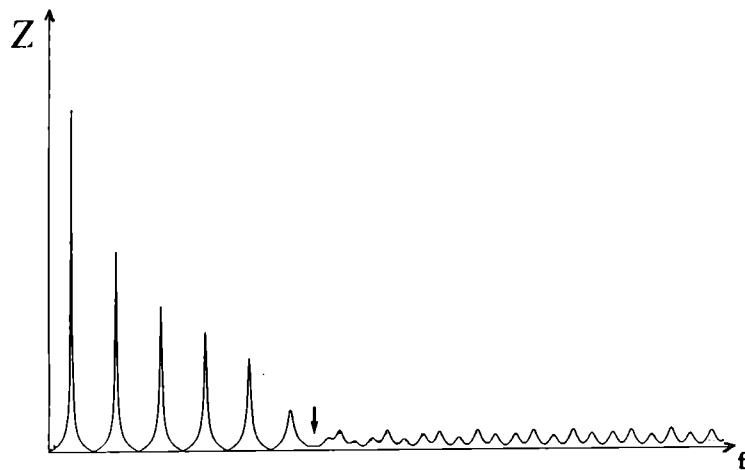


Figure 6. Impédance d'entrée d'un tuyau sonore percé de trous latéraux réguliers : la flèche indique la fréquence de coupure.

Les effets mentionnés ci-dessus sont toutefois très diversément caractérisés pour chacun des instruments «bois». Ceci nous amène à distinguer les instruments appelés «système Boehm» de ceux qui ne le sont pas. A dire vrai, cette appellation recouvre plusieurs critères, tous vérifiés pour la seule flûte

traversière : un critère de clétage (l'existence de tringles de renvois de commandes de clés et de clés à anneaux), un critère musical (la base chromatique de l'instrument), un critère acoustique (la grande taille des trous relativement au diamètre de l'instrument à l'endroit où ils sont percés). On peut dire que la clarinette « système Boehm » ne satisfait qu'au premier critère, le saxophone aux deux premiers, le basson à aucun. Nous entendons par base chromatique de l'instrument le fait que les notes altérées sont obtenues par des clés « ouvertes », les trous correspondant n'étant fermés que pour les notes plus graves, et l'espacement moyen des trous étant donc deux fois plus petit que celui d'un instrument à base diatonique : cet espacement, ainsi que la taille des trous sont des paramètres essentiels de la fréquence de coupure. En résumé, les instruments « système Boehm » ont une fréquence de coupure élevée, alors que les instruments « baroques », comme le basson (quel que soit le système, à certains détails près) ou la flûte à bec, ont une fréquence de coupure basse ; de surcroît, ces derniers peuvent présenter des bandes de fréquences réfléchies sur les premiers trous autres que la bande des fréquences graves. On trouve alors un formant plus aigu, qui peut être très important pour la sonorité. Enfin, grâce à leur base chromatique, le saxophone et la flûte ont une sonorité plus homogène que les autres instruments.

Deux effets des trous latéraux sur le son interne peuvent également être évoqués :

— le ou les trous de registre, très étroits, permettent d'empêcher la formation du premier partielle, en modifiant le premier pic d'impédance ; on remarquera que leur rôle est essentiel pour que l'attaque des partiels supérieurs soit facile (pour l'exécutant) et nette (pour l'auditeur) ; mais une fois le son attaqué, on peut en général les refermer sans conséquence sur le timbre. Ceci ne minimise d'ailleurs pas leur rôle, puisque la qualité de l'attaque est essentielle pour le timbre ;

— l'utilisation d'un petit nombre de trous ouverts, situés assez loin les uns des autres, rend les résonances de la colonne d'air très inharmoniques, ce qui peut aboutir à l'émission de sons multiphoniques. Ce phénomène, qui commence à être expliqué physiquement, pose des problèmes souvent considérables au psychoacousticien (cf. Castellengo (1982) ou Backus (1978)).

Nous achevons ce paragraphe par quelques mots sur le rôle du pavillon, évasement terminal que l'on rencontre surtout sur la clarinette et le hautbois. Pour les notes les plus graves, obtenues avec très peu de trous ouverts, il n'y a pas d'effet de filtre comme celui mentionné ci-dessus. La sonorité risque donc d'être différente de celle des autres notes, c'est pourquoi l'on choisit d'évaser l'extrémité du tuyau ; on peut en effet montrer que ceci permet d'obtenir un effet analogue à celui des trous latéraux sur le son interne. On remarquera que nombreux instruments extra-européens utilisent pour le même effet une simple rallonge percée de trous latéraux toujours ouverts.

## V. Le rapport entre son interne et son externe

### 1. Tuyau sans trous latéraux ouverts

Jusqu'à présent, nous n'avons traité que du son interne à l'instrument ; il est clair que si l'existence du son externe n'a pratiquement aucune influence sur le son interne, par contre la nature de ce dernier influence de façon déterminante

le son externe: si l'on renforce un harmonique donné du son interne, on retrouve ce renforcement dans le son externe. La seule exception est le phénomène de réjection obtenu quand un tube branché sur l'instrument résonne et empêche la fréquence correspondant à cette résonance de sortir du tuyau. Deux exemples sont bien connus: les sourdines coniques des cuivres, qui rejettent quelques fréquences aiguës, et les cheminées latérales du basson (quand elles sont fermées) qui, en raison de leur longueur (de l'ordre de 4 centimètres), résonnent à des fréquences suffisamment basses pour être importantes dans le timbre (vers 2000-2500 Hz).

Au-delà de cette exception, il est intéressant d'étudier le rapport entre son externe et son interne et ses variations selon la fréquence. Un premier raisonnement, à peu près correct, consiste à considérer le rapport entre la pression acoustique à la sortie d'un orifice et la pression interne (sous l'anche, rappelons-le); ainsi, pour un tuyau cylindrique sans trous latéraux, il y a toujours un minimum de pression à la sortie; à l'entrée, il y en a selon les cas un maximum pour les fréquences de résonance (maximum d'impédance) — c'est-à-dire pour les harmoniques impairs de la note jouée —, et un minimum pour les fréquences d'antirésonance (minimums d'impédance) —, c'est-à-dire les harmoniques pairs de la note jouée. On conçoit donc que le rapport son externe/son interne soit beaucoup plus favorable aux harmoniques pairs qu'aux harmoniques impairs de la clarinette! Ceci signifie que les harmoniques pairs de cet instrument, même s'ils sont très faibles dans ce spectre interne, peuvent exister dans le spectre externe de façon non négligeable.

Un deuxième raisonnement permet de différencier, toujours pour un tuyau cylindrique, les basses et les hautes fréquences: la rupture considérable de section entre l'extrémité ouverte d'un tuyau et l'espace dans lequel il rayonne, influence (c'est-à-dire réfléchit) bien davantage les basses fréquences que les hautes. Ces dernières, dont la longueur d'onde est très courte, «s'adaptent» mieux à une discontinuité. Par conséquent, leur transmission vers l'extérieur est favorisée; là encore, bien que dans le spectre interne elles soient faibles (car l'impédance est petite, compte tenu de l'absorption élevée des aigus), on les retrouve de façon importante dans le son externe. En ce qui concerne la directivité, les orifices des bois (excepté le saxophone) sont assez petits, et ce n'est qu'aux très hautes fréquences qu'ils présentent une directivité, privilégiant surtout l'axe du tuyau.

## 2. Tuyau avec trous latéraux ouverts

Nous avons mentionné (§4) l'existence d'une fréquence de coupure au-delà de laquelle les ondes ne dépassent pas, ou très peu, le premier trou ouvert: au-dessous de cette fréquence, les phénomènes sont assez semblables aux phénomènes intervenant dans un tuyau cylindrique non percé, l'extrémité du tuyau étant remplacée par le premier trou ouvert. Par contre, au-dessus de cette fréquence, les ondes sont rayonnées par l'ensemble des trous ouverts et l'extrémité de l'instrument (pavillon), et ce de façon très complexe: dans la portion de tuyau percée de trous latéraux, il y a des ondes stationnaires, avec des minimums et maximums (nœuds et ventres) d'amplitude, d'où un champ d'interférences à l'extérieur, présentant une structure très hétérogène. Pour certaines fréquences, quand la longueur d'onde est égale au double de l'intervalle entre deux trous, on a une situation d'interférence très simple: les trous rayonnent tous avec la même amplitude, et alternativement en phase et

en opposition de phase ; autrement dit, en un point situé à égale distance de deux trous consécutifs, l'effet de ces deux trous s'annule. Cette situation, présente dans le cas idéal de trous réguliers (cf. Fig. 7), permet de mieux comprendre l'effet des interférences.

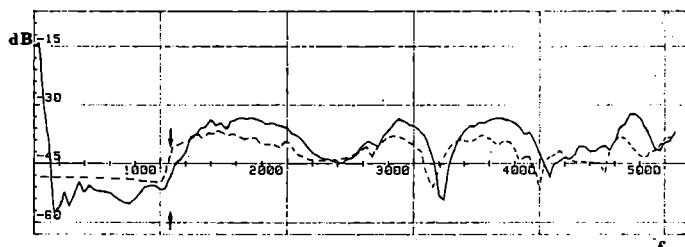


Figure 7. Son externe (proche) d'un tuyau sonore percé de trous latéraux réguliers rapporté au champ interne ; on remarque la fréquence de coupure (vers 1000 Hz), et, vers 3200 Hz, un effet d'interférence bien caractérisé expérience-théorie.

Enfin, aux hautes fréquences, on peut montrer (cf. Kergomard 1981a) que l'essentiel de l'énergie est rayonné par le pavillon. En résumé, les cuivres rayonnent de façon omnidirectionnelle aux basses fréquences et de plus en plus directionnelle quand la fréquence croît ; par contre les bois rayonnent de façon très hétérogène dans les moyennes fréquences, et aux basses fréquences, de façon certes omnidirectionnelle, mais par des orifices différents suivant la note jouée.

## VI. Essai de synthèse

Pour synthétiser ce qui précède, nous pouvons tenter de commenter deux

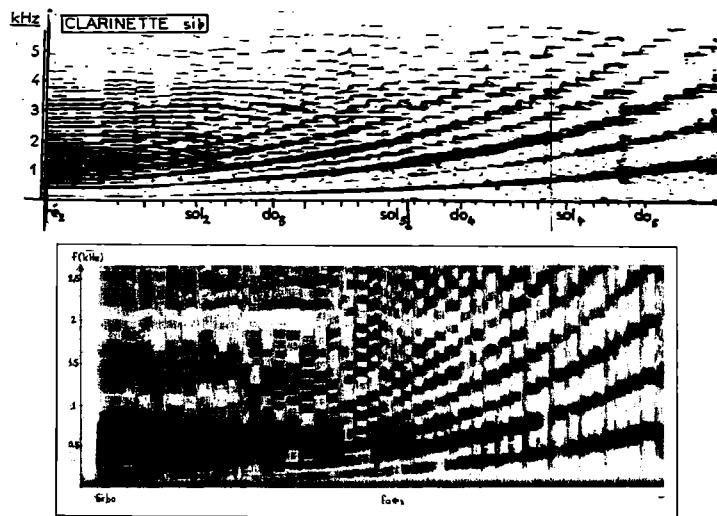


Figure 8. Sonogrammes des gammes chromatiques de clarinette (en bande d'analyse étroite) et de basson (en bande large).

analyses sonographiques de gammes chromatiques d'instruments à anche, la clarinette et le basson (cf. Fig. 8). Il s'agit bien entendu de sons enregistrés à l'extérieur de l'instrument: il n'est donc pas question de commenter pour chaque note le contenu harmonique précis, qui dépend beaucoup du point de prise de son, mais aussi de la salle et du niveau de jeu (ici mezzoforte). Par contre, sur un unique sonogramme, on a la possibilité de faire des statistiques «à l'œil» (il manque néanmoins une donnée importante: les transitoires qu'on ne peut voir qu'en détachant les notes). On remarque d'abord que les notes graves du basson ont des harmoniques graves faibles, comparés à ceux de la clarinette: ceci tient à la conicité du premier. D'autre part, nous avons été contraints de couper le sonogramme de basson à 2,7 kHz; il y a en fait de l'énergie au-dessus de cette fréquence, énergie qui dépend étroitement du grattage de l'anche. Et si la clarinette produit davantage d'harmoniques supérieurs à cette fréquence, il n'y a pas d'«homothétie» entre les deux instruments, car la note la plus grave du basson est plus d'une octave en dessous de celle de la clarinette: il est général que les instruments graves émettent un nombre plus élevé d'harmoniques, afin de tenir compte des propriétés de l'oreille, très sensible dans le medium (1000 à 3000 Hz).

Ce qui frappe par ailleurs est la présence de formants. Pour la clarinette, il y a un formant principal entre 800 et 1800 Hz environ, la limite supérieure étant la fréquence de coupure, comme il a été montré par certains auteurs. Pour le basson, on remarque plusieurs formants (400-800 Hz, 1200-1800 Hz); le premier est certainement lié au réseau de trous latéraux, mais la première fréquence de coupure se situant vers 400 Hz, on voit qu'elle n'est pas la limite haute du formant. La raison tient encore à la conicité, mais aussi aux limitations de validité de la loi de Worman-Benade: l'anche double a un comportement particulier.

Les changements de registre se remarquent bien sur le basson (à partir de *fa*#2, le fondamental est renforcé) et sur la clarinette, par l'apparition de l'harmonique deux (à partir de *la*3). A ce propos, ce n'est que pour les notes graves qu'il y a une quasi-absence d'harmoniques deux et quatre; il se trouve que la série des résonances ne s'approche vraiment bien des rapports 1,3,5 que quand il n'y a pas trop de trous latéraux ouverts, et pour le premier registre. Pour les notes du second registre (clairon), la fréquence de l'harmonique deux est six fois celle de la note grave correspondante, et la série des pics d'impédance est alors assez inharmoniques dès le rapport 5. On notera enfin qu'en modifiant la pince de l'anche et la cavité buccale, les clarinettes peuvent émettre les harmoniques deux et quatre de façon significative, même dans le grave.

Pour terminer ce tour d'horizon, on remarque que vers 2000 Hz, il y a un véritable anti-formant pour le basson, lié à la résonance des cheminées fermées (vers *fa*2, tous les trous sont ouverts, ce qui explique l'interruption de l'anti-formant).

Pour une présentation générale du sujet, nous renvoyons le lecteur au livre *Les instruments de l'orchestre*, Belin, 1986, en particulier aux articles de A.-H. Benade et F. Laloe.



# TENDANCES COMPOSITIONNELLES



## **Timbre et synthèse des sons \***

par Jean-Claude RISSET

### **I. Combinatoire, ordinateur, timbre**

La musique est flux, mouvement, elle n'est pas une forme abstraite, elle n'existe que par son incarnation dans le temps et dans le son : le timbre est sa substance même. Comme l'écrit André Souris, « c'est le timbre qui qualifie le silence, qui rythme le temps, qui déploie les perspectives, enfin qui valorise toutes les péripéties du discours musical ». Souris en convient, « cette thèse radicale, qui accorde au timbre une valeur essentielle, est encore mal comprise par beaucoup de musiciens ».

C'est que depuis des siècles notre musique occidentale a mis l'accent sur l'élaboration de relations complexes entre éléments sonores — au détriment de la richesse de ces éléments. La polyphonie met en rapport plusieurs lignes — mais des lignes vocales ou instrumentales « lissées », décantées, alors que bien des musiques extra-européennes jouent sur des microvariations, des accidents de mélisme ou de timbre. Les sources sonores sont stabilisées, épurées, on élimine le grain, le bruit qui gênent la reconnaissance des hauteurs. Le timbre, étrange et multiple « paramètre » défini par ce qu'il n'est pas — ni hauteur, ni durée, ni intensité —, devient « une composante d'ordre second » (Boulez 1963 : 37) que la notation même fait presque oublier, sinon en tant que causalité instrumentale (le mot timbre désignait initialement un instrument). Certes, la différenciation des timbres aidait à séparer les lignes ; et on recourrait parfois à tel ou tel timbre pour atteindre à une connotation pittoresque, mais bien des pièces ont été écrites « pour divers instruments ». Le timbre n'est souvent perçu que comme un élément surajouté, facultatif, subordonné, un vêtement de l'idée, une parure, un ornement inessentiel, de valeur purement cosmétique, comme si la musique savante occidentale avait perdu la curiosité sonore dans sa quête d'un langage élaboré (Schaeffner 1930). Le tempérament égal ouvre de riches

---

\* Cet essai développe la communication présentée au Séminaire sur le timbre organisé à l'I.R.C.A.M. du 13 au 17 avril 1985 par Jean-Baptiste Barrière ; il reprend en le modifiant un texte publié dans le n° 3 de la revue *Analyse musicale*, numéro réunissant plusieurs articles sur le timbre — de M. Chion, Tran Van Khé, D. Pistone, J.P. Bartoli, B. Gousset, C. Abromont, R. Piencikowski.

possibilités d'échanges entre tonalités — mais au prix d'un compromis sur la justesse d'accord. La musique dodécaphonique part de ce compromis, du « fil à couper l'octave » qu'est selon Varèse l'échelle chromatique, pour proposer un système combinatoire en vue d'échafauder des agencements complexes de hauteurs.

L'ordinateur paraît l'instrument rêvé pour faire proliférer cette complexité, pour hypertrophier la tendance occidentale au calcul, au formalisme, à la combinatoire : il se prête parfaitement à assembler suivant un ensemble de règles les éléments d'un répertoire symbolique dont la nature réelle n'a pas à être spécifiée. On comprendra que ces possibilités puissent intéresser quiconque admet qu'« une même forme peut s'appliquer à diverses matières, à des ensembles d'objets de nature différente, à la seule condition que ces objets respectent entre eux les mêmes relations que celles énoncées entre les symboles non définis de la théorie ». Cette phrase de Louis Rougier est citée dans *Penser la musique aujourd'hui* par Pierre Boulez, qui commente (en 1963) : « Il me semble qu'un tel énoncé est fondamental pour la pensée musicale actuelle. »

Mais ce qui m'attire, quant à moi, dans l'ordinateur, ce ne sont pas ses possibilités « ordinatrices » c'est plutôt sa capacité de répondre à des désirs extrêmement personnels et spécifiques en sculptant le son avec finesse et délié. Dans mon travail de composition, j'ai toujours eu un vif intérêt pour le timbre, pour l'organisation du son tant qu'elle ne se réduit pas à celle des paramètres hauteur, durée, intensité. Or l'ordinateur, utilisé comme outil de synthèse, permet d'élaborer à volonté la structure du son et de pousser le travail de composition jusqu'au niveau de la microstructure : le musicien qui ne se contente pas de composer avec des sons peut envisager de composer le son lui-même.

L'ordinateur peut donc aider à un travail musical approfondi sur la structure du son, sur le timbre. Or, même en Occident, les musiciens n'ont jamais cessé de se préoccuper du timbre : chez certains, ce souci était brûlant. L'harmonie de Berlioz est plate, réduite au piano. Dans le ruissellement de neuvième qui ouvre la *Barcarolle* de Chopin, la résolution est retardée, la fonction harmonique suspendue, on écoute la sonorité pour elle-même ; peu avant le galop final du premier Scherzo, une agrégation audacieuse, qui sera reprise par Ravel, assume un rôle qui n'est pas vraiment harmonique : sa répétition incantatoire crée comme une stupeur sonore. Debussy donne une grande importance à la sonorité, à l'espacement des registres, aux textures — au timbre ; la conduite parallèle des octaves et des quintes dissout la polarité harmonique et fait d'accords parfaits des « accords-timbre », comme le dira Messiaen (Goussset 1986). Schoenberg, initiateur du système combinatoire sériel, est aussi l'auteur de *Farben* : la troisième des pièces op. 16 pour orchestre utilise déjà le timbre « pour lui-même, fonctionnellement » (Boulez 1966 ; cf. aussi Abromont 1986). Varèse parle de son organisé, et déclare dès 1917 : « Je rêve les instruments obéissant à la pensée — et qui avec l'apport d'une floraison de timbres insoupçonnés se prêtent aux combinaisons qu'il me plaira de leur imposer et se plient aux exigences de mon rythme intérieur. »

## II. Révolution électrique et son numérique

Varèse fut sans doute le premier musicien à percevoir l'importance de la « révolution électrique » : son imagination visionnaire avait été vivement

frappée par le « Dynamophone » de Cahill, gigantesque centrale électrique à sons construite dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Grâce à l'électricité, à l'électronique, à l'informatique, le son peut être enregistré, détaché de sa source, manipulé, transformé, créé de toutes pièces, et pour la première fois s'affranchir des contraintes mécaniques. Le timbre d'un instrument est lié à sa structure en tant que système vibrant: voyante et stable pour un dispositif mécanique, cette structure est masquée et labile dans le cas du son électrique, ce qui peut modifier la signification même du timbre.

Depuis 1945, la nouvelle musique a été marquée par les progrès du son électrique (Dufourt 1985a). La musique concrète et la musique électroacoustique ont apporté des matériaux sonores nouveaux, et elles ont influencé bien des musiques instrumentales : qu'on songe à Xenakis, à Ligeti, aux musiciens de l'Itinéraire ou aux répétitifs américains. Antagonistes au départ dans leur positions esthétiques, la musique concrète — partant de sons réels enregistrés puis transformés — et la musique électronique — issue d'oscillateurs et d'autres appareils électroniques — ont bientôt fusionné, et l'on parle maintenant de musique électroacoustique. La musique électroacoustique a déjà son histoire, sa dynamique, ses œuvres fortes : pourtant les techniques analogiques qu'elle exploite ne permettent pas un contrôle du timbre aussi raffiné qu'on peut le souhaiter. En schématisant, on peut décrire ainsi les limitations respectives des démarches « concrète » et « électronique ». La musique concrète fait de tout son enregistré un matériau musical potentiel : elle fournit ainsi une variété immense de sons naturels complexes, aux formes diverses, à l'identité forte — mais les modalités de transformation de ces sons restent rudimentaires en regard de leur richesse, aussi risque-t-on de privilégier les effets sonores et l'esthétique du collage. La musique électronique permet quant à elle d'établir des relations plus précises entre les sons — mais ces sons électroniques, très simples, souvent ternes, à l'identité falote, ne peuvent souvent être enrichis que par des manipulations qui dans une large mesure font perdre au compositeur le contrôle de la structure. Ces deux techniques peuvent certes être combinées, mais le dilemme entre richesse du son et raffinement du contrôle demeure.

Les techniques numériques et informatiques ont apporté précision, reproductibilité et diversité au traitement électronique. La synthèse des sons par ordinateur relève, stricto sensu, de la musique électronique, mais elle peut être programmée, ce qui ouvre des possibilités extrêmement variées. On peut contrôler dans tous leurs aspects des sons très complexes, les conduire avec exactitude, délié et souplesse, et atteindre à une reproductibilité parfaite. L'ordinateur permet aussi de modifier des sons enregistrés numériquement et donc d'effectuer les mêmes types de manipulation que la musique concrète, mais aussi d'opérer sur le son des transformations plus intimes. C'est ainsi qu'on peut ralentir une voix parlée dans un rapport de 1 à 20 sans changer les hauteurs : cela suppose une analyse suivie d'une resynthèse, à l'aide de processus puissants quoique laborieux comme le codage prédictif, le vocoder de phase (Moorer 1977) ou la transformation en ondelettes (Grossman, Kronland et Morlet 1987).

Le « numérique » nous donne donc les clés d'un monde sonore ductile et ouvert, susceptible de se prêter à des architectures musicales nouvelles. Le timbre peut être modelé avec finesse et précision : on peut en jouer compositionnellement. Les programmes stipulant à l'ordinateur la recette de synthèse sont de véritables partitions de la structure sonore, partitions exhaustives et transmissibles, qui permettent de reproduire cette structure sonore, mais aussi

de l'étudier: on peut analyser «l'écriture» du timbre comme on analyse l'écriture dans une partition instrumentale (Risset 1969, Chowning 1973, Morrill 1977, Lorrain 1980). Et, de même que la notation traditionnelle suggère certains procédés d'écriture — transposition, renversement, récurrence —, les langages dans lesquels sont codées les partitions sonores peuvent suggérer ou faciliter telle ou telle transformation musicale. Dans la perspective d'un contrôle compositionnel du timbre, on imagine le rôle potentiel des langages informatiques, outils conceptuels importants qui permettent des représentations parlantes et opératoires et des manipulations formelles à différents niveaux. Les langages procéduraux, comme ALGOL ou FORTRAN, se prêtent à la mise en œuvre d'algorithmes «déterministes»: mais de nouvelles possibilités sont ouvertes avec les langages de traitement de liste, comme LISP, et la programmation orientée objet — par exemple objet sonore ou musical — sans parler de la programmation logique introduite par le langage PROLOG de Colmerauer et encore très peu exploitée en musique. La programmation permet de loger le souci formel dans le grain du son, comme le montrent *Stria* de John Chowning ou *Chréode* de Jean-Baptiste Barrière: ces œuvres ont été réalisées à l'aide de langages d'entrée comme PLA (Schottstaedt 1977) ou FORMES (Cointe et Rodet 1984), qui aident à amplifier jusqu'à la microstructure sonore le rôle de l'écriture, de la notation structurale. Comme l'écrit Michel Serres, «l'ordinateur peut se dire outil universel: instrument construit et concret sous la main, mais d'application ouverte et indéfinie comme un théorème».

Prometteuses, ces possibilités de la synthèse numérique ne se laissent pourtant pas apprivoiser facilement. L'ordinateur est exigeant: il faut lui spécifier numériquement les moindres détails des sons voulus. Bien des musiciens, rebutés par les difficultés qu'ils rencontrent dans leur premier contact avec la synthèse sonore, attendent beaucoup du «temps réel», de la possibilité «d'accorder» le son à la main, conformément à leurs exigences intérieures, en suivant leur oreille et leur intuition. Mais le tâtonnement mène rarement au but. Le temps réel, si précieux à certains égards, a ses écueils — il est difficile de résister à la tentation de l'improvisation — et ses limites — il ne permet de manipuler que des structures sonores préétablies. Le musicien ne peut alors choisir que dans un menu tout préparé, et les structures disponibles ont souvent été retenues pour leur facilité d'emploi, leur familiarité, leur attrait commercial plutôt que pour leur originalité. Quiconque aborde maintenant des synthétiseurs numériques «clé en main» comme le populaire DX7 peut n'y trouver ni la difficulté d'emploi ni la généralité que j'évoque. C'est que le constructeur a fait l'impasse sur nombre de possibilités (on est ainsi limité à l'échelle chromatique) pour faciliter l'usage et la commande de l'appareil: et la plupart des utilisateurs se cantonnent aux timbres «prêts à porter», alors qu'on peut confectionner ses propres timbres, bien que de façon moins générale que sur un ordinateur. Celui qui veut tirer parti de cette ressource doit sortir du temps réel pour construire sa propre configuration; et le timbre n'est complètement défini que par l'ensemble des paramètres choisis, dont certains peuvent être commandés par des gestes. De tels synthétiseurs dérivent de la recherche sur la synthèse des sons; les applications de cette recherche pourront prendre d'autres formes: mais il faut se défier du fétichisme de l'objet technologique, de la croyance aveugle au matériel miracle. Le matériel, qui n'est que «hardware» (quincaillerie), est subordonné au logiciel, au software, au savoir et au savoir-faire. Revenons sur la conquête des possibilités numériques, qui a bouleversé notre appréhension du timbre et de sa perception.

### III. L'ordinateur, outil à façonner les sons

Dans le procédé mis au point par Max Mathews depuis 1957, l'ordinateur calcule directement l'onde sonore dans tous ses détails, un peu comme s'il commandait directement la gravure d'un disque. Les seuls dispositifs à adjoindre à un ordinateur sont non pas des synthétiseurs, mais des convertisseurs permettant de passer des nombres aux sons ou vice versa comme dans l'enregistrement numérique qui vient seulement d'être commercialisé, mais qui avait été mis en œuvre par Mathews et ses collaborateurs dès 1958.

C'est par l'intermédiaire d'un programme qu'on stipulera les sons à produire. Ce programme devra calculer les nombres représentant l'onde sonore — il en faut des dizaines de milliers pour décrire une seconde de son avec la précision nécessaire à une haute qualité — à partir d'une description commode, «macroscopique», des paramètres physiques du son désiré. On peut songer à une batterie de programmes spécialisés : mais il est commode de disposer d'un programme puissant et général, restant cependant simple d'usage, et aussi efficace, demandant peu de temps de calcul pour obtenir des sons d'une complexité suffisante. Ces impératifs ont été conciliés dans la série des programmes MUSIC (comme MUSIC V) conçus par Mathews. Sans entrer ici dans trop de détails (on pourra se reporter aux ouvrages de Mathews ou de Dodge et Jerse), indiquons que l'utilisateur agence son propre programme de synthèse à partir d'éléments préétablis, un peu comme dans un jeu de Lego ou de Meccano — ou comme dans un langage. On peut assembler à son gré des blocs-unités, groupes d'instructions réalisant chacun une fonction, par exemple celle d'un oscillateur, d'un générateur d'enveloppe, d'un mélangeur, d'un filtre, d'un générateur de bruit : cela permet de choisir le niveau de complexité et le type de détails qu'on souhaite maîtriser. Le programme est ouvert, chacun pouvant ajouter ses propres blocs-unités ; toutefois les recettes de synthèse seront plus facilement communicables si l'on n'abuse pas de modules inutilement «personnalisés» : la combinaison des modules existants, choisis soigneusement comme des « primitives » utiles de traitement du signal, ouvre un vaste éventail de possibilités. L'utilisateur peut aussi spécifier des fonctions, soit par une définition numérique ou algébrique, soit en les dessinant à l'aide d'un dispositif graphique. Chaque combinaison peut être activée par des instructions spécifiant temps de début, durée, et tous les paramètres laissés ouverts dans cette combinaison — par exemple l'intensité et la fréquence de la «note» correspondante, si la combinaison se réduit à un oscillateur, mais aussi des paramètres bien moins communs si la combinaison correspond à un processus sonore plus élaboré.

Un programme comme MUSIC V permet donc d'obtenir presque n'importe quel son moyennant la description complète de la structure physique de ce son. Les descriptions numériques permettent la plus grande généralité, mais elles peuvent rebuter les musiciens : ceux-ci ont la possibilité de spécifier des paramètres musicaux plus conformes à leurs habitudes ou à leurs souhaits spécifiques en ajoutant «en amont» des programmes de conversion. Ainsi, au lieu de spécifier des fréquences en Herz, on peut ajouter un sous-programme permettant de désigner par leur nom des notes de la gamme (*fa*<sup>#</sup>, *sol*, etc.) : mais on restreint alors les fréquences utilisables à celles de la gamme chromatique. MUSIC V est un programme de synthèse «de niveau zéro» : il peut être précieux de lui adjoindre «en amont» un langage musical d'entrée, comme SCORE, MUSICA, PLA ou FORMES, laissant à l'utilisateur le choix de spécifications

numériques et symboliques et la possibilité d'automatiser des opérations utiles, et traduisant les protocoles choisis suivant les conventions du langage MUSIC V.

#### IV. Le problème psychoacoustique

Hélas, on connaît mal la structure physique des sons, même les plus familiers — or on ne peut exploiter les ressources virtuelles immenses de la synthèse qu'à condition de décrire objectivement à l'ordinateur les sons voulus. Les variantes du timbre d'un instrument, structure vibratoire stable et spécifique, dépendent du mode d'excitation de cette structure: il suffit de préciser l'instrument et le mode de jeu pour désigner le timbre et pouvoir anticiper l'effet auditif. Rien de tel avec le son électrique: aucune machine sonore n'est moins spécifique que le haut-parleur. Soulignant l'impasse d'une perspective traditionnelle ramenant indûment le résultat à la source sonore, Pierre Schaeffer avait prêché avec vigueur pour un nouveau solfège — solfège des effets et non des causes. Or la perception auditive est hautement spécifique: ignorant presque complètement certains aspects physiques, elle est extrêmement sensible à d'autres. La relation «psychoacoustique» entre la structure physique des sons — qu'on peut spécifier à l'ordinateur — et la structure perçue — celle qui compte pour l'auditeur — est bien plus complexe qu'on ne le pense généralement, comme le démontrent les spécificités des pratiques musicales (Leipp 1971, Deutsch 1982, Pierce 1984) ou les illusions et paradoxes auditifs (Wessel et Risset 1979). La figure 1 montre quatre formes d'onde que l'oreille ne peut distinguer, alors que l'œil ne peut saisir leur parenté. En variant au hasard les paramètres de sons synthétiques, on tombe rarement sur des sons «inouïs», on obtient des résultats décevants et peu différenciés, faute de savoir à quels aspects du son l'audition est sensible.

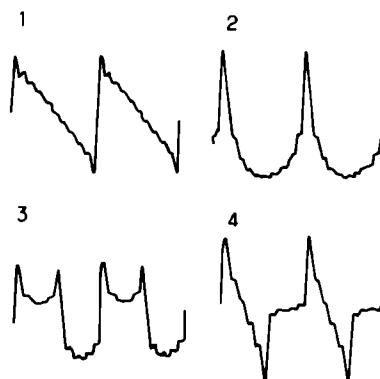


Figure 1. Quatre ondes sonores différentes que l'oreille ne peut distinguer. Ces ondes périodiques ont le même spectre, mais différentes relations de phase entre les composantes harmoniques (cf. Plomp 1976). On imagine les difficultés à contrôler le timbre en contrôlant les formes d'onde.

Pour être à même de mieux jouer avec les timbres, il importe donc de développer la psychoacoustique, mais une psychoacoustique musicale, portant sur la perception de sons assez complexes pour présenter un intérêt, et aussi sur

les relations perçues par l'oreille entre les sons, sur l'organisation perceptive dans un contexte musical. Cette psychoacoustique musicale doit s'attacher aux effets suffisamment robustes pour être perçus en dehors de conditions de laboratoire, au sein du flux de la musique. Vaste programme : les traits de psychoacoustique « classique » ne sont ici presque d'aucune aide (Zwicker et Feldtkeller 1981). Heureusement la synthèse numérique, qui pose ces problèmes de façon aiguë, fournit en même temps des outils de choix pour s'y attaquer. L'exploration des possibilités de la synthèse sonore n'est pas seulement un artisanat musical, c'est une partie importante de la recherche musicale d'aujourd'hui, qui a permis en peu d'années de réviser, de compléter et de rendre opératoires nos notions sur le son. J'indiquerai dans la suite quelques jalons de cette recherche qui n'en est qu'à ses débuts, mais qui montre la voie de nouvelles exploitations musicales du timbre.

## V. Imitation des sons instrumentaux

Les traités classiques d'acoustique décrivent les sons d'instruments de musique de manière trop simpliste pour qu'on puisse synthétiser, à partir de ces descriptions, de bonnes imitations de ces instruments. Selon la conception classique, le timbre dépend principalement du spectre en fréquence, c'est-à-dire du dosage des harmoniques pour les sons quasi périodiques, les seuls considérés comme musicaux (Helmholtz 1877/1954). Certains traités mentionnent aussi le profil dynamique, les temps d'attaque et de montée (Olson 1967).

Si tels étaient les déterminants du timbre, l'imitation des instruments serait facile, et les techniques électroniques l'auraient permise dès les années 50, ce qui ne fut pas le cas. Ce modèle est trop simple, la réalité est plus complexe — on aurait pu s'en douter. Le spectre est bien un paramètre sensible, mais on ne peut l'assimiler au timbre, signature auditive de l'instrument. Avant que la haute fidélité ne soit la règle, on pouvait identifier les instruments de musique enregistrés, malgré d'importantes distorsions linéaires bouleversant les spectres : il faut bien que l'identité des sources tienne à des traits plus robustes.

Au début des années 60, on savait imiter grossièrement les sons de hautbois ou de piano, mais les cuivres et les cordes frottées résistaient à la simulation : des analyses plus poussées ont permis de les simuler de manière réaliste et en même temps de comprendre à quoi tenait l'identité de ces timbres (Risset et Mathews 1969 ; Chowning 1973 ; Morrill 1977 ; Schottstaedt 1977). Ainsi mon étude sur les sons de trompette m'a permis d'isoler une propriété qu'on peut considérer comme un modèle des sons cuivrés : la proportion d'harmoniques aigus du spectre s'enrichit avec l'intensité (Risset 1966). En particulier, pendant l'attaque (durant quelques dizaines de millisecondes), les harmoniques ne sont pas synchrones, et cela s'entend comme attaque caractéristique ; si l'intensité change au cours d'une note, le spectre change aussi : c'est cette corrélation même qui est interprétée par l'audition comme timbre cuivré. Ce résultat a suggéré à Robert Moog la conception d'un filtre passe-bas à pente de coupure commandée par tension ; ce filtre passe d'autant mieux les fréquences aiguës que la tension d'entrée est plus forte : il permet donc d'obtenir des sons cuivrés par synthèse analogique soustractive en couplant la tension d'entrée à l'enveloppe, c'est-à-dire à l'amplitude instantanée. John Chowning (1973) a également mis en œuvre cette propriété caractéristique de façon élégante grâce à sa technique de modulation de fréquence, extrêmement efficace pour la commande de spectres dynamiques.

Le timbre cuivré est donc caractérisé non par la valeur de tel ou tel paramètre physique, mais par une relation entre paramètres (ici intensité et spectre). Il semble que ce soit souvent le cas : une telle relation est plus robuste, moins affectée par les distorsions que la valeur d'un paramètre. Le plus souvent, l'audition intègre diverses caractéristiques pour reconnaître un timbre, et elle est à l'affût de comportements ou d'accidents caractéristiques pouvant aider à identifier l'origine du son : une synthèse trop lisse, dépourvue d'idiosyncrasies, peut laisser l'oreille sur sa faim. Le vibrato, qu'utilisent chanteurs et instrumentistes à cordes ou à vent, correspond physiquement à une modulation périodique de la fréquence, au rythme de cinq à sept excursions par seconde : il n'est pas perçu comme tel, mais comme une qualité particulière du son. Dans le cas du violon, comme l'ont montré les études de Mathews (1969, 1973), la caisse a une réponse spectrale tourmentée, avec des pics nombreux et étroits : cette réponse, appliquée à l'excitation — vibration en dents de scie de la corde, au spectre régulier —, a pour résultat une variation complexe du spectre avec la fréquence ; la qualité si particulière du vibrato de violon est liée à cette variation spectrale synchrone à la modulation de fréquence.

## VI. Dérives à partir d'études instrumentales, musiques mixtes

La recherche sur le violon, commencée sur ordinateur, a d'ailleurs conduit Mathews à créer un violon électronique — qu'on joue comme un violon, l'archet frottant les cordes, mais dont la caisse est remplacée par des circuits analogiques réglables. Ces circuits peuvent être réglés en sorte que l'instrument se rapproche de près d'un violon classique, ou au contraire qu'il sonne de façon très différente. Ainsi, en remplaçant le circuit « violon » par le filtre à bande variable de Moog décrit plus haut, on peut obtenir — avec un archet — des sons évoquant la trompette ! Preuve facétieuse de ce que les paramètres sensibles du timbre ont bien été analysés, isolés de la facture même du son. D'autre part, le violon électronique a été exploité dans des œuvres de Sahl, Globokar, Ghent, Royon Le Mée : il permet à des violonistes d'appliquer leur maîtrise de l'instrument à des timbres tout à fait autres, comme l'a démontré notamment Janos Nyegesy. C'est là d'ailleurs une possibilité qui connaît sans doute d'intéressants développements : les virtuoses ont longuement développé une expertise gestuelle extrêmement fine et musicale, et on peut songer à en tirer parti en la dévoyant, en la détournant vers la commande de timbres différents, voire vers la commande de paramètres de timbre. Aliénation ? ou enrichissement ? Les instruments à venir, surtout s'ils font appel à l'électronique ou à l'informatique et s'ils jouent sur d'autres paramètres que la hauteur, auront sans doute d'autres accès, d'autres capteurs gestuels, comme certaines réalisations en donnent l'idée. Cependant il est un problème qu'on ne doit pas sous-estimer : il est peu gratifiant de travailler pendant des années la technique et les modes de jeu d'un instrument sans répertoire. Or les instruments électriques et numériques sont vite dépassés, en raison même du progrès technologique, et remplacés par d'autres aux caractéristiques différentes : cela risque de rendre caduques nombre d'œuvres dont l'exécution dépend d'un outil technique spécifique. Jon Appleton et Neil Rolnick en ont fait l'expérience : ce problème fait obstacle à la constitution d'un répertoire et d'une tradition d'exécution pour les œuvres faisant appel aux techniques électroniques « live ».

L'étude des sons instrumentaux n'est qu'une étape dans l'exploration des sons de synthèse : son propos n'est pas de remplacer les instruments, mais de

nous aider à comprendre à quoi tient la vie, la richesse et l'identité d'un son instrumental, ce qui peut aider à éviter la fixité, le stéréotype «électronique» dans des sons de synthèse d'une nature différente, et à insuffler la vie à ces sons, à leur conférer caractère, personnalité, «timbre». Mais la palette de l'ordinateur doit bien comprendre des sons proches de ceux des instruments traditionnels, sons bien connus des musiciens et qui ont fait la preuve de leur intérêt musical. Ainsi, de nombreux compositeurs sont attirés par les œuvres «mixtes», associant à des instrumentistes vivants une musique issue de l'ordinateur, qu'elle soit produite en temps réel ou enregistrée sur une bande: la maîtrise de la synthèse de sons de type instrumental aide à faire se rencontrer deux univers hétérogènes, à instaurer entre eux des relations subtiles, et donc à éviter l'arbitraire dans cette association. Dans les *Five studies for trumpet and computer* de Dexter Morrill, œuvre réalisée en 1975 à l'Université Colgate, la synthèse imitative permet des jeux de miroir entre le trompettiste et son double imaginaire, qui par moments étend le registre vers le grave ou l'aigu. Au début de ma pièce *Dialogues*, réalisée en 1975 à Marseille-Luminy, les instrumentistes conversent avec une bande dont les timbres quasi instrumentaux se fondent parfois avec les leurs. *Prisms*, de Stanley Haynes, œuvre réalisée en 1977 à l'I.R.C.A.M., fait dialoguer un pianiste avec des sons synthétiques dont le timbre se rapproche ou s'écarte de façon troublante de celui du piano. Au chanteur sur scène de *Aber die Namen*, que Gerald Bennett réalisa en 1979 à l'I.R.C.A.M., répond dans le lointain une voix littéralement désincarnée, puisque cette voix de synthèse n'est la voix de personne. Contacts intimes entre un monde réel, présent, aux objets stables, et un monde auditif virtuel, illusoire, aux êtres labiles.

## VII. Synthèse additive et contrôle du timbre: musique spectrale

Dans *Dialogues*, l'un de ces deux mondes, instrumental ou synthétique, développe ou prolonge des structures sonores introduites par l'autre. Ainsi à un accord joué au piano fait écho un son synthétique qui ressemble à un gong, mais dont les composantes sont les fondamentaux de l'accord. Même s'il est difficile d'analyser à l'oreille ce pseudo-gong, sa parenté avec l'accord de piano est évidente: le timbre a été composé comme un accord, il est comme l'ombre de l'harmonie. Une prolongation semblable marque le début de ma pièce *Mutations*, réalisée en 1969 aux Bell Laboratories (Fig. 2). Ce qui est nouveau ici n'est pas le timbre lui-même, mais le contrôle fin de sa dimension harmonique.

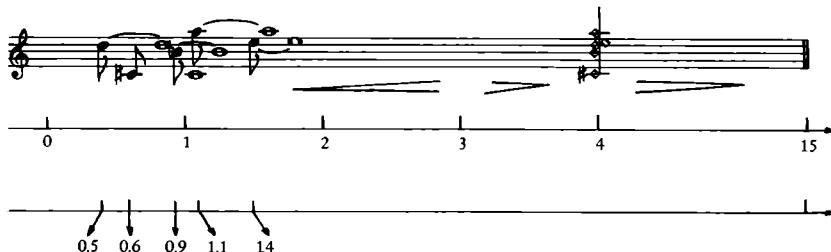


Figure 2. Prolongation de l'harmonie dans le timbre.

Depuis *Little Boy* (1968) et *Mutations*, j'ai souvent exploité la dispersion des composantes harmoniques dont la fusion constitue l'aspect spectral du timbre. Le titre *Mutations* fait référence au passage du discontinue au continu, dans l'ordre des hauteurs, entre le début et la fin : les échelles discontinues sont grignotées par une érosion due à des intervalles de plus en plus petits, amenés par l'intervention d'harmoniques d'ordre de plus en plus élevé ; mais c'est aussi une allusion aux jeux de mutation de l'orgue, dans lesquels une « note » est produite par plusieurs tuyaux, chacun étant accordé sur un harmonique du fondamental de la note. Les facteurs d'orgue réalisaient déjà la synthèse additive. Mais ces composantes supposées sonner ensemble et fusionner pour donner lieu au timbre caractéristique du jeu, je les disperse en les décalant dans le temps, à des rythmes différents pour différentes notes d'un même accord. Des programmes me permettent de spécifier différentes modalités pour cette pulvérisation : ainsi se forment des nuages harmoniques au travers desquels se dessinent plus ou moins clairement des profils harmoniques et rythmiques (Fig. 3).

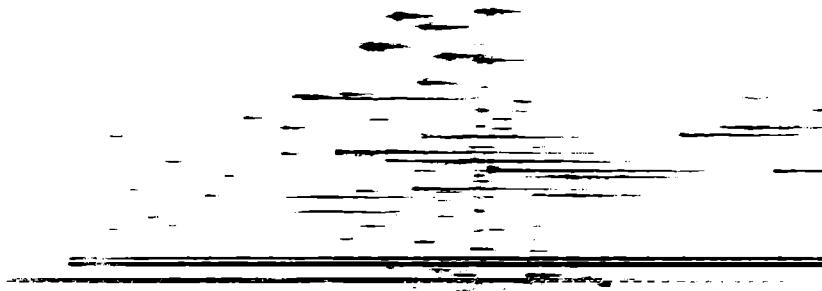


Figure 3. Nuages harmoniques en « mutations ». Les figures 3, 5 et 7 sont des «sonogrammes», représentations donnant l'évolution des fréquences des composantes (figurée en échelle linéaire de 0 à 4000 Hz) en fonction du temps; les durées représentées valent de une à deux secondes suivant les cas.

Au début de *Little Boy*, on entend une véritable analyse spectrale d'un accord, comme si descendait de l'aigu au grave une fenêtre ne laissant entendre qu'une étroite zone de fréquence. Mon deuxième *Moment newtonien*, réalisé à l'I.R.C.A.M. en 1977, est intitulé *analyse spectrale*: Newton avait réalisé et interprété la dispersion de la lumière blanche, et ce morceau lui rend hommage en décomposant et recomposant les *Klangfarben*, les timbres, couleurs des sons. Dans *Dialogues*, les tissus sonores en mutations émanent à la fois des harmonies et des timbres instrumentaux.

Dans *Little Boy*, une même structure harmonique (Fig. 4) est en filigrane aussi bien dans les parties instrumentales que dans les épisodes synthétisés par ordinateur. En faisant glisser parallèlement des sinusoïdes ayant au départ les rapports de fréquence correspondant à cette structure, ce glissando maintenant une différence de fréquence constante entre les composantes (alors que c'est le rapport qui doit être maintenu constant si l'on veut préserver les intervalles, comme dans les glissandi en tierces ou en quartes de l'*Alborada del Gracioso* de Ravel), je provoque la fusion de ces composantes, ce qui mue l'harmonie sous-jacente en timbre. De tels timbres sont accumulés dans diverses régions de fréquence (Fig. 5). Dans des passages similaires de *Mutations* ou de *Songes*, réalisés en 1978 à l'I.R.C.A.M., la structure est récurrente, gigogone, en « accords

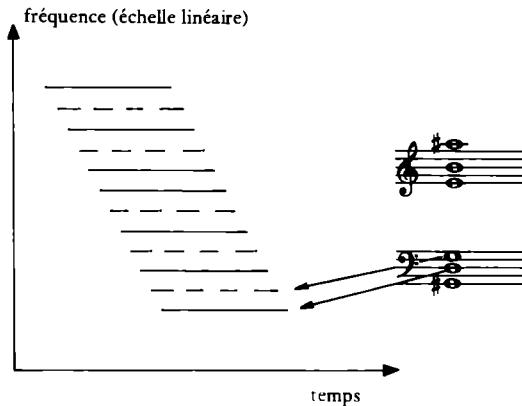


Figure 4. Structure harmonique sous-jacente à l'harmonie instrumentale et aux timbres synthétiques dans *Little Boy*.



Figure 5. Textures de glissandi parallèles; les rapports de fréquence initiaux correspondant à la structure harmonique de la fig. 4.

d'accords», ou «timbres de timbres» : les rapports de fréquence entre agrégats sont les mêmes qu'au sein d'un agrégat; de tels rapports régissent usuellement échelles et harmonie, mais, dans la mesure où il y a fusion, où on ne peut distinguer de lignes, de voix, ce sont les spectres, les timbres, que détermine cet ensemble de rapports, cellule germinale du passage. On peut parler ici de musique spectrale (terme qu'utilise Dufourt pour qualifier les démarches de Grisey, Murail et d'autres): les spectres jouent ici un rôle organique ou fonctionnel, suivant qu'ils agissent de façon interne ou à découvert.

## VIII. Structures inharmoniques

J'ai introduit aussi dans *Little Boy* une transformation de timbre que j'ai beaucoup utilisée dans *Inharmonique*, œuvre réalisée en 1977 à l'I.R.C.A.M. : la liquéfaction ou au contraire la condensation, la cristallisation de textures inharmoniques. La figure 6 A illustre la synthèse additive d'un son évoquant cloche ou gong, à l'aide d'un certain nombre de composantes (quatre seulement sont représentées ici) dont les fréquences sont en relation inharmonique (c'est-à-dire qu'elles ne sont pas entre elles comme les entiers successifs, elles sont

inégalement espacées sur l'axe des fréquences). Si les premières composantes sont assez espacées, le son évoque plutôt les cloches ; si elles sont à des intervalles plus petits que la bande critique de l'audition — environ une tierce — on pense plutôt à un gong. L'amplitude de ces composantes est régie par une courbe — une enveloppe qui a même forme pour toutes les composantes : une attaque brutale suivie d'une décroissance graduelle. Mais les composantes ont des durées différentes : si elles étaient synchrones, on obtiendrait un son de carillon « électronique » ; dans les sons de cloche ou de gong, une composante vibre d'autant plus longtemps, en général (mais pas toujours), qu'elle est plus grave. Cependant la soudaineté et la synchronie de l'attaque favorisent la fusion auditive des composantes, et l'écoute donne le sentiment d'un objet sonore (cloche ou gong). Si maintenant je remplace l'enveloppe « percussive » par une courbe dynamique à l'attaque douce, « éolienne », en gardant les mêmes fréquences aux composantes (Fig. 6 B), les diverses composantes atteindront

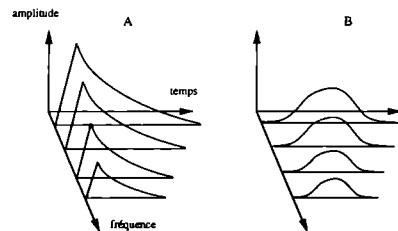


Figure 6. A: Schéma de la synthèse additive d'un objet sonore inharmonique « percussif ». B: synthèse additive dérivée de A — la composition harmonique est la même, mais la nouvelle enveloppe donne lieu à une texture fluide aux composantes dispersées.

leur maximum d'amplitude à des instants différents : l'oreille peut alors séparer plus facilement les composantes. Les objets sonores bien individualisés (« cloches » ou « gongs ») deviennent alors des textures fluides dont les composantes surgissent à tour de rôle. La manipulation des enveloppes en synthèse additive peut donc donner lieu à d'intéressantes métamorphoses : le changement d'une seule courbe peut ainsi favoriser une écoute synthétique, focalisée, ou au contraire analytique, distribuée. Nouvel avatar de la dialectique hauteur/timbre, transformation intime du son : sa composition harmonique (ou plutôt inharmonique) reste la même, mais sa morphologie est bouleversée, à l'image de changements d'états physiques d'une même substance.

La musique s'est de tout temps servie de sons inharmoniques — lithophones, tambours, cymbales — et aujourd'hui les multiphoniques des instruments à vent contribuent à « détempérer » l'espace des hauteurs. Mais on contrôlait difficilement la composition des sons inharmoniques : la synthèse additive permet de les composer à son gré. On peut alors jouer sur les facteurs qui font qu'un complexe inharmonique est perçu comme une entité ou au contraire se décompose à l'audition en plusieurs éléments. On peut aussi choisir les composantes de sons inharmoniques de façon à instaurer entre eux certaines relations, et par exemple une nouvelle « sociologie des hauteurs », suivant l'expression d'Edmond Costère : les intervalles d'octaves, de quintes, consonants pour des sons harmoniques, peuvent être très dissonants pour des sons inharmoniques (Pierce 1966, 1984), et les affinités entre sons inharmoniques dépendent de leur composition interne ; le choix de cette structure interne

privilégié des échelles non classiques. Toutefois la théorie d'Helmholtz, revue par Plomp, ne rend compte que très imparfaitement des phénomènes de dissonance (Mathews et Pierce 1980); la théorie de Terhardt (1978) est utile pour prévoir les hauteurs perçues à l'écoute de sons inharmoniques, mais elle est assez complexe.

Même si la théorisation pose encore de nombreuses difficultés, plusieurs œuvres synthétisées font déjà appel de façon centrale aux sons inharmoniques, comme mes pièces *Inharmonique*, *Songes* et *Profils*, diverses pièces de Teresa Rampazzi et James Dashow, *Androgyny* et *Arras* de Barry Truax, *Zeitlauf* de Philippe Manoury, *Désintégrations* de Tristan Murail. Tout au long de *A little traveling music*, réalisée en 1973 par Loren Rush à Stanford, les sons synthétiques se balancent dans l'espace comme cent cloches : chaque fois qu'ils se rapprochent spatialement du piano, ils s'en rapprochent aussi spectralement, les spectres oscillant entre inharmonicité et harmonicité (le piano est lui-même légèrement inharmonique). Dans sa pièce *Stria*, réalisée à Stanford en 1977, John Chowning fait appel au nombre d'or pour régir les rapports de fréquence au sein des sons inharmoniques aussi bien qu'entre ces sons ; en évitant les frottements entre composantes, il crée d'étonnantes rencontres de trames complexes sans dissonance ni rugosité, qui évoquent l'interpénétration sans obstruction du bouddhisme Zen. *Stria*, comme les pièces mentionnées de Truax, Dashow, Rampazzi, Rush, fait appel à la synthèse par modulation de fréquence : moins générale que la synthèse additive en ce qui concerne le choix des fréquences composantes, cette technique offre l'avantage de réduire les spécifications nécessaires à celles de quelques paramètres auditivement pertinents, ce qui aide à modeler le son avec efficacité.

## IX. Hybrides

L'ordinateur permet une définition extrêmement détaillée des conduites temporelles : ainsi l'on peut mettre à l'œuvre une courbe d'une origine quelconque pour modeler un timbre de synthèse. *Earth Magnetic Field*, de Charles Dodge, musique réalisée en 1970, donne à entendre les variations du champ magnétique terrestre. *Interphone*, de Michel Decoust, réalisé à l'I.R.C.A.M. en 1977 avec la collaboration technique de Daniel Arfib, exploite des contours d'amplitude ou de fréquence extraits de l'enregistrement d'un poème pour façonner des timbres synthétiques suivant des pulsations quasi biologiques et les « informer » à partir d'un noyau phonétique. La voix parlée imprime aussi son rythme à des timbres autres dans *Cascando* de Dodge, *Verbes comme cueillir* de Marc Battier, *Érosphère* de François Bayle. L'analyse-synthèse par codage prédictif permet d'opérer des modifications intimes sur les sons, spécialement efficaces dans le cas de la voix : dans ses *Six fantasies on a poem by Thomas Campion*, Paul Lansky modifie les contours de fréquence et les durées des voyelles du poème récité, comme l'avait fait Andy Moorer dans sa pièce *Lions are roaring*.

Un vaste champ est ouvert dans ce domaine par le traitement numérique des sons. Ainsi une analyse *homomorphe* peut permettre de dissocier dans un son ce qui relève de l'excitation (dans la voix, la vibration des cordes vocales) et de la réponse (dans la voix, la résonance du conduit vocal, qui filtre la vibration des cordes vocales). La synthèse se fait en recombinant excitation et réponse : on peut alors procéder à des « synthèses croisées » en combinant l'excitation extraite d'un son et la réponse extraite d'un autre. Dans *Voices*,

Tracy Petersen fait entendre une voix fabriquée à partir du larynx d'une personne et du conduit vocal d'une autre. La synthèse croisée donne lieu à d'étonnantes hybrides, à des chimères sonores. Leur étrangeté, voire leur caractère saugrenu, peuvent oblitérer leur utilité musicale : on se lasse vite des violoncelles qui parlent ; il y a là pourtant le moyen d'une intéressante dissociation du timbre, l'excitation portant surtout la trace de ses traits agogiques, «en-temps», et la réponse correspondant plutôt à son aspect spectral, «hors-temps». Dans ma pièce *Sud*, réalisée en 1985 au Groupe de Recherches Musicales à l'aide des programmes écrits par Benedict Mailliard, j'ai «croisé» sons d'oiseaux et de métal, de mer et d'insectes, en jouant d'une logique de flux d'énergie, et dans un but dynamique et plastique plutôt qu'anecdotique — les souples contours de sons synthétiques (Fig. 7) s'incorporent

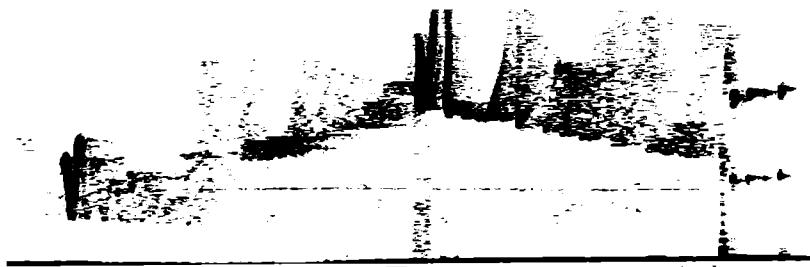


Figure 7. Son synthétique au contour complexe ; les variations de fréquence sont en partie perçues comme caractéristiques de timbre.

rent d'ailleurs à cette démarche. Le timbre ici n'est pas signature d'une source sonore chimérique, il naît de ces alliances morphogènes, il est une résultante, de même qu'André Jolivet disait du rythme qu'il était «le débit du lyrisme».

## X. Métamorphoses

L'identité des timbre instrumentaux est forte, comme celle des éléments chimiques : la transmutation requiert la pierre philosophale. On peut certes glisser insidieusement d'un timbre à un autre, par l'artifice du fondu enchaîné : mais, dans le passage, on perçoit la superposition de deux images, qu'elles soient visuelles ou sonores. Pourtant on peut simuler des sons instrumentaux à l'aide de modèles suffisamment élaborés : si un même modèle peut décrire deux timbres différents pour différentes valeurs de ses paramètres, l'ordinateur pourra interpoler numériquement entre ces ensembles de paramètres et transformer en plus ou moins d'étapes le premier timbre dans le second, sans fondu enchaîné. John Grey (1975) a ainsi réalisé à l'Université Stanford de véritables métamorphoses de timbres instrumentaux les uns dans les autres : le son du hautbois se déforme peu à peu pour passer à celui du violoncelle, qui lui-même s'altère graduellement et devient un son de cor ; il est difficile de décrire les timbres intermédiaires, mais il est clair qu'ils ne résultent pas du mélange de deux sons.

La synthèse nous fait ainsi accéder au continuum des timbres, tout comme au continuum des fréquences. Dans *Sabelith* et *Turenas*, pièces réalisées au début des années 70 à l'Université Stanford, John Chowning fait virevolter les sources sonores virtuelles dans un espace illusoire reconstruit par nos percep-

tions, mais ces mouvements s'accompagnent de transmutations de timbre : des percussions rapides, sans hauteur déterminée, s'anamorphosent en cuivres éclatants ; la giration de petits sons harmoniques aigus les change peu à peu en énormes cloches graves. Ici, la définition de quelques fonctions du temps, commandant les spectres par l'intermédiaire de paramètres de modulation de fréquence et aussi les profils temporels, suffit pour définir des trajectoires de timbre traversant des familles bien différentes. A la fin de ma pièce *Passages* pour flûte et bande, le flûtiste chante en soufflant dans son instrument, cependant qu'un son flûté soutenu acquiert graduellement une qualité vocale. *Phone*, de Chowning, explore les gradations entre deux types de timbre, la voix chantée et les sons inharmoniques à sonorité métallique, et exploite un effet que Mike McNabb et lui-même ont mis en évidence : l'influence des micromodulations de fréquence sur la fusion ou la séparation auditive de sons simultanés. Cet effet important a été étudié par Stephen McAdams et mis en application dans *Archipelago* de Roger Reynolds, réalisée à l'I.R.C.A.M. avec la collaboration technique de Thierry Lancino. Dans cette pièce, un son de hautbois est ainsi scindé en deux : analysé en ses composantes harmoniques, il est resynthétisé d'une façon qui permet d'imposer aux harmoniques pairs et impairs des modulations de fréquence indépendantes ; si ces modulations sont les mêmes, on reconnaît le hautbois, mais si elles divergent, le son est scindé en deux — un son du type clarinette, correspondant aux harmoniques impairs, et un son évoquant lointainement une voix, une octave plus haut que le son de départ, et correspondant aux harmoniques pairs. Ce sont ces différences infimes de fréquence, cette minime incohérence vibratoire qui permettent à l'oreille de séparer des sons simultanés à l'unisson.

## XI. Timbre et spécificité de l'audition

Dans la situation instrumentale, le compositeur peut se fier dans une large mesure à son oreille intérieure : les partitions peuvent passer pour des représentations fidèles des objets musicaux composés. L'expérience de la synthèse nous force à prendre en considération la complexité de la relation psychoacoustique : les relations perçues ne sont pas forcément un simple décalque des relations spécifiées entre paramètres physiques. On ne peut négliger les spécificités de l'audition sans gauchir la démarche visée et sans rétrécir l'horizon sonore exploré. Existe-t-il une clé nous permettant de comprendre la raison d'être de ces modalités auditives si complexes et apparemment si bizarres ?

La raison d'être de bien des particularités s'éclaire si l'on considère que la fonction originale de l'audition n'est pas d'extraire les « paramètres » d'un signal sonore, mais plutôt d'en induire des indications utiles sur l'environnement. On peut penser que l'évolution de l'ouïe a tendu à tirer le meilleur parti des propriétés du son, qui se propage à distance et contourne les obstacles : l'ouïe joue un rôle d'alerte, elle est spécialement sensible aux changements, et elle tend à éliminer de la conscience les « bruits de fond », les sons stables ou permanents — d'où la nécessité d'une évolution interne, d'un flux spectral, pour qu'un timbre ait de l'intérêt. L'audition est équipée d'un mécanisme élaboré évaluant la distance et la direction d'une source sonore, et elle comporte des schèmes qui l'aident à préserver « la constance des choses réelles » (Koffka), de même que la vision ne déduit pas la grandeur d'un objet de la seule dimension de l'image rétinienne. On n'a le plus souvent pas de mal à distinguer à l'écoute

une source sonore intense mais éloignée d'une source douce mais proche, même si les niveaux énergétiques que reçoit l'oreille sont les mêmes dans les deux cas : l'intensité qu'on perçoit ne dépend pas seulement de l'intensité physique, mais elle tient compte d'autres facteurs liés au timbre — par exemple de l'étendue du spectre vers l'aigu pour les sons cuivrés. Bien des musiques de synthèse manquent d'ailleurs à l'écoute d'ambitus dynamique, car elles se bornent à gonfler les décibels pour accroître l'intensité sonore. Pour les mêmes raisons, il est normal que les mécanismes d'identification des sources sonores, dont l'apprehension du timbre découle, se fondent sur des caractères spectraux et temporels élaborés, robustes (par exemple des accidents ou des comportements caractéristiques, des relations entre paramètres) résistant aux distorsions pouvant intervenir dans la propagation. L'oreille ne se fie pas seulement à la structure absolue d'un spectre, qui est rarement émis de façon isotrope, et encore moins aux relations de phase entre les composantes d'un son complexe périodique (Fig. 1), ces traits étant souvent bouleversés entre la source et l'auditeur, particulièrement dans un environnement réverbérant. La perception est très sensible aux aspects fréquentiels, plus stables, sauf dans le cas de sources mobiles : l'effet Döppler déforme les fréquences, mais l'oreille en tire alors des indices sur le mouvement des sources. Dans la musique, l'audition fonctionne de façon gratuite plutôt qu'utilitaire : mais il se peut qu'un manque fondamental soit ressenti si ces mécanismes complexes ne sont pas sollicités.

## XII. Espaces de timbres

On peut se représenter les timbres instrumentaux comme les îles d'un archipel : la synthèse nous donne accès à l'océan des timbres. Comment s'orienter dans cet océan ? Peut-on avoir recours à des cartes ? Les possibilités de transition continue suggèrent l'idée d'un espace des timbres, au sein desquels les timbres connus seraient nos points de repère. Comme l'écrit Wessel (1973), « un espace de timbres qui représenterait de façon adéquate les différences perceptives pourrait servir comme une sorte de carte susceptible de guider dans sa navigation le compositeur qui s'intéresse à structurer des aspects du timbre ». Wessel (1978, 1979) et Grey (1977) ont proposé des modèles géométriques d'espaces de timbres : les sons individuels y sont représentés par des points, et deux points sont d'autant plus éloignés que les timbres correspondants sont perçus comme différents. Ces espaces ne sont pas construits arbitrairement : ils reflètent les jugements de sujets auxquels on demande d'évaluer par un nombre les différences entre de nombreux timbres présentés par couples ; les données sont soumises à des programmes mathématiques d'analyse multidimensionnelle, qui fournissent un modèle géométrique compatible avec les données, sans introduire de biais ou d'idées préconçues. Les diverses dimensions de l'espace proposé peuvent alors être interprétées, en comparant les timbres qui présentent les différences les plus grandes ou les plus petites suivant ces dimensions. A partir de données numériques sur les différences perçues entre timbres, les espaces subjectifs indiquent en quoi, suivant quelles dimensions ces timbres diffèrent.

Les espaces de timbres révèlent généralement une dimension qu'on appelle brillance, ou hauteur spectrale, et qui est étroitement corrélée à la position du centre de gravité sur l'axe des fréquences (grave-aigu). La brillance peut être considérée comme un aspect « hors-temps » du timbre, une dimension de la couleur sonore (Slawson 1985). Si l'on compare des sons de même hauteur —

sur la même note — la brillance est moindre pour le cor que pour le trombone; pour la flûte que pour le hautbois; pour le violon avec sourdine que sans sourdine. Brillance et hauteur sonore ne sont pas indépendantes. Comme l'écrit Schoenberg (1911): « Je ne puis admettre sans réserve la différence que l'on a coutume d'établir entre timbre (*Klangfarbe*) et hauteur sonore. C'est en effet par son timbre — dont une dimension est la hauteur — que le son se signale. » Dans la suite de ce texte, Schoenberg expose le concept de « mélodie de timbres » qu'il a illustré en 1909: dans la pièce *Farben* de son opus 16 pour orchestre, l'instrumentation donne des couleurs changeantes à un accord tenu.

Dès le début du siècle, Wolfgang Köhler avait distingué deux attributs liés à la fréquence et au spectre des sons. La hauteur spectrale — que Köhler avait appelée « le corps du son » — est liée à une appréciation du spectre comme distribution: elle relève plutôt du timbre; une étude de Plomp et Steeneken (1971) confirme que, pour les sons périodiques, le timbre est corrélé à la distribution de la membrane basilaire qui fonctionne comme un analyseur

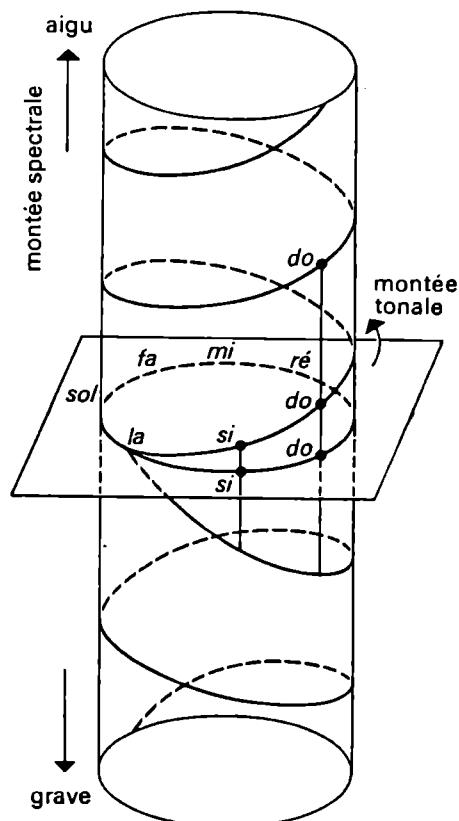


Figure 8. Schéma en hélice représentant les variations possibles de hauteur sonore: la hauteur spectrale varie du grave à l'aigu suivant l'axe vertical, la hauteur tonale monte ou descend suivant le sens dans lequel on parcourt le cercle (section droite).

spectral. La hauteur tonale — la « hauteur musicale » — résulte d'une évaluation focalisée qui se fait sans ambiguïté pour des sons harmoniques « normaux » à hauteur déterminée (*do 3, la 4...*). La parenté des sons à intervalle d'octave a suggéré, voici plus d'un siècle, de représenter le continuum des hauteurs sur un schéma en hélice (Fig. 8); la hauteur spectrale varie du grave à l'aigu suivant l'axe vertical. Lorsque la hauteur tonale est ambiguë — si le son ne comporte que des composantes à intervalle d'octave — la hauteur spectrale peut influer non seulement sur la couleur, mais aussi sur la hauteur; en dissociant par synthèse les variations habituellement corrélées de hauteur tonale et de hauteur spectrale, Shepard et moi-même avons abouti à des phénomènes paradoxaux. Ainsi, un son peut monter indéfiniment, ou descendre la gamme tout en devenant plus aigu (cet effet s'obtient en faisant glisser vers le grave des composantes à intervalle d'octave tout en renforçant graduellement les composantes aiguës au détriment des graves); un son formé de composantes espacées d'un intervalle un peu plus grand qu'une octave peut paraître baisser si l'on double toutes les fréquences, par exemple en doublant la vitesse du magnétophone sur lequel on le joue (Risset 1978b). Ces phénomènes s'interprètent sur le schéma en hélice; certains sont perçus différemment suivant les auditeurs, pour lesquels la notion de hauteur ne recouvre pas toujours le même contenu, l'aspect spectral ou au contraire tonal pouvant être privilégié. J'ai mis en œuvre ces effets dans mes pièces *Little Boy*, *Mutations*, *Moments newtoniens* et *Dérives*, mais les facteurs d'orgue en avaient déjà tiré parti voici plusieurs siècles. Illusoires si l'on veut, ces images sonores « limites » sont prégnantes, elles prennent vite à l'écoute la force de l'évidence, car elles mettent à nu des dimensions de notre manière d'entendre.

### XIII. Organisation perceptive

La brillance joue un rôle important dans l'organisation perceptive. L'audition « utilitaire » doit inférer les causes physiques des sons, et il lui faut tenter de séparer les contributions des différentes sources sonores qui émettent simultanément. Albert Bregman a élucidé certains schèmes qui aident l'oreille à faire un tri dans le véritable magma sonore qu'elle reçoit, et en particulier la « fission mélodique » ou « ségrégation en flux auditifs ». Cette modalité de l'audition a été mise à profit par les musiciens de l'époque baroque pour donner l'illusion de polyphonie avec des instruments monodiques. Le procédé consiste à enchevêtrer deux lignes mélodiques en faisant alterner les notes successives de chaque ligne : si les lignes sont suffisamment séparées et si le tempo est assez rapide, la suite des hauteurs se scinde en deux lignes séparées. En fait Wessel (1979) a montré que la séparation fréquentielle nécessaire à la fission mélodique est liée moins à la fréquence fondamentale — à la « hauteur musicale » — qu'à la hauteur spectrale, la brillance, dimension du timbre. Cela peut se comprendre, puisque les sons émis par une même source ont le plus souvent un timbre stable, des hauteurs spectrales voisines : la ségrégation perceptive en flux a pour fonction de regrouper ce qui correspond à une même source et de la séparer de ce qui provient d'autres sources. Il y a donc là une modalité d'organisation pour les sons successifs ; plusieurs facteurs influent sur la facilité de formation de tels flux, notamment la « cohérence temporelle », et le caractère de « bonne forme », au sens de la Gestalttheorie, des lignes, des trajectoires virtuelles.

Pour les sons simultanés, nous avons déjà rencontré certains facteurs qui favorisent leur fusion : une attaque synchrone — et plus généralement une

évolution similaire pour un même paramètre (fréquence ou amplitude par exemple), et la cohérence vibratoire — les micromodulations aident à la fusion si elles sont synchrones, à la séparation auditive dans le cas contraire. Dans des contextes musicaux complexes, il peut y avoir conflit entre les modes d'organisation propres au successif et au simultané : l'enjeu est individualisation ou fusion, appréhension de lignes ou de timbre. La notion de timbre implique la fusion ; elle correspond à la qualité sonore d'un ensemble de composantes intégrées en une entité auditive et assignées à une même source sonore réelle ou virtuelle. Comme l'a observé Bregman (1978 et chapitre de l'auteur), la dissonance correspond ici même à un excès et non à un défaut de fusion ; la préparation d'une dissonance l'atténue en gênant la fusion, de même que les mouvements conjoints, la bonne organisation du successif en lignes — point contre point — luttant contre le regroupement global du simultané. On l'a vu, le timbre, particulièrement par sa brillance, peut influencer la formation de flux, les modes de regroupement ; se peut-il, demande Bregman, qu'à l'inverse le timbre soit influencé par les groupements ? Les contrôles fins dont nous pouvons disposer grâce à la synthèse ou au traitement numérique nous permettent en effet d'influencer groupement ou séparation, fusion ou fission : le timbre serait alors résultante d'une organisation sonore ne dissociant plus timbre et discours musical. Il n'y a plus lieu dans ce cas de considérer différemment timbres isolés et timbres en contexte (Grey 1978), « réalisation instantanée de l'objet sonore » et « mise en jeu de chaînes d'événements, de structures musicales proprement dites » (Boulez 1985). Après la distinction entre bruits et sons musicaux, c'est la distinction entre son et sons qui est ici dépassée, laissant la place à une dialectique complexe de l'horizontal et du vertical, un jeu dynamique d'images auditives, de lignes et de masses, d'espaces et de figures, de formes et de fonds.

## XIV. Structuration musicale

Nous sommes ici au cœur des problèmes de la structuration musicale du timbre. Divers aspects du timbre aident à ordonner le discours sonore, à « cohérer », regrouper ou au contraire différencier ses composantes. Grâce à la ductilité de la synthèse, le timbre n'est plus seulement la signature d'une origine, mais la trace de l'être même du son : on peut le composer, le modeler, le transformer intimement, de façon continue ou suivant des échelles. Certaines dimensions du timbre sont-elles « morphophoriques », peuvent-elles servir de support à des formes, rendre audibles des relations élaborées ? La question est importante et délicate. Les cartes de timbres ont permis à Wessel et Ehresman de préciser les conditions dans lesquelles les transitions entre deux couples de timbres sont perçues comme analogues, à l'instar des intervalles de hauteur : cela pourrait permettre d'agencer dans les « mélodies de timbres » l'homologue des transpositions mélodiques. David Wessel et Bennett Smith ont mis en œuvre à l'I.R.C.A.M. un programme, ESQUISSES, permettant à un compositeur de tracer son propre espace de timbres pour les matériaux sonores de son choix, à partir de ses propres jugements : les dimensions de différenciation sont alors explicitées, et l'on peut définir des parcours continus ou discontinus dans l'espace des timbres. J'en ai tiré parti dans ma pièce *Mirages* (I.R.C.A.M. 1978) ; j'y ai aussi tenté des transpositions de timbre : elles sont plausibles mais non manifestes, elles ne s'imposent pas à la conscience comme une transposition mélodique, il faut les scruter, les vérifier, elles manquent de force structurante.

Cependant cette recherche n'en est qu'à ses débuts, et les cartes de timbres sont déjà des guides utiles, qui permettent même de prévoir comment seront perçues certaines structures timbriques. Les systèmes de synthèse temps réel pourraient accélérer l'exploration des espaces de timbres, à condition de pouvoir passer facilement d'un mode de synthèse à un autre, mais aussi de se prêter à un agencement tel que leurs commandes puissent régir les dimensions saillantes du timbre, déterminant alors des trajets simples dans ces espaces : on doit en particulier pouvoir contrôler facilement la brillance, mais aussi les temps de montée et plus généralement les enveloppes des composantes (Wessel 1979). La pensée musicale du timbre est inséparable de représentations opératoires, permettant d'agir de façon élaborée sur des paramètres sensibles du timbre — que ce soit par des spécifications écrites (stipulation numérique, graphique ou catégorielle) ou par des gestes. Il importe d'étudier les « accès », les contrôles gestuels les mieux adaptés à la commande de ces dimensions (Mathews et Abbott 1980, Cadoz et al. 1981).

On peut se demander dans quelle mesure un continuum, vertigineux et dérapant, peut donner prise à une volonté d'organisation. L'ordinateur met à notre disposition un matériau en principe neutre et transparent : comment passer de la continuité à la différenciation ? Les catégories, les échelles discontinues, les prototypes familiers sont-ils essentiels pour permettre une perception élaborée, une musique stimulant la recréation mentale ? Le musicien peut-il définir complètement ses propres contraintes, bâtir sa propre maison au sein d'un espace sonore homogène et illimité ? Peut-être l'exploration plus poussée des espaces de timbres révélera-t-elle des spécificités incontournables, intrinsèques ou fonction de notre expérience : dimensions ou domaines privilégiés de différenciation, zones érogènes, obstacles, angles durs, catastrophes morphologiques, suggérant de façon presque obligée certains types de contraintes dont le musicien doit tenir compte. Je penche pour cette hypothèse : la musique, pour engager profondément l'écoute, sensuellement et intellectuellement, doit mettre en jeu des opérations perceptives, sensorielles et mentales (le corps est dans la tête) non arbitraires : celles qui permettent à l'esprit de reconstruire un monde intérieur cohérent avec les lois de l'acoustique et les données des sens. Dans la ligne des théories motrices de la perception, on peut soutenir que l'expérience de la causalité instrumentale est essentielle à l'ontogenèse de l'apprehension du sonore (je n'en suis pas entièrement convaincu) : mais justement l'outil informatique peut simuler cette causalité pour mettre ce point de vue à l'épreuve (Cadoz et al., 1981). Quoi qu'il en soit, la compréhension des opérations très spécifiques de la perception peut nous aider à les faire jouer, pour insuffler à nos constructions sonores illusoires présence, prégnance et identité — non pas celle de la référence à un monde extérieur, à des sources sonores inexistantes, mais celle d'un ancrage intérieur profond, au cœur de notre perception. Selon François-Bernard Mâche, on retrouve dans les pratiques musicales les plus diverses des archétypes universels de la pensée mythique, et la musique ne retrouve sa force qu'en les faisant resurgir : peut-être les opérations d'organisation perceptive sont-elles à la source de ces archétypes. De toute façon, les enseignements psychoacoustiques ne peuvent bien sûr que tracer un cadre au sein duquel peut s'inscrire le jeu musical — qui peut étendre, voire transgresser, le champ de nos perceptions : mais ils peuvent contribuer à maintenir ce jeu musical au contact du sensible.

A ceux qui doutent de la possibilité d'articuler un discours musical à partir du timbre, Max Mathews rappelle qu'il existe un système de communication

élaboré qui se fonde sur les différenciations de timbre : la parole ! On notera que la perception de la parole est en partie catégorielle : à tout moment d'une transition physique continue entre deux phonèmes, on entend soit l'un, soit l'autre. Cette catégorisation donne plus de sûreté aux différenciations, mais à des différenciations assez grossières : un même phonème est susceptible de réalisations très différentes ; la parole est un signal imprécis. Contrairement à ce qu'on pourrait croire, beaucoup de personnes dont les langues maternelles sont des langues à tons (dans lesquelles les différences de fréquence jouent un rôle phonologique) sont pour ainsi dire sourds aux hauteurs musicales, comme s'ils avaient désappris les différenciations fines qui n'ont pas de fonction linguistique. De même un auditeur occidental a tendance à « naturaliser » les intervalles d'une mélodie extra-européenne, à les assimiler aux intervalles des gammes qui lui sont familières et qui lui imposent des grilles de référence.

Ces aspects linguistiques se retrouvent dans la perception du timbre. Robert Cogan a étudié avec Pozzi Escot diverses musiques, instrumentales ou électroniques, sous l'angle de la composition des sons : pour analyser des « photographies sonores » similaires à celles des figures 3, 5 et 7, il propose un ensemble de traits distinctifs binaires similaires à ceux de la phonologie de Troubetzkoy et Jakobson, et apparentés aussi aux critères de la typologie des objets sonores de Schaefer. La perception catégorielle a plus de chances de jouer si les sons relèvent de modèles familiers, comme on peut le remarquer lorsqu'on transforme un timbre dans un autre. Cette tendance à ramener l'inconnu à des types connus, catalogués, fixe et socialise la perception du timbre, mais en même temps elle la calcifie et l'appauvrit : tous les détails de la morphologie sonore sont réduits à une étiquette. On est parfois stupéfait de constater que l'acuité auditive de certains musiciens se cantonne aux timbres instrumentaux, et même à certains d'entre eux seulement ; pour d'autres types de timbres, les jugements sont grossièrement indifférenciés, étiquetés suivant un petit nombre de catégories. Souvent précieuse, la tendance de l'esprit à généraliser et abstraire peut être dangereuse : une différence voyante peut nous aveugler et masquer les différences plus fines — le racisme relève du même schéma. La structuration musicale du timbre peut passer inaperçue pour des écoutes fermées, des entendements bornés. Une âme morte, selon Bergson, est une âme extrêmement habituée. Piaget nous rappelle qu'il ne suffit pas d'assimiler l'environnement à nos catégories, il faut accommoder nos catégories à l'expérience.

## XV. Timbre, forme, langage

Ces remarques valent pour la forme de musiques où le jeu sur le timbre joue un rôle important. Varèse insistait sur le fait que la forme ne se réduit nullement à un schème formel préétabli : elle ne peut être qu'une résultante. Cage souhaite que les sons puissent être eux-mêmes : la forme doit laisser vivre les timbres. La métaphore sociale, invoquée dans la « sociologie des hauteurs sonores » d'Edmond Costère, est pertinente aussi pour le timbre. Dans une société trop structurée, les individus valent moins par leurs vertus propres que par leur conformité à une règle sociale ; plus les êtres sont évolués, plus ils ont besoin d'un espace de liberté : des entités sonores complexes respireraient mal sous le joug de règles extrinsèques. Il ne faut pas oublier que le timbre est multidimensionnel : un objet sonore peut très bien n'être « neutre », ne se prêter à une logique serrée qu'à certains égards. Le timbre est matière, sonorité, mais

aussi processus, forme : la forme découle de son destin, de ses aventures, de son inscription dans le temps — la musique est «ars bene movandi» qui doit absorber l'auditeur dans son devenir. Une pièce qui explore diverses régions de l'espace des timbres pourra être agencée en «dérive» ou en «mutations» suivant la nature des passages, mais une description par des schémas simples, des formes archétypales, est trop passe-partout et finalement sans intérêt. L'architecture ne se borne pas à disposer des grandes lignes; Gerald Bennett nous rappelle une parole profonde de Mies Van der Rohe: «Dieu est dans les détails.»

Peut-on fonder un langage musical sur le timbre? Mais peut-on fonder un langage musical? Les démarches compositionnelles, à cent lieues d'un consensus, manifestent aujourd'hui une extraordinaire dispersion. On ne peut décider par décret d'imposer les normes collectives de l'expression, les conventions d'un langage — interviennent ici des circonstances sociales complexes, et d'abord les actions et réactions au sein d'un microcosme musical dont les contours évoluent, les nouvelles technologies tendant à modifier l'accès aux moyens musicaux et à rallier trois activités souvent disjointes: composer, jouer, écouter (Risset 1985a: 69 et 1985c: 131). Les artistes inventent, mais ils ne maîtrisent pas le sort fait à leur démarche par la société, grande fossoyeuse ou récupératrice de subversion.

En tout cas, le contrôle ductile que permet le traitement numérique du matériau sonore confère à certaines dimensions du timbre des vertus architectoniques et modifie fondamentalement son statut musical. En même temps ce statut n'a guère changé en ce qui concerne le matériau sonore instrumental. L'instrumentarium acoustique collectif est celui du répertoire de la musique tonale; la composition de l'orchestre symphonique est particulièrement figée, affectée de pesanteurs économiques et sociologiques. En réaction, la musique ancienne cherche à retrouver ses timbres spécifiques; la musique contemporaine s'efforce de varier la géométrie des ensembles, de pousser à l'extrême, voire dévoyer les possibilités des instruments, et parfois de développer une nouvelle lutherie, qui ne dépasse que rarement un cadre personnel. Mais les mondes de l'instrument et de l'électricité s'interpénètrent de plus en plus. A l'image d'une révolution géologique, lente et irrésistible, la «révolution électrique» modifie le paysage musical, mais en laissant affleurer les couches anciennes, qui apparaissent dans une nouvelle perspective. Les instruments, les interprètes demeurent, trésor infiniment précieux avec ses ressources inépuisables; un musicien comme Ligeti sait sculpter la matière sonore en tissant des sons instrumentaux avec une extraordinaire finesse. Mais c'est par l'électro-acoustique, avec toutes ses possibilités, notamment numériques, que peut se déployer le rôle musical du timbre. Le timbre n'est plus seulement la signature d'un système vibrant, sa définition logicielle lui donne le caractère de l'immatériel: comme l'esprit, il se meut avec agilité. Si une dimension du timbre articule le discours, le timbre se fond dans le discours : la notion de timbre cesse d'être secondaire, elle devient centrale, diffuse, atmosphérique, lorsqu'on la cerne, elle s'efface et disparaît. Comme l'écrit Michel Serres: «Nous avons à penser une idée difficile, qui fait trembler l'identité.»

# **Le phénomène sonore, un modèle pour la composition**

par Philippe HUREL

Il est des œuvres que l'on ne peut contourner tant leur potentialité est grande, œuvres qu'il ne s'agit pas d'accepter dans leur totalité, mais qui se posent en points de repère et obligent les compositeurs à penser autrement leur art. Chaque génération rencontre cette œuvre musicale qui bouleverse les idées reçues et remet en question les notions les plus couramment acceptées.

En 1975, Gérard Grisey écrit *Partiels* pour 18 instruments, dont les premières mesures suffisent à balayer bon nombre d'attitudes compositionnelles et à les reléguer au rang de techniques historiques.

Si ses détracteurs ont vu dans cette œuvre un phénomène passager anecdotique ou une expérience sans lendemain, nombreux sont, en France et à l'étranger, les compositeurs qui ont senti les prémisses d'une nouvelle pensée musicale qui valorise les notions de « timbre » (et non plus d'harmonie), de partiel et amplitude (et non de note et dynamique), de « trajet parcouru » (processus entre des points et non matériau et variation), de seuil, de microscopie et macroscopie.

A ce propos, Grisey écrit : « Nous sommes des musiciens et notre modèle est le son et non la littérature, le son et non les mathématiques, le son et non le théâtre, les arts plastiques, la physique des quantas, la géologie, l'astrologie ou l'acupuncture. »

Cette revalorisation du phénomène sonore et sa prise en compte comme modèle possible ne se sont pas faites brusquement, mais sous l'influence de plusieurs facteurs.

## **I. La musique sur bande, concrète ou analogique**

Les compositeurs qui ont participé à l'aventure électroacoustique, souvent de formation non musicale au départ, ont considérablement transformé, volontairement ou non, l'attitude de leurs confrères et ont suscité l'écriture d'œuvres instrumentales dont la matière sonore est directement héritée des gestes du musicien de studio.

Les compositeurs les moins convaincus du fait électroacoustique ne passeront pas au travers de cette mutation : autre façon d'écouter, d'appréhender la matière musicale, de composer.

Mais le travail sur bande par montage, boucles, variations de vitesse des magnétophones, filtrages, incrustations, mixages et autres techniques, s'il n'en demeure pas moins riche sur le plan sonore (le matériau concret travaillé est souvent plus riche que la synthèse par ordinateur), présente cependant des inconvénients.

Le compositeur transforme au gré de sa fantaisie le matériau enregistré et si, de bonne foi, il nous révèle l'identité du matériau initial, il s'en est tellement éloigné de manière empirique au cours de l'œuvre, qu'il n'est plus possible à l'auditeur de la reconnaître et de comprendre le discours de la pièce.

Le travail artisanal de studio s'apparente plus à l'improvisation instrumentale qu'à la composition et le matériau finit par imposer ses lois au compositeur devenu incapable de penser la forme de son œuvre.

Matériau pléthorique et non identifiable, absence de souci formel font que l'œuvre électroacoustique est trop souvent un fiasco.

Dans ce domaine, les compositeurs n'ont pas cherché à créer une syntaxe, et le matériau de départ, analysé de façon trop superficielle ou trop littéraire, est déformé de façon capricieuse sans donner lieu à un véritable discours musical.

Les expériences sérielles ne se sont pas révélées plus convaincantes, les compositeurs n'ayant pas tenu compte de la spécificité du travail sur bande : « le timbre », et non la note, l'intervalle et les techniques de variation et prolifération qui leur sont familières.

Dans le domaine de la musique mixte faisant intervenir une bande analogique, les réalisations me semblent encore plus pauvres et stylistiquement contestables. Les instruments et la bande n'ont en général aucun point de rencontre si ce n'est sur le plan « gestuel » : « gazouillis d'harmoniques » et glissandi des cordes imités par la bande, sons anecdotiques de toutes sortes apparaissant dans l'orchestre et sur les haut-parleurs sans jamais appartenir au même univers sonore.

## II. Analyse et synthèse par ordinateur : le modèle acoustique

Si la musique sur bande analogique n'a pas été sans influences, ce sont l'analyse et la synthèse par ordinateur qui ont permis au compositeur de tirer des enseignements véritables du phénomène sonore.

En effet, ce n'est plus le geste de « l'artisan » de studio qui peut servir de modèle, mais plutôt le phénomène sonore lui-même que l'ordinateur peut analyser ou tout au moins nous aider à comprendre.

Ainsi, l'analyse spectrale d'un son émis par instrument peut représenter, après une mise à l'échelle, un modèle de structure musicale exploitable. C'est avec *Partiels* que l'on voit apparaître clairement la notion de « modèle acoustique », ici le spectre du trombone.

Évidemment cette structure musicale ne prétend pas être une reconstitution objective du timbre de trombone (d'une part les instruments qui « actualisent » les partiels n'émettent pas des sons purs mais des sons complexes qui rendent cette synthèse additive inexacte, d'autre part les autres facteurs nécessaires à une fusion parfaite sont trop fins et complexes pour être interprétés musicalement), on doit admettre cependant que le résultat acoustique en est surprenant.

Les techniques de synthèse ont aidé le compositeur à comprendre que la composition instrumentale, aujourd'hui, devait passer par un travail sur le

timbre et la perception, travail qui manque à beaucoup de partitions au nombre de voix (réelles) impressionnant, certes, mais dont personne n'a vraiment une idée du résultat acoustique.

Il me semble, en effet, que la responsabilité des voix, dans une écriture polyphonique pour un orchestre très divisé, ne garantit en rien les qualités acoustiques d'une réelle entreprise, même si la lecture de la partition nous procure une grande satisfaction intellectuelle.

En prenant pour modèle le timbre, la composition, l'orchestration et l'instrumentation prennent une autre signification (on peut dire que le fait de disposer d'un ensemble instrumental important permet de rendre compte d'une analyse plus fine des modèles de départ). L'orchestration devient fonctionnelle et peut se confondre avec l'instrumentation.

Les autres formes de synthèse, les manipulations sur le son comme l'interpolation, l'hybridation, ainsi que les machines de transformation (les « effets ») deviennent des stimulations pour le compositeur de musique instrumentale lorsqu'il peut en saisir les fonctionnements de façon profonde : l'ordinateur le lui permet.

L'un des intérêts, me semble-t-il, d'une œuvre comme *Partiels* est la réapparition de la notion de modèle « naturel », bien que les modèles utilisés par Grisey (ainsi que Murail) soient plutôt des représentations technologiques de cette nature : instruments traditionnels « analysés », mais aussi machines dont on connaît profondément le comportement.

Cette référence au modèle acoustique « naturel » entraîne inévitablement la résurgence de phénomènes modèles que je qualifierai de « biologiques » : accélération/décélération, synchronisme/asynchronisme, compression/dilatation s'appliquant non seulement aux valeurs de durées, aux amplitudes, au contenu spectral, mais aussi à la densité « harmonique », instrumentale ou événementielle... On observe que chez Grisey et Murail ces phénomènes sont souvent liés à l'idée de tension/détente schématisée par le couple harmonicité/inharmonicité.

Les détracteurs réduiront la musique dite « spectrale » au seul emploi du spectre harmonique (s'attaquant à ce qui est le moins convaincant dans cette démarche « spectrale »), y trouvant je ne sais quelle nostalgie de la tonalité.

*A ce propos il n'y a rien de bien gênant à admettre que malgré la réussite sonore de la première section de Partiels sur le plan de la « synthèse », l'auditeur musicien entende la tierce, la quinte, la septième, la neuvième ; comment nommer les harmoniques d'un son sinon par leur appellation musicale ? De là à les entendre comme un accord classé me semble relever d'une perversion de l'oreille, oreille qui serait, elle, tonale : la superposition d'une fondamentale et de ses harmoniques ne « sonne » pas comme un accord de neuvième de dominante, si l'on a compris que le contexte musical n'est en rien connoté.*

J'ai tendance à penser que néoclassicisme et modernité ont souvent des points de départ communs : réactivation de certaines données oubliées ou oblitierées par le système en vigueur.

Ainsi l'*opus 25* de Schoenberg m'apparaît comme aussi « nostalgique » que la *Symphonie des Psaumes* de Stravinsky, si ce n'est que, dans le premier cas, le compositeur s'appuie sur des modèles formels connus pour faire avancer le vocabulaire.

Le spectre de trombone de *Partiels* a le mérite d'être un modèle facilement identifiable et d'être une base de départ à l'élaboration d'une grammaire en pleine évolution.

En ayant recours aux modèles acoustiques, il ne s'agit pas de vérifier à tout instant la viabilité de certaines lois d'ordre acoustique (ce serait perdu d'avance). Le «timbre» et «les phénomènes sonores» sont des stimuli permettant de construire une syntaxe cohérente et de composer une musique dans laquelle le dilettantisme est banni.

### III. Timbre et composition dans la musique instrumentale

Des nombreux choix que peut faire le compositeur aujourd'hui, deux retiendront particulièrement mon attention :

1) Choix d'un matériau auquel le compositeur fait subir de multiples transformations, travail rythmique, intervallique, qui entraîne inéluctablement une écriture motivique, polyphonique.

Dans ce cas, le «timbre» apparaît comme un paramètre secondaire et l'œuvre sonne de façon «traditionnelle», même si l'instrumentation est très raffinée. Se trouve valorisée la perception de la note, du rythme, du motif.

2) Choix de modèles acoustiques et processus liés à la perception : dans ce deuxième cas, on aboutit souvent à une linéarité et une verticalité constantes nécessaires à la compréhension des phénomènes et à la fusion des instruments.

Ces instruments sont alors considérés comme des générateurs de fréquence et bien que n'émettant pas un son pur (rendant ainsi toute reconstitution acoustique inexacte), il en résulte une grande richesse sur le plan du timbre qui est perçu comme une sorte d'hybride entre timbre instrumental et timbre de synthèse.

Dans les deux cas de figure, on ne peut être satisfait :

Dans le premier, on obtient la richesse polyphonique, motivique, les niveaux de lecture de l'œuvre, mais aussi une perception globale, un «timbre» général trop attendus, et même souvent trop classiques.

Dans le second, on est séduit par la richesse du timbre, l'immédiate compréhension des «trajets», l'adéquation avec l'univers électronique (musiques mixtes), mais on est frappé par le manque de complexité du discours.

La première de ces attitudes engendre une perception d'ordre macroscopique : perception de lignes jouées par les instruments, d'«harmonies», de polyphonies, d'hétérophonies, etc., d'éléments habituels de la musique.

La deuxième engendre une perception d'ordre microscopique : perception de complexes sonores dans lesquels les instruments disparaissent en tant que tels, l'orchestre devenant un seul instrument.

*Ces deux attitudes compositionnelles représentent de façon schématique les deux tendances importantes de la musique d'aujourd'hui et l'on assiste à une véritable querelle autour des musiques de «l'écriture» et des musiques du «timbre» : les premières seraient, dit-on, fortement structurées mais «non entendues», les secondes, convaincantes sur le plan de la perception, mais simples et faisant peu appel à l'intelligence de l'auditeur. Ce débat est tout à fait grotesque, inutile et dangereux (le public, déjà peu convaincu par la musique d'aujourd'hui, ne le sera plus du tout quand on lui aura prouvé que tout ce qu'on lui donne à entendre est sans intérêt).*

*Ce type de polémique (pâle copie des prises de position des compositeurs de l'avant-garde, à une époque où le contexte musical était tout différent) entraîne des affirmations superficielles et erronées. Prenons plusieurs exemples : les musiques du «timbre» (Grisey, Murail) ne proposeraient, selon leurs détracteurs,*

*aucun type d'écriture ou de polyphonie, mais simplement une technique d'orchestration et d'arpèges. Il semble que beaucoup de musiciens confondent encore quantité (de notes) et nécessité.*

*Où se trouve la polyphonie dans une œuvre dont l'harmonie n'a aucune direction perceptible, et dont les registres de hauteurs sont gelés? Là, du coup, on perçoit une couleur harmonique identique dont le soi-disant contrepoint devient très vite une agitation plus ou moins agréable; finalement on entend les «arpèges» d'une situation harmonique bloquée.*

*La «lenteur» du discours est aussi largement reprochée à ces musiques du timbre: il est vrai que l'exploration au microscope de structures de timbre a tout naturellement entraîné une dilatation du temps; ces œuvres, pour «agir» avec efficacité, ont besoin de temps et sont perçues comme très lentes. Ceci étant, on ne peut leur opposer ces soi-disant œuvres polyphoniques dont le contenu harmonique est si statique que les notes que l'on perçoit, aussi nombreuses soient-elles, ne donnent aucune sensation de rapidité, mais seulement d'agitation, de perpétuel «sur-place».*

Il convient maintenant de s'interroger sur ce que peut être la perception d'un timbre fusionné, de structures polyphoniques (ou rythmiques). Plutôt que d'opposer des types de perception différents, il me semble plus satisfaisant de rechercher l'ambiguïté entre les différents modes de perception. Nous aurons encore recours au modèle acoustique pour réaliser ce que l'on pourrait qualifier d'«anamorphoses auditives».

Les expériences de synthèse nous montrent comment l'on peut intercaler (de manière différente selon le contexte et le mode de synthèse), des timbres de nature différente.

Cette notion d'interpolation prend une signification particulièrement importante dans l'écriture instrumentale dès lors qu'elle s'applique, non plus seulement à des timbres, mais à des structures musicales entières.

Le passage d'une structure «timbre» à une structure «polyphonique» ne peut se réaliser sans problème stylistique que dans la mesure où le compositeur a recours à des lois tirées de l'observation des phénomènes de la perception.

On peut envisager l'écriture d'une polyphonie, non pas comme un acte totalement déterministe du compositeur (tel que cela se passe en général dans les musiques à «matériau» et «variation»), mais comme le résultat d'un certain nombre de manipulations sur une structure de timbre.

A cet égard, les expériences psychoacoustiques sont d'un grand enseignement; pensons aux travaux sur les «images auditives», les formations de flux (Philippe Durville fut le premier à traiter ce problème de la «mélodie» comme conséquence de traitements particuliers, dans sa pièce, *Imac*), les règles préférentielles de groupement (rythme), autant de travaux qui stimulent l'imagination et permettent de repenser la «mélodie», la «polyphonie», le «rythme».

Imaginons une structure globale de type «spectral» (modèle acoustique «naturel» ou de «synthèse») qui peu à peu sera perçue comme une superposition de «mélodies» ou comme une structure polyphonique faisant apparaître des rapports rythmiques.

Pendant le courant du processus, l'auditeur aura le choix d'interpréter la structure d'une façon ou d'une autre, selon son degré d'«attention» ou son penchant à favoriser tel ou tel élément.

Pour illustrer la notion d'interpolation dans ce qu'elle a de plus large:

imaginons maintenant une œuvre faisant appel aux instruments traditionnels et au synthétiseur numérique (ou bande synthétisée par ordinateur).

Pour éviter ce que nous reprochions plus haut à une certaine musique mixte, nous retiendrons deux attitudes possibles : les sons complexes produits par le synthétiseur seront actualisés par les instruments de l'orchestre. Dans ce cas, le synthétiseur (ayant une fonction structurelle et non décorative) servira de générateur de modèles acoustiques et absorbera en quelque sorte l'orchestre : perception globale (microscopie).

Inversement, le synthétiseur pourra reproduire de façon plus ou moins fidèle un son de nature instrumentale et se fera absorber par l'orchestre détenteur de modèles instrumentaux, pouvant s'inscrire ainsi dans une écriture de type polyphonique : perception différenciée (macroscopie).

Il est possible évidemment de transformer peu à peu le timbre du synthétiseur (timbre complexe de synthèse → timbre instrumental) et de faire basculer lentement la perception globale vers la perception différenciée. On voit que dans un exemple de ce type, se sont transformés à la fois le timbre de la machine et par conséquent celui de l'orchestre, la perception des structures musicales, l'identité des générateurs de modèles acoustiques.

Prenons un autre exemple maintenant : imaginons une texture dont « l'harmonie » soit le contenu spectral d'un timbre généré par synthèse additive et dont les éléments (fréquences pures : sinus) soient organisés en quatre mélodies (lentes) superposées, serrées (croisements) et spatialisées de manière aléatoire.

L'auditeur percevra une structure globale plus ou moins complexe animée d'un flux car aucun élément ne permettra de favoriser des « groupements ».

Maintenant, enrichissons progressivement les fréquences de la mélodie 1 jusqu'à leur donner un contenu spectral identique et reconnaissable :

Mélodie 1 → timbre type flûte

Opérons de la même manière avec la Mélodie 2 → timbre type hautbois

Mélodie 3 → timbre type clarinette

Mélodie 4 → timbre type basson

La perception va changer au profit d'une écoute polyphonique (ou tout au moins mélodique) de nature traditionnelle : quatre bois jouant des notes et des rythmes, quatre voix d'une polyphonie.

Ce type d'expérience ne doit pas rester au laboratoire mais stimuler l'écriture instrumentale. Comment ?

L'orchestre n'est pas un ensemble de fréquences pures :

1) comment donner alors l'illusion d'un timbre fusionné au départ du processus ;

2) comment intercaler plusieurs timbres instrumentaux différents (qui forment une mélodie) vers un même timbre instrumental ?

Nous n'allons pas traiter ici le problème de la fusion dans l'écriture instrumentale mais peut-être pouvons-nous rappeler quelques points à ce sujet. Nous entrons ici dans le domaine de l'instrumentation et de l'orchestration (qu'on peut qualifier de fonctionnelles) que l'étude des phénomènes sonores a fait quelque peu évoluer.

En dehors de certaines règles classiques d'équilibre sonore à respecter, il serait bon de prendre en compte quelques phénomènes pour réaliser la fusion instrumentale.

## **IV. Le contenu spectral des instruments et leur amplitude**

Lorsqu'il s'agit de recréer de façon instrumentale des timbres préalablement analysés, il serait bon de tenir compte du contenu spectral de chaque instrument ainsi que des rapports qu'ils entretiennent (battements, effets de masque...). Il y aurait beaucoup à faire sur le plan expérimental dans ce domaine et les techniques d'instrumentation et d'orchestration s'en trouveraient changées.

Cette connaissance des instruments est bien entendu utile dans l'instrumentation de toute musique, mais elle peut rester empirique quand le timbre ne structure pas le discours mais reste l'« habillage » d'autres types de structures prédominantes. Dans une œuvre dont l'évolution du timbre global a une importance structurelle, commettre des erreurs concernant la fusion peut conduire à la catastrophe, là où il n'y aurait que maladresse dans un autre type de musique. Un trompettiste trop zélé peut, en quelques instants, détruire toute une section, rendant ainsi le discours incompréhensible.

## **V. Les transitoires d'attaque et d'extinction**

L'attaque et l'extinction étant, comme chacun sait, déterminants dans la perception du timbre instrumental, il peut s'avérer indispensable, dans certains cas, de les atténuer ou les masquer si l'on veut rendre l'instrument difficilement identifiable et plus enclin à fusionner avec d'autres.

## **VI. Les micro-intervalles**

Les micro-intervalles permettent d'une part de rendre compte de la fréquence des partiels en s'approchant le plus possible de l'approximation idéale. Dans le cas de l'orchestration de modèles acoustiques, ils revêtent une importance capitale puisque la formation en un timbre homogène dépend beaucoup de leur parfaite réalisation. Dans un autre contexte, le fait qu'ils créent battements, perturbations et détruisent toute échelle reconnaissable, rendra plus efficace la fusion.

## **VII. Registres instrumentaux**

L'écriture dans certains registres délicats permet aussi de perturber la perception de l'instrument : dans certains registres, un instrument peut perdre ses caractéristiques sur le plan du timbre, et ainsi « neutralisé », fusionner plus facilement avec des instruments très différents.

Ces tentatives présentent toujours le danger d'obtenir, par erreur du compositeur ou de l'instrumentiste, le contraire de l'effet recherché. L'instrument, au lieu de disparaître, devient terriblement reconnaissable, l'instrumentation « exceptionnelle » ne faisant que confirmer son timbre ; nous développerons cette remarque plus bas à propos des modes de jeu.

## **VIII. Les modes de jeu**

Les compositeurs et les instrumentistes ont cru, par les catalogues de modes de jeu qu'ils ont créés, enrichir le vocabulaire musical.

En détournant les instruments de leur fonction la plus immédiate, ils ont découvert des modes de jeu parfois très intéressants mais qui posent des problèmes dans l'écriture pour ensemble instrumental ou orchestre.

Paradoxalement, lorsque le compositeur croit transformer le timbre d'un instrument en demandant à l'instrumentiste d'effectuer des modes de jeu particulièrement complexes, il ne fait la plupart du temps qu'affirmer cet instrument qui ne s'intègre plus à l'orchestre et devient terriblement reconnaissable, passé le premier étonnement.

Ainsi, dans une écriture où l'on recherche la fusion, il est souvent plus efficace de jouer de la façon la plus neutre, vibrato, tremolo, trilles, sons multiples, jeux sur le chevalet ou sur la touche, etc., ne pouvant être utilisés qu'avec précaution et surtout avec la connaissance de ce qu'ils peuvent occasionner sur le plan acoustique. Les différents modes de jeu perdront alors tout caractère décoratif et pourront jouer un rôle structurel dans l'œuvre.

Revenons à notre exemple : il faut à présent que le timbre des instruments auxquels on a confié chaque « mélodie » soit interpolé vers un seul timbre.

Prenons la mélodie 1 qui sera jouée à la fin du processus par la flûte : comme nous l'avons signalé, il s'agit de donner l'illusion que des timbres instrumentaux différents seront perçus progressivement comme un seul timbre instrumental.

Nous pouvons parler, pour réaliser un tel processus, d'instrumentation structurelle (et non pas « décorative ») : après avoir créé cette mélodie de timbres hétérogènes, on remplacera progressivement les instruments éloignés de la flûte sur le plan du timbre par la flûte elle-même (ce qui aura pour effet de transformer la densité instrumentale et la perception spatiale pour créer des localisations). Pour ce faire, on aura préalablement créé des chaînes de timbres instrumentaux hétérogènes classés par voisinage spectral.

*L'instrumentation et l'orchestration devraient passer par des esquisses de studio où le compositeur, d'une part, aurait accès à des analyses d'instruments tenant compte de la tessiture, de la dynamique, des modes de jeu, des sourdines... et, d'autre part, simulerait des instrumentations et orchestrations à partir de timbres enregistrés numériquement et de timbres de synthèse.*

Après avoir appliqué ce traitement à chacune des quatre mélodies, la perception s'orientera progressivement vers une écoute polyphonique et rythmique (quatre instruments localisés) car l'auditeur ne percevra plus des hauteurs et des durées sans corrélation et aura ainsi le moyen de « grouper » (on pourra se passer progressivement des micro-intervalles si les mélodies sont trop rapides).

Sur le plan « harmonique », on pourra faire évoluer la texture de départ et la transformer progressivement en un agrégat qui ne soit issu d'aucun modèle acoustique particulier.

On voit qu'un tel exemple est riche par la multiplicité des processus qu'il met en jeu ou des transformations qui en découlent.

<i>Texture / timbre</i>	→	<i>agrégat mélodies polyphonie</i>
<i>Timbre de « synthèse »</i>	→	<i>timbres instrumentaux</i>
<i>Partiels</i>	→	<i>notes</i>
<i>Flux / durées</i>	→	<i>rythme</i>
<i>Densité instrumentale maximum</i>	→	<i>densité instrumentale 4</i>
<i>écriture non tempérée</i>	→	<i>tempérée</i>
<i>spatialisation</i>	→	<i>localisation</i>

Pour en finir avec cet exemple, je signalerai que l'intérêt musical ne réside

ni dans l'état de départ ni dans celui d'arrivée, mais bien dans les états intermédiaires qui peuvent être interprétés comme des « variations continues » de l'état précédent.

## IX. Au-delà du modèle sonore

Si l'on est convaincu qu'une œuvre comme *Partiels* a transformé à maints égards les techniques compositionnelles, on doit s'interroger cependant sur ce que représente cette démarche plus profondément.

Finalement, ce n'est pas le travail sur les instrumentations de spectres harmoniques ou inharmoniques, l'emploi des techniques de modulation de fréquences, les phénomènes de transition en général qui retiendront mon attention mais plutôt ce qui a présidé au choix de ces techniques.

C'est bien la notion de « modèle » qu'il faut retenir et plus exactement de « modèle naturel ». Là où les détracteurs de ces musiques ne voient qu'un culte du son ne donnant naissance à aucune syntaxe véritable, je vois, pour ma part, se poser enfin une question fondamentale sur la musique et sur l'art en général.

Dans « Le style et l'idée », Schoenberg écrivait : « La tonalité n'est pas une fin en soi, mais un moyen d'atteindre une fin, et le fait qu'elle soit étroitement accordée à un phénomène naturel offre de grands avantages à ceux qui s'en servent. »

Si l'auditeur non averti ne peut analyser une œuvre tonale, du moins peut-il quand même percevoir les moments de tension (l'écriture vise à ce moment-là à privilégier l'exception par rapport au système en vigueur et à déformer les modèles), ou de détente (l'écriture est en parfaite adéquation avec ce que l'auditeur connaît du système, et les modèles sont respectés).

Cette possibilité pour le néophyte d'appréhender l'œuvre de façon directe et d'être sensible aux déformations des modèles, qu'il est par ailleurs incapable d'analyser, se traduit par des sensations sur le plan perceptuel : harmonique-mént, sentiment de dissonance par exemple ; sur le plan orchestral, impression d'agressivité ou de chaos due aux dispositions instrumentales nouvelles ; sur le plan formel, sensation de brutalité ou d'étrangeté des transitions.

La hiérarchisation des modèles permet d'autre part à l'œuvre tonale d'être perçue comme un objet lisible à différents niveaux. Si l'auditeur averti perçoit aussi les perturbations décrites plus haut, il peut les analyser plus facilement et, après travail sur le texte, en comprendre les raisons et découvrir les exceptions au système, l'irrespect des modèles que tout créateur doit cultiver.

A un niveau profond de lecture de l'œuvre, il pourra apprêhender le discours musical organisé autour du « thème » (ou cellule de départ), modèle local inventé par le compositeur, qui, d'une part, renferme en lui-même tous les modèles dont nous avons parlé (le « thème », dans la musique tonale, porte en lui sa propre harmonisation et parfois même sa propre instrumentation), et d'autre part, possède des qualités assez significatives pour être perçu comme un élément générateur auquel chaque petite portion de l'œuvre peut se référer.

Pour que l'œuvre soit intelligible, pour que les références aux modèles s'opèrent (sans que ces modèles soient obligatoirement analysés par l'auditeur), il faut que l'auditeur puisse mémoriser certains éléments constitutifs de l'œuvre, et ceci à plusieurs niveaux : éléments mémorisables parce qu'étant liés à un champ de modèles biologiques, génétiques, connus avant l'œuvre, et liés aussi à un ensemble de modèles locaux découverts dans l'œuvre. (*Ce souhait de*

*revaloriser le rôle de la mémoire ne va pas sans une réactivation de la combinatoire même si elle est liée à la perception.)*

Ni la musique issue de la pensée sérielle, dont la cellule génératrice variée continuellement n'est pas identifiable par l'auditeur, ni la musique dite spectrale avec son interpolation constante entre des points éphémères n'ont vraiment traité le problème de la mémoire.

Il ne peut y avoir de discours musical sans prise en compte de la mémoire de l'auditeur, mémoire du passé (assimilation des codes antérieurs) et mémorisation des divers éléments de l'œuvre, car du coup se trouve abolie toute référence au(x) modèle(s) et toute dialectique.

*Si, dans les œuvres dites «spectrales», les modèles sont trop facilement reconnaissables et la dialectique peu complexe, il faut signaler que dans les musiques de «l'écriture» qu'on leur oppose, les modèles sont tout à fait absents et la dialectique inexiste. Le seul niveau de lecture de ces œuvres reste l'étude de la partition et l'analyse acharnée: ce sont, en quelque sorte, des musiques de bibliothèque.*

Mais comment jouer sur la mémoire alors qu'on abandonne la notion de matériau et variation?

## X. Variation et processus

Si j'ai fait plus haut une discrimination entre «matériau et variation» et «modèle acoustique et processus», c'est que ces deux notions relèvent de deux attitudes compositionnelles différentes.

La première implique l'existence d'un ou plusieurs matériaux préétablis et organisant l'œuvre, la seconde signifie que le modèle acoustique n'a de valeur qu'en tant que point de départ et point d'arrivée, bornes d'un discours dont l'élément privilégié sera le processus (de transition).

Si l'on renonce à la notion de matériau tout en voulant privilégier celle de «mémoire», pourquoi ne pas avoir recours à une certaine forme de «thématisique» (du processus) dans laquelle il ne faut voir aucune référence à des hauteurs, intervalles, durées préétablis.

L'œuvre devrait être «un trajet inconnu dont chaque étape nous est familière».

Un ou plusieurs processus pourront gouverner une œuvre dès lors qu'ils seront perçus comme particulièrement pertinents: peu importe, à ce moment-là, la valeur absolue des points de départ ou d'arrivée qui ne peuvent s'apparenter à un matériau définitif.

Il ne s'agit pas de varier un matériau préétabli par de multiples processus, mais d'utiliser des processus préétablis pour engendrer des matières sonores. L'écueil que l'on rencontre, lorsque l'on adopte une telle attitude, est la linéarité du discours, et il apparaît opportun qu'un processus global soit constitué de différents processus qui peuvent se corroborer mais aussi se contredire.

Comme nous l'avons souligné, ce qui s'avère intéressant dans un processus, ce ne sont ni le point de départ ni le point d'arrivée, mais bien les matières à caractère hybride que l'on rencontrera. Ces matières peuvent être réutilisées au cours de la composition comme points de départ ou d'arrivée, prenant alors l'aspect de matériaux éphémères, sortes d'indices pour la mémoire de l'auditeur (cette idée est issue de la synthèse par ordinateur, où l'interpolation de timbre peut devenir le moyen de générer des timbres complexes et hybrides. Le

compositeur a le loisir d'utiliser des zones discréditées du processus, abandonnant les autres résultats de l'interpolation).

La forme de l'œuvre ne sera donc pas réalisée totalement *a priori* mais pourra, à l'intérieur d'une structure formelle déterminée, prendre des directions particulières selon les matières sonores rencontrées.

Nous avons insisté sur l'intérêt de créer des ambiguïtés de la perception des phénomènes sonores et des structures; il en va de même de la forme qui doit pouvoir être interprétée de manières différentes. L'œuvre sera construite comme un « trajet » apparemment sans retour, dont les étapes seront identifiables car générées par un ou plusieurs processus la structurant et l'unifiant, processus qui donneront naissance à des matières sonores ou structures qui pourront à leur tour servir de bornes à de nouveaux processus. On pourrait dire que l'œuvre se génère d'elle-même et que la suppression du moindre de ses éléments la rendrait inintelligible.

Reprenons notre exemple décrivant le passage d'une perception fusionnée à une perception de mélodies. Jouer sur la mémoire de l'auditeur, c'est en quelque sorte créer les niveaux de lecture.

Nos mélodies pourront prendre un intérêt particulier dès lors qu'elles ne sont plus « amorphes » mais organisées en « patterns ».

Ces « patterns » pourront être structurés selon des lois de perception (règles de groupement, par exemple) et, devenus identifiables, avoir une responsabilité dans le discours musical, sans revêtir, pour autant, le sens de motifs ou cellules caractérisés par des hauteurs ou intervalles particuliers.

La forme de l'œuvre prendra l'aspect d'une sorte d'hybride entre « trajet parcouru » et « variations » et chacun sera libre d'entendre les matières sonores comme « matériaux » ayant une responsabilité dans le discours, ou « états de transition », selon son attention et son penchant à favoriser tel ou tel type de perception: une forme « anamorphotique » en quelque sorte.

Finalement, si l'étude des phénomènes sonores peut aider le compositeur, c'est qu'elle lui permet peut-être de redécouvrir un certain type d'éléments nécessaires à la composition, qu'il avait jugés sans intérêt, un peu hâtivement.

Faut-il avoir peur des modèles que nous proposent la nature, modèles apparemment simples, simplistes pour certains, mais généralement plus complexes dans leur fonctionnement que la combinatoire stérile?

## **Timbre et espace**

par Hugues DUFOURT

Dans ses grandes lignes, l'histoire de la notion d'espace des années 1970 à nos jours peut se décrire comme suit : une telle catégorie a été utilisée à l'origine comme une pure métaphore. Elle a acquis peu à peu une fonction opératoire dans la production musicale contemporaine.

La notion d'espace sonore a d'abord été un recours face à la crise des années 68-70 qu'elle révélait comme un symptôme. Crise du langage musical : le post-sérialisme n'assure plus la construction effective du matériau sonore, tandis que la vitalité et la fécondité de l'électroacoustique n'accèdent pas à l'écriture. On parlera d'espace comme si une telle notion pouvait suppléer au déficit de la théorie et à la déficience de la mise en forme. L'espace est un cache-misère qui masque mal le problème réel de l'impuissance du formalisme.

A cette crise s'ajoute celle de la fonction de l'art. Diverses déconstructions et stratégies de la dérisoire mettent en cause la capacité à symboliser et à communiquer de l'œuvre. Toile de fond des mises en scène iconoclastes, l'espace est le prétexte des pratiques qui dénient l'idée d'art.

L'espace sert enfin à désigner les musiques qui se développent à partir des mutations théoriques qu'a permises l'acoustique issue de l'ordinateur. Celui-ci a donné naissance à des êtres sonores complexes que l'on maîtrise par l'analyse et le calcul. Dans une prolifération de langages artificiels et de modèles sans théorie, la musique cède aux prestiges de la logique appliquée et l'espace devient le milieu emblématique de recherches qui mettent au second plan le point de vue spécifiquement musical. Dans les trois cas cités, le recours à l'espace révèle une situation dont une telle notion masque la nature effective. Un tel recours est l'indice d'une question réelle que l'on déplace ou que l'on pose mal.

Mais ce serait réduire le sujet que de faire du phénomène de spatialisation qui a caractérisé la musique au cours des années 70 la seule manifestation des crises et impasses que cet art rencontrerait dans son langage comme dans sa forme de communication sociale, car le son électronique est porteur d'espace et, en musique comme ailleurs, cette dimension a aussi joué le rôle de métaphore positive. Les voyages cosmiques, l'exploration de l'univers par la machine et surtout les nouvelles représentations de la cosmologie ont suscité des fictions chez les cinéastes comme chez les musiciens d'aujourd'hui qui se montrent ainsi les héritiers de Huygens, de Cyrano de Bergerac ou de Fontenelle. En exprimant

par leurs compositions visionnaires, prophétiques ou planantes cette sensibilité aux dimensions cosmiques, ils rejoignaient la tradition que l'on croyait depuis longtemps révolue d'une *Musica mundana*. Et ici se trouve la question importante. Qu'il s'agisse de la musique électroacoustique ou de l'art issu de l'ordinateur, la musique de notre temps est une musique de l'espace. A quelles conditions et dans quelles limites la transcription de la musique et du monde est-elle légitime? Quand la science pense le son dans l'espace et que la musique choisit pour référentiel une telle dimension, quelles sont les circonstances, quelle est la spécificité du champ musical et du champ scientifique qui ont permis l'induction de la science à l'art et la fécondité de l'analogie scientifique?

Il arrive que l'utilisation que les musiciens peuvent faire des représentations scientifiques soit impropre, c'est-à-dire peu respectueuse soit de l'art, soit de la science. Ainsi des emprunts qui ont pu être effectués, dans les années 70, au domaine de la théorie de la vie et à la question de son statut dans l'univers. Lwoff, Monod et Jacob ont décrit l'ordre du vivant dans les termes de l'ordre et du désordre, de l'information et de la négentropie. Pour les biologistes contemporains, le vivant se caractérise par un passage du désordre à l'intégration qui abolit toute différence de nature entre le vivant et l'inerte. Mais paradoxalement, ce n'est pas l'automatisme des systèmes organisés qui sert de modèle à la production musicale des années 70, car celle-ci s'inspire plutôt de l'intuition des organiciens et des physiciens du siècle dernier. La musique d'une telle période a vu prévaloir la fascination pour la course au désordre d'une entropie universelle, entropie dans laquelle la psyché petite-bourgeoise reconnaissait les signes de sa propre anomie. Et il faudra attendre les années 80 pour que les intuitions et les représentations de la musique rejoignent celles de la biologie. Les biochimistes décrivent le vivant comme un système auto-régulé qui emprunte au milieu l'énergie nécessaire au maintien de son organisation. Le fait biologique se définit essentiellement par l'auto-conservation et l'auto-reproduction. Le concept de régulation a son lieu d'origine en biologie et en cybernétique. Dans les années 80, il est devenu la référence dominante de la musique informatique. Aujourd'hui, la catégorie fondamentale de l'intelligibilité en musique est celle de l'automatisme. Grâce à la pratique de l'ordinateur, les musiciens ont ainsi rencontré les questions que les bio-physiciens avaient formulées vingt ans plus tôt à propos des organismes vivants. Comment la vie parvient-elle à remonter le cours universel de l'entropie? Qu'est-ce qui rend compte de l'organisation, c'est-à-dire de la complexité et de la qualité? En quoi l'organisation est-elle un pouvoir d'évolution? Près d'un siècle après Bergson, les systèmes d'intelligence artificielle conduisent les musiciens à se demander à nouveau comment sont possibles des mécanismes aptes à s'affranchir du mécanisme, et si les automates que nous construisons vont dans le sens d'une évolution des degrés de liberté. Dans un tel contexte, la notion d'espace sert à décrire, dans un registre encore largement métaphorique, l'interrelation des catégories fonctionnelles qui permettent de penser la complexité de la nature du son. En même temps, la représentation du son est devenue volumétrique, et il apparaît que le son comporte des indices internes de localisation. Au sens propre, le son est dans l'espace. On le représente dans un espace tridimensionnel et on le pense dans un espace fonctionnel. Ainsi, toutes significations confondues, la notion d'espace a-t-elle amené les musiciens à s'interroger en des termes actualisés sur ce qui définit la rationalité d'une organisation musicale. Avec le développement de l'informatique musicale, la catégorie de l'espace a donc cessé d'être utilisée pour figurer la condition de l'homme dans l'univers,

elle est devenue un instrument critique et opératoire de représentation musicale qui devait permettre une prise de conscience théorique. La synthèse des sons affranchit la production sonore de toute relation à des instruments de musique. A partir du moment où le son se libère des contraintes mécaniques d'émission, on a appris à le penser comme un espace. Dès lors, l'espace se transformait, ainsi qu'il en advint exemplairement pour la perspective en peinture, en un moyen de construction rationnelle qui se trouvait permettre la représentation, dans le moment même où, à l'inverse, il était devenu en musique un moyen de représentation qui empruntait manifestement à la construction rationnelle. Ce sont ces usages mitoyens que nous devons à présent décrire en faisant la part des découvertes de la théorie musicale, des inventions de l'art et de l'usage spécifique que la recherche musicale peut faire des modèles scientifiques.

Disloquant les données « naturelles » du son, la pensée de l'automatisme a rencontré autant de problèmes là où la tradition voyait des solutions. Elle invite à redéfinir les correspondances entre les paramètres physiques et les critères sensibles. En l'absence de tout support mécanique, l'automatisme devient lui-même un moyen d'élaboration pour des artifices qui combinent de façon entièrement nouvelle les indices de l'organisation perceptive. La dissociation de la hauteur tonale et de la hauteur spectrale par Risset (1971), la transposition de ces effets paradoxaux au domaine du rythme, la création des illusions de distance et de mouvement (Chowning 1973), la simulation numérique des effets d'écho et de réverbération (Moorer) constituent autant d'études des éléments de spatialisation du son musical qui eussent été inconcevables sans le pouvoir de discrimination propre à la synthèse par ordinateur. L'utilisation de l'espace comme référentiel théorique est née avec la psychoacoustique.

Une fois soustrait à la mécanique, le son musical devient un nouvel objet de recherche. On sait aujourd'hui caractériser un timbre ; dans le cas d'un son cuivré, on sait dégager la relation qui lie les harmoniques aigus à l'intensité (Risset) ; dans le cas de la voix, on sait contrôler la compression ou l'expansion des formants et des enveloppes spectrales (Barrière). On connaît le rôle que peut jouer une légère inharmonicité dans la coloration d'un timbre. Max Mathews a montré comment le son d'un instrument à cordes peut être simulé par l'application au spectre ainsi qu'à la fréquence d'une légère fluctuation aléatoire.

Dans une première étape, les recherches esthétiques et psychoacoustiques se sont orientées vers la reprise des procédés de l'électroacoustique traditionnelle et la simulation des sons naturels. Mais, en expérimentant sur des modèles, l'informatique musicale réalisait un progrès décisif, celui qui consiste à élaborer une reproduction artificielle des phénomènes que l'on désirait observer. Très vite, la simulation numérique dépassait en effet le stade de l'analogie entre le modèle et le phénomène. Le traitement automatique de l'information implique une sélection des variables fondamentales, ainsi qu'une identification des conditions déterminantes. La modélisation informatique a ainsi appris à transcrire la réalité empirique des sons sous la forme d'équivalents abstraits qui en formalisent les éléments constitutifs. Elle a permis par là l'édification d'une théorie acoustique qui, montrant l'insuffisance des critères de la science classique, rejette la réduction simplificatrice des schémas traditionnels. La modélisation a donc joué dans l'élaboration de la théorie un rôle à la fois critique et prospectif. Elle a servi à identifier les critères psychoacoustiques pertinents, puis à fournir une transcription systématique et totalisante de la

réalité sonore. Le modèle a joué un rôle organisateur par rapport à la théorie qui le généralisait. En ce cas, le modèle sert d'épreuve et de contrepartie objective de la théorie. Il fournit une réalisation et un paradigme plus concrets de ses raisons déductives. Cependant, le propre d'un modèle est de déborder le strict domaine d'application qu'on lui assigne. Le modèle ne constitue pas la simple illustration de la théorie, mais son extension. Ainsi un modèle est-il aussi bien un moyen de recherche qu'un procédé de validation. L'espace des psychoacousticiens correspond à un pareil usage de la modélisation, car la notion d'espace psychoacoustique invitait à interpréter une nouvelle dimension de la rationalité.

L'orientation artistique de l'informatique musicale fait, de son côté, un usage qui lui est propre de la modélisation, car le compositeur qui s'instruit de la science ne mérite son nom qu'à partir du moment où il transgresse la norme logique de sa référence d'origine pour déployer comme tel le registre et les effets de l'ordre esthétique. Ainsi l'informatique musicale utilise-t-elle de façon prospective les modèles de la psychoacoustique et s'emploie-t-elle à en étendre l'usage jusqu'au point où de fécondes analogies viennent relever la stricte rigueur représentative. L'informatique musicale ne devient en effet un art qu'à partir du moment où elle ne s'intéresse plus seulement à la reproduction du phénomène, mais, forte de ses prises techniques sur la sensorialité, dépasse toute visée de description naturelle pour expérimenter sur les possibles en inaugurant par là une nouvelle plastique des sons. Ainsi l'art des informaticiens a-t-il passé outre à la destination primitive des modèles; il en a exploité les paradoxes possibles et les interférences en cultivant en tant qu'effets artistiques les états hybrides, les situations indécidables et ambiguës que permet la synthèse numérique. Les musiciens ont pratiqué différents types de transformations. Réalisé avec l'aide de Stanley Haynes, *Arcus* de York Höller modifie les sons instrumentaux grâce à une simulation numérique des procédés de l'électro-acoustique classique. *Stria*, de Chowning, entrecroise des textures de hauteurs en en estompant savamment les dissonances ou les degrés de rugosité. Dans *Androgyny*, Barry Truax change progressivement les sons harmoniques en sons inharmoniques. Dans *Inharmonique*, Jean-Claude Risset convertit par diffraction des sons de cloche synthétiques en textures fluides. John Grey (1975) a élaboré un modèle de transition continue entre la clarinette, le hautbois, le violoncelle et le cor. *Résonance* de York Höller s'attache à réaliser un continuum de timbres et à déformer la structure d'un spectre instrumental à la limite du possible. *Désintégations* de Tristan Murail repose sur la reconstruction artificielle de spectres d'origine instrumentale qui sont soumis à des procédés de fractionnement, de filtrage, de balayage ou de modulation. La première utilisation musicale de l'espace fonctionnel des informaticiens a donc donné lieu à un art de la métamorphose. On peut toutefois se demander si l'utilisation artistique des effets de transformation qui caractérise le premier stade de l'informatique musicale n'a pas défini à la fois le statut et les limites de ces tentatives. S'émancipant mal des schémas expérimentaux qu'elle ne fait que moduler, l'imagination musicale se montre fascinée par le possible et émerveillée par la pure transformation. En cédant aux prestiges de l'amorphe, elle s'éloigne toujours plus des conditions constructives et synthétiques d'un art véritable.

Il n'en reste pas moins que l'espace était devenu une catégorie opératoire en psychoacoustique à partir du moment où l'on avait réussi à dresser une carte des timbres susceptible de transitions continues. Dans le domaine de la

perception du timbre, les techniques d'analyse multidimensionnelle pratiquée par Grey (1975) et Wessel (1978) ont permis la constitution d'un espace de ressemblances et de dissemblances à l'intérieur duquel on peut pratiquer des interpolations entre sons. Dans une perspective voisine, les études qu'a menées Stephen McAdams sur la localisation auditive permettent de dégager les facteurs de cohérence grâce auxquels une image auditive se voit assigner une seule source. Parmi les facteurs de fusion, le synchronisme des transitoires d'attaque et d'extinction, l'harmonicité plus ou moins prononcée du spectre, la cohérence de la modulation de fréquence des composants spectraux paraissent des éléments déterminants. Les études sur les indices de localisation ont des applications possibles dans le domaine de l'analyse des interactions entre sons successifs et en particulier sur les phénomènes de masquage. Dans un registre voisin, Y. Potard, P.-F. Baisnée et J.-B. Barrière (1986) ont élaboré, grâce au programme CHANT-FORMES, des modèles de résonance dont la manipulation permet la production de sons hybrides, la transition dans des zones mitoyennes entre timbres distincts et, d'une manière plus générale, l'institution d'une continuité insolite entre des timbres dont la mise en rapport s'opère par transposition ou dérivation à partir du domaine d'origine de ces modèles. Toutes ces recherches utilisent un langage de processus qui intéresse immédiatement la composition musicale. Ainsi le langage FORMES, développé en Lisp, représente-t-il le premier traitement simultané de la grammaire et du matériau de la musique. Pareils langages de programmation transforment les processus et les modes de la pensée musicale car, en lui fournissant une langue qui tend à s'axiomatiser, ils lui permettent de reléguer les modèles traditionnels de représentation et d'invention. Le langage qu'utilise à présent la pensée musicale est susceptible de connecter les régions les plus diverses du phénomène à l'aide d'un seul système opératoire. Il permet donc de construire des objets qui résultent d'un champ fonctionnel à multiples dimensions et échappent par là même à l'anticipation intuitive. Développant les espaces du savoir avant leur réalisation dans l'expérience, la pensée musicale institue de nouveaux types de liens entre l'ordre formel et l'ordre objectif car l'utilisation de systèmes capables d'assurer leur génération formelle permet désormais d'étendre les pouvoirs de l'abstraction à tous les ordres de moyens employés. Le système perd ses attaches avec ses modèles initiaux. Il devient disponible pour l'exploration de registres d'expression qui n'avaient pas été complètement prévus par le calcul. Faisant l'inventaire de ses lois de formation, il devient également apte à les transposer hors de leur champ référentiel initial. Toute la musique informatique utilise des symbolismes opératoires où prévalent les lois de correspondance entre indices signifiants. Explorant les virtualités que découvre la généralisation de son procédé, et, par un mouvement inverse et complémentaire, travaillant soit à lui conserver une assise descriptive, soit à réinterpréter les références intuitives, elle affronte les problèmes que comporte la construction des formalismes.

Mais l'informatique n'aurait pas autant transformé la pensée musicale si elle n'avait sapé dans la même mesure l'ordre théorique traditionnel. L'acoustique contemporaine a entièrement remis en cause la validité des catégories sur lesquelles reposait l'acoustique classique. Avec l'abandon des références mécanistes, la description s'affine et les notions de hauteur, de timbre et de durée perdent leur évidence et leur légitimité. La hauteur ne peut plus s'assimiler à la simple fréquence de la vibration qui la produit. En dissociant la fréquence fondamentale, ou hauteur tonale, de l'enveloppe spectrale, Jean-Claude Risset a montré la complexité de l'attribut de hauteur et développé les traitements

paradoxaux dont elle est susceptible. Il obtient des glissandi qui paraissent indéfiniment monter ou descendre, des sons périodiques qui semblent à la fois aller vers le grave et vers l'aigu. La hauteur est conditionnée par la brillance. Celle-ci dépend des formants du contenu fréquentiel. On peut donc suggérer une impression de hauteur en l'absence des attributs de tonalité. De leur côté, les sons sinusoïdaux d'une seule fréquence, ou sons purs, permettent une perception de hauteur moins assurée que les sons périodiques tandis que les sons complexes ne se perçoivent pas selon la hauteur de leur partie le plus grave. Enfin, un son pur dans l'aigu peut produire un effet de masque. Toutes ces analyses montrent à quel point la notion de hauteur est liée au contenu harmonique, et dans quelle mesure ces deux catégories peuvent néanmoins se dissocier l'une de l'autre. Le timbre se présente également comme une réalité complexe. Il dépend de la proportion de bruit et de contenu tonal, de transitoires d'attaque et d'extinction, de l'harmonicité ou de l'inharmonicité de l'enveloppe spectrale et des variations de l'enveloppe d'amplitude. Dans la génération des signaux électriques, la modulation de fréquence accroît la complexité du timbre, alors qu'elle n'intervient pas dans le cas des sons naturels, sauf pour le vibrato. En opérant sur autant de catégories mixtes ou hybrides, l'acoustique moderne déplace les repères et transforme les contenus du savoir acoustique.

De ces dissociations dans la théorie, la composition musicale a retenu autant de possibilités pour une mobilité nouvelle. La fragmentation des facteurs qui caractérisent la hauteur et le timbre permet des associations insolites. Par exemple, quand on combine un son électronique aigu à des sons de percussion, la réunion d'une fondamentale suraiguë et dépourvue de spectre aux variations d'un spectre inharmonique situé dans le grave instaure une relation paradoxale. Quand on superpose du bruit à un son complexe très rugueux, le son rugueux amortit le bruit, il élève le seuil de tolérance de l'oreille et facilite par là l'intégration de sons — parasites, distorsion, effet Larsen — qui seraient insupportables dans d'autres conditions. Le bruit a un rôle déterminant dans la définition des sons complexes. Il est un facteur d'articulation de leur timbre et peut donc intervenir comme un élément de fusion ou comme élément de dissociation en engendrant des phénomènes de fusion ou de fission forcée. La tension qui résulte de l'utilisation du bruit tient davantage à ces phénomènes qu'au bruit lui-même. Ainsi les musiciens parlent-ils volontiers de ces textures qui sont des phénomènes limites, au seuil de la fusion et de la ségrégation, où les composantes individuelles sont près de se disperser. Pareilles notions s'appliquent aux caractères d'inharmonicité d'un spectre et plus généralement aux combinaisons de son et de bruit qui élargissent considérablement le domaine du possible musical. Déjà Varèse avait travaillé l'association de bruit et de sons purs et créé par là une tension qui appelait sa résolution par l'introduction de sons harmoniques. Le sentiment de l'espace naissant peut aussi se suggérer par l'introduction de légers battements au sein de cette première association. En embrassant l'interdépendance des facteurs et en pensant sur des bases entièrement nouvelles les notions d'harmonie et de timbre, la composition musicale voit s'ouvrir devant elle autant de voies pour l'invention.

L'harmonie est désormais considérée comme une addition de timbres qui ne fusionnent pas, le timbre comme une superposition de hauteurs qui fusionnent. L'harmonie classique obtenait les phénomènes de tension par résolution symétrique différée. Dans la nouvelle musique, ils sont provoqués

par la génération d'états critiques, par exemple la gravitation autour d'un seuil en deçà ou au-delà de conditions qui le stabiliseraient. De la même façon, le timbre ne se réduit pas à une définition par le nombre des composantes, ou raies spectrales, leur intensité relative et leur rapport harmonique. Engagé comme il est dans un processus de transformation continue, filtré, saturé, mélangé à des qualités de hauteur non discernables, il apparaît lié fonctionnellement à la variable temps. Il y a dès lors un art du timbre musical à partir du moment où la notation instrumentale sait utiliser et transcrire des spécifications du son — battements, effets de chœur, modulation, distorsion, saturation, filtrage, réverbération — qui pourraient sembler lui échapper par nature. Le timbre est devenu un objet de composition. Il se transforme en un milieu ou un champ pourvu de polarités constitutives. Chez Gérard Grisey, le travail sur les architectures d'harmoniques produit un ensemble d'effets de luminosité. La répartition lente de l'énergie spectrale induit des effets de brillance. De son côté, Tristan Murail transpose à l'écriture musicale le procédé de modulation de fréquence en obtenant une variété de timbres complexes dont il dose le taux d'inharmonicité. La rencontre de ces spectres induit des fusions et des échanges entre harmonicité et inharmonicité. Dans une perspective différente, j'ai réalisé dans *Erewhon II* une composition de résonances des percussions métalliques qui donne naissance à des formes instables, à des sortes de flux dont on peut déterminer l'allure globale et les fonctions d'interférence dans le continuum.

La dissolution des entités théoriques classiques affecte également le rythme, qui perd entièrement son autonomie traditionnelle dans l'invention musicale de ce siècle. Hermann Scherchen a montré comment Stravinsky transformait la rythmique à la fois régulière et arithmétiquement simple de l'impulsion classique en un ensemble complexe. *L'histoire du soldat* superpose ainsi des rythmes variables à des unités métriques élémentaires, à des figures d'ostinato, à des motifs rythmiques constants, ou à des combinaisons de divers fragments métriques qui se succèdent régulièrement (Scherchen 1953). L'entre-choc du mètre et du rythme brouille la pulsation, créant l'un des premiers mélanges paradoxaux d'agitation et de statisme. De la même façon, le second mouvement des *Trois pièces pour quatuor à cordes* de Stravinsky combine des registres de vitesse distincts, multipliant ou divisant les durées en constituant de la sorte des « strates d'activité rythmique différentes » (Cogan, Escot 1976: 283). Le champ des impulsions complexes a été exploré au cours de la première moitié du xx<sup>e</sup> siècle par Debussy, Mahler, Sibelius et l'École de Vienne. Comme le notent Robert Cogan et Pozzi Escot, l'exploitation des complexes de pulsations devait être le fait de la génération suivante avec Messiaen, Carter, Boulez et Stockhausen. L'introduction du *Deuxième Quatuor à cordes* de Carter propose une mobilité des tempi qui met en correspondance l'ordre de l'organisation temporelle et l'extrême flexibilité des dispositions d'intervalles (*ibid.* : 286). D'une façon générale, la rythmique sérielle est parvenue à une véritable ductilité temporelle en échelonnant divers registres de tempi et en articulant le détail de l'activité rythmique selon des vitesses de déroulement étroitement agencées. A l'inverse, la musique de notre génération — celle de Risset, Chowning, Grisey, Murail, Levinas et moi-même — s'oriente vers une pulsation unique. La description de l'ordre esthétique qu'elle propose et des catégories qu'elle utilise permettra de préciser à présent le nouveau domaine d'exercice de la catégorie d'espace dans la musique contemporaine.

Se refusant aux délinéations précises et aux configurations strictes, la musique de notre génération identifie la forme au devenir des forces et des

valeurs qui se propagent à l'intérieur de son matériau. Comme si elles tendaient à susciter des volumes susceptibles d'extension à la fois progressive et réversible dans la profondeur, les textures sont moins déliées et plus denses. Le mouvement s'intériorise alors, il se confond avec les oscillations de l'espace, ses orientations contraires et les mouvements de transition continue entre polarités opposées qui le traversent. Une telle musique cherche à définir les degrés de tension, de souplesse ou de contrainte de ces rencontres, elle ne s'attache pas à décrire la délimitation des figures, mais à produire le devenir des qualités. Aussi utilise-t-elle le timbre comme un champ coloré, le dote-t-elle d'une perspective interne, d'une fluidité et d'une luminosité propres. De la sorte, un tel art brise le cadre des bonnes formes qui est lié à la suprématie des hauteurs. Cet art absorbe en effet toute émergence de motifs dans la substance du timbre et s'intéresse aux formes en croissance et aux schèmes de genèse. Le dynamisme des forces élémentaires se manifeste par des glissements de valeurs, des chevauchements de phases, des déformations de milieux et des jeux de torsion interne. Un tel art est non figuratif. Il se caractérise par son refus d'isoler les formes et, à l'inverse, par sa préférence pour les flux libres de contour défini. L'art du timbre s'intéresse aux grains, aux reflets, aux porosités du son. Dissolvant l'individualité du motif et s'organisant en une géométrie des profondeurs, cet art informel constitue incontestablement un art de l'espace. Lev Koblyakov (1986) a justement marqué comment, jouant sur les volumes du son, sur sa densité ou sa liberté aérienne, toute la musique contemporaine incline à la mobilité et à la transparence. Une telle transparence organise les rapports de la surface et de son arrière-plan, car les textures qui composent le relief de l'œuvre semblent émaner de la sourde activité d'un fond. Une telle immersion dans un espace de pulsations rythmiques met fin à la cinématique de la structure. Elle caractérise un style fait d'ouverture et de refus de l'assignation.

Un tel tournant de la musique remonte sans doute à l'œuvre de Messiaen qui, toute liée qu'elle soit encore à une morphologie bien définie, utilise déjà l'invention formelle comme un prétexte pour le colorisme et subordonne l'image au rythme. Ainsi s'instaure la crise de la notion de hauteur, dont la suprématie se trouve clairement entamée dans l'œuvre de Messiaen. Au terme d'une telle crise, le caractère vénétement et convulsif de la musique de Ferneyhough marque, avec la pulvérisation complète des hauteurs, le point de rupture auquel l'histoire de la musique parvient quand elle désagrège son matériau au point de sombrer peut-être dans le bruit, l'impréception et l'énigme. La hauteur cesse d'articuler nos intuitions de l'espace et du temps. La forme s'abolit dans le fond. Mais, quand le timbre et l'espace supplacent la hauteur, la dissolution des formes devient la condition de l'émergence d'un nouvel ordre figuratif qui confère à l'apparence sensible de nouvelles propriétés métaphoriques. La naissance d'une telle utilisation totalisante et intégrative de l'espace sonore a lieu dans trois œuvres charnières de Ligeti, *Apparitions* (1958-1959) et *Atmosphères* (1961) pour orchestre, *Volumina* (1961-1962) pour orgue. Dans ces trois œuvres, Ligeti propose un nouveau matériau qui rompt avec le déterminisme pointilliste de la série généralisée autant qu'avec l'indétermination de la musique du geste, de l'improvisation et du graphisme. Désormais, le cluster se transforme en un objet de composition, la micropolyphonie devient une technique d'animation de l'espace acoustique et la profondeur symphonique accède à la valeur d'un mode d'expression autonome. A présent, le mouvement est intérieur aux trames. Les fluctuations qui les parcourrent suscitent le

sentiment d'un monde qui obéit à un processus d'expansion se déployant irrésistiblement. Pour la première fois, le travail sur le timbre détermine alors une modulation de l'énergie lumineuse, avec des foyers d'intensité inégale et des irradiations intermittentes qui suggèrent l'instabilité d'une lueur se propageant parmi les ombres. Désormais la musique ne se préoccupe plus des déplacements possibles d'une forme constituée, mais du mouvement lui-même, de ses pulsations et de la superposition subtile de ses stratifications de timbre. Dès 1958, Ligeti propose un matériau sonore caractérisé par la compénétration réciproque d'entités distinctes, qui renforcent leurs oppositions mutuelles et entrent ensuite dans un rapport de compromis (Ligeti 1985).

La génération suivante devait poursuivre et radicaliser une telle appréhension synthétique du phénomène sonore. Cette génération abandonne l'idée d'un espace doué de propriétés uniformes, elle récuse la réduction de l'espace à la fonction d'un cadre, d'un contenant ou d'une scène qu'occuperaient les événements musicaux à la manière de particules ponctuelles, et considère au contraire le matériau musical comme un milieu variant continuellement et de point en point. Toute musique du timbre suppose un espace-temps qui se codétermine avec les événements qui y surgissent. Avec sa résonance incompréhensible, son énergie rayonnée et sa durée de dissipation, la sonorité d'un gong occupe un volume et décrit une courbure. Ainsi, et plus généralement, l'espace-temps de la musique du timbre connaît-il des changements d'états, mais sans fournir de base possible à une localisation de notes. Occupant l'espace-temps par le timbre, la nouvelle musique peut dès lors se définir comme une musique de champs. La musique d'aujourd'hui écarte la représentation d'objet isolés et de paramètres distincts, elle met l'accent au contraire sur la solidarité fonctionnelle d'événements qui n'accèdent à l'existence que par leur loi de coexistence. Une telle musique propose des processus de transformation continus et déterminés dans l'espace et le temps. Elle s'intéresse à leur totalité indécomposable et anticipe de la sorte, sur le plan de la représentation musicale, les nouvelles notions d'une acoustique qu'elle semble illustrer et mettre en œuvre. Fondées sur les intuitions mécanistes, les entités théoriques classiques — hauteur, timbre et rythme — ne permettaient en effet de penser le mouvement que comme une transposition respectueuse du principe de conservation sur lequel repose une telle théorie. La musique du timbre abandonne cette image transitive de l'action mécanique, et la priorité du principe d'identification sur lequel elle se fonde. Désormais, la forme spatiale et temporelle de l'événement s'organise de façon connexe en suscitant un art de la transition incessante au sein duquel la prééminence revient toujours aux éléments évolutifs. Une telle solidarité dynamique dépasse les alternatives logiques traditionnelles. La musique ne peut plus se décrire en termes d'invariance et de variation, puisqu'elle fait entrer dans le jeu de la composition l'interdépendance des facteurs, l'interaction entre éléments et la coappartenance entre les divers paramètres. Cette nouvelle musique utilise de nouveaux concepts. Celui de texture qualifie la façon dont le matériau peut adopter des états ambigus, et comme mitoyens, entre la dispersion et la fusion. La notion de seuil caractérise un processus à la limite de la stabilité et de l'échange. La notion d'articulation définit l'état critique qui joint le continu au discontinu. Celle de polarité permet de penser une situation intermédiaire entre la symétrie et la dissymétrie. Les paradoxes de durée s'obtiennent par intégration de vitesses de déroulement différentes. Ainsi la tripartition traditionnelle de la hauteur, du timbre et de la durée qui permettait de décrire les objets musicaux du passé cède-t-elle la place

à une donnée originale plus générale, celle de l'espace acoustique. L'organisation des œuvres expose désormais un état d'équilibre entre fonctions intégrées et institue une nouvelle définition de la durée musicale par l'utilisation des tensions que leur interférence peut faire apparaître.

L'art de l'espace a donné un statut musical à une catégorie qui est opérateur dans les expériences de la psychoacoustique comme dans la théorie de la nature du son qu'elle articule. Comme nous l'avons dit plus haut, la création diffère de la recherche musicale par l'usage que l'une et l'autre se trouvent faire des modèles scientifiques. L'une se préoccupe de la rigueur des critères de la connaissance, l'autre utilise la fécondité et l'autonomie productrice de l'analogie, et recourt de façon métaphorique aux modèles. Depuis ces vingt dernières années, l'extraordinaire essor de l'informatique musicale a dominé l'évolution de la musique, non que les progrès de la science ou de la technique induisent en tant que tels des effets nécessaires dans le champ de l'art, mais parce que des techniques et une esthétique ont su se formuler sur le terrain spécifique de l'écriture en fournissant une sorte d'évidence esthétique à un développement de l'activité de la science qui a été quelque peu postérieur. Ainsi, à la Renaissance, de la perspective qui est à la fois un moyen de représentation de la nature et une construction rationnelle que valideront, trois siècles après Brunelleschi, la géométrie projective et les mathématiques de l'infini (Damisch 1987). De nos jours, l'activité théorique, la recherche et la production musicales sont animées d'un mouvement synchrone. Elles n'en obéissent pas moins à des lois de développement qui leur sont propres et n'en utilisent pas moins des techniques de construction qui leur sont spécifiques. Le timbre musical est un objet de recherche pour l'une, un mode d'expression pour l'autre. Intervenant comme une détermination de la science et comme un vecteur de l'invention artistique, l'espace et le timbre font l'objet à la fois d'une représentation savante et d'une construction esthétique, sans qu'une priorité nécessaire lie dans un sens ou dans l'autre la science et l'art. L'art peut anticiper la science. En outre, la notion d'espace musical n'aurait pas caractérisé le style d'une époque si une synthèse propre à la création artistique n'avait trouvé dans cette catégorie de quoi symboliser en musique une sensibilité et un moment spécifique de l'histoire.

## « Les instruments spéculatifs »<sup>1</sup>

par James DILLON

Ainsi donc, le timbre constitue l'entité complète, alors que la hauteur n'en est qu'une partie, ou plutôt, la hauteur n'est que la mesure du timbre dans une seule direction.

Arnold Schoenberg, *Traité d'Harmonie*

Le discours qui suit présente quelques remarques préliminaires et schématiques vers une théorie du timbre<sup>2</sup>. Il est difficile d'ignorer les développements de la musique électro-acoustique, en particulier ce qui concerne le travail assisté par ordinateur, et mes observations tiendront compte de cette situation.

Récemment encore, mon travail se limitait presque exclusivement aux territoires vocaux et instrumentaux<sup>3</sup>; dans ce domaine, le timbre n'est pas seulement extrêmement complexe; il est aussi, en termes de « stabilité » acoustique, extrêmement difficile à contrôler. La variabilité de tout état de timbre dans la musique acoustique s'en trouve considérablement accrue, phénomène qui gagne encore en complexité lorsque lui sont assignées les « doubles valeurs » de l'*écriture* d'un contexte écrit — une dialectique entre *signe* et *processus*<sup>4</sup>. La question est de savoir comment rendre des informations de timbre complexes par des systèmes de notation; mes préoccupations à propos de ces systèmes resteront en retrait, puisqu'elles ne sont pas au centre de mes observations, mais elles n'en sont pas moins présentes, et peut-être convient-il de les résumer, entre parenthèses, comme suit:

(*Maintenir un équilibre entre les valeurs « idéographiques » d'une composition.*

---

1. Expression de Taylor Coleridge désignant une méthode de lecture.

2. Tout au long de l'article, le terme *théorie* est employé dans son acceptation pratique et étymologique comme une *contemplation*, et non comme la propriété annexée d'une grande compulsion pour l'explication systématique.

3. Mon œuvre s'est presque exclusivement limitée (par choix!) aux domaines vocal et instrumental, ce dont elle porte bien entendu la marque. Toutefois, il est presque impossible de passer sous silence les recherches en musique électroacoustique, particulièrement en ce qui concerne les développements de la création assistée par ordinateur.

4. Cf. Bateson 1980, pour une discussion entre ce qu'il appelle « le nom » et « le processus », les relations du « numérique » avec l'« analogique ».

*Situer un signe dans un système de telle façon que, au-delà des informations acoustiques, les « implications » acoustiques de ce signe soient révélées.*

*Trouver le moyen d'utiliser les systèmes de notation sur portée sans tomber pour autant dans le « graphisme » pur.*

*Inventer des stratagèmes pour organiser le timbre non seulement à un niveau syntaxique — en tant que « timbres » — mais à différents « niveaux » de construction, aussi bien supérieur qu'inférieur, et par le biais de paramètres relativement stables tels que, par exemple, la hauteur, l'intensité, et la durée.)*

Pour faire face à ces problèmes et à d'autres qui leurs sont liés, j'ai dû travailler sur des systèmes d'organisation complexes, systèmes d'organisation permettant des degrés variables de mouvement libre dans le tourbillon d'une construction musicale. Le timbre, comme paramètre de cette construction, constitue un domaine riche d'ambiguités, et ce sont les caractéristiques de ce domaine que je vais examiner.

Si nous voyons les paramètres d'une « construction » musicale comme la carte d'un terrain acoustique établie selon « l'échelle » et la « directionnalité », il apparaît rapidement que, lorsque l'on traite du timbre, on a affaire à un très « vaste domaine ». La « sémantique » d'un système musical (lieu du contenu-forme) recèle des couches d'informations concernant la dynamique formelle des impulsions sonores « elles-mêmes » (qui font qu'un système est « concret »). C'est la structure de ces impulsions sonores (sous forme d'agrégat) que nous appelons forme. On utilise librement le terme de « timbre » pour désigner certains complexes sonores, mais cela ne va pas sans poser certains problèmes, dont l'un, et non des moindres, est l'absence de définition précise. La théorie de la musique a eu tendance à faire un usage interchangeable de concepts aussi différents — même s'ils ont un rapport entre eux — que ceux de timbre, qualité sonore, *Klangfarben* (couleur sonore), etc., sans établir entre eux de distinction claire<sup>5</sup>.

Quand on examine les aspects « formatifs » du timbre à un niveau microscopique, on observe les systèmes propres à sa nature; au niveau de la « construction musicale », on « contextualise » ces systèmes dans des environnements musicaux spécifiques. Ainsi on « structure » une ou plusieurs substances sonores en réseaux de relations fondés sur des processus (trans)formatifs, phénomène appliqué à, ou inscrit dans, l'environnement (partiellement) organisé d'une œuvre musicale. Dans quelle mesure peut-on modeler cette « structuration » sur la nature (telle qu'elle est lue) des timbres observés? Nous savons analyser la formation du timbre; dans quelle mesure ces informations nous permettent-elles de déduire une théorie du timbre?

Le timbre est peut-être le plus complexe des paramètres; il est constitué d'un grand nombre de propriétés qui interagissent d'une manière non simple. En tant que phénomène acoustique, le timbre, souvent, n'est identifiable que comme l'ensemble des variables (libres) que n'affectent pas, dans une œuvre musicale, des transitions (structurelles) ne relevant pas du timbre — il s'agit là de la définition d'un paramètre. Par exemple, l'impression de « couleur » de timbre peut rester stable alors même que ses caractéristiques prosodiques sont altérées. Le timbre, pris comme un ensemble de variables non affectées, peut être assimilé à un « paramètre » pendant la durée de la transition. Cela introduit

---

5. Se reporter, par exemple, à l'article « timbre » du « Concise Oxford Dictionary of Music » ou, d'ailleurs, à la plupart des dictionnaires de musique.

un « élément de temps », un intervalle qui aide à définir une certaine « différence » transitoire<sup>6</sup>. Le timbre en tant que paramètre, au même titre que la fréquence, la durée, l'intensité, etc., d'une construction musicale, est plus complexe, car toutes ces catégories sont collectivement impliquées en tant que propriétés d'un timbre, et lui donnent des qualités « vectorielles », et non « scalaires ». Le timbre, « résultante » des catégories ci-dessus, possède une puissance, une vitesse et une force de champ caractéristiques, qui exercent une sorte de « pression » à tous les niveaux d'une œuvre musicale, et non pas seulement sur sa micro-structure. Dans une structure génératrice, le timbre apporte à cette structure des caractéristiques distinctives<sup>7</sup> et pourrait, sur un plan formel, développer une fonctionnalité de haut niveau. Dans un système musical, il est toutefois très difficile de « structurer » le timbre, au sens où l'on définit une forme, car le timbre se situe lui-même sur un plan syntaxique<sup>8</sup>, « sans », pour autant, avoir l'autonomie structurelle d'une syntaxe.

Comme nous l'avons déjà indiqué, le timbre se compose d'un grand nombre de propriétés, et, dans un champ de relations dynamiques, nous lui attribuons un statut de « paramètre ». *In vitro*, nous pouvons suivre le développement de ces propriétés par rapport à leur environnement formatif. Nous pouvons, par des essais, déterminer combien de ces propriétés doivent être développées dans des proportions égales pour éviter une rupture du timbre. Un champ de relations dynamiques est souvent défini par ses invariants. Étant donné le contexte du mouvement structurel, pourquoi certaines propriétés que nous identifions comme relevant du timbre sont-elles mises en relief lorsqu'on les sertit d'une résonance ? Elles sont ouvertes les unes aux autres — beaucoup de musiciens non occidentaux parlent de « libérer » un son, sa sonorité, sa résonance (Bebey 1975). Cette « ouverture » d'un son est au cœur des manipulations sonores basées sur la théorie des formants, selon laquelle les crêtes de résonance (points de « libération sonore » maximale) sont le lieu de création des « objets » qui relèvent du timbre. Les techniques de synthèse sonore assistée par ordinateur ont ouvert la voie à la micro-manipulation d'un son, et permis ainsi de produire des œuvres ressortissant exclusivement « à » cette micro-structure. Nous reconnaissons que le timbre dans sa globalité, en tant que « synergie »<sup>9</sup>, est plus important que la somme de ces propriétés, au sens non pas métaphysique mais pragmatique (étant donné les « propriétés » et les « lois » qui régissent leur interaction, il n'est guère facile d'en déduire la, ou les, structure(s) du timbre). Le timbre, pourtant, en ce qu'il est une catégorie d'organisation privilégiée, se dérobe aux explications. On peut voir un premier exemple « formel » de « structure » musicale fondée sur la « résonance » dans le « canon », où un certain nombre de voix musicales sont liées au sein d'une « structure » covalente qui serait une sorte d'hybride résonant. Bien entendu, nous parlons ici de « résonance » à un haut niveau d'organisation, mais ce rapprochement

6. Cf. les propos de Gregory Bateson (1980) sur la « différence » in *Mind and Nature*; et la « différence » de Jacques Derrida — une force génératrice, in *L'écriture et la différence* (1967).

7. Comme le processus d'« efflorescence », il introduit de la couleur dans la structure.

8. A un niveau « élémentaire » de formation musicale, à l'intérieur des composantes segmentaires d'une construction musicale. Ces unités sont soumises aux règles d'ordre et de transformation de haut niveau pour former un système.

9. « Synergie » est le seul terme qui signifie le « comportement » de tout un système, non prédit par les différents comportements de chacune de ses parties » (Buckminster Fuller). Voir son « Conceptuality of Fundamental Structures » in *Structure in Art and Science*, ed. Gyorgy Kepes, Studio Vista, London, 1965.

n'est pas gratuit, car, me semble-t-il, les intentions sont comparables. En effet, il attire l'attention sur l'interaction complexe des différents « niveaux » d'une construction musicale, et sur la relative fonctionnalité du matériau paramétrique. Reste à préciser le nombre, ou les types, de fonctionnalités que l'on peut attribuer au timbre au sein d'une forme musicale. Il me semble que nous devons examiner la question de la résonance en tant qu'elle opère jusqu'aux niveaux « sémantiques » d'une œuvre, où la tension visant à maintenir un système de références (auto-institué) — l'évocation de la forme elle-même — donne à la résonance « sonore » son pli structurel<sup>10</sup>.

En tant que « paramètre » de composition, le timbre couvre un nombre tel de substances sonores qu'il peut, en fait, se rapporter au « champ sonore » tout entier. Les fonctions d'un système harmonique partagent avec le timbre plusieurs facteurs de cohérence. Ce dernier peut également comprendre les catégories de l'articulation (les « marques d'expression » doivent-elles être considérées comme des « marques de timbre »?), et il implique ou évoque directement des relations globales, ou une organisation, à l'intérieur d'une masse sonore. En tant que matériau de manipulation, le timbre — réseau de croisements — renvoie aux principes d'organisation relatifs à certaines catégories d'une substance sonore — « comme simultanéité ». Plusieurs de ces catégories peuvent comporter des phénomènes « secondaires » ou « de second ordre », des spectres harmoniques<sup>11</sup> (comme régions d'ombre et de substance) d'un timbre qui sont partiellement inaudibles. Les extensions supérieures du spectre, ses « zones » (d'harmoniques) externes, sont constituées de partiels (harmoniques supérieurs) d'un spectre qui restent dans l'ombre de la réalité perceptive. Pourtant, nous reconnaissons que des « zones » jouent un rôle essentiel dans « ce que » nous entendons. En tant que « bandes de son », ces partiels supérieurs constituent une stratosphère acoustique exerçant des pressions variables sur les zones inférieures d'une masse sonore. Dans certains environnements acoustiques, les subdivisions du spectre (de ses zones internes) peuvent comporter la présence de sous-tons, puisque l'information issue du spectre se déplace, en tant que masse sonore, dans un espace acoustique susceptible de produire ces unités fractionnelles d'harmoniques. Un spectre présente certaines caractéristiques structurelles fondamentales : par exemple, dans un spectre harmonique, les harmoniques<sup>12</sup> sont perçus comme les premiers éléments d'une famille « nucléaire », les « inharmoniques »<sup>13</sup> des mêmes spectres (phénomènes complexes secondaires) faisant, eux, partie de la famille « élargie ». Relativement éloignées, ces composantes spectrales impliquent non seulement une dépendance mutuelle à l'égard de ce spectre, mais aussi une adaptation aux possibilités marginales (ils sont ouverts aux échanges collatéraux !) tout en conservant une certaine fonction de « pivot » entre d'autres spectres. L'ambiguité extrême de ces partiels permet des transactions « entre » les spectres. En poussant plus loin la métaphore, on pourrait concevoir un système musical construit entièrement autour d'une histoire et d'un mouvement fictifs de ces familles (acoustiques). L'identité unique d'un spectre est donc formée par ses

10. Le « niveau sémantique » comme synonyme de tous les autres niveaux. « Forme » comme cohabitation — organisée à plusieurs niveaux — de références produites de l'intérieur de l'œuvre.

11. Le spectre harmonique obéit à quelques règles fondamentales et forme un système plus ou moins cohérent. Il se divise en deux catégories principales : le spectre « continu » et le spectre « partiel », ou « de ligne » ; le premier est constitué de composantes sonores, le second d'harmoniques et de partiels discrets.

12. Multiples entiers d'une fréquence fondamentale.

13. Multiples non entiers d'une fréquence fondamentale.

frontières (« peras ») qui le connectent à son environnement et l'en séparent<sup>14</sup>. Cependant, en termes « d'opération » à l'intérieur du « contexte » d'un système musical, c'est la texture complète de toutes ses relations avec son environnement qui forme la réalité d'un « espace-timbre ». Cela comprend l'environnement local de la masse sonore, à l'intérieur de l'environnement élargi d'un espace acoustique/perceptif/empirique. C'est au travers de ces transactions compliquées que l'on perçoit le timbre. Pour élaborer une théorie du timbre il faut faire face à cette complexité; reste à savoir dans quelle mesure une telle théorie est utile, voire souhaitable... Peut-être toute théorie n'aspire-t-elle à rien d'autre qu'au mythe !

Pour naître, une théorie de l'acoustique devra vider le son de sa qualité dynamique; pour le compositeur, le son est une substance de ce type. L'ordre dynamique du son tel qu'il a été analysé reflète une optique définie, et une théorie du timbre fondée exclusivement sur le matériau, sur les aspects matériels (corporels) des phénomènes sonores, ne constitue jamais qu'une vision généralisée de l'acoustique terrestre. Une théorie du timbre passe nécessairement par la création d'un langage qui, pour le moins, se rapproche de la densité de son objet. En tant qu'épistémologie, ce langage doit être spécifique dans le processus cognitif, tout comme il doit être spécifique de la relation de l'« idiomatique » à ce système<sup>15</sup>.

Dans la « musique », nous avons une perception « contextuelle » du timbre, non en termes de coefficients de Fourier, mais par rapport à sa fonction, sa qualité, sa coloration, son expressivité, etc., qui nous parviennent sous forme de stimuli continus: la perception de ces qualités est fondée sur des processus cognitifs de niveau supérieur. Cette continuité — ou « flux » — d'informations est toujours en interaction avec elle-même: un timbre se continue jusqu'au timbre suivant, et l'affecte. Même si nous n'entendons qu'un seul timbre, l'interaction reste présente; l'excitation à l'intérieur de la cochlée tend à superposer sa trace — accumulation de temps et de mémoire — au présent; ici, ce sont bien entendu les structures de l'oreille et du cerveau qui entrent en jeu. Le résultat des « affects complémentaires », qui se conjuguent à l'édifice de la « structuration spectrale » dans son ensemble<sup>16</sup>, ne constitue pas un chemin sans embûches entre la source sonore et l'auditeur. Notre perception du timbre est également affectée par l'environnement dans lequel il est produit. Le flot mouvant des schémas d'interférence sonore parcourt et traverse le champ acoustique, et il peut contenir un nombre incalculable d'informations sur cet espace. Les différents éléments que cet espace contient — à savoir, formes géométriques, intersections, et séparations — contribuent tous à former ce que nous entendons. Le timbre n'est alors pas une masse indépendante dans le temps. Il apparaît ainsi clairement qu'une théorie du timbre doit expliquer

14. « Un espace, c'est ce pour quoi on fait de la place, ce qui est dégagé et libéré, nommément à l'intérieur d'une frontière, la "peras" des Grecs. La frontière n'est pas ce à partir de quoi quelque chose commence à exister. C'est la raison pour laquelle le concept est celui de l'"horismos", c'est-à-dire l'horizon, la frontière. L'espace est, par essence, ce pour quoi une place a été faite, ce qui est laissé dans ses limites » (Heidegger 1971).

15. La corrélation de « systèmes d'organisation » inhérents-régénératifs à un « réseau de relations » produit une « unicité interne », l'œuvre comme *spécifique-à-son-espèce*.

16. Les aspects expressifs/structuraux de la couleur spectrale (comme modèle formel possible). Les spectres harmoniques, en tant que système plus ou moins cohérent, se comportent selon certaines caractéristiques. Ces caractéristiques, ou « lois », en tant que qualités naturelles, sont employées comme modèles de construction de patterns de mouvement et de forme. *Stimmung*, de Stockhausen (1967), en est un premier exemple (fécond), bien que le matériau spectral soit l'objet d'un certain travail de prothèse.

a) la « distance » et l'« intégrité » des caractéristiques mesurables, b) le mouvement perceptible dans l'espace, et c) les domaines empiriques.

Les rapides progrès de l'informatique ont permis d'accéder à des domaines du son qui étaient jusque-là purement conceptuels. Grâce aux techniques numériques, il est maintenant possible de « dé-couvrir » la complexité interne du métatimbre, son « autonomie » réfléchissante au sein du champ d'audition. Et nous découvrons à travers un microscope, pour ainsi dire, un système de processus à multiples facettes. La description et la classification de ces processus (trans)formatifs dévoilent une hiérarchie de types logiques au sein des phénomènes. Une infrastructure révèle les processus micro-rythmiques de croissance et d'extinction — soumis à la seule « loi du changement ». Les rapports fréquence-spectre détériorent la « mesure », et les transitoires d'attaque-extinction présentent des schémas de développement positifs-négatifs (ils semblent se déplacer « dans le temps » d'avant en arrière), perturbant ou renforçant la stabilité à un niveau local, mais suggérant clairement la « directionnalité » de *forces* variables à l'intérieur d'un état sonore. En tant que « patterns », ces forces s'affectent continuellement les unes les autres, mais non simultanément ; elles sont emportées dans le flux du temps, telles des vents acoustiques. En tant qu'« événements sonores », ces « patterns » constituent une illusion de stabilité — des configurations locales uniques et momentanées, des nuages de *couleur sonore*<sup>17</sup> amassés dans des constellations dynamiques. Ce

---

17. *Klangfarben*, ou la couleur sonore — la perspective de construire des œuvres musicales de couleur sonore pure, tandis qu'une notion d'attraction se révèle problématique. Les expériences sur le pattern, le mouvement et la forme de Scriabine (« synesthésie »), de Debussy (« kinesthésie ») et de Schoenberg (« morphologie ») au début du siècle, préfigurent déjà les explorations plus récentes. La couleur constitue certes une métaphore puissante pour différents états sonores, mais cela vaut la peine d'examiner leurs ressemblances. La couleur comme lumière et la couleur sonore présentent des caractéristiques très différentes, qui ne s'atténuent pas lorsqu'elles sont mélangées. Si on mélange deux couleurs ou plus, on obtient une nouvelle couleur ; il n'en va pas de même avec le son. Nous avons l'impression d'entendre des composantes séparées lorsque nous mélangeons des états de timbre, surtout si ces états produisent des informations spectrales très différentes. Le son est vibration, et la vibration implique le mouvement. Le mouvement définit un changement dans un état ou un système, en fonction du temps ; la composition de couleur sonore pose donc un problème technique, à savoir comment faire avec ce phénomène. « Le changement », en tant qu'état naturel du son, produira un mouvement, ou un pattern ; comment, alors, empêcher un déplacement « au-delà » de l'impact immédiat de la, ou les, couleur(s) sonore(s) ? Comment clore le mouvement au-delà de l'intériorité du son (cette intérriorité censée saturer l'intensité de la couleur) ? Il semblerait y avoir deux types de solutions : a) réduire (au minimum) le mouvement, et b) optimiser un espace de patterns lisse. Les modèles de composition de timbre assistée par ordinateur accomplissent des prouesses en matière de transformations, avec la possibilité de transformer un « objet » couleur en un autre avec une facilité déconcertante, à travers des paysages bien lisses jusqu'à cantonnés au domaine du rêve ; des timbres composites émergeant comme des alliages sonores. Les états sonores en tant que « couleur » ne témoignent pas d'une telle nouveauté, mais plutôt d'une « plus grande stabilité » dans leur manipulation ; en effet, les techniques numériques permettent de « geler » les traces d'un mouvement sonore d'une façon autrefois impossible. Le problème, avec ces transformations, vient de l'absence apparente de patterns, ou, du moins, de la nécessité de dissoudre le pattern dans ces structures. C'est souvent dans l'interstice d'un tel mouvement que se crée la tension musicale. « *Là, au milieu de la folie entière, se trouve cela même qui fait que la vie vaut la peine d'être vécue* » (Ted Hughes). La continuité ou la rupture du pattern intervient lors de la création d'un espace homogène. Cela produit un effet d'élasticité de surface impressionnante, mais c'est souvent aux dépens de l'« énergie » et de la « résonance » (dans le sens le plus large), aux dépens de la « tension ». Cependant, le problème technique le plus grave se situe sans aucun doute au niveau formel. En peinture, la composition de couleur a exploité le « cadre », ou bord, d'une composition, pour définir la logique du contenu. Le cadre, en tant que frontière, attire le regard dans un intérieur — en musique, les frontières sont dans un état de redéfinition permanente. C'est un attribut qui crée une riche ambiguïté, mais qui exige également une certaine continuité des limites.

sont les actions collectives et les contraintes inhérentes aux composantes du timbre qui produisent ces forces — dans le contexte d'un système musical, il faudrait étudier ces forces en tant que champ « potentiel », et voir, par exemple, dans quelle mesure nous les percevons comme un langage de patterns. Dans le timbre instrumental, ces « forces » sont inextricablement solidaires des contraintes de niveau supérieur de l'« engagement » psycho-physiologique d'un musicien, ce qui augmente considérablement la complexité d'une équation de timbre. Les limites contextuelles et ambiantes d'un espace de timbres déterminent le degré de « présence » du son. Le « contexte » d'un espace du timbre enveloppe l'acte de la formation musicale, et l'espace « ambiant » est à la fois contenu et contenant. Il affirme une présence dans les limites d'une œuvre musicale et définit la qualité de la formation sonore en lui-même — les structures (mimétiques) d'une œuvre se représentant elles-mêmes... L'élaboration de certaines techniques formatives dans les studios de musique électro-acoustique est en corrélation directe avec les idéologies explicites (ou, dans certains cas, implicites), présentes dans le support (la technologie comme extension de l'homme); celles-ci peuvent s'étendre à l'élaboration d'une œuvre avec les concepts et formules pré-établis, mais cachés, qui sont inscrits dans la conception même de la technologie; il faut alors expliciter cette corrélation et en tenir compte. Certaines techniques de manipulation, que seul le développement des studios informatiques a rendues possibles, constituent non seulement la lacération d'une substance sonore naissante (états sonores rendus « hygiéniques »), mais sont fondées sur des pratiques standardisées que l'on remet trop rarement en cause. La représentation cachée (« au-delà d'elle-même ») de l'émission vocale dans certaines méthodes de manipulation par formants, par exemple, semble faire un culte des modèles linguistiques, ou du moins en admettre l'autorité.

La perception se construit autour du champ sémantique. On peut avancer, indications à l'appui, que les processus de perception et de mémorisation se rapprochent davantage de l'analyse sémantique que d'un contrôle pur et simple de l'enregistrement d'un son. Une vision réductrice du timbre ne se limite pas à en faire une simple portion du tout, quantitativement diminuée mais inchangée sur un plan qualitatif; c'est en fait un véritable bouleversement, car l'équilibre entre les parties est arbitrairement faussé. Une théorie du timbre doit pouvoir faire la distinction entre les « principes généraux » (comme modèles de travail possibles), et les catégories imposées réductrices et artificielles.

Les chercheurs étudient le timbre dans son articulation avec les catégories fondamentales de la perception auditive. Notre perception du champ physique par sa nature peut être définie avec plus ou moins de certitude. A un niveau perceptif, l'oreille déforme l'environnement du timbre pour engendrer des angles précognitifs d'interaction — une tridimensionnalité. Ces déformations font partie d'un processus analytique de ré-intégration élaboré par l'oreille. A partir de la totalité du continuum sonore, sommes-nous limités à l'analytique et au successif? Cette tridimensionnalité mesure les caractéristiques d'attaque d'un son par rapport à la répartition des informations spectrales, ainsi que les aspects du « changement » inhérents au son. L'environnement (*a priori*) des opérations musicales « transforme » cette tridimensionnalité en quadridimensionnalité en éclairant le champ physique. Le timbre comme « forme », comme Gestalt, possède une « stabilité de réseau »; il constitue, par essence, un phénomène musical, et non un phénomène purement (psycho)acoustique; il est la résultante polymorphe de « relations d'organisation ». Ces relations mettent

en rapport les tendances internes (d'une substance sonore), et les interactions externes (imposées).

L'application des principes généraux observés (exhumés) au sein d'une substance sonore se transforme en histoire morphologique dans l'environnement « contextualisé » d'une œuvre musicale. Il s'agit d'une distinction sémantique. L'état d'intercoordination des « relations » empêche le bouleversement de l'intégrité. Dans un système musical, percevons-nous le timbre comme totalité non seulement en lui-même, mais également en tant qu'ensemble de relations fonctionnelles, « synergie » — la cohérence des changements « qualitatifs » à l'intérieur d'un état sonore ? Je dirais que le timbre présente, en effet, des aspects de fonctionnalité — il est extrêmement fragile et aisément faussé, mais il est aussi extrêmement fluide. En « lui-même », il est diversifié et stratifié — il a du volume, de la profondeur, du poids, une omni-directionnalité. Si on l'examine tel qu'une généalogie, on peut retracer son histoire morphologique complexe. La disposition des parties définira les contours de sa structure. L'« interaction » de ces composantes constitue sa « structuration » ; en tant que système intégré lié aux processus cognitifs supérieurs, le sens de la « nécessité fonctionnelle » de chacune de ces composantes a un rapport direct avec sa « contextualité ». D'un point de vue analytique, tout discours sur le timbre qui est « pris isolément », « dé-contextualisé » de son « *modus operandi* », reste au niveau (quasi) descriptif. Le champ physique, pris comme icône de cette modalité, prescrit des limites à la subjectivité, découpe l'étendue du champ (... du point de vue analytique, les aspects les moins intéressants de ce champ sont généralement les plus accessibles !)... De façon pré-subjective, la topologie de la contextualité signifie la présence co-existante d'une œuvre musicale. Cette « présence » est, bien sûr, pré-déterminée, ou constituée d'opérations particulières ; elle est emprisonnée dans le système de traces et de contrastes des intentions du compositeur. Le contexte est souvent mis entre parenthèses ou marginalisé comme élément d'une « zone crépusculaire » de la musique. On peut considérer que l'existence du contexte est directement liée : a) au nombre de participants, b) au degré de formalité, et c) à la nature des processus en cours. Le contexte existe comme « méta-limite » ; et, en tant que « limite », le « contexte » est auto-réfléchissant ; nous sommes invités à participer.

Du fait de leur extrême complexité, les composantes du timbre agissent les unes sur les autres pour créer une interaction de différences qui dénote le caractère d'aspect de ce dernier ; nous parlons de ces aspects par rapport à leur signification : couleur, dureté ou douceur, opacité ou limpidité d'un timbre. L'interaction prend la forme de modifications continues. Le « contexte » des opérations sur le timbre nous permet de percevoir ces modifications comme signifiantes.

Dans une certaine mesure, la « contextualité » peut être définie localement par la présence d'une contiguïté entre, d'une part, les caractéristiques de conception spécifiques à un système source sonore/filtre et, d'autre part, son rapport à la structuration interne d'une œuvre musicale. Du point de vue de la composition musicale, le timbre, en tant qu'objet d'étude et de manipulation dans les studios de musique électroacoustique, s'est défini autant, sinon davantage, par son comportement ponctuel dans sa structure, que par son rapport à une méthodologie. La construction de timbres de A à Z, le criblage de configurations de timbres à partir d'une texture sonore, ou leur fusion en processus, en procédés, sont souvent très fortement colorés par « les systèmes de construction » en place, lesquels forment, par essence, des hiérarchies

mécanisées. Il faut remettre en cause l'authenticité de bon nombre de pratiques de studio vis-à-vis de la « paternité » d'une œuvre. A mon avis, l'attraction « à l'intérieur » d'un son n'a de sens que si elle est réfléchie par son négatif dans le champ élargi. L'« intérieurité » du son, de la « maintenance sonore », est une dimension-clé de l'intérieurité du rituel musical idéalisé que constitue un concert. La séduction de la technologie, loin de libérer le compositeur, risque de faire voler en éclats la possibilité de capter les différentes forces du champ — « de faire se retourner contre elle ses propres stratagèmes ». C'est là que réside le développement futur d'une pratique authentiquement radicale. C'est une question de vigilance.

Il est plus difficile de décrire le timbre en tant que « paramètre » de la « construction » musicale. Les distinctions musicales établies autrefois entre mélodie, harmonie, rythme, etc.<sup>18</sup>, ont mis en évidence le fossé qui sépare la composition de la théorie. Depuis les tentatives de Schoenberg visant à construire un système cohérent reposant sur des règles logiques, la pratique de la composition a graduellement exposé ces distinctions, d'abord en renforçant leur « position » au sein d'un système, puis en reconnaissant la relation de symbiose existant entre les catégories<sup>19</sup>. La rupture du continuum sonore (inscrite dans le sérialisme) s'est finalement muée en réductionnisme musical.

Alors que nous évoluons, de plus en plus, vers une organisation paramétrique caractérisée par la « structure » (et non par des taxonomies), sommes-nous en mesure d'entreprendre l'élaboration d'un langage musical, ou de plusieurs langages musicaux, à partir de quelques axiomes fondamentaux, au sein d'un arrangement cohérent, et sans recourir à des distinctions musicales simplistes ? Serait-ce en remplaçant les paramètres « statiques » du sérialisme par des variables « fluides » caractérisées par la structure et le mouvement, par exemple les champs de timbre, axés sur la « force » et la « limite » ? Ou en élaborant des systèmes de construction cohérents qui re-situent les notions du discours musical à partir des fondations, qui attirent dans une seule orbite des éléments figuratifs, symboliques, abstraits, acoustiques, et qui dissolvent la viscosité des concepts et des systèmes « figés ou fermés », sans sacrifier la fermeté et la rigueur de pensée ?

Certaines tendances modèlent un environnement, et nous qualifions ces tendances de *forces*. Dans des systèmes simples et naturels, on observe ce phénomène partout. Du fait de tendances qui leur sont inhérentes, les forces, ainsi que leur voisinage avec des relations d'organisation au sein d'une œuvre musicale, restent problématiques, car se pose la question du degré (de congruence existante). Voilà qui nous ramène brusquement à la « contextualité », car le mode d'imbrication de ces processus dépend directement d'un réseau de relations plus vaste ; il n'est pas absurde d'affirmer que plus l'interaction est poussée, plus la force est grande. Pour aller au-delà d'une description de ces processus en termes de simples quantités physiques, une théorie du timbre doit aborder les aspects « qualitatifs » des états sonores variables, en étudiant leurs limites. Bien que nous admettions l'existence d'une

18. Les « paramètres », en tant que notions abstraites destinées à donner un sens aux situations, deviennent petit à petit des notions concrètes. C'est ce que A.N. Whitehead a appelé « l'illusion du concret mal placé »... *Obscurum per obscurum, ignotum per ignotius* !

19. Le développement de la musique électronique dans les années 50 a accéléré cette conceptualisation. Voir, par exemple, Pierre Boulez 1958.

hiérarchie logique au sein d'un état sonore, l'interaction de ces processus tend à être orientée en réseaux. Par exemple, on peut observer que le retentissement d'un gong induit une augmentation très rapide de la «voluminosité» de cet événement sonore/action, grâce à l'intensité de la fréquence basse. Toutefois, nous ne prenons de plus en plus conscience de la couleur du timbre qu'à mesure que cette «voluminosité» est absorbée et que nous entendons la «qualité» (spectrale) de la résonance dans les hautes fréquences. C'est que la structure des processus dynamiques est une propriété de l'excitation interne de sa forme. La dislocation de ce que nous entendons peut survenir comme «épiphenomène» sur les frontières d'une couleur de timbre — à mesure que l'état sonore donne naissance à des bandes d'inharmoniques; le fait que la stabilité formelle entendue précédemment soit envahie rend les frontières «floues»; ou encore, elle peut émerger du centre en spirale, à mesure que diminue l'impression de voluminosité (des fondamentales). Il faut expliquer ces processus en termes de «formes fondamentales», en tenant compte de la topologie de leurs «mélanges». Il faut, c'est un objectif urgent, que la reconnaissance des principes généraux incite à redonner une véritable complexité (authenticité) à la pratique théorique actuelle. Au sein des «patterns» de développement d'une structure sonore, nous observons un double état (médiatisé par l'aspect du changement — développement positif et négatif), celui, bien connu, du quasi «état stationnaire», et les phénomènes «transitoires» d'une structure sonore. La fraction quasi stationnaire, qui est une fonction des intensités relatives des zones harmoniques résonantes d'un son, existe comme force relativement stable — entre-temps<sup>20</sup> — articulée par l'attaque et l'émission d'un son. La portion d'état stationnaire d'un son peut être décrite comme le «point critique» de ce son. C'est le seuil minimum de succession à l'intérieur du son, où la transition disparaît momentanément, et où la fusion des éléments se réalise. La position «intercalaire» de l'état stationnaire suggère la «couleur» d'un son, tandis que les produits d'une évolution partagée constituent une «symbiose»; et des modèles symbiotiques peuvent suggérer des voies d'accès à d'autres principes constructifs engendrant des langages au-delà des structures dialectiques de contradiction — transgressifs, adjacents, combinatoires (Foucault 1963).

Nous avons donc reconnu qu'il existe dans l'espace du timbre des parties différentes, des courants internes, et ainsi de suite. Il y a séparation relative, «autonomie» émanant du mouvement général du timbre, dans l'atmosphère transactionnelle des «événements» et des «processus». Toute emphase, inflexion, ou changement en général, «implique» ce timbre. Les domaines des caractéristiques d'enveloppe, de l'infexion et de la liaison, responsables d'une certaine continuité expressive dans une œuvre musicale, sont, à titre de transactions, soumis à l'attraction de l'«aspectualité». Ces caractéristiques se prêtent à de fructueux mélanges. Les changements sont soumis aux patterns supérieurs d'organisation, et ils se produisent tandis que d'autres aspects restent constants. On peut user du principe d'«invariance» (in-variables) à n'importe quel niveau d'une œuvre musicale... intensité, vitesse, timbre, etc. Le degré et la mesure de l'invariance dans un processus (dans certaines conditions) peuvent, à certains égards, être un sujet d'interrogation pour les psychoacousticiens, car l'invariance relève autant, sinon davantage, de la psychologie, que de la pure acoustique — l'«impression» d'invariance est souvent le résultat de l'économie

---

20. En français dans le texte.

«cognitive». Cette caractéristique latente du timbre, quant à son rôle formel dans une œuvre musicale, a été au cœur des recherches.

Le phénomène acoustique est, par essence, musique et mouvement. Il exige de l'énergie (l'«*eternal delight*» de Blake (1971)). Dans des systèmes de complexité croissante, le nombre des structures possibles augmente. Avec des systèmes complexes, ces tendances obéissent à des procédures musicales formalisées; elles se traduisent par l'accumulation et le développement de tensions à l'intérieur de l'orbite mesurée d'un discours (autocritique). Trop souvent, les forces internes sont contraintes, sans qu'on le sache, par l'extériorisation réductrice et inflexible d'un langage musical déchiré, déplacé par une référentialité «au-delà» d'elle-même. La configuration de telles «contraintes» (normes?) externes en systèmes prédéterminés, *a priori*, par rapport au continuum sonore, brise la complexité inhérente. Il va sans dire que cette forme de contrainte — souvent ancrée dans de fragiles constructions théorico-philosophiques — est souvent cachée par la vanité de sa propre pratique.

Nous devons élaborer (obliquement) des procédures formelles, de telle sorte que les structures qui en résultent soient aussi proches que possible des processus mêmes de pensée qui sont à l'origine de ces procédures. L'étude du timbre, lequel est peut-être l'aspect le plus complexe (insaisissable) du son, nous renvoie à la complexité des relations son/couleur et peut nous aider à reconstituer l'invention d'une logique musicale engendrée de l'intérieur. Un processus fondé non sur des partitions sérielles, ponctuelles, emprisonnées dans le carcan de syntaxes formelles, mais sur une logique musicale qui existe dans ses propres limites et les interroge, où ces limites, réelles, sont l'expression de systèmes de construction «ouverts» (permettant la «fermeture») — et forment des «espèces spécifiques», générées par les exigences internes d'une œuvre et découlant des principes généraux propres à la substance sonore choisie. La densité d'un événement musical est directement proportionnelle à la densité de son organisation. Par exemple, dans un contexte musical donné, une texture itérative peut maintenir un nombre déterminé d'événements par unité de temps, mais la fonction de ces événements peut être sujette à l'entropie, renforçant la différenciation. La définition de ces tendances est fonction des circonstances de leur «apparition» et des conditions qu'elles «recherchent». La coexistence de ce comportement infra-simultané englobe un environnement omnidirectionnel. Ici, nous observons le timbre comme l'opération «en-temps» de processus physiques, circulant ensemble dans un environnement unique. On ne peut toutefois pas assimiler des principes généraux à la notion fallacieuse de catégorie ontologique, à «l'inné et l'immuable». Nous pouvons employer comme modèle les caractéristiques inhérentes d'un processus, les caractéristiques de la substance sonore étant, quant à elles, appliquées de façon tangentielle en termes de fonctions structurelles perçues, mais l'«intériorité» du modèle ne «s'étendra» à un espace entier qu'en produisant et en combinant/re-combinant les références et les codes que ce modèle suggère. En tant que stratégie, c'est une question de vigilance et de lecture.

## **Les limites de la notion de « timbre »**

par Philippe MANOURY

Parler du timbre est aussi délicat que de parler du « goût ». Les différentes tentatives qui, au cours du xx<sup>e</sup> siècle, ont cherché à l’apprivoiser et à se l’approprier en tant que composant musical à part entière se sont heurtées à un problème dû à une confusion tant sur sa nature que sur sa définition propre. Une des conceptions les plus couramment admises veut que ce que nous appelons « timbre » soit un composant qui, délaissé autrefois, émergerait aujourd’hui en tant que partie intégrante d’une composition. Cette position se justifie tant que nous considérons le timbre comme un composant. Le but de ce texte est de montrer que cette vision des choses n’est pas rigoureuse, d’abord au regard de la nature de ce que nous appelons le timbre, ensuite en essayant de replacer cette notion dans le contexte de la composition à partir de matériaux nouveaux, enfin, et c’est à mon avis le point crucial, en tentant de définir, à l’intérieur de ce qui serait une refonte d’une théorie de la composition musicale actuelle, la nature exacte des composants de base ainsi que des diverses techniques qui permettent de les mettre en forme.

Un des paradoxes les plus frappants à propos du timbre est que, lorsqu’on en savait moins sur lui, il ne posait pas beaucoup de problèmes. Les moyens de le contrôler et de l’analyser devenant de plus en plus précis, les chances d’une définition possible de sa nature semblent s’éloigner. Pareils au marcheur dans le désert voyant s’éloigner l’horizon à mesure qu’il s’avance vers lui, les compositeurs d’aujourd’hui perdent toute possibilité de définir le timbre à partir du moment où ils cherchent à le contrôler. En effet, il est clair, pour quiconque s’étant penché sur ce problème, que ses possibilités de manifestations sont multiples et variées : les modes d’attaques, le phrasé, le vibrato, la rugosité etc. ; la liste de ces comportements qu’ont étudiés avec plus ou moins de bonheur les psychoacousticiens serait trop longue, voire incomplète. La prospection toujours plus avancée dans la compréhension puis dans la maîtrise des phénomènes sonores nous ont leurrés un instant sur la nature exacte du timbre. Mais il me semble, avant tout, nécessaire de distinguer deux types d’approche compositionnelle : celle faite à partir des matériaux traditionnels, et celle faite avec des matériaux nouveaux. Cette séparation, pour arbitraire qu’elle puisse paraître, permettra, je l’espère, de voir que le déplacement de la notion de timbre dans un cas puis dans l’autre est très problématique.

Sans vouloir faire ici un historique du timbre, certaines notions méritent d'être signalées. La musique occidentale, on le sait, a privilégié avant tout la hauteur. La forme des sons (donc une des caractéristiques du timbre) s'en est trouvée *banalisée* et *standardisée*. Que ce soit dans les traités d'acoustique comme dans la construction des premiers synthétiseurs, les profils d'attaque, d'entretien et de chute, à l'image de la tradition, sont pieusement conservés. On s'accorde généralement à dire que le timbre n'a commencé à intéresser les musiciens que vers le début de ce siècle. C'est aller un peu vite en besogne. Certes, s'il n'était pas explicitement mentionné, le timbre a dû jouer un assez grand rôle dans la recherche des différents tempéraments au XVII<sup>e</sup> siècle. On pourrait objecter qu'il s'agit ici d'harmonie avant tout; mais il est facile de constater que les fonctions harmoniques n'ont pas ici la même ampleur qu'elles auront plus tard, et que la recherche de tierces mésotoniques et autres quintes naturelles visait à la consonance et à la sympathie, phénomènes qui peuvent être vus comme un des constituants du timbre. Cependant il est vrai que l'orchestration (la mise en timbre) est demeurée longtemps comme une étape post-compositionnelle. Berlioz et Wagner sont de ceux qui tendront à les réunir, mais il semble que ce soit Debussy qui le premier intégrera complètement les deux. Les esquisses de *Pelléas* en font foi, ainsi que son mépris de la transcription. Le premier exemple de dissociation consciente du timbre avec le reste du discours est *Farben* de Schoenberg, et l'idée de *Klangfarbenmelodie* qui s'en dégage est probablement à la base d'un malentendu théorique qui voudrait que la musique soit basée sur quatre composants: la hauteur, la durée, l'intensité et le timbre. Cette attitude a été critiquée assez récemment avec plus ou moins de bonheur.

Une attitude esthétique peut, mais ne doit pas nécessairement, justifier un phénomène naturel. La critique de la pensée sérielle s'est faite en deux temps. D'abord au nom des processus stochastiques démontrant, avec juste raison, que la *Klangfarbenmelodie* (dont le contrôle indépendant des timbres par rapport au reste du discours musical) détruisait les ambitions polyphoniques qui étaient à la base de ces compositions et donc n'atteignaient pas leurs buts; ensuite, au nom de ce qu'on appelle curieusement la tendance spectrale. Celle-ci, comme la précédente, a réussi esthétiquement, en ce sens qu'elle a, parfois, mais toujours grâce au pouvoir de simulation de l'écriture, su créer des illusions rendant floue la distinction entre timbre et harmonie. C'est un fait légitime puisqu'il s'appuie sur une conception esthétique et non purement théorique. Ce qui l'est moins, c'est lorsqu'est pris comme critère un fondement naturel qui démontre que la continuité entre les composants est de fait et qu'un traitement indépendant de ces composants, fût-ce à l'intérieur d'une technique généralisée, est condamnable en tant que contraire à ces fondements. Que l'on se souvienne des critiques adressées à Schoenberg délaissant l'harmonie *issue de ses principes naturels*. Raisonner ainsi équivaut à nier le pouvoir simulatoire de l'écriture qui est infiniment plus puissant et décisif qu'un quelconque *a priori* théorique. Car c'est elle, l'écriture, et elle seule, qui, dans certains cas, simule le fait que les composants sont réellement dissociés. Comme, dans d'autres cas, elle simule qu'ils fusionnent. C'est au niveau de la fusion des timbres choisis comme à celui de l'écriture que peut être simulé un spectre, mais à y regarder de près, il n'y a guère plus de spectre dans ces musiques que dans n'importe quelle autre.

L'un des principaux buts de cette tendance est de prendre le spectre comme modèle à partir duquel sont construits des objets. Si l'effet de fusion est, dans certains cas, incontestable, c'est grâce à la mise en place de textures sonores sur

lesquelles le pouvoir discriminatoire de l'oreille en matière de timbre n'aura plus de prise : cette notion de perte d'individualité sonore, inaugurée en grande partie par Ligeti, fonctionne surtout lorsque les textures sont mues par une agitation interne très dense. Au niveau morphologique, le problème est double. Dans les cas de simulations simples où le modèle est un spectre qui ne serait pas altéré par de quelconques procédés (je pense aux simulations de modulation de fréquences ou en anneaux), l'objet conserve un « poids traditionnel » qui demande souvent une grande discipline intellectuelle pour ne pas l'entendre comme un accord de neuvième ; ensuite, ces modèles étant pratiquement les seuls à engendrer l'œuvre, s'en trouve impliquée une conception de la durée faite exclusivement de continuité, et excluant toute rupture et toute prise de position polyphonique, et de là, toute différence dans les attitudes perceptuelles qui sont proposées.

Quelles auront été les fonctions du timbre dans notre histoire ? Il semble qu'une de ses premières fonctions aura été celle de la *discrimination*. La polyphonie, pour se manifester, doit présenter une superposition de voix, responsables et déduites les unes des autres, mais individualisées sur un autre plan. Le timbre remplira souvent cette fonction. A l'époque romantique, celle de l'expression des sentiments, c'est le pouvoir évocateur du timbre qui prime. Il suffit de lire les écrits de Berlioz pour s'en convaincre. Dans son traité d'orchestration, après avoir passé en revue les possibilités et les difficultés propres à chacun des instruments, c'est du timbre qu'il parle. Et, fidèle à sa nature comme à son époque, c'est dans les œuvres qu'il trouvera les exemples et les adjectifs qui définiront les timbres comme leur alliage, d'où les terminologies d'angélique, aérien, mélancolique, religieux, sombre, triste, pompeux, gracieux, brillant, etc. Avec Wagner puis Debussy surtout, le timbre aura souvent la fonction de rendre « opaques » les structures les unes par rapport aux autres : une même idée de base peut être exprimée simultanément et différemment par des groupes instrumentaux divers : *Parsifal* ainsi que *Jeux* en offrent maints exemples. La seconde partie de notre siècle ne fera que resserrer ces liens. D'où les tendances dont nous avons parlé ainsi que cette curieuse idée de considérer le timbre comme un composant à part entière : d'une part dans le cadre d'une décomposition des éléments musicaux afin d'en réorganiser leur mise en forme, d'autre part dans une tentative de fusion de ces éléments prenant le spectre (le moins apprivoisable de ce que l'on pense être les composants musicaux) comme modèle.

C'est à ce point qu'à mon sens, une nécessité de réflexion sur les bases de notre langage musical se fait jour. Quels sont les composants initiaux, les particules de ce langage, et en fonction de quoi les déclare-t-on en tant que tels ? Une des premières opérations consiste à séparer les éléments des fonctions ou techniques qui leur sont associées, une autre sera de préciser la nature de ces composants. Là, une distinction apparaît : dans l'ancienne terminologie regroupant hauteur, durée, intensité et timbre comme les quatre composants de base de notre système musical, il faut noter que les trois premiers sont *quantitatifs* alors que le dernier est *qualitatif*. Qu'on ne s'y méprenne pas, il ne s'agit pas ici de justifier une argumentation esthétique par la constatation de la nature de ses composants — ayant suffisamment insisté sur le fait que la création, impliquant une certaine simulation, peut très bien passer outre de telles justifications. Mais, et c'est là le principal but de ce texte, il faut constater que le transfert de la notion de timbre d'un domaine à un autre ne se fait pas sans heurts. S'il en est besoin, les techniques de créations assistées par

ordinateur nous prouvent que les hauteurs, intensités et durées sont mesurables (en Hz, millisecondes et niveau d'amplitude) et que le timbre est le produit de la fusion de ces trois composants. S'il est effectivement formé de quantités (quel objet ne l'est pas?), le timbre n'est pas un *composant* mais bien un *composé*. D'autre part, la musique occidentale jusqu'à un passé très récent s'est établie sur une hiérarchie très claire qui se retrouve dans la liste des méthodes et des techniques utilisées pour la composition.

*La hauteur*: c'est la notion la plus absolue sur laquelle semble s'opérer le plus grand consensus. Cela est probablement dû au fait que c'est dans ce domaine que s'opère avec le plus de succès le pouvoir discriminateur de l'oreille. Il ne viendrait à l'idée de personne de remettre en cause le fait qu'un *fa* est plus haut qu'un *mi* situé au demi-ton inférieur: c'est une donnée immédiate et mesurable instantanément. La liste des techniques associées à l'organisation des hauteurs est probablement la plus longue. Citons transposition, renversement, rétrogradation, permutations de toutes sortes, groupements en accords pouvant avoir des fonctions spécifiques, etc.

*La durée*: difficilement identifiable (sans la décomposer) au-delà d'une certaine durée, elle est plus relative. Les techniques de transformations pouvant être, sauf certains cas, les mêmes que celles des hauteurs, elle s'est vue longtemps assujettie aux nécessités harmoniques et polyphoniques et n'a pris son essor qu'au début du xx<sup>e</sup> siècle (après bien entendu celui qu'elle avait eu au Moyen Age). Mais dans ce domaine, le pouvoir discriminateur de l'oreille est bien moindre que dans le cas précédent.

*L'intensité*: c'est le dernier en date des composants et aussi celui dont le contrôle est des plus relatif dans l'interprétation. Les techniques utilisées pour le faire évoluer sont très peu nombreuses (*crescendo*, *decrescendo*, opposition, permutation...) et jusqu'en 1950, il n'était pas conçu en tant que composant autonome. Il faut dire que le pouvoir discriminateur de l'oreille ici est très faible car au-delà d'une échelle de sept ou huit valeurs, le contrôle comme la perception de ce phénomène est très incertain.

J'ai mentionné plus haut diverses fonctions qu'on a pu attribuer au timbre mais, même en considérant que cette liste n'est pas exhaustive, force est de constater que l'appareillage technique qu'on lui soumet est des plus réduit et qu'il n'y a guère que dans le domaine de l'alliage et du mélange que l'imagination compositionnelle se manifeste le plus souvent. C'est finalement l'interprétation qui apportera l'essentiel des modes de variation des timbres (attaques, phrasé, vibrato...). Il est évident que dans ce type de comparaisons, hauteurs, intensités et durées sont des composants qui possèdent un très grand niveau d'abstraction et qui n'expriment rien si le timbre n'intervient pas. Mais c'est justement ce très grand niveau d'abstraction — le fait qu'ils n'aient pas en eux-mêmes de réalité perceptuelle — qui permet des groupements faciles en objets morphologiques aussi différents que ceux que nous connaissons. Il est aussi évident que dans le domaine de la composition instrumentale, qui est la seule chose dont j'ai parlé jusqu'ici, le timbre ne se situe pas au même niveau d'élaboration que les trois composants de base. Si le fait d'écrire pour quatuor à cordes ou pour grand orchestre conditionne fortement la direction que prendra l'écriture, et soit même générateur d'idées musicales, le processus compositionnel a le plus souvent recours en premier lieu à ces composants «abstraits», car plus maniables et plus aisément transformables, qui seront ensuite repensés lors de la mise en timbre. Qu'on me comprenne bien, il ne s'agit pas de minimiser l'importance de cette mise en timbre comme dans l'ancien

concept d'instrumentation post-compositionnelle, mais de montrer que si le rapprochement et l'influence de la mise en timbre sur le reste du discours musical sont évidents, le timbre ne se situe pas au même niveau conceptuel, en tout cas pas à la base de ce niveau. Sa nature est trop complexe et trop résistante par rapport au reste.

Il me semble important de noter, à propos du timbre dans la composition instrumentale, le fait qu'il peut être nommé. Ce sont des objets connus que la perception peut identifier par un nom, immédiatement. Une des grandes idées sera évidemment celle de l'alliage des timbres où la perception ne pourra plus nommer instantanément ce qu'elle aura entendu. Cette faculté de nommer les choses n'est pas sans importance au regard du phénomène physique lui-même, surtout, dans le cas, que j'aborderai plus bas, de la composition à partir de matériaux nouveaux. Le comportement physique d'un objet traditionnel varie considérablement en fonction de la hauteur, de l'intensité, voire de la durée. Or, qu'est-ce qui nous fait croire qu'un « *la grave* » du piano fait partie de la même famille que le « *do aigu* » du même instrument sinon le fait, culturellement admis, que nous savons, dans un cas comme dans l'autre, que la cause en est un marteau frappant une corde et que cela s'appelle « *piano* ». Le cas d'un violon joué « *pizzicato* » puis « *arco* » est encore plus flagrant. Il s'agit de deux phénomènes tout à fait distincts mais qui ne détruisent pas le rapport de causalité qu'implique le violon. Lorsqu'est abordée la composition à partir de matériaux nouveaux, les choses ne se passent plus ainsi, la perception n'ayant plus de connaissances *a priori* sur les phénomènes, les données conceptuelles, les méthodes de transformations; bref, tout l'appareil morphologique s'en trouve bouleversé.

Dans le domaine de la composition faite avec des moyens artificiels, on a pu dégager, historiquement, deux tendances: celle de la synthèse où le compositeur est aussi le créateur des sons qu'il va utiliser, et celle du traitement, où le son est pré-existent à la composition et se verra modifié au cours de celle-ci. Si cette distinction peut encore avoir une réalité sur le plan technologique, elle peut être plus floue au regard de l'évolution de ces concepts. En effet, un traitement peut se faire à partir d'un son de synthèse sans rapport avec un modèle connu, comme une synthèse peut très bien s'effectuer à partir de règles de modélisation et se rapprocher ainsi d'un modèle connu. Cette distinction est plus historique que réelle actuellement, mais il en est resté quelque chose d'extrêmement important au niveau conceptuel: est-ce que les timbres utilisés ou traités ont un rapport à un *modèle connu* et, dans un cas comme dans l'autre, quelles sont les conséquences compositionnelles qu'il convient d'en tirer? Un des grands enjeux esthétiques de notre époque est justement cette dualité entre le connu et ce qui ne l'est pas et les facultés d'intégration de ces objets au discours musical. Les compositeurs se sont très vite rendu compte qu'une œuvre de synthèse pure où les éléments n'ont aucun rapport avec des modèles connus risquait de « tourner à vide ». Les objets, pour difficile à intégrer qu'ils soient, font partie de notre univers, et nous devons les prendre en compte. A l'opposé, le fait de traiter un modèle connu (disons un son instrumental) permet ce qui ne l'était pas dans la composition traditionnelle: opérer des transformations conséquentes sur le timbre.

Une première remarque me paraît importante à formuler: *plus le rapport d'un timbre à un modèle connu est perceptible, plus nombreuses seront ses possibilités de transformation à partir du moment où l'on tient à conserver ce rapport et vice versa*. Il est amusant de constater que les musiques instrumentales

tendent à pousser plus loin les limites (cela va du piano préparé jusqu'aux moyens de traitement numérique les plus sophistiqués) alors que les musiques sur bande magnétique depuis quelques années cherchent de plus en plus à utiliser des modèles connus (on ne compte plus les œuvres utilisant la synthèse vocale des voyelles). Il va sans dire que lorsque je parle des modèles connus, je ne tiens pas à rester dans un domaine aussi précis que celui cité précédemment. Reste à savoir ce que peut être un modèle connu.

Il faut englober, sous ce vocabule, non seulement les phénomènes sonores que l'oreille connaît parfaitement et qui peuvent être nommés (sons instrumentaux ou vocaux), mais aussi toute une série de *comportements*. Ce peut être un profil d'attaque, un vibrato, un glissando repérable, etc., bref, des comportements dont la cohérence permet de discriminer certains objets parmi d'autres. L'unité et la cohérence des comportements permettent un grand niveau de transformations car elles sauvegardent des relations entre des objets variés dans certains domaines mais qui se comportent de manière identique dans d'autres. D'autre part, cette cohérence de comportement facilite l'intégration et donc le regroupement en entités plus grandes, et c'est finalement le vieux problème des variants et des invariants qui est ici en jeu. Notons aussi que ce que j'appelle modèle connu a la possibilité de l'être dans le temps de l'œuvre. Il est évident que l'œuvre peut imposer son propre apprentissage morphologique et que dans ce cas il s'agira de *modèles mémorisés*.

Mais il nous faut bien désormais aborder l'étape suivante, peut-être la plus importante, quoique la plus difficile du processus créateur : celle de la création de matériaux nouveaux.

Quelles sont les possibilités d'intégration de ces objets nouveaux (je parle évidemment de ceux qui n'ont pas de rapports avec des modèles connus) à un discours structuré sans qu'ils apparaissent comme de simples signaux, voire comme un catalogue d'objets hétéroclites ? Ces objets ont différentes potentialités d'intégration de par leur nature intrinsèque. *Leurs possibilités d'intégration sont inversement proportionnelles à leurs complexités perceptuelles*. Il est vrai qu'un spectre très chargé en partiels, laissant des ambiguïtés quant à sa hauteur principale ou sa stabilité en fréquence, se laisse moins facilement apprivoiser qu'un spectre simple : après tout, on imagine mal l'*Art de la fugue* joué sur une série de gongs !!! Les spectres simples sont ceux qui donnent une information immédiate sur leur hauteur, voire sur la manière dont ils ont été produits ; c'est le cas des spectres instrumentaux. Dans le cas de spectres complexes, ceux dont l'information tonale est ambiguë parce que trop complexe, dont l'évolution temporelle est mouvante et incertaine, le rapport à l'immediateté ne joue plus, et les structures temporelles qui le présenteront devront être composées en conséquence. Dans ces cas où la hauteur n'est plus le facteur prédominant, que fait-on ? De la composition de timbres ? Mais peut-on encore parler de timbre ? Qu'est-ce que le timbre en ce moment ? Un traité d'acoustique musicale le définit comme ce qui permet de distinguer deux sons de même durée, de même hauteur et de même intensité, en fin de compte comme tout ce qui n'est pas durée, hauteur, intensité, voire polyphonie, harmonie... une sorte de « notion-poubelle »<sup>1</sup> ; comment l'aborder ?

C'est effectivement ici que se posent les problèmes, que l'on cherche des solutions pour traiter ce que nous appelons encore « le timbre ». Il me paraît,

---

1. Je dois à David Wessel cette heureuse qualification.

personnellement, de plus en plus évident que cette notion de timbre, dégagée de toute référence à des modèles quelconques est un boulet attaché à nos pieds qui entrave considérablement notre marche en avant et que la meilleure des solutions serait de l'abandonner une fois pour toutes. En tant qu'objet unitaire de la composition, le timbre, pour moi, est mort. Que reste-t-il alors ?

C'est ici que se fait jour la nécessité d'une refonte des critères théoriques qui sont à la base de la composition. Nous sommes à une époque où, ayant analysé le timbre, nous avons perçu l'incroyable variété de ses manifestations et nous devons tirer les conséquences de ses possibilités de décomposition. Le timbre n'étant pas unitaire, je tendrais personnellement vers l'acceptation d'une prolifération des composants et des techniques de bases de la composition. Leurs trois composants initiaux représentent trois catégories sur lesquelles nous agirons. Une multiplicité de techniques peut alors s'offrir à nous. Sans vouloir dresser un tableau exhaustif de ces techniques et de ces paramètres, en voici un aperçu :

a) *Contenu fréquentiel*: HAUTEURS

- 1) Stabilité ou instabilité
- 2) Taux d'harmonicité
- 3) Taux d'inharmonicité
- 4) Densité spectrale
- 5) Groupements fréquentiels (possibilité de dégager des sous-groupes par fusion)
- 6) Bruits
- 7) Battements
- 8) Vibratos fréquentiels (fusions par sous-groupes de fréquences)
- 9) Glissandi
- 10) Microvariations aléatoires  
etc.

b) *Enveloppe dynamique*: DURÉE/AMPLITUDE

- 1) Synchronisation ou désynchronisation des enveloppes dans le temps
- 2) Interpolation d'enveloppes dans un même contenu spectral
- 3) Contrôle de l'apparition et de la disparition des partiels
- 4) Groupement par niveaux d'amplitude
- 5) Vibratos d'amplitude  
etc.

c) *Enveloppe spectrale* (filtrage formantique): DURÉE/AMPLITUDE

- 1) Harmonicité ou inharmonicité des pics indépendants du contenu fréquentiel
- 2) Contrôle et variation de largeurs de bandes dans le temps
- 3) Distribution diverse des pics
- 4) Interpolation dans le temps
- 5) Stabilité ou instabilité des enveloppes (microvariations aléatoires)  
etc.

Il s'agit bien ici de paramètres de composition : on peut les faire varier indépendamment les uns des autres, chaque catégorie contrôlant un cas précis de transformation n'affectant pas les autres. La hauteur devenant un cas particulier, on peut imaginer une indépendance totale de contenu fréquentiel par rapport à l'enveloppe spectrale ; ainsi, d'un spectre bruité peut émerger une série d'objets dont la prégnance tonale ou harmonique sera contrôlée par un filtrage de partiels. Que signifierait ici composition de timbres alors que nous disposons d'une série de techniques diverses devant assurer le contrôle d'un paramètre précis ? La théorie actuelle ne doit pas se contenter de notions aussi floues que celle de timbre, mais bien relever des méthodes de transformations et de créations morphologiques touchant à un cas particulier du phénomène sonore comme l'étaient (et le sont encore) les transpositions, rétrogradations et autres permutations. Une mise à jour et une refonte des concepts comme des techniques qui nous servent à définir et à élaborer le discours musical me semble être une attitude autrement plus décisive que celle qui consistait à chercher désespérément à contrôler un phénomène dont la définition nous échappe de plus en plus.

Ce que nous appelons « timbre » est une donnée perceptuelle et non conceptuelle. Il touche un domaine de la perception qui est essentiellement synthétique et immédiat. On peut le créer dans certains cas bien particuliers de fusion entre divers composants de base mais, dégagé de toute référence à un modèle connu ou mémorisé, il est une donnée stérile de la composition. J'insiste sur une séparation entre techniques conceptuelles et résultats perceptuels et sur la nécessité d'une mise à jour de ces techniques. Le lien qui unit technique et résultat n'est pas une ligne droite où l'un des termes implique nécessairement l'autre. Le *timbre*, comme la *forme*, dans le domaine de la création, sont des données beaucoup trop vagues pour pouvoir être incluses dans celles qui définissent les éléments de notre vocabulaire musical actuel.

# ŒUVRES



## **Pour sortir de l'avant-garde**

par Marc-André DALBAVIE

### **Introduction**

Si les problèmes de forme et de structure ont été constamment au centre des préoccupations des artistes des années 1950-1970, l'enjeu actuel, par contre, est la domination des nouveaux matériaux issus de l'apport technologique. Ceux-ci constituent la matière sonore principale de l'avenir musical, et déterminent donc l'urgence d'une réflexion profonde sur le devenir du langage musical.

Cet apport ne touche d'ailleurs pas exclusivement la musique, mais bien toutes les autres formes d'expression. Si le profond changement que cela entraîne sur notre environnement est loin d'être parfaitement maîtrisé, les portes que la technologie nous ouvre ne laissent pas moins présager des nombreuses possibilités dont nous disposerons et des «champs de convergences» qui s'ouvriront entre les différentes formes artistiques.

Cette «évolution technologique» plonge ses racines à l'intérieur même de notre Histoire. Celle-ci nous permet de comprendre les mécanismes qui ont amené ce changement, ainsi que de découvrir les différentes tendances qu'ils ont provoquées à l'intérieur des «langages artistiques».

Ces tendances sont parfois issues de changements brutaux, et parfois d'évolutions lentes, dont certaines sont difficiles à caractériser. Ce qui ne fait aucun doute, en histoire de la musique, c'est la conquête progressive du «timbre». On cite souvent la naissance du répertoire instrumental à la Renaissance, comme l'un des plus marquants indicateurs de cette évolution. La fixation de la nomenclature et de l'instrumentation des *Concertos Brandebourgeois*, par Jean-Sébastien Bach, en est l'une des étapes décisives. Néanmoins, le bouleversement classique et surtout le passage de la notion d'instrumentation à celle d'orchestration, avec Beethoven et Berlioz notamment, formulent définitivement le souci d'organiser le timbre au même titre que n'importe quel autre paramètre.

Cela suppose d'avoir parfaitement défini la notion de timbre, ce qui est loin actuellement d'être le cas. En effet, le timbre est constitué par les autres paramètres musicaux comme le rythme, la hauteur, l'intensité, etc., et contient donc en lui un potentiel synthétique qui en fait un élément «à part». Si l'on

accepte souvent l'idée que la nature du timbre est caractérisée par sa perception fusionnelle, on ne s'attache qu'à la conséquence de celui-ci et non à sa structure.

Dans cette perspective, trois questions me paraissent importantes à soulever. A partir de quelques exemples pris dans le répertoire classique, quelles sont les tendances qui ont provoqué ce bouleversement ? Quels sont les rapports entre « timbre » et « écriture » dans le répertoire contemporain ? Par rapport au langage musical, quelles sont les perspectives d'avenir de ces tendances ?

## I. Les tendances

### 1. *La naissance de la dynamique de l'écriture*

Le passage de l'ère baroque à l'ère classique est l'un des changements essentiels de l'évolution musicale moderne. La musique baroque constitue un aboutissement de la pensée musicale issue de la combinatoire monodique du Moyen Age ; le principal matériau en est le motif. Celui-ci est formé d'une suite d'intervalles, qui, une fois caractérisée, sera traitée à l'aide d'outils parfaitement déterminés. Le canon, l'imitation, la strette, le renversement, la variation mélodique, les diverses mutations intervallogiques, etc., sont autant de procédés d'écriture qui trouvent leur plus spectaculaire épanouissement dans la forme *fugue*. Ainsi, plusieurs remarques apparaissent. Le style baroque favorise le contrôle de l'horizontal sur le vertical. Tous les procédés employés opèrent des distorsions sur le mélodique (et son extension contrapuntique) et non sur l'harmonique. Le matériau est le plus souvent neutre. On peut trouver de nombreux exemples de musique figurative durant cette époque. Néanmoins le XVII<sup>e</sup> et le XVIII<sup>e</sup> siècles nourrissent encore des mythes issus du Moyen Age, où la musique était considérée comme une science. Le style baroque fonde ses principes sur des fonctionnalités hiérarchiques abstraites. Si l'on étudie les opéras de cette époque, on prend vite conscience à quel point leur discours musical (contrairement au classicisme) a du mal à caractériser les personnages et se contente bien souvent d'accompagner l'action dramatique en cristallisant des codes reconnaissables par le public. Cette linéarité se trouvera fortement bousculée par l'arrivée du style classique. La forme n'est plus constituée par des variations abstraites et mathématiques sur un motif neutre, mais par l'opposition dynamique entre deux pôles fondamentalement contraires, et donc fatallement attirés l'un vers l'autre. Le matériau classique est travaillé non par son contenu quantitatif (intervalle, durée...) mais par ses caractéristiques qualitatives (accents, dessin, dynamique, rythme, morphologie, contour, contenu expressif, etc.). Le style classique, par ses continues ruptures rythmiques, par l'importance donnée à l'articulation des événements, utilisera principalement des procédés de contrôle du vertical, permettant grâce à une simplification de l'harmonie, d'accroître fortement le caractère dynamique des oppositions fonctionnelles. La *sonate* en est la conséquence directe et parvient à équilibrer remarquablement les tensions issues de la bipolarité thématique et harmonique. Elle est l'une des formes les plus abouties du système tonal et sans doute est-elle celle qui l'exprime le mieux.

De nombreux exemples peuvent illustrer ces idées. Mozart, Haydn et Beethoven ont réalisé les œuvres les plus authentiques de cette période et leurs sonates, leurs symphonies et leurs quatuors sont autant d'exemples intéressants à étudier. Néanmoins, j'ai choisi d'analyser une partition qui non seulement

participe pleinement de cette méthode de pensée et de plus réalise une sorte de synthèse entre la forme sonate et la forme fugue, mais qui par ailleurs se projette dans nos préoccupations contemporaines. De nombreux articles et analyses ont été faits sur l'existence de la « forme sonate » dans les œuvres classiques, c'est pourquoi je n'ai pas voulu reproduire le même schéma. Ce qui m'a intéressé est son aspect moderne et visionnaire. Cette œuvre est la *Fugue pour quatuor à cordes* (Grosse Fugue) opus 133 de Ludwig van Beethoven.

La fugue est précédée d'une ouverture entièrement consacrée au sujet. Cette ouverture se divise en deux sections : la première est mesurée à 6/8 et la deuxième à 2/4, le sujet nous amenant, grâce à une courte transition, à l'exposition de la fugue mesurée à C.

*Exemple 1.*

La première phrase est formée d'une suite d'octaves allant en s'accélérant et exposant les notes du sujet (voir Ex. 1). C'est le trille se trouvant à la 9<sup>e</sup> mesure qui va retenir mon attention. Il précède un point d'orgue et paraît arrêter le mouvement d'accélération entamé précédemment, se finissant en forme « d'interrogation ». Beethoven réemploie ce trille de façon spectaculaire et commence à le réintroduire durant l'*Allegro molto e con brio* (26<sup>e</sup> de E). On le retrouve au 1<sup>er</sup> violon à l'intérieur d'une phrase de 16 mesures qui se déploie à tous les instruments du quatuor tout en conservant son aspect ornemental et cadentiel. A F, commence une nouvelle partie où le trille conclut le sujet (voir Ex. 2, au violoncelle). A la 33<sup>e</sup> de F, le premier violon et le deuxième en imitation, répètent le trille conclusif plusieurs fois. A la 38<sup>e</sup> de F, le second violon joue un trille pendant 2 mesures et finit sur deux notes trillées.

*Exemple 2.*

A la 2<sup>e</sup> de G, le violoncelle et le violon trillent simultanément, tout ceci se répercutant sur les autres instruments. A la 16<sup>e</sup> de G, trois instruments trillent en homophonie. A la 13<sup>e</sup> de H, l'alto entame un trille qui dure 3 mesures et une noire pointée. A la 20<sup>e</sup> de H, le violon joue une phrase de 26 mesures où toutes les notes sont trillées. A I, il ne reste plus que des accords trillés par tous les instruments du quatuor à cordes, ultime aboutissement de cette « cellule » (voir Ex. 3).



*Exemple 3.*

Le processus décrit plus haut est fortement directionnel, néanmoins la « cellule » qui le compose prend, durant son évolution, des fonctions différentes, ce qui lui donne une distance par rapport au processus et, par voie de conséquence, un potentiel « thématique ». Le trille, simple geste instrumental d'ornementation précédant une cadence, devient un véritable matériau thématique et participe aux principes formels de l'œuvre.

Ceci éclaire d'un jour nouveau la modernité du développement beethovenien et son côté visionnaire. Il nous amène à penser le matériau musical non seulement en termes de paramètres (rythmes, intervalle...) mais aussi en morphologies sonores (synthétisant plusieurs paramètres). La possibilité de synthétiser les différents constituants de la musique reste un enjeu pour intégrer le timbre à l'écriture.

## 2. Thématique et processus

L'enrichissement fonctionnel apporté par le classicisme a créé tout un environnement favorable pour appréhender des formes plus étendues. En effet, la « bipolarité » tonale a permis d'élargir considérablement la durée des pièces. Des petites pièces comprises dans une suite de danses (*Partitas* de Bach) nous sommes passés aux mouvements symphoniques beethovéniens (*9<sup>e</sup> Symphonie*). C'est donc sur ces bases que la forme wagnérienne va prendre appui. La forme dramatique va, bien sûr, permettre à Richard Wagner de renforcer l'unité de l'œuvre, mais la nature du travail thématique qu'il a développé constitue la principale originalité de son travail formel. Ce qui me paraît le plus significatif est la transformation d'un matériau sonore (accord harmonique, mouvement dynamique, etc.) en un matériau musical porteur d'une forme. Wagner pousse souvent la continuité entre forme et matériau, afin de créer un lien génétique entre différents leitmotive issus du même matériau. Le fameux « accord de Tristan » est l'un des exemples les plus frappants de ce procédé, mais le *Ring* contient des centaines d'autres exemples parmi lesquels je vais extraire celui du Prélude de *L'Or du Rhin*.

L'œuvre commence par un *mib* tenu dans l'extrême grave par les contrebasses pendant 4 mesures. Puis les bassons jouent un *sib* une quinte au-dessus des contrebasses. Tout ceci se déroule pendant 16 minutes avec des respirations alternées toutes les 4 mesures, ce qui produit un balancement rythmique très lent. La résonance du *mib* se met en place progressivement. Le balancement va être conservé de manière répétitive jusqu'à l'entrée de Woglinde au bout de 136 mesures. A la 17<sup>e</sup> mesure, le 8<sup>e</sup> cor entame un arpège sur l'accord de *mib* majeur (voir Ex. 4). Le 7<sup>e</sup> cor lui répond en imitation puis les huit cors à partir de la 30<sup>e</sup> mesure. Tout ceci forme une densité sonore où tous les cors se répondent en « écho » et affirment la résonance de *mib* (on se rapproche beaucoup du procédé de « réinjection » employé par Tristan Murail dans *Mémoire/Érosion*).



*Exemple 4.*

Les violoncelles, les bassons puis les flûtes reprennent l'arpège des cors et y ajoutent des notes de passage tout en accélérant le rythme (voir Ex.5).



*Exemple 5.*

Progressivement, la « pâte » orchestrale se densifie et aboutit, 8 mesures avant l'entrée de Woglinde, à des gammes ascendantes réparties à tous les bois en doubles croches sur *mib* majeur, la gamme étant l'aboutissement du processus d'addition de notes de passages, entamé par les bassons et violoncelles mesure 49 sur le *fa* (9<sup>e</sup> harmonique de *mib*).



*Exemple 6.*

C'est à partir de tout ce processus de transformation (qui n'est autre qu'un processus d'interpolation) que Wagner va bâtir plusieurs leitmotive dont le premier est chanté par Woglinde [motif des « filles du Rhin » (voir Ex. 6)] et le deuxième est joué au cor en *sol* et repris par trois cors [motif de « l'or du Rhin » (voir Ex. 7)] [mes. 7 page 46, Dover Edition].



*Exemple 7.*

Ainsi, le discours musical ne dépend plus de l'opposition entre deux pôles, mais devient autogénération de matériaux. Le matériau musical en perpétuelle évolution et non l'opposition classique caractérise tout à fait la perception de la forme wagnérienne. La structure des leitmotive n'est plus issue d'une combinatoire particulière mais d'un processus directionnel. Il n'y a plus « thème » mais « motif ». Le thème n'est plus une figure unique, mais la somme de plusieurs motifs. Chaque motif représente un instant particulier, une facette du processus thématique. Le thème n'est plus un « personnage » figé mais un mouvement en mutation dont les motifs ne sont que des « apparitions », des instants par lesquels la complexité des relations dramatiques (personnages,

actions, interactions, etc.) témoigne de la richesse des procédés artistiques du compositeur.

Ainsi le thème n'est plus un objet mais devient un procédé/processus virtuel. Il devient un potentiel d'écriture et s'abstrait de sa représentation dans l'instant musical. Le bouleversement wagnérien est profond. C'est à partir de ce changement que l'écriture musicale comme opérateur prend une dimension nouvelle. Il nous renvoie tout à fait à une métaphore employée par Gregory Bateson : « *La carte n'est pas le territoire, et le nom n'est pas la chose nommée.* » Nous allons retrouver cette dimension opératoire, tout au long du xx<sup>e</sup> siècle.

Richard Strauss poussera certaines idées de son illustre prédécesseur vers des horizons encore moins explorés dans les deux œuvres majeures que sont *Salomé* et *Elektra*.

Je prendrai comme exemple le « quintette des Juifs » de la quatrième scène de *Salomé*. Le leitmotiv des Juifs est déjà exposé au chiffre 4 dans l'introduction de l'opéra (Édition Dover) et révèle son importance. En fait, le quintette commence au chiffre 188 de la partition. Les cinq Juifs expliquent, chacun à leur tour, leurs points de vue théologiques. Au chiffre 195, chaque personnage entre successivement pour aboutir, à la deuxième mesure du chiffre 200, à la superposition des cinq voix ( entraînant une superposition tonale particulièrement complexe, mettant « à mal » le système tonal : l'œuvre est écrite en 1905). Jusqu'à cet endroit, Strauss utilise un processus de convergence où la phrase orchestrale partant du chiffre 188 est constituée de cellules indépendantes, dispersées et sans liens apparents (du chiffre 188 à 199), qui vont progressivement converger, se métamorphoser, se fondre puis former le dessin final que nous découvrons au chiffre 200. La fonctionnalité de chaque cellule ne va se définir qu'à l'intérieur de la phrase finale et non antérieurement (où certaines vont changer de fonctionnalité). Le compositeur priviliege donc la direction du processus aux fonctionnalités particulières des différents motifs. On peut remarquer que la musique apparaît la plus « ordonnée » au moment où le dialogue entre les Juifs paraît le plus désordonné (chacun répétant sans écouter les autres, l'idée qu'il veut exprimer [chiffre 200]).

Ce travail particulièrement intéressant sur la genèse de morphologies sonores à partir de processus directionnels (et non fonctionnels comme c'est le cas dans la musique tonale) représente une véritable révolution qui n'a pas encore été admise. La modernité de l'écriture straussienne n'a jamais été acceptée. Pourtant, sa musique reste l'une des plus originales et l'une des plus fortes qui aient été faites au début du xx<sup>e</sup> siècle. Force est de constater qu'elle n'a pas vieilli, au contraire de bien des œuvres souvent citées pour leur modernité.

### 3. *Timbre, texture*

Ainsi, les relations qui peuvent exister entre le matériau, le processus, la forme, etc., commencent à s'éclaircir aux vues des différentes évolutions historiques. L'intégration progressive de la notion de timbre au processus d'écriture participe d'un environnement en mutation tant sur le plan de la pensée que sur celui de la « technicité ». L'école de Vienne jouera pleinement son rôle en bouleversant les supports de la tonalité. Néanmoins, certaines questions ne peuvent éviter d'être posées. La tendance musicale qui a commencé avec le dodécaphonisme et s'est poursuivie avec le post-sérialisme constitue l'un des courants esthétiques de l'histoire de la musique des plus intéressants comme des plus déconcertants.

Nous n'avons pas actuellement le recul suffisant pour apprécier de façon parfaitement objective tous les développements de ces années. Si nous assistons à une véritable révolution dans les domaines artistiques, il est important de bien mettre en évidence le décalage qui s'est opéré entre les divers bouleversements.

L'une des choses les plus frappantes est le retour de Schoenberg (à partir de sa période dodécaphonique) et de Webern à des formes anciennes issues du monde baroque et classique: la variation (*Variations* op. 31 de Schoenberg, *Variations* op. 27, 30 de Webern, etc.), la sonate (*symphonie* op. 21 de Webern, etc.), la suite (op. 33 de Schoenberg, etc.), la fugue (*Farben* op. 16 de Schoenberg, etc.), et bien d'autres formes constituent un réservoir dans lequel ces compositeurs ont abondamment puisé.

Si ces formes ne possèdent plus le cadre tension/détente, qui en faisait au XVIII<sup>e</sup> siècle des formes dynamiques et fermées et qui ont donc peu de points communs avec les formes originales, il me semble que cette génération a effectué un certain retour par rapport aux conquêtes wagnériennes et debussystes. Le cadre formel utilisé n'ordonne plus les proportions temporelles comme à l'origine, mais devient une base de départ pour l'élaboration de la structure d'une œuvre. Ainsi, dans la *Symphonie* op. 21 de Webern, la forme sonate du premier mouvement n'organise pas l'opposition entre deux groupes thématiques mais constitue la structure interne de l'œuvre. La perception de cette forme n'est plus synthétique mais analytique. Le détournement d'une forme vers une construction structurelle me paraît être l'un des événements les plus importants de ces années. La torsion qui peut exister entre la temporalité formelle et l'atemporalité structurelle est évacuée et me semble être la carence principale de cette musique et de ces descendances.

Par ailleurs, la plupart des procédés d'écriture employés par cette école sont issus du contrepoint baroque. Le canon, l'imitation, la transposition, etc., sont des outils tout à fait anciens. Les principes d'orchestration sont post-romantiques et la «mélodie de timbre» fut développée tout au long du XIX<sup>e</sup> siècle. Il est étonnant que dans ces deux domaines, cette génération ait montré fort peu d'imagination et de modernité. Sans remettre en cause le génie musical de ces compositeurs, il convient de situer les choses à leur place et de faire la part du moderne et de l'académique. Le travail rythmique et mélodique, si l'on excepte certaines partitions de Webern, ne me semble pas non plus révolutionnaire. Alors, où se trouve la véritable nouveauté apportée par cette école? Quels enseignements peut-on tirer des bouleversements esthétiques intervenus à la suite de cette tendance artistique?

Le point central à l'origine de la prédominance de l'école viennoise est sans aucun doute la rupture du système tonal. Les musiciens de l'époque en avaient parfaitement conscience, et la remise en question de plusieurs siècles d'habitudes et de certitudes explique parfaitement les réactions souvent très violentes qu'entraînaient les premiers concerts de Schoenberg, Berg et Webern. Sans entrer dans le détail de tout le travail formel qui a pu être fait à cette époque, les conséquences de cette rupture ont produit une effervescence d'idées nouvelles rarement atteinte, sur le rapport timbre, harmonie et thématique. Une grande partie des œuvres de Berg (*Wozzeck*, *Kammerkonzert*, etc.), les dernières œuvres atonales de Schoenberg (*Erwartung*, *Fünf Orchesterstücke*, *Pierrot lunaire*, etc.) sont particulièrement intéressantes, déployant une richesse et une imagination quant aux solutions formelles qui en constituent un réservoir inépuisable de ressources et d'idées nouvelles. Pour illustrer cela, je vais prendre un exemple qui me paraît porteur d'avenir: la troisième pièce des *Fünf Orchesterstücke* (opus 16) d'Arnold Schoenberg, *Farben* (couleurs).

Sans vouloir entrer dans une analyse profonde sur le travail « motivique » et sur leur genèse, la première chose qui me paraît fondamentale à mettre en lumière est que toute cette pièce est bâtie à partir du motif de la deuxième flûte : *mi, fa et mib* (un demi-ton ascendant et un ton descendant). (voir Ex. 7)



*Exemple 7.*

Les autres voix répondent en canon transposé. En fait, nous sommes tout simplement en présence d'une fugue à 5 voix. Les différents accords formés par cette entrée en strette sont au nombre de 6, et vont de la mesure 221 à la mesure 228 (voir Ex. 8).

*Exemple 8.*

L'enchaînement de ces accords détermine la fonctionnalité de chacun d'entre eux et la fixité de leur place dans le processus. Ce processus harmonique reviendra une première fois transposé d'un ton (mes. 239), une deuxième fois transposé d'une tierce majeure (mes. 245), puis une troisième fois d'une tierce mineure (troisième temps mes. 248) [il est à remarquer qu'il y a une erreur dans la partition mesure 248, au deuxième temps, c'est un *doh* (*si* note réelle) qui doit être marqué à la trompette n° III car nous sommes en présence de l'accord n° 5 de l'enchaînement harmonique. D'ailleurs, la clarinette basse entame ce mouvement (*rêh, doh*) ce qui prouve bien l'existence de cette faute], une quatrième fois d'un ton (mes. 249), une cinquième fois d'un demi-ton (moitié du deuxième temps de la mes. 249), et enfin une dernière fois par mouvement contraire (un demi-ton descendant et un ton ascendant) (mes. 252). A chaque réapparition, nous observons une diminution rythmique allant de la ronde à la double croche.

Afin de préciser la structure de cette pièce (en référence à la fugue), l'exposition va du début à la mesure 231, 1<sup>er</sup> divertissement mes. 232 à 238, 1<sup>re</sup> exposition un ton au-dessus mes. 239 à 243, 2<sup>er</sup> divertissement mes. 244 à 246, 2<sup>e</sup> exposition une tierce majeure au-dessus (prolongée par le 3<sup>er</sup> divertissement) mes. 247 à 251, réexposition par mouvement contraire mes. 252 à 258 et coda mes. 259 à la fin.

La première remarque qu'il me paraît important de souligner est que tout le matériau harmonique est bâti à partir des procédés contrapuntiques. Pierre Boulez parle souvent de procédé oblique (en opposition aux procédés verticaux ou horizontaux); je pense que cette appellation convient tout à fait à cette technique. La deuxième remarque est qu'il part d'une construction harmonique pour échafauder son environnement timbral, car *Farben* est avant tout une œuvre construite autour de la notion de timbre. Tout ce processus produit un effet de glissement dans un ambitus ne dépassant que rarement deux octaves. Toute la richesse se trouve donc dans le travail d'orchestration et de fusion des timbres instrumentaux. Par ailleurs, afin de créer un mouvement imperceptible rompant le balancement rythmique trop monotone, la note grave de chaque accord a un rythme deux fois plus rapide (en noir), ce qui a pour conséquence d'alléger considérablement la pâte orchestrale de l'ensemble.

En fait, tout le processus de l'œuvre est déterminé par les dix premières mesures. On assiste à un balancement entre deux accords identiques orchestrés différemment. Le premier regroupe deux flûtes, une clarinette et un basson. Le deuxième regroupe un cor anglais, un basson, un cor avec sourdine et une trompette avec sourdine. Le contraste entre des timbres « neutres » (accord 1) et des timbres « riches » (accord 2) est tout à fait frappant. Plus que la notion de contraste, c'est la

notion d'opposition qui caractérise ce début où l'orchestration ne va pas évoluer pendant 10 mesures. Le balancement entre les deux types de timbre va imprégner toute la suite de la partition (par exemple les cors et les trompettes joueront souvent avec sourdine sur la deuxième partie de la mesure, alors que sur la première partie ils joueront souvent ouvert). A partir de la mesure 232, l'orchestration commence à varier à tel point que la première opposition disparaît. La variation permanente de l'orchestration empêche l'oreille d'établir une structuration simple et prépare l'évolution vers la mesure 249. L'accélération que l'on observe à la mesure 246, qui arrive à son point culminant à la mesure 249, crée un phénomène de dilution sonore en stricte opposition avec le début de la pièce où les timbres sont parfaitement différenciés (on peut remarquer la grande modernité du rapport timbre/temps). En fait, de la mesure 232 à la mesure 246 on assiste à un état de *défusionnement* aboutissant à une *texture* à la mesure 249. Cette texture, ultime aboutissement du processus formel, s'oppose à la notion de timbre (qui est par nature en *fusion*) exposée au commencement de *Farben* et donc participe à l'équilibre particulièrement réussi de l'œuvre en recourant à la dialectique entre deux états qui finalement sont génétiquement issus d'un processus de continuité [fusion (timbre) → défusionnement (texture) → fission (polyphonie)]. Fidèle à ses idées, la ré-exposition de Schoenberg n'est pas strictement faite et reste imprégnée par un état de variation orchestrale conduisant naturellement à la coda et au retour du balancement à la noire de la note la plus grave de l'accord (avant-dernière et dernière mesure de la pièce).

Avec *Farben*, Schoenberg pose les bases de la notion de *texture* et l'oppose à la notion de *timbre* tout en y établissant le lien de continuité. Le fait que deux états soient reliés à l'intérieur d'un monde continu et qu'ils puissent être paradoxalement en rapport dialectique me paraît particulièrement intéressant à souligner et se trouve être d'une modernité bien plus originale que l'organisation de douze sons chromatiques.

Si l'école « post-sérielle » a eu pour centre d'intérêt les problèmes soulevés par le structuralisme et la genèse des systèmes, l'héritage de l'école de Vienne a créé un vide particulièrement difficile à assumer par la génération des années 50 et 60, abordant de front la terrible question du langage et de la communication. Période de transition ou ultime aboutissement de la combinatoire classique ?

Les deux cas caractérisent parfaitement cette période. D'une part l'excroissance de la combinatoire mélodico-contrapuntique prolonge et achève l'utilisation d'artifices d'écriture enfouis dans une tradition séculaire, d'autre part la « neutralisation » du matériau sonore fait apparaître la volonté d'évacuer les représentations subjectives et artistiques de la musique afin de poser plus clairement les problèmes d'organisation et donc de langage en élevant les expériences vers des niveaux d'abstraction rarement atteints, entraînant une rupture profonde avec le public. La volonté de faire de la musique en évacuant les principes fondamentaux qui la régissent, me paraît témoigner d'une démarche tout à fait incohérente et ne pouvait aboutir qu'à une impasse (ce qui s'est d'ailleurs produit). Faire de la musique en niant le facteur temps et en ne considérant plus que l'instant est voué à l'échec. Neutraliser le matériau afin de ne travailler que sur des procédés combinatoires et des traitements formels a pour conséquence la neutralisation des procédés et des traitements eux-mêmes et le risque de coller n'importe quel matériau avec n'importe quelle forme. Je cite souvent Saint-Saëns qui utilise un matériau mélodique romantique et qui essaie de plaquer dessus une forme classique alors que le matériau romantique tel qu'il l'emploie ne peut créer de polarité suffisante pour permettre le jeu dialectique. Chopin, Berlioz, Liszt et Wagner l'avaient d'ailleurs fort bien compris et s'étaient bien gardés de calquer les formes classiques à leur musique (la *Sonate* de Liszt n'a aucun rapport avec la sonate classique). L'erreur de Saint-Saëns se retrouve chez de nombreux compositeurs des années 50 et 60. L'un des exemples les plus frappants me paraît être Olivier Messiaen qui utilise

des formes empruntées à Stravinsky avec un matériau qui ne leur correspond pas, d'où la sensation d'une musique où tous les éléments sont *juxtaposés*. La même erreur se retrouve chez Xenakis, mais cette fois-ci, le traitement formel est emprunté à l'univers des mathématiques et de la physique. Que peut-on penser de la transposition de la théorie des gaz aux procédés d'écriture musicale? Par ailleurs, Stockhausen a développé dans *Gruppen* des idées très intéressantes sur le tempo. Mais le matériau qu'il utilise (issu de l'idée d'atemporalité) ne permet pas de percevoir le tempo. Que penser du travail du tempo dans certaines œuvres de Stockhausen alors que personne ne peut percevoir aucun tempo puisque, par définition, les motifs mélodiques, rythmiques et harmoniques sont débarrassés de la perception de la pulsation qui seule peut exprimer le tempo? Cela ne témoigne-t-il pas d'une démarche particulièrement naïve, voire incohérente? Ainsi, de nombreuses contradictions sont nées du refus d'accepter que la perception du monde sonore a des lois, que celles-ci sont multiples et que tous les musiciens de tous les pays et de tous les temps (y compris les plus audacieux) en ont tenu compte. Imaginons un architecte voulant créer un édifice sans tenir compte de la nature du sol, des matériaux qu'il utilise et des conditions atmosphériques!!? Reste à définir quelles sont ces contraintes perceptives, si elles sont définissables et s'il est souhaitable de les définir. Bien souvent, l'intuition des musiciens reste la seule ressource face à cette carence, si toutefois elle ne se trouve pas enfermée dans un état doctrinal.

La remise en cause des hiérarchies traditionnelles a donc permis de développer tout un champ expérimental, d'accroître les connaissances en faisant appel aux nouvelles sciences (acoustique, linguistique, sémiologie, informatique, etc.) et de développer une technologie spécifiquement musicale ouvrant un monde sonore jusqu'alors jamais entendu (ce qui constitue la véritable révolution de ces deux tendances musicales). Néanmoins, si les idées qui apparaissent à cette époque sont très importantes pour l'évolution de la pensée artistique, les réalisations musicales sont bien souvent décevantes. Aucun système musical n'est apparu depuis et la seule richesse de cette époque a été d'avoir su poser les questions fondamentales, et, grâce à l'élargissement du savoir, d'avoir su ouvrir le monde musical aux technologies contemporaines.

#### 4. *Le timbre en mouvement*

Si, comme nous venons de le voir, cette tendance a renforcé tout au long de son histoire l'intégration de la notion de timbre au processus d'écriture, Debussy me paraît être le compositeur qui a poussé le plus loin cette idée avec le plus de réussite. Debussy se situe assurément à la charnière du parcours entre les deux formes de pensée, tout en étant plongé plus profondément que Schoenberg, dans le xx<sup>e</sup> siècle. Il suffit de penser à *Nuages* (premier des trois *Nocturnes* pour orchestre) pour se rendre compte de l'extrême nouveauté de cette musique. Ici la modernité est sans équivoque. Les traditionnels procédés d'écriture (contrapuntiques : renversement intervallique, canon, imitation, etc., ou thématiques : modulation, opposition rythmique, etc.) sont balayés. L'orchestration n'est plus un paramètre secondaire mais devient le centre du développement debussyste. Il ne varie plus un thème en le transposant, en y transformant ses intervalles, en y ajoutant des ornementations, mais il développe une succession d'harmonies-timbres; en travaillant sur les épaisseurs, les densités, les contractions et les dilatations harmoniques, ainsi que sur

des vitesses d'évolution, des phénomènes de stabilité et d'instabilité, des processus aboutissant à des ruptures d'équilibres, etc. Debussy a fait une telle percée vers la modernité, qu'il n'a pratiquement pas été suivi, et que, de nos jours encore, une grande partie de la musique apparaît en régression par rapport aux découvertes de ce géant du xx<sup>e</sup> siècle. N'est-il pas symptomatique que de nombreux théoriciens contemporains considèrent une grande partie de la musique de Debussy comme «in-analyposable»? Il est évident qu'avec des outils issus de l'ancien contrepoint (remis au goût du jour par les tentatives sérielles) ou du thématisme classique, *Nuages* risque de rester à jamais mystérieux; c'est comme si l'on tentait de trouver des alexandrins et des rimes entrecroisées dans les *Mains libres* de Paul Éluard (on peut toujours en trouver, mais ils ne sont utilisés que comme procédés et ne participent que localement au déroulement du poème; de même on peut trouver des procédés contrapuntiques et thématiques chez Debussy).

Il n'est pas dans la nature, ni dans l'objectif de ce travail, d'étudier en détail tout l'acquis debussyste. Ses pièces pour piano, pour orchestre ou son opéra, foisonnent d'ingéniosités et d'audaces, mais surtout projettent le musicien vers des chemins vierges, inexplorés. Il en émane une sensation étrange dans laquelle se mêlagent à la fois une parfaite réceptivité de sa musique et une incompréhension souvent totale des mécanismes musicaux qui la constituent. N'importe quel auditeur ressent l'extrême beauté des 6 premières mesures du *Prélude de l'après-midi d'un faune* et se rend parfaitement compte que la phrase de la flûte se prolonge à la harpe pour finir aux cors, et qu'elle constitue un tout indivisible dont le silence représente l'ultime respiration. Mais comment l'analyser? Avec quels outils? Pourquoi cette phrase «fonctionne»-t-elle si bien? A cause de l'harmonie? De la mélodie? De l'orchestration? Du rythme? De la répétition de la première incise? De la fusion de tous ces paramètres? De la manière dont les uns et les autres sont en étroite relation?...!!

Ceux qui me répondront que ce sont les relations de toutes ces constituantes qui sont à la base du génie de cette phrase pourront-ils m'expliquer la nature de ces dites relations; ainsi que les processus formels qui les ont engendrées? C'est à la lumière de ces questions que l'on mesure la distance qui nous reste à parcourir pour formuler clairement une explication valable des mécanismes formels du langage debussyste. Debussy, par l'augmentation de la densité des harmonies, libère l'accord de sa fonction tonale et s'imprègne de sa sonorité afin d'établir son parcours.

Je m'explique: à partir d'une certaine densité, l'accord accroît sa couleur spécifique par un phénomène de quasi fusion, et en conséquence, tend à affirmer la primauté de sa sonorité sur son appartenance à un type d'organisation fonctionnelle et même combinatoire. Ainsi, plus on rajoute d'harmoniques à un accord parfait et plus sa résolution fonctionnelle devient maladroite, par exemple l'accord de 7<sup>e</sup> de dominante [*sol si ré fa*] se résout facilement sur l'accord de tonique de *do*. Néanmoins si vous ajoutez à l'accord *sol 7<sup>e</sup>* de dominante des harmoniques [*sol si ré fa la do # mib fa # sib*, etc.] la résolution tonale devient parfaitement plate et sans signification, à tel point que l'on conseille dans les études d'écriture de résoudre la neuvième de dominante avant la cadence parfaite, afin d'éviter la platitude de la cadence parfaite avec résolution de neuvième simultanée. Contrairement à Schoenberg, Debussy ne détruit pas un système pour en rétablir un autre mais libère le mouvement sonore des contraintes tonales de la résolution et opère une mutation sur le système. Debussy fait éclater le système tonal de «l'intérieur».

Afin d'exposer plus clairement ce phénomène, je vais m'inspirer d'un exemple tiré de *Nuages* (première pièce des trois *Nocturnes* pour orchestre) dont le début n'est pas sans rappeler celui du *Prélude*.

Je ne vais pas analyser l'œuvre, mais juste étudier un procédé d'écriture particulier employé par Debussy. Les problèmes de pôles harmoniques, de variations mélodiques, de proportions temporelles, d'oppositions des métriques, de forme, etc., ne seront pas exposés.

Le moyen mis en place par le compositeur pour travailler le phénomène harmonique, et par extension le timbre, cela, sans faire appel aux techniques traditionnelles de tension par modulation ainsi qu'éloignement du ton principal, m'a paru extrêmement intéressant à mettre en lumière. Même s'il est possible d'analyser tonalement cette œuvre, Debussy n'utilise plus l'accord par rapport à sa fonction harmonique dans le système tonal, mais bien sa couleur spécifique, sa densité, sa capacité de stabilité ou d'instabilité, ainsi que son épaisseur. Par exemple : l'accord de neuvième de dominante n'est pas un accord de dominante et n'entraîne pas une cadence (parfaite ou évitée), il est simplement un agrégat qui possède une certaine richesse harmonique et sonore. C'est ainsi que, à la mesure qui précède le chiffre 2, il peut se permettre d'écrire une suite d'accords de neuvième de dominante sans jamais être lié aux fonctions tonales, ces accords nous apparaissant comme une qualité de timbre particulière, que l'on peut opposer à une autre qualité de timbre : l'accord de quinte ou le triton [voir exemple 10]. De même la résonance de sol 9<sup>e</sup> de dominante que l'on trouve de la 7<sup>e</sup> mesure du chiffre 2 au chiffre 3 n'a pas pour fonction de nous amener dans la tonalité de *do* majeur, mais correspond simplement à une couleur particulière qui nous renvoie à la première entrée du cor anglais, que l'on retrouvera d'ailleurs par la suite.

Ainsi, il établit un processus construit comme une phrase classique : arsis, accent, thésis (afin de parcourir la schéma tension-détente).

#### A) L'arsis est en deux parties :

- 1- exposition de la cellule (4 premières mesures) [voir exemple 9] et désinence de cette cellule (une mesure avant le chiffre 2)
- 2- évolution de cette cellule par progression de tierces mineures sur une harmonie fixe de sol 9<sup>e</sup> dominante (7<sup>e</sup> mesure du chiffre 2 à une mesure avant le chiffre 3) et retour de la première désinence (chiffre 3) avec néanmoins une épaisseur harmonique différente [voir exemple 10];
  - au chiffre 2: succession d'accords de 9<sup>e</sup> de dominante [A]
  - au chiffre 3: succession d'accords de quinte [B]
  - au chiffre 7: succession d'accords de triton [C]



*Exemple 9.*

*Exemple 10.*

B) l'accent soutenu par le tutti est tout simplement au chiffre 4 et dure une mesure [voir exemple 11]



*Exemple 11.*

C) la thésis est en deux parties :

- 1- élision progressive de la densité harmonique (2<sup>e</sup> mesure du chiffre 4 à une mesure avant le chiffre 6)
- 2- reprise de la première exposition avec sa désinence (chiffre 6 au chiffre 7)

Afin de renforcer l'accent du chiffre 4, Debussy y va juxtaposer un autre processus bâti sur du chromatisme (négation de la cellule principale) se prolongeant sur une note fixe (*lab* permettant d'amener le *sib* du point culminant dans le prolongement du processus de progression [voir exemple 12]), qui débute 5<sup>e</sup> mesure du chiffre 3 au chiffre 4. Le premier processus se poursuit de manière souterraine (cordes puis bois), ce qui a pour conséquence de multiplier la tension par l'opposition de ces deux processus et donc d'amener une rupture d'équilibre aboutissant à l'accent (climax de ce mouvement).



*Exemple 12.*

Ce qui me paraît donc tout à fait moderne est l'existence d'un principe d'évolution qui se trouve amené à une rupture d'équilibre par la confrontation avec un processus de nature opposée. Cette cellule de seconde majeure et tierce mineure se trouve compressée par le chromatisme, qui, lui-même, se trouve compressé par la note fixe (processus de compression intervallique : tierce mineure => ton => demi-ton => unisson). C'est grâce à cette compression que la cellule réapparaît au point culminant (chiffre 4), comme si l'on enfermait de l'eau dans une poche en plastique et qu'à force de serrer cette poche, elle finissait par exploser, laissant de ce fait s'échapper l'eau avec grande force. Berlioz, dans la *Symphonie fantastique*, utilise presque le même procédé (toutefois plus rudimentaire) dans le premier mouvement, avant le climax, joué par les cuivres.

On pourrait multiplier les exemples pour démontrer que Debussy ne travaille plus l'harmonie dans un contexte tonal car chez lui, l'harmonie est trop fortement liée au timbre. Il est impensable de « ré-harmoniser » un passage chez Debussy alors qu'on pourrait le faire chez Ravel et même chez des compositeurs plus récents, car l'harmonie qu'il utilise n'est pas liée à la phrase musicale (ce n'est pas de la mélodie accompagnée), elle est la phrase musicale, par extension, le timbre. Imaginons le début du *Prélude à l'après-midi d'un faune*, orchestré différemment (en remplaçant la harpe par des traits de bois par exemple). Ce serait détruire l'essence même de cette phrase, alors que nombre d'œuvres classiques, romantiques et même contemporaines, supporteraient tout à fait bien, et pour certaines nécessiteraient même, une ré-orchestration. En présence de ces « harmonies-timbres », Debussy se trouve confronté d'une part au problème des moyens qu'il doit utiliser pour rendre cohérente et intelligible une succession d'événements musicaux fondés sur ces nouveaux matériaux, d'autre part aux outils d'écriture qu'il doit mettre en place pour travailler ces mêmes matériaux. On ne peut concevoir un sculpteur travaillant la pierre et le bois avec les mêmes outils.

Abandonnant les principes classiques de cadence tonale et de modulation harmonique, Debussy met en place la notion de *processus* (souvent basé sur le schéma de tension → détente). Notion qu'il développera dans toute son œuvre et qui ne sera reprise que plusieurs dizaines d'années après, principalement chez Ligeti, mais aussi chez les compositeurs généralement regroupés au sein du courant de «musique spectrale». Entre-temps, les techniques de juxtaposition issues de l'influence des musiques dites populaires basées sur la variation (Stravinsky, Scriabine, Jolivet, Messiaen, Varèse, etc.), ainsi que les techniques combinatoires contrapuntiques (Boulez, Stockhausen, etc.) vont complètement évacuer l'acquis debussyste au profit d'un travail expérimental sur des notions plus abstraites et souvent mal définies, liées à la volonté d'intégrer dans l'écriture les différents champs musicaux jusqu'alors écartés des techniques d'écritures traditionnelles (percussions, formes ouvertes, électronique, sons concrets, arythmie, espace, etc.).

S'il semble que l'évolution de ces principes ait été stoppée après Debussy, c'est que le monde musical n'était pas prêt à suivre la voie tracée par cet illustre compositeur. Il fallait «balayer la poussière», évacuer définitivement la tonalité, pousser les techniques traditionnelles d'écriture vers leurs plus extrêmes limites (bien des fois jusqu'à l'absurde), expérimenter la genèse des nouveaux timbres, etc., et ceci avant de pouvoir continuer librement à l'intérieur de ce nouveau mode de pensée artistique, et tel a été le rôle des générations des années 1950-1960. C'est seulement après cette période que certains compositeurs sont revenus, souvent malgré eux, à des notions plus proches des réalités musicales, et plus étroitement liées aux matériaux fournis par l'élément technologique. Celui qui me semble représenter le mieux cette tendance, grâce à l'intégration des procédés développés dans la musique électro-acoustique à la musique instrumentale, est sans aucun doute le compositeur hongrois György Ligeti.

## II. Le timbre et l'écriture

### 1. *Influence de l'électroacoustique*

C'est au contact de Stockhausen à Cologne vers 1958 que Ligeti, jusqu'alors compositeur «folkloriste» dans la tradition hongroise et bartokienne, découvre la musique électroacoustique et change littéralement de style, s'engageant dans la musique d'avant-garde. C'est à cette époque qu'il prend conscience de la puissance des outils employés dans les studios pour travailler des matériaux aussi complexes que peuvent l'être les sons concrets, et qu'il perçoit les nouveaux modes d'écriture qui en découlent, ainsi que les nouveaux champs qui s'ouvrent à la musique.

Le problème qui se pose est celui de la notion même du timbre et des possibilités conceptuelles de celle-ci. Le timbre diffère des autres paramètres musicaux (hauteurs, durées, etc.) en ce sens qu'il est la conséquence de l'interaction de tous ces paramètres et qu'en cela il s'apparente plus à une phrase musicale [arsis (transitoire d'attaque), accent (sommet), thesis (transitoire d'extinction) et donc à la synthèse de plusieurs paramètres] qu'à un paramètre neutre aux possibilités combinatoires étendues. Le timbre contient donc en lui un processus formel qui par définition le rend difficilement malléable par les

outils traditionnels. D'ailleurs, les compositeurs qui ont voulu appliquer les techniques traditionnelles aux timbres ont tous abouti à des impasses. Ligeti est parfaitement conscient du problème et c'est pourquoi, dès 1960, il tourne le dos aux techniques sérielles et produit les œuvres parmi les plus nouvelles de sa génération, alors même qu'il était l'un des derniers à se convertir au mythe de la modernité. L'aspect fusionné du timbre et sa trop grande rigidité formelle (créant quelquefois, par des mécanismes centrifuges, des polarités formelles difficiles à éviter) vont le détourner des studios, et c'est à partir de ce constat qu'il va créer un compromis grâce à l'écriture instrumentale : la texture, compromis entre la fusion et l'écriture, étape intermédiaire entre le timbre et la polyphonie, champ à l'intérieur duquel le mouvement sonore se comporte comme un timbre tout en se libérant des contraintes fusionnelles.

C'est à la lumière de cette révolution que Ligeti nous pousse à redéfinir les rapports matériaux → écriture → forme, et qu'on tend à entrevoir au fil des années la différence importante entre le *matériau sonore* et le *matériau musical* (la musique serielle ayant eu tendance à confondre les deux par l'importance donnée à la structure). C'est ainsi qu'il convient de bien préciser certaines notions importantes concernant les procédés d'écriture employés par Ligeti.

Il faut dissocier la micro-polyphonie développé par Ligeti, de la polyphonie traditionnelle. En effet, leurs provenances sont radicalement différentes. La première est issue de l'univers technologique du xx<sup>e</sup> siècle et en particulier des techniques employées dans la musique électroacoustique (à notre époque, électronique), alors que la deuxième est issue de la tradition vocale du Moyen Age donnant naissance au contrepoint et à ses techniques. Ainsi, le canon ne doit pas être pensé comme tel chez Ligeti, mais comme un organisme d'écho (régulier ou irrégulier) ou de réinjection. Le canon est un procédé qui organise un contrepoint (polyphonie), alors que chez Ligeti, il sous-tend une texture, et même un timbre lorsque la texture arrive à un seuil qui la fait basculer dans un état fusionné. Ce que recherche un compositeur lorsqu'il utilise des méthodes contrapuntiques, c'est de conserver une certaine indépendance des voix (on est dans un univers de fission) afin de les discerner le mieux possible. Dans le cas de Ligeti, ce qu'il recherche n'est pas de percevoir les voix mais bien au contraire de les fondre et d'en dégager une globalité : une texture. Les compositeurs de musique électro-acoustique ont développé des outils leur permettant principalement de travailler le timbre et non la hauteur (la durée et non le rythme, etc.). Le fait de renverser un son, de le démultiplier en le passant de manière rapprochée à l'intérieur de chambres d'écho avec des variations de vitesses, de le réinjecter en le lisant et l'enregistrant dans une boucle sans fin, en accélérant un mouvement, de le mettre dans une chambre de réverbération et de créer des trames sonores en coupant les attaques, etc., sont autant de procédés qui « sculptent » le timbre.

Bien entendu, on trouve des similitudes entre ces différentes techniques. Néanmoins, il est primordial de bien les situer à l'intérieur des processus de pensée dans lesquels elles sont apparues, afin d'éviter de fâcheux contresens. Ainsi parler de forme canonique chez Ligeti c'est faire une confusion fondamentale, entraînant bien souvent des erreurs de lecture de ses partitions.

Le *Kammerkonzert* (Édition Schott-Londres) fut terminé en 1969-1970. Il représente sans aucun doute l'une des œuvres maîtresses du compositeur (tout du moins, son œuvre la plus aboutie). Elle est écrite pour 13 instrumentistes et fut composée pour l'ensemble « Die Reihe » à Vienne. C'est dans cette partition que Ligeti expérimente d'une manière presque systématique les procédés

d'écriture, qui, dix ans plus tôt, l'avaient impressionné dans la musique électronique au contact de Stockhausen.

Comme nous l'avons déjà expliqué, nous sommes en présence d'une technique qui se rapproche de la forme canonique, mais qui est directement inspirée des techniques électroacoustiques.

La pièce commence par une cellule reprise de manière irrégulière (sur le plan rythmique) en écho aux autres voix (voir Ex. 13). Ce procédé trouve son équivalence électroacoustique lorsque l'on croise des réinjections de la même cellule. Un effet à la fois d'écho et d'irrégularité apparaît de façon significative.



*Exemple 13.*

Le processus passe aux cordes mesure 5 puis revient aux bois avec un ralentissement toujours irrégulier mesure 8, pour finir aux cordes mesure 10. Le registre est volontairement bloqué entre *fa*# et *sib* afin de créer une tension et d'empêcher un phénomène mélodique de se produire. Le cor est le premier à faire évoluer l'ambitus en y ajoutant un *si* mesure 14. Cet élément nouveau est particulièrement important car il contraste fortement avec ce qui précède en y ajoutant une nouvelle dimension. Tout le début consiste en une évolution des timbres et des rythmes (accélération, ralentissement, changement de groupe instrumental, etc.) sur un registre fixe (on pense à *Farben*). A la mesure 14, une nouvelle dimension (celle des hauteurs) commence à évoluer et à imposer sa directionnalité. On se retrouve dans un ambitus qui va du *sol* au *si* (soit un demi-ton au-dessus). Ensuite il se produit un phénomène de dilatation commencé par le célesta mesure 18 (ajoutant un *do*). Arrivé à la note la plus haute donnée par la flûte mesure 26 (un *ré*), Ligeti entame une compression sur cette note aboutissant au trille *do*#-*ré* à la mesure 34 (voir Ex. 14). Ce trille apparaît pour la première fois (sur un intervalle de seconde majeure au célesta) mesure 7 : aboutissement d'un processus d'accélération rythmique.

Le phénomène de compression qui va de la mesure 31 à la mesure 38 produit un état de rupture d'équilibre qui aboutit à l'éclatement des registres mesure 38 (*mib* sur 6 octaves). Ces phénomènes de rupture d'équilibre que nous avions déjà observés chez Debussy sont ici pensés de manière systématique. Il est intéressant de constater que l'octave est le contraire du cluster et que Ligeti use de cette opposition non pas de manière dialectique mais en amenant l'un à devenir l'autre par un procédé d'attraction ; une sorte de parcours basé sur des champs gravitationnels, créant de par leur nature des courants dynamiques opposés. Ces courants sont la conséquence de ces phénomènes d'attraction et non la cause.



*Exemple 14.*

A partir de la mesure 38 un deuxième processus va naître qui consiste en une accélération du motif doublé à plusieurs octaves (procédé d'égalisation simplifié) de manière différente et ralentissant sur la fin. Ligeti va utiliser un procédé qui consiste à ne jeter que quelques éclairages sur ce processus comme si l'on faisait tourner une bande magnétique et que l'on ouvrait le potentiomètre durant certains intervalles de temps, découvrant le processus par intermittence. La première « fenêtre » se trouve au début ; c'est le *mib* dans son état le plus lent c'est-à-dire immobile.

La deuxième fenêtre se trouve mesures 49 et 50 : le motif est déjà plus rapide. La troisième et dernière fenêtre nous fait apparaître l'aboutissement du processus avec le maximum d'accélération aux mesures 56 à 59 (voir Ex. 15) puis le ralentissement de la fin aux mesures 60 et 61. Ce procédé est tout à fait influencé par ce que l'on pratique sur une table de mixage lorsque l'on a plusieurs bandes magnétiques qui tournent simultanément et que l'on joue sur le passage de l'une à l'autre.

Dans le troisième mouvement, le passage hétérophonique qui commence à la lettre J et finit à la lettre N correspond tout à fait au style de superposition que l'on trouve dans la musique électro-acoustique. Le procédé s'apparente à la lecture simultanée de bandes magnétiques sur lesquelles seraient enregistrés des « tics » se répétant à des vitesses différentes.

Les superpositions que l'on pouvait remarquer dans les partitions plus anciennes étaient bâties à partir de la mètre. Que ce soit dans *Don Giovanni* de Mozart ou chez Stravinsky, on ne superposait pas des tempi, mais des métriques et des phrases mélodiques de carrures différentes. Dans le *Kammerkonzert*, Ligeti superpose véritablement des tempi.

*Exemple 15.*

C'est avec une certaine difficulté, d'ailleurs, qu'il les écrit à l'intérieur de la mètre traditionnelle afin que ce passage soit « jouable » par un ensemble instrumental et pose ainsi le problème de l'approximation :

le piccolo <i>sol</i> 5	= 120 à la noire
le hautbois <i>fatt</i> 5	= 187 à la noire
la clarinette 1 <i>fa</i> 5	= 133 à la noire
la clarinette 2 <i>mi</i> 5	= 107 à la noire
le piano <i>ré</i> 5 et <i>mib</i> 5	= 140 à la noire
le clavecin <i>si</i> 4, <i>do</i> 5 et <i>réb</i> 5	= 280 à la noire
le cor <i>sib</i> 0	= 90 à la noire
le trombone <i>sib</i> 0	= 80 à la noire
la contrebasse <i>sib</i> 0	= 100 à la noire

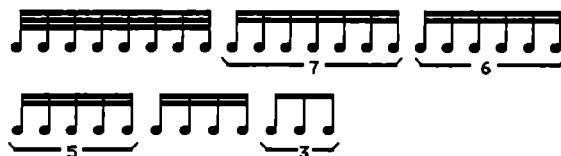
Sans tenir compte des cordes, l'accord est en deux parties :

- le *sib* grave des cuivres et de la contrebasse
- un cluster de *si* 4 à *sol* 5 au reste de l'ensemble.

A l'intérieur du cluster, le *mi* 5 joué par la deuxième clarinette est la note pourvue du tempo le plus lent (107 à la noire) et correspond au centre de gravité du cluster (187 → 133 → 107 ← 140 ← 280). En effet, plus les notes se rapprochent de ce *mi*, plus elles ont un tempo lent, plus elles s'éloignent, plus leur tempo s'accélèrent. Cette particularité permet de faire le lien entre ce *mi* et celui du début du troisième mouvement.

*Exemple 16.*

En fait, ce passage correspond à l'aboutissement du processus qui s'est enclenché au début du troisième mouvement. Si l'on analyse les mesures 1 à 5, on constate deux évolutions: d'une part la dilatation harmonique (voir Ex. 16), d'autre part l'accélération rythmique lorsque l'on progresse vers l'aigu (*mi, fa et fa #*) et le ralentissement lorsque l'on progresse vers le grave (voir Ex. 17).



*Exemple 17.*

Comme nous l'avons constaté, Ligeti ne dévoile jamais un processus dans son intégralité mais ne laisse apparaître que certaines étapes de son évolution (on peut remarquer que l'imbrication des mouvements du *Marteau sans Maître* de Pierre Boulez produit un résultat sonore qui n'est pas sans avoir certaines similitudes avec le procédé de «fenêtrage» [bien que chaque fois qu'une idée réapparaisse, elle soit variée, alors que Ligeti ne varie pas des motifs mais enclenche des processus]). Ainsi, dans ce mouvement, le processus réapparaît d'une manière courte mesure 32 à E, puis mesure 42 à I pour aboutir mesure 46 à J. Ici, chaque élément disparaît par elision (comme nous l'avons déjà remarqué chez Debussy), technique directement inspirée de la réinjection au moment où l'on coupe la source et où la réinjection s'arrête d'elle-même par usure.

On pourra faire remarquer que les procédés employés par Ligeti ne correspondent pas de façon parfaite aux procédés employés dans la musique sur bande. Mais c'est justement le «plus» que leur apporte l'écriture, alors que dans leurs applications électroacoustiques, ces procédés sont figés. L'écriture permet de se libérer de ces entraves et d'ajouter des éléments qui n'auraient pu être réalisés sur une bande magnétique (irrégularité, correspondances formelles, structuration plus grande, etc.). Tristan Murail dans son œuvre *Mémoire/Erosion* transpose plus précisément les techniques de studio à l'univers instrumental. Il semble en cela radicaliser, du moins pour un temps, la pensée musicale de Ligeti. Même si cette radicalisation est parfois critiquable, elle a permis de stabiliser la notion de processus comme procédé d'écriture applicable à tous les paramètres sonores, de redécouvrir la notion de parcours et de remettre au «goût du jour» le temps musical dans sa continuité et dans sa flexibilité. Les possibilités de compresser le temps, de le dilater, de le ralentir, de l'accélérer, étaient autant de techniques parfaitement maîtrisées par les compositeurs plus anciens (Wagner, Debussy,...) et complètement niées par l'avant-garde de l'après-guerre.

C'est dans la perspective de cette redécouverte qu'il fait situer une tendance qui a commencé avec deux compositeurs français dans les années 1970, pour s'élargir à d'autres pays chez des générations plus jeunes. Cette tendance est née au sein du groupe *l'Itinéraire* et est souvent nommée : «musique spectrale».

## 2. Musique spectrale

Tristan Murail et Gérard Grisey vont poursuivre la trajectoire commencée par Ligeti, en prenant racine dans l'univers technologique, et vont redécouvrir certaines règles puisées dans le répertoire classique dont la notion de tension/détente, souvent revendiquée par Gérard Grisey, est le principal élément. On peut dire qu'ils ont tenté de faire une synthèse entre la pensée musicale de Ligeti et la richesse de l'univers harmonique, particulièrement développée en France. Cette synthèse a entraîné la revendication majeure de ce groupe : l'intégration du timbre dans la notion d'écriture. Cette intégration va déboucher sur l'idée de modélisation à partir de la réalité acoustique.

Grisey, ayant suivi les cours d'Emile Leipp à l'Université de Jussieu au début des années 1970, disposera d'analyses spectrales de sons instrumentaux. C'est à partir de ces documents qu'il va imaginer la possibilité de synthétiser artificiellement un timbre à l'aide d'un groupe instrumental. Ainsi, le support harmonique ne va plus résulter d'une combinatoire, mais va être bâti à partir des spectres instrumentaux (d'où le nom donné par Hugues Dufourt, dans un article paru dans le compte rendu des journées de la S.I.M.C., de «musique spectrale»). Les notes jouées par les instruments vont être les harmoniques de ces spectres et l'orchestration sera faite en fonction des amplitudes issues des sonogrammes d'Emile Leipp.

On pourrait bien sûr trouver des antécédents (Stravinsky, Ravel...), mais ici, la révolution est profonde. Pour la première fois un compositeur s'inspire de manière évidente et rigoureuse des paramètres du timbre pour construire son orchestration et générer ses modèles harmoniques. L'accroissement de l'importance du timbre tout au long des siècles dans la musique occidentale nous amène logiquement vers une étape où celui-ci s'intègre dans la pensée même du compositeur. Gérard Grisey réalise le passage entre le timbre comme coloration, et le timbre comme matériau formel. Il se trouve à la charnière entre les deux mondes, et l'importance de ses découvertes, ainsi que leur impact sur l'évolution de la pensée musicale, sont loin d'être perçus et compris.

*Partiel* (Éditions Ricordi-Milan) fait partie du cycle «Les Espaces Acoustiques» qui commence par une pièce pour alto solo et finit par une pièce pour grand orchestre, chaque pièce intermédiaire utilisant une formation de plus en plus grande :

- Prologue (1976)
- Périodes (1973-74)
- Partiels (1975)
- Modulations (1976)
- Transitoires (1980-1981)
- Épilogue (1985)

Chaque pièce peut être jouée séparément ou à l'intérieur du cycle. Ce cycle est certainement l'une des œuvres les plus originales de notre époque.

*Partiels* se situe donc au centre de ce cycle et dure approximativement 23 minutes. La pièce écrite en 1975 regroupe une formation de 18 musiciens. Je ne vais analyser que le début de la partition. L'écriture de ces pages a été influencée par le spectre instrumental du *mi* grave du trombone. Après un *mi* répété à la contrebasse et tenu au trombone, l'ensemble instrumental va émettre le spectre de cette note de la manière suivante :

— harmonique 1	→ <i>mi 1</i>	→ Trombone	→ ff
— harmonique 2	→ <i>mi 2</i>	→ Contrebasse	→ ff
— harmonique 3	→ <i>si 2</i>	→ Clarinette 1	→ f
— harmonique 5	→ <i>solt 3</i>	→ Violoncelle	→ f
— harmonique 7	→ <i>ré 4</i>	→ Alto 1	→ mp
— harmonique 9	→ <i>fa# 4</i>	→ Alto 1	→ mp
— harmonique 11	→ <i>la q 4</i>	→ Piccolo	→ mf
— harmonique 13	→ <i>do q 5</i>	→ Violon 3	→ pp
— harmonique 15	→ <i>ré# 5</i>	→ Violon 2	→ p
— harmonique 17	→ <i>fa 5</i>	→ Violon 3	→ pp
— harmonique 19	→ <i>sol 5</i>	→ Violon 2	→ p
— harmonique 21	→ <i>la 5</i>	→ Violon 1	→ pp

Ainsi peut-on remarquer les différences d'intensité de chaque note (correspondant aux différences d'amplitude données par le sonogramme), l'importance des harmoniques fondamentales, et paradoxalement de la 11<sup>e</sup> harmonique (*la#4*) au piccolo. Tout ceci correspond à un état acoustique dans lequel les éléments se fondent les uns dans les autres, afin de créer une image fusionnée d'une couleur sonore particulière (ici le trombone). Le compositeur recherche artificiellement cette fusion. L'arrivée des harmoniques est, elle aussi, conditionnée par l'enveloppe caractéristique du trombone. Les notes sont en rapport harmonique les unes avec les autres, ce qui renforce la possibilité de fusion spectrale (voir Ex. 18).

Ainsi, Gérard Grisey expose le matériau sonore qui se trouve répété plusieurs fois sans aucune variation ni aucune transformation. Le premier changement apparaît à la deuxième mesure du chiffre 1 (page 2). L'accord reste le même mais seules les amplitudes sont différentes. Donc, la première instabilité n'est pas due au contenu harmonique mais bien à l'équilibre entre les fréquences. Par exemple, l'harmonique 21 qui se trouvait au violon 1 est joué par le deuxième piccolo avec une intensité « *mp* » (donc très différente de la première « *pp* »). La différence entre le volume du violon et celui du piccolo, ainsi que celle des intensités, concourt à changer littéralement toute la couleur de cette « harmonie-timbre » en déstabilisant l'exposition initiale du matériau sonore, c'est-à-dire en le transformant en un matériau musical.



Exemple 18.

Ce procédé est utilisé jusqu'au chiffre 7 (page 8). L'opposition entre le procédé de répétitions obstinées du même dispositif harmonique, et l'instabilité de ce qu'on appelle l'enveloppe spectrale (enveloppe d'amplitude) crée une tension suffisante pour faire basculer le processus. A partir du chiffre 7, un deuxième processus apparaît qui consiste à transposer dans le grave progressivement toutes les hauteurs afin de rendre inharmoniques leurs rapports avec la fondamentale.

Dans l'exemple 18, le premier accord est celui du début de la pièce. Le deuxième se trouve au chiffre 7. La première remarque est que l'harmonique 25 a disparu.

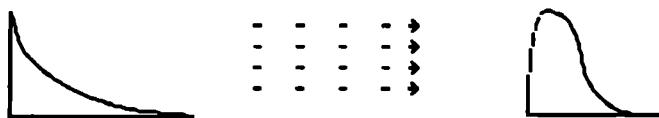
La deuxième remarque est que l'harmonique 17 (*fa*) est exposé une octave en dessous dans le deuxième accord à la première flûte, ce qui rompt son rapport harmonique avec la fondamentale *mi 1*. Le troisième accord, au chiffre 8, poursuit l'octavation des hauteurs vers le grave. A ce processus s'ajoute l'instabilité de l'émission des notes (irrégularité du souffle instrumental, des coups d'archet, ajout de glissandi d'harmoniques, etc.) conduisant vers une densification progressive du son de l'orchestre et une compression vers le grave dont l'ultime aboutissement se trouve au chiffre 12. On peut remarquer que les fréquences trop graves se transforment en battements, à l'image de ce qui se passe dans la réalité acoustique.

Gérard Grisey utilise plusieurs techniques de transformation de son matériau sonore. Il est influencé d'abord par des techniques acoustiques (sons différentiels...) puis utilise les techniques de calcul de certains sons synthétiques, de type modulateur en anneau et modulation de fréquence. Tous les processus de l'œuvre ont pour but de générer des parcours qui conduisent progressivement vers l'inharmonicité ou l'harmonicité correspondant à des phases de tension et de détente. Ce retour vers l'idée tension/détente n'a aucun rapport avec le procédé classique de tension par la dominante et résolution sur la tonique, car celui-ci contient la notion de développement par l'opposition de deux pôles se résolvant l'un dans l'autre. Chez Gérard Grisey, la tension/détente permet de créer le mouvement (souvent réduit au processus) en dehors de toute idée de résolution. Il n'y a donc pas développement mais processus.

Tristan Murail, d'une manière différente, va emprunter un chemin parallèle à celui de Gérard Grisey. Son intérêt pour l'harmonie (il était lui aussi élève de Messiaen) et pour la musique électroacoustique va l'amener à considérer d'une part la richesse apportée par l'analyse spectrale des timbres complexes, d'autre part la notion de processus.

En 1981, il réalise une pièce pour grand orchestre, *Gondwana* (Éditions Transatlantique-Paris), dont les techniques de génération harmonique vont être directement liées aux techniques de synthèse par ordinateur, et particulièrement aux recherches du compositeur américain John Chowning sur le procédé de modulation de fréquence. Tristan Murail a remarqué que, grâce à cette technique, on peut générer des sons complexes dont le timbre se rapproche de celui des cloches. Par conséquent, il ne va pas s'appuyer sur un modèle acoustique mais sur un *principe* de synthèse. La déviation que peut opérer le procédé de synthèse par rapport au modèle naturel constitue l'une des phases fondamentales du *traitement* du timbre, et donc de son écriture. Toute la puissance d'un procédé tient dans sa nature *opératoire*.

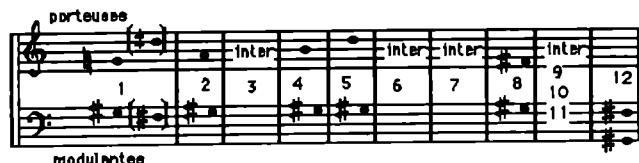
Tout le début de *Gondwana* est constitué par un processus d'interpolation/transformation entre un son de cloche et un son de trombone. La première dimension, qui est tout de suite perçue, est l'interpolation entre une enveloppe de cloche (attaque brève et extinction longue de type résonance) et une enveloppe de trombone (caractéristique des instruments à vent : des harmoniques sont introduits les uns après les autres du grave à l'aigu et une extinction rapide sans résonance) (voir Ex. 19).



*Exemple 19.*

Ce processus s'opère sur douze accords (ou harmonies-timbres) générés par modulation de fréquence, excepté le troisième qui est une intersection (ou interpolation statistique) entre le deuxième et le quatrième accord, ainsi que le sixième, le septième (intersection cinquième → huitième) et le neuvième, dixième et onzième (intersection huitième → douzième) (voir Ex. 20). Chaque modulation de fréquence est générée par une modulante (qui est  $sol\# 2$  pour l'ensemble des modulations) et une porteuse. Le principe en est simple : il suffit de multiplier la fréquence de la modulante par les indices de modulation (1, 2, 3,..., n [selon la densité harmonique que l'on

désire]) et d'additionner/soustraire le résultat à la fréquence de la porteuse. Par exemple, l'accord de la première page de l'œuvre est généré par la modulante *sol*# 2 qui se trouve au tuba (tous les autres accords ont par ailleurs cette modulante comme on peut le remarquer dans l'exemple 20) et la porteuse *sol* 3 qui est jouée par le troisième cor. La fréquence de la modulante est de 207,6523 Hz, celle de la porteuse est de 391,9954 Hz.



*Exemple 20.*

Ainsi, les deux premiers partiels de la modulation de fréquence vont être :

1) porteuse + (1 \* modulante)

[391,9954 + (1 \* 207,6523) = 599,6477 Hz c'est-à-dire *ré* # 4 se trouvant à la troisième trompette]

2) porteuse — (1 \* modulante)

[391,9954 — (1 \* 207,6523) = 184,343 Hz, *fa* # 2 se trouvant au quatrième cor] (voir Ex. 20, la première case)

Les autres partiels seront issus du changement de l'indice : [porteuse + (2 \* modulante)], [porteuse — (2 \* modulante)], [porteuse + (3 \* modulante)], [porteuse — (3 \* modulante)], ..., [porteuse ± (i \* modulante)]. Plus les partiels sont issus d'un indice éloigné, moins ils seront joués par des instruments puissants (bois, harmoniques de cordes, etc.). Ainsi l'orchestration est-elle dérivée de la technique de synthèse.

Contrairement aux autres, le douzième accord n'est pas le fruit de la modulation de fréquence (étant donné qu'il représente le modèle du spectre du trombone), mais celui de deux spectres harmoniques superposés (au lieu d'un seul spectre au regard de la réalité acoustique; autre preuve de la distance que prend Tristan Murail face au modèle) qui sont *fa* # 2 et *sol*# 1 (voir Ex. 20).

Tristan Murail s'inspire de la réalité acoustique (tout en la déviant) pour bâtir ses procédés d'écriture. Ceci nous amène à réfléchir au rapport qu'il peut y avoir entre le « naturel » et l'écriture musicale.

Comme il a souvent été remarqué, il existe un rapport dialectique entre le motif et la forme. Dans la musique du passé, la dialectique est très nette et constitue la richesse de celle-ci. Ainsi, les tensions dynamiques opérées par les pôles d'attraction dans la musique tonale obligent les mouvements sonores à se résoudre sur les axes principaux. La dominante crée une tension par rapport à la tonique, tension qui se résoudra, après plusieurs détours sur la tonique. Celle-ci peut être unique (Monteverdi, Mozart, etc.) ou multiple (Wagner, Mahler, Strauss, Schoenberg, etc.). La forme, naissant de ce mécanisme, constitue le cadre dans lequel va pouvoir se greffer le motif mélodique. La deuxième constituante de l'écriture classique est donc la thématique mélodique. Celle-ci procède non par tension (sauf dans l'opposition des caractères différents : thème rythmique/thème mélodique) mais par prolifération grâce à des procédés combinatoires d'ornementation (tropes, etc.) et de variations (mutation rythmique, mutation intervallique, etc.). La thématique est donc ce qui nous reste des musiques monodiques du Moyen Age (chant grégorien, etc.).

Contrairement à ce que l'on serait en droit de penser, il n'y a pas complémentarité entre forme et thématique, mais dialectique. Ainsi, le système formel oppose plusieurs torsions sur le motif dont deux sont évidentes : premièrement, le motif est constitué d'intervalles qui se transforment selon le

mode dans lequel celui-là est exposé (majeur, mineur) ou selon le degré de la gamme (tonique, dominante, sous-dominante, etc.). Par ailleurs, lorsque le compositeur écrit une marche harmonique, la figure qui forme cette marche va subir des mutations intervalliques afin que le mouvement ne sorte pas du ton (marche en modulante). A contrario, si la figure « résiste » à la mutation intervallique, elle va entraîner une modulation et donc créer une torsion sur le système tonal (marche modulante). De ce fait, le motif peut lui aussi créer une torsion sur le système.

Deuxièmement, dans le cas de certaines formes (fugue, sonate...), le compositeur va rechercher un thème qui sera bâti selon certains critères propres à chaque forme (renversable par rapport au contre-sujet dans le cas de la fugue, opposition des caractères dans le cas de la sonate...). Ainsi, la forme crée une torsion sur la construction même des motifs thématiques. Le motif n'est pas « plaqué » à l'intérieur de n'importe quelle forme, mais contient en lui les éléments de *symbiose* avec la forme pour laquelle il a été construit. Le motif opère une torsion sur la forme, uniquement s'il possède des éléments « communicants » (on imagine mal la mélodie du 4<sup>e</sup> *prélude* de Chopin traitée en fugatto). De ce fait, structures tonales et forme, constituant un univers « systématisé », entretiennent des relations dialectiques avec la thématique, le « développable » avec le variable, le dynamique avec l'ornemental (et vice versa).

Lorsque l'avant-garde a revendiqué l'informel, elle a rompu avec la dialectique entre forme et matériau (la dialectique entre global et paramètre ne saurait la remplacer) et a privilégié le caractère combinatoire du matériau provoquant une myriade d'œuvres statiques. L'existence de directionnalité (informel,...) tend à privilégier l'instant au détriment du parcours. De nombreux compositeurs vont donc accroître les règles de structuration, prenant leurs schémas sur les proliférations combinatoires et non sur la dialectique. Habituer dans leur apprentissage à écrire avec les cadres formels du passé, ils vont donc remplacer ceux-ci par des cadres tout aussi rigides mais sans tenir compte de leurs natures différentes ; les premiers (cadres du passé) sont des formes organiques imbriquées dans l'essence même du système tonal (relations qualitatives avec le système), les deuxièmes ne sont que des cadres limitant la prolifération (relations quantitatives avec le système). Ceci a entraîné un dérapage de la combinatoire privilégiant la *logique* du discours sur sa *cohérence*.

Mais il serait légitime de se poser la question suivante : pourquoi l'abandon du système tonal n'a-t-il pas entraîné la naissance d'un autre système, plus adapté aux nouveaux matériaux (percussions, sons électroniques, etc.) ainsi qu'aux nouveaux besoins esthétiques des compositeurs ? Pour comprendre cela, il faut se rendre compte que les arts ne sont pas les seules activités humaines à subir ce genre d'affaiblissement et d'hésitations. La naissance des doctrines à l'intérieur de toutes les disciplines (politique, philosophique, artistique, linguistique, etc.) en est une des conséquences directes. Edgar Morin explique parfaitement les mécanismes de genèse des doctrines par la *rationalisation*, les opposant à ceux qui conservent aux idéologies leurs capacités d'ouverture, permettant le rapport dialectique avec le réel par la *rationalité*.

Dans le premier cas, le système se ferme au réel afin de préserver les structures logiques qu'il génère. Il prend l'aspect d'une tautologie. En musique, la combinatoire sérielle privilégie la multiplicité des combinaisons et la logique de leurs existences comme génétiquement issues du matériau (par proliféra-

tion), sur leurs capacités à prendre en compte les contraintes perceptives. On abouti à un système qui s'est complètement fermé sur lui-même (se transformant en doctrine) organisant des partitions hermétiques, incommuniquables et d'une pauvreté artistique digne des œuvres les plus académiques du passé (sans parler de l'intolérance à l'égard des autres familles de pensée). La logique et l'apparente pureté du raisonnement combinatoire expliquent l'en-gouement des générations de cette époque pour le sérialisme, recherchant des certitudes dans un monde en constante mutation.

Dans le deuxième cas, le système s'ouvre au réel. Il subit de nombreuses contradictions à l'épreuve du complexe. Le «beau» raisonnement logique qui prévaut dans le premier cas ne peut résister longtemps à la pression de la complexité du réel. C'est à ce niveau que la démarche de Gérard Grisey et de Tristan Murail est fondamentale. Contrairement à l'idée souvent répandue qui tend à conférer la dimension acoustique réelle essentiellement à la catégorie des phénomènes adjacents, la réalité acoustique ne génère pas de système mais, par ses structures et ses relations avec la perception, *participe de manière dialectique au système et donc, constitue l'un des éléments moteurs du processus musical*. Par conséquent, il n'y a pas de rapport simple entre forme et matériau, mais une complexité de relations qui s'opposent et se complètent. Le langage musical entretient une symbiose complexe avec les couples acoustique/perception et matériau/forme. Comme on peut l'imaginer, le simplisme des théories de «naguère» n'a fourni que des syllogismes, incapables de prendre en compte toute la richesse qu'apporte l'opposition acoustique/perception et donc perception/écriture, niant la plupart des qualités profondes que doit posséder avec raffinement toute œuvre d'art: l'émotion, la sensualité, l'intuition, la sensibilité, l'imagination, le hasard des découvertes, etc., exclues à jamais de la très sérieuse «science musicale».

En ce qui concerne le couple logique/cohérence, il est important de préciser ce qui les définit. La logique poursuit un processus sans détour et sans dérive. La cohérence correspond à un état d'équilibre (souvent fragile) entre des logiques différentes et parfois qui s'affrontent. La cohérence gère donc le complexe alors que la logique gère le simple (aussi compliqué soit-il). Si l'on trouve une certaine beauté à un raisonnement mathématique, c'est dans la qualité de sa logique, alors que la beauté d'une œuvre d'art se trouve dans sa cohérence propre, d'où la difficulté d'appréhender le chef-d'œuvre, de l'expliquer, de le justifier. Pour l'analyse artistique, autant de logiques feront apparaître autant d'aspects de l'œuvre d'art; néanmoins, c'est dans l'ensemble de plusieurs facteurs souvent contradictoires que réside la surprenante beauté d'une partition, d'un tableau ou d'un poème. L'émotion artistique ne peut naître d'un comportement *analytique* engendrant une interprétation logique, mais nécessite un esprit de *synthèse* (qualité qui n'est d'ailleurs pratiquement pas développée dans les systèmes éducatifs occidentaux, tous imbibés de techno-science). C'est par la cohérence que naît le «sens musical», non par le sens comme vecteur, mais le sens comme résultante de la globalité de l'œuvre. C'est cette idée qui a été occultée par l'avant-garde, ne voyant dans l'œuvre musicale qu'un jeu de logique et de combinaison alchimique, évacuant l'aspect fondamental qui fait de la musique un art: le sens. Il est important qu'aujourd'hui, le musicien ne soit plus un artisan comme il l'est devenu durant les années 1950-1970, mais redevenne un artiste à part entière ne développant plus une technique mais un style, aussi complexe soit-il.

### 3. La relation timbre/processus/technologie

Les résultats musicaux de la génération qui suit sont souvent très différents de ceux de leurs aînés. Cela tient au fait que certains jeunes compositeurs prennent du recul par rapport au modèle « spectral » et que d'autres restent attachés à certains principes d'organisation serielle. Les problèmes musicaux sont différents. Il ne s'agit plus de mettre en place la notion de processus et d'intégrer le timbre à l'écriture, mais de rechercher avec les nouveaux matériaux sonores des solutions originales d'organisation formelle. La directionnalité est maintenant « rentrée dans les mœurs » (elle avait été abandonnée par la génération post-sérielle). Le problème est de redécouvrir, à partir de ces nouvelles données que nous avons établies avec Ligeti et le courant de « musique spectrale », toute la richesse de la dialectique forme/structure.

Ce qui différencie fondamentalement cette nouvelle génération des générations antérieures est l'appropriation quasi unanime de la technologie la plus sophistiquée, en particulier de l'informatique. Tous les problèmes ne vont pas miraculeusement se résoudre grâce à la technologie, mais celle-ci a déjà permis à quelques compositeurs de complètement dépasser les précédentes préoccupations.

La technologie permet d'abstraire le modèle d'un timbre, de lui donner une dimension structurante. Le fait d'utiliser un spectre d'instrument et de le plaquer à l'orchestre est un pas important qui a nécessité une technologie d'analyse du timbre (sonogramme, etc.) tout à fait élaborée. Sans cette technologie, Gérard Grisey n'aurait jamais pu réaliser *Partiels*. Néanmoins, l'ordinateur correspond à une phase ultérieure qui consiste à intégrer la puissance de l'écriture comme opérateur, au timbre. Il permet de partir du timbre comme élément statique, comme modèle, et d'en déduire des champs formels. L'ordinateur peut générer, à partir de ces modèles, des timbres complètement nouveaux, mais aussi peut les organiser selon certaines règles, les transformer s'il y a lieu, créer des classes de proximités ou des différences de couleur, opérer des distorsions sur le processus comme sur le matériau sonore, spatialiser ses sons, forcer certains timbres à ressembler à d'autres pour des besoins formels, organiser en parallèle l'aspect instrumental et électronique d'une œuvre mixte (et gérer l'interconnexion), etc. Le bond en avant est immense et correspond au besoin profond d'intégrer l'univers des timbres électroniques (dont la qualité augmente d'année en année) au discours musical le plus riche possible. Ligeti avait parfaitement compris qu'en l'état de la technologie à son époque, il ne pouvait pas donner une dimension structurante/thématische au timbre (concret et électronique). C'est pourquoi il s'est tourné vers le monde instrumental. Actuellement, il est possible de le faire et certains compositeurs empruntent déjà cette voie.

Il serait difficile dans cet article de disséquer certains travaux qui vont dans ce sens, et cela pour deux raisons : la première est que ces recherches sont toutes récentes et pour certaines n'ont pas encore fait l'objet d'une réalisation musicale ; la deuxième est qu'elles sont particulièrement complexes et nécessiteraient un article à part (ce qui ne saurait tarder). Mais, à travers certains exemples pris dans le répertoire contemporain, je tiens à montrer les ébauches de ces nouvelles techniques d'écriture utilisant la technologie comme source sonore, mais aussi comme outil d'organisation.

La première œuvre choisie est *Io* (Edition Hansen-Copenhague) du compositeur finlandais

Kaija Saariaho (née en 1952). Cette partition a été réalisée à l'I.R.C.A.M. en 1986 et regroupe un ensemble instrumental augmenté de quelques procédés de transformation et une bande magnétique entièrement générée numériquement. Ce type de formation (musique mixte) a souvent été utilisé par Kaija Saariaho (*Jardin secret II* pour clavecin et bande magnétique, etc.). La nomenclature est : un groupe de trois flûtistes jouant de la flûte piccolo à la flûte basse en passant par la flûte en *do* et la flûte alto, deux cors, un trombone, un tuba, deux percussionnistes, un piano/célesta, une harpe, deux violons, un alto, un violoncelle et une contrebasse.

Pour le passage que je vais analyser, le compositeur est parti de l'analyse d'un multiphonique de contrebasse pour élaborer sa structure harmonique. L'analyse faite par ordinateur comporte de trop nombreux paramètres. Il a fallu donc élaborer une technique d'analyse permettant de réduire au minimum l'information spectrale du timbre sans en altérer la structure. Pour cela, il a fallu choisir entre les partiels qui ont une importance structurelle fondamentale pour la reconnaissance du timbre et les autres qui constituent un ensemble n'ayant qu'une fonction secondaire. Par comparaison, si l'on analyse une voyelle dite par deux personnes, certains paramètres vont être déterminants pour comprendre la voyelle quel que soit le locuteur. Les autres paramètres correspondent aux timbres différents de la voix. La difficulté est de déduire de n'importe quel timbre ce qui est pertinent pour la perception de ce qui est adjacent. Pour cela, les recherches en psychoacoustique ont permis de mettre en place des systèmes de poids affectés aux partiels, à partir d'études sur la perception. Kaija Saariaho a utilisé l'algorithme du psychoacousticien allemand Ernest Terhardt (l'implémentation a été réalisée par Gérard Assayag), afin de dégager d'un timbre complexe une structure harmonique. Pour illustrer cette idée, je vais juste décrire un exemple qui se trouve à la page 13 de la partition d'orchestre.

Avant ce passage, il y a un solo de la bande magnétique. Ce solo commence par du bruit évoluant dans l'ambitus sonore. Plus il évolue, plus il se trouve filtré par des filtres numériques. Le compositeur va réduire de plus en plus la largeur de bande des filtres. Le résultat sonore est que le bruit se transforme en fréquences pures (page 12). C'est une sorte d'interpolation entre un son bruyant et un son résonant. Le son résonant est lui-même modélisé par un son naturel, ceci en positionnant les fréquences centrales des filtres sur celle du modèle. C'est à l'intérieur de ce son résonant que va apparaître le multiphonique de contrebasse (page 13 mes. 57).

Mesure 58 (page 13) la structure harmonique de ce timbre dégagée par l'algorithme de Terhardt va se retrouver à la base de l'accord joué par l'orchestre. Ainsi, la note la plus grave est jouée par la contrebasse, le deuxième harmonique par le violoncelle, etc. L'exposition du timbre réel par la bande et de son image harmonique par l'orchestre produit un effet tout à fait saisissant. On a l'impression que le timbre se fissure en plusieurs composants. C'est l'effet inverse de celui de la fusion. Du timbre on passe à la texture, ce qui nous renvoie directement à l'analyse de *Farben* de Schoenberg et aux conclusions que j'en ai tirées (cf. page 311).

Par ailleurs, de la mesure 58 à la mesure 63 (page 15), le premier violon va partir d'une note du spectre et va ajouter durant son solo des notes étrangères au timbre, prenant son indépendance par rapport au modèle. La distorsion qu'il effectue sur la structure produit un effet d'éclatement du timbre et va entraîner certains instruments de l'orchestre dans son processus (solo de célesta page 16, etc.).

Sans analyser formellement la pièce, le timbre n'est pas exposé en même temps que sa structure harmonique. Par exemple, la structure harmonique du timbre exposé par la bande magnétique mesure 280 (page 57) se retrouve jouée dans l'ensemble instrumental à la mesure 308 (page 63) alors que la bande ne joue plus depuis environ une minute. Le rappel formel est ici réalisé avec une très grande finesse et crée des liens profonds et structurels entre les évolutions des timbres et la forme de l'œuvre.

Ainsi, Kaija Saariaho réalise avec beaucoup de bonheur, grâce à un dispositif technologique adapté à ses besoins esthétiques, la continuité esquissée par l'œuvre de Schoenberg *Farben*, entre la texture et le timbre (cf. page 311). Cette continuité est, chez Schoenberg, structurelle et non formelle, alors que chez Saariaho, elle se matérialise à travers les deux champs.

Dans cette partition, l'opposition entre la texture (fission) et le timbre (fusion) est parfaitement maîtrisée, montrant à quel point on ne peut opposer que des phénomènes étroitement liés (cf. page 324). Mais, par ailleurs, cette opposition ne se manifeste pas à tout moment et crée des rapports très ambigus entre les différents opérateurs. Le lien génétique entre le timbre et l'harmonie est parfaitement clair. Néanmoins, il produit souvent à l'intérieur de son mécanisme son contraire. A chaque fois qu'un timbre est à la base d'une

structure harmonique de l'orchestre, c'est-à-dire à chaque fois que le timbre devient texture, l'orchestre entame rapidement un processus de distorsion de cette structure harmonique, comme si le timbre générât par l'action de l'écriture (au sens opérateur) son propre éclatement, sa propre mort. Ceci est fondamental car ce processus désenclave le timbre du caractère figé qui lui a été attribué dans les musiques du passé, et lui donne une dimension esthétique tout à fait nouvelle. L'œuvre se termine par la résonance entretenue artificiellement par des chambres de réverbération d'un accord « plaqué » par l'orchestre. Cette résonance provoque une fusion de l'harmonie (phénomène inverse des processus analysés) et par ce biais reconstitue un timbre. Celui-ci rappelle, comme un souvenir, le timbre exposé par la bande magnétique à la mesure 280 (page 56). Par ce truchement, toute la pièce se trouve tout à coup figée sur un propre matériau, dévoilant le charme d'une forme essentiellement poétique.

La deuxième œuvre est *Diamant lunaire* (Éditions Billaudot-Paris) de Philippe Hurel (né en 1955). Cette œuvre a été réalisée en 1985 et constitue le deuxième volet du cycle *Diamant*. Elle est écrite pour un groupe instrumental divisé en trois sous-groupes :

-1- flûte, clarinette 1, clarinette basse, cor 1, trompette, trombone basse, percussionniste 1 et DX7 I.

-2- flûte 2, hautbois, clarinette 2, basson, saxophone alto, cor 2, percussionniste 2 et DX7 II.

-3- 2 violons, alto, violoncelle et contrebasse.

Tout le matériau harmonique est généré grâce au principe de la modulation de fréquence, par deux synthétiseurs numériques. Le compositeur a tenté de réaliser une totale fusion entre le timbre de la structure harmonique. Dans cette partition et surtout dans le passage que je vais analyser, les timbres générés par les synthétiseurs ne sont pas, dans une large mesure, reliés à un modèle instrumental quelconque. Ils sont déduits de processus formels et donc, sont pensés en termes structurels comme l'harmonie. Cette vision du timbre participe à l'évolution que j'ai décrite plus haut consistant à abstraire le timbre de sa « représentation subjective », à lui donner une dimension structurante et à définir des procédés opératoires communs entre le timbre et l'harmonie.

Le passage analysé débute au commencement de la pièce et finit à la page 6. Les processus de génération par modulation de fréquence comportent 4 modulantes générant parallèlement du matériau sonore (aux DX 7) et de l'harmonie jouée par l'orchestre (voir explication du principe de modulation de fréquence page 324). A la technique de modulation de fréquence, le compositeur ajoute celle de l'interpolation des quatre modulantes vers quatre autres, suivant un processus de dilatation (voir Ex. 21) :

modulante 1 =	604,54	645,51	686,48	727,45	768,42	809,39	850,36	891,33	923,3 Hz
modulante 2 =	659,26	644,16	629,07	613,97	598,88	583,78	568,69	553,59	538,5 Hz
modulante 3 =	659,26	631,85	604,45	577,03	549,63	522,22	494,81	467,41	440,0 Hz
modulante 4 =	659,26	624,45	587,30	554,83	520,03	485,22	450,41	415,61	380,8 Hz

On remarque que Philippe Hurel a construit neuf complexes harmonie-timbres exposés successivement aux 12, 28, 44, 56, 68, 84, 96, 108 et 120<sup>e</sup> temps.

Le parcours n'est pas strictement respecté. Certaines notes sont changées afin d'obtenir des notes communes, de créer des résonances prolongées et de rompre la trop grande rigidité du processus. La porteuse reste invariante et correspond à l'unisson initial: 329,6277 Hz (*mi 3*). Cet unisson constitue, par ailleurs, la transition entre *Diamant imaginaire* et *Diamant lunaire*. Plus on évolue vers la fin du parcours, plus le rythme de la répétition de la porteuse ralentit.



*Exemple 21.*

Prenons un exemple très simple. Soit le deuxième complexe harmonie-timbre exposé au 28<sup>e</sup> temps correspondant au chiffre 3 de l'exemple 21 [mes. 2 page 2]. On a 4 modulantes soit: 686,48 Hz [*mi* ♯ 4 joué au violon I]; 629,07 Hz [*re*♯ 4 joué à la clarinette II]; 604,45 Hz; 587,30 Hz. La modulation de fréquence de ces modulantes avec la porteuse *mi* 3 donne comme résultat:

$$\begin{aligned}
 1) \quad & 329,63 \pm (1 * 686,48) = 1016,11 \text{ Hz} \\
 & \quad 356,86 \text{ Hz } [\textit{fa} 3 \text{ joué au saxophone}] \\
 & 329,63 \pm (1 * 629,07) = 958,69 \text{ Hz } [\textit{la} \sharp 4 \text{ joué au hautbois}] \\
 & \quad 299,44 \text{ Hz } [\textit{ré} 3 \text{ joué à la clarinette basse}] \\
 & 329,63 \pm (1 * 604,45) = 934,07 \text{ Hz} \\
 & \quad 274,82 \text{ Hz} \\
 & 329,63 \pm (1 * 587,30) = 916,93 \text{ Hz } [\textit{la} \sharp 4 \text{ joué au violon I}] \\
 & \quad 257,67 \text{ Hz } [\textit{si} \sharp 2 \text{ joué au basson}] \\
 2) \quad & 329,63 \pm (2 * 686,48) = \text{etc.}
 \end{aligned}$$

Le synthétiseur génère, quant à lui, des timbres dont les partiels correspondent à ce même résultat avec toutefois des indices plus élevés (c'est-à-dire beaucoup plus de partiels). Ce résultat est obtenu en transformant la relation porteuse/modulante par un rapport que l'on nomme le *ratio*. Le ratio s'obtient en divisant la fréquence de la modulante par la fréquence de la porteuse [ $r = \text{frq}(m) / \text{frq}(p)$ ]. Grâce à ce ratio, n'importe quelle porteuse subira le même rapport modulante/porteuse que la *porteuse-mère*. Pour continuer dans l'exemple ci-dessus, le ratio de la première modulante est le résultat du rapport entre la modulante = 686,48 Hz (*mi* ♯ 4) et la porteuse = 329,63 Hz (*mi* 3), [686,48 / 329,63] à savoir 2,08. En changeant la porteuse et en gardant le ratio, on obtient le même rapport. Ce procédé est très puissant et permet de créer des chaînes de ratios. C'est par cet intermédiaire que Philippe Hurel a programmé le synthétiseur numérique.

L'unité des procédés timbriques et harmoniques produit une sonorité parfaitement fusionnée entre le son synthétique et la « mixture » instrumentale. Harmonie et timbre ne se dissoient plus et forment une entité synthétique cohérente. La différence se situe sur le plan des amplitudes ; le synthétiseur suit le principe des lois de Bessel alors que l'orchestre suit les principes d'équilibre entre les instruments.

La grande réussite de cet exemple est sans doute l'utilisation du timbre non pas comme une coloration mais comme une conséquence d'un processus formel. Il est très clair que les timbres ne sont plus ceux des objets mais des « apparitions » de processus à des instants donnés. Ici, on en revient aux procédés wagnériens (cf. page 307) qui influencent de façon tout à fait significative Philippe Hurel. L'idée souvent répandue que le timbre ne peut pas se conceptualiser se trouve ici largement remise en cause. Le compositeur démontre non seulement que le timbre n'est pas uniquement un objet dont la nature est d'être centrifuge, mais aussi qu'il peut être complètement déduit de procédés d'écriture abstraits n'ayant une réalité qu'à l'intérieur de l'œuvre pour lequel il a été « fabriqué ».

Ainsi, c'est grâce à l'ordinateur (synthétiseur numérique) que ces timbres ont été générés ; cela n'aurait pu être réalisé avec tant de contrôle sans une technologie de ce type. L'intégration timbre/écriture ne peut donc se faire qu'avec les progrès technologiques, et le refus de certains compositeurs de prendre en compte la technologie les condamne à répéter ce que leurs aînés ont déjà réalisé. Le refus de l'académisme passe par l'acceptation de ce qui est vraiment nouveau tant sur le plan sonore que du formel, c'est-à-dire de l'informatique.

Or, comme nous l'avons vu pour *Io* de Kaija Saariaho, la psychoacoustique est fondamentale pour appréhender des objets complexes en raison de la relation dialectique qu'entretiennent la perception et l'écriture (cf. page 326). L'utilisation de l'ordinateur permet de créer des algorithmes tenant compte des recherches effectuées dans cette discipline scientifique.

#### 4. La psychoacoustique et l'écriture musicale

Les relations acoustique/perception font l'objet d'études très poussées. Ces études très approfondies sont déterminantes lorsqu'il s'agit de comprendre les réactions de notre cerveau. La perception utilise des mécanismes très complexes, alliant une perception primitive et instinctive (réaction neurophysiologique, etc.) avec une perception modelée par l'environnement culturel, social, familial, etc. La complexité de ces facteurs permet évidemment l'existence d'une grande diversité de « goûts » artistiques. Un musicien réagit non par rapport au son mais par rapport à l'effet qu'il produit sur sa perception. Cet effet peut être reçu et interprété d'une « manière intellectuelle », mais peut aussi produire des sensations émitives par le truchement de cette perception primitive. Ce que les musiciens de jazz ou de rock appellent le « feeling » correspond à cette multiplicité de réceptions, la musique n'étant pas uniquement interprétée par l'intellect mais passant par des réseaux émotifs complexes pouvant entraîner des sensations physiques profondes. Les sensations que l'on éprouve à l'écoute d'une musique qui nous touche particulièrement sont bien sûr dues à notre apprentissage, mais aussi à la qualité même du son. En effet, la qualité propre du son a entraîné un traitement spécifique à sa nature, participant ainsi à la composition du bagage culturel.

Par exemple, les détails d'une phrase rapide jouée dans le grave seront plus difficiles à percevoir que si cette même phrase était exécutée dans le médium aigu. Ces contraintes perceptuelles ont donc aiguillé, d'une certaine manière, le dispositif de perception que nous mettons en place pour interpréter symboliquement les effets sonores. Dans un autre contexte, le grave est souvent relié à la voix grave de l'homme et l'aigu à la voix de femme. Notre acquis culturel a enregistré cette similarité des registres. Ainsi, dans l'opéra, un accord plaqué aux trombones dans le grave et médium grave accompagne souvent une attitude du personnage liée à des valeurs masculines (le Commandeur dans *Don Giovanni*, Arkel dans *Pelléas et Mélisande*, etc.): l'honneur, la droiture, le respect, le courage, la sagesse, etc. Cette chaîne symbolique peut se construire à l'infini (et même se contredire), tout ceci formant l'acquis culturel. Néanmoins, le début de cette chaîne est bâti sur le fait que la voix masculine est plus grave que la voix féminine. La chaîne part donc d'une réalité acoustique qui a entraîné toute une symbolique rationnelle. Ceci constitue non pas la *logique* du processus symbolique, mais sa *cohérence*, la « réalité » étant à la base de ce mécanisme.

Il y a donc deux sortes de psychoacoustique : la première qui analyse en laboratoire de manière rigoureusement scientifique l'effet que le *son* (dans son entité la plus réduite) produit sur le psychisme, la deuxième qui analyse la relation du *son musical* et de la perception.

A vrai dire, fort peu de scientifiques osent se lancer dans la deuxième recherche et, jusqu'aux temps les plus reculés, seuls les musiciens, avec des méthodes empiriques, ont « expérimenté » les diverses réactions psychiques aux différents caractères musicaux et en ont déduit des stratégies. Ainsi, en musique classique, il est facile de rendre une mélodie « joyeuse » ou de la rendre « triste ».

On pourrait continuer dans ce sens et laisser aux compositeurs le soin de faire ces recherches, mais un changement s'est produit depuis le milieu du xx<sup>e</sup> siècle. Dans le passé, la gamme des timbres était réduite aux instruments de l'orchestre, à leurs combinaisons et les « opérations » l'étaient au système

tonal. Aujourd’hui, avec l’ordinateur, non seulement la gamme des timbres est presque illimitée (donc les références culturelles plus difficiles à contrôler), mais, de plus, les possibilités de spatialisation et la diversité des systèmes compositionnels dépassent l’univers du compositeur. Le résultat, bien souvent, est qu’il réduit ses champs d’investigation afin de contrôler au maximum son matériau sonore. Il est donc urgent que cette barrière quantitative soit levée, en rationalisant les recherches dans ce domaine afin d’en dégager des «principes»; libre aux compositeurs de les utiliser ou de les rejeter. *Plus les compositeurs disposeront d’outils leur permettant d’appréhender d’une manière rationnelle le monde de l’électronique, plus leur imagination les portera à construire des sons jamais entendus mais parfaitement maîtrisés sur le plan formel.* En orchestration classique, les compositeurs ont bien souvent imaginé des combinaisons qu’ils n’avaient jamais entendues. L’expérience et l’éducation leur ont permis de dégager des *principes d’orchestration*, libérant de ce fait leur imagination et leurs capacités d’extrapolation.

Actuellement, Philippe Durville (né en 1957) est l’un des compositeurs (avec Jean-Claude Risset, Marco Stroppa, Kaija Saariaho...) ayant utilisé avec succès, directement et consciemment, des recherches en psychoacoustique afin de créer des processus formels. Il l’a fait dans une partition dont le titre est *Imac* (Éditions Gérard Billaudot-Paris), s’inspirant des recherches de Stephen McAdams sur les flux musicaux (cf. «The musical streams» in Rapport/I.R.C.A.M. n° 40). Pour simplifier et résumer les conclusions de ce chercheur, il a tenté d’établir les échelles de discrimination permettant de mesurer les groupements/fusion qu’opère la perception sur des événements sonores selon qu’ils sont exposés à un tempo rapide/lent, selon leur proximité/éloignement dans l’échelle sonore ou selon les parentés de timbre qu’ils ont entre eux.

*Imac* fut écrite durant l’année 1985 et regroupe un ensemble instrumental augmenté de deux synthétiseurs numériques, divisé en deux groupes pratiquement identiques, disposés sur la scène en forme elliptique. L’œuvre a été entièrement inspirée des recherches sur la formation et la différenciation d’images auditives constituant ce que Stephen McAdams appelle les flux.

Pour donner un exemple précis, j’analyserai un *processus de différenciation* de flux, de la mesure 63 [page 11] à la mesure 80 [page 14]. L’accord est invariant durant tout le déroulement du processus. Il est bâti sur le spectre harmonique de *mib 1* (voir Ex. 22a). Les deux flûtes jouent le 15<sup>e</sup> harmonique : *ré 5*, les deux hautbois le 11<sup>e</sup> : *la 4*, les deux clarinettes la 5<sup>e</sup> : *sol 3*, et les deux bassons le 3<sup>e</sup> harmonique : *sib 2*.

Exemple 22.

Les deux synthétiseurs (mes. 63) exposent l’accord en le répétant staccato à une très grande vitesse. Mesure 65, ce staccato passe aux bois qui reprennent le même accord (voir Ex. 21a) en *Flatterzung*. A partir de la mesure 66 les deux synthétiseurs vont faire des *s/fz* qui vont avoir pour but de fragmenter l’accord en changeant le dispositif instrumental, les deux groupes étant encore (jusqu’à la mes. 67) simultanés. Puis, ils se désynchronisent (mes. 8), créant ainsi un phénomène stéréophonique (les groupes instrumentaux étant répartis à droite et à gauche de la scène). A partir de la mes. 70, non seulement la fragmentation de l’accord et celle de l’espace se poursuit, mais le *Flatterzung* commence à ralentir. Au dernier temps de la mes. 70, l’accord à l’intérieur de chaque

groupe va lui-même se fragmenter en deux accords, puis (mes. 72) en une suite de 5 notes (celles de l'accord) éclatées et réparties dans les deux groupes instrumentaux (voir Ex. 22b):

*la 4 = flûte [groupe 2]  
sol 3 = hautbois [groupe 1]  
ré 5 = clarinette [groupe 2]  
sib 2 = basson [groupe 1]  
do dièse 4 = flûte [groupe 2].*

A la mesure 75, chaque groupe se sépare, jouant alternativement la suite 18b, puis (mes. 77) le hautbois du 1<sup>er</sup> groupe, le synthétiseur du 1<sup>er</sup> groupe, la clarinette du 2<sup>e</sup> groupe et le synthétiseur du 2<sup>e</sup> groupe exposent respectivement et alternativement la même suite de notes, aboutissant (mes. 81) à la fin du processus où seul le synthétiseur du 1<sup>er</sup> groupe expose quatre fois cette cellule.

Ainsi, une image auditive est fragmentée en deux, puis en quatre flux. En fait, on est en présence du même objet exposé à des tempi différents et subissant un ralenti. Ici, seul le tempo est à la base de la fragmentation et tout le processus est un jeu sur l'illusion perceptive devenant un mécanisme formel. Bien entendu, le plus hallucinatoire est qu'il n'y a pas réellement ralentissement du tempo, les fragmentations n'étant pas uniquement dues à notre perception. La partition est écrite de telle façon que nous avons l'impression d'entendre un ralenti. Ceci est très important car le processus perceptif devient procédé d'écriture. En fait, le jeu est inversé; ce n'est plus le ralentissement qui nous donne l'illusion de divergence des images auditives mais la divergence des images qui nous donne l'illusion que la cellule 18b ralentit. D'ailleurs, seul un ordinateur serait capable de jouer cette cellule suffisamment rapidement pour créer une image perceptive (fusion) unique.

De ce fait, Philippe Durville illustre un principe très important qui est la relation entre les principes perceptifs et les procédés d'écriture. Par ailleurs, ce compositeur fait apparaître sous un angle particulièrement original la relation forme/structure. L'idée d'identité de cellule subissant un effet de fusion puis de «fission» correspond bien à la structure de passage; la forme étant la réalisation de l'illusion perceptive due au changement de vitesse. Ici, la structure génère la forme grâce au rapport dialectique qu'entretiennent acoustique et perception. Cette idée est non seulement fondamentale mais aussi riche d'avenir. Elle est du même ordre que l'existence d'une continuité timbre ↔ texture ↔ polyphonie: à quel moment le timbre devient texture et celle-ci polyphonie? par quels principes?

Dans l'exemple pris dans l'œuvre de Durville, la fragmentation reconstitue cette continuité. C'est le processus qui brise le timbre.

## Conclusion

Le processus, plus qu'un procédé, est un matériau. A un niveau plus abstrait, le fait que le processus soit dérivé d'un «matériau sonore» implique qu'il contient suffisamment de ce matériau pour être traité comme le matériau même. Le matériau musical n'est plus l'objet de départ, mais le mouvement que l'on imprime à l'objet: le processus généré par cet objet. Cette évolution, qui tend à virtualiser l'objet sonore et à le substituer à l'action que l'on effectue sur lui, correspond à la différence entre les deux générations que j'ai présentées. Le passage de l'objet au modèle, puis du modèle au formel se caractérise par l'attitude qui tend à privilégier l'écriture et sa dynamique par rapport à la contemplation statique du matériau sonore.

Mais contrairement à d'autres esthétiques qui placent l'écriture combinatoire au centre même du processus moderne de la création musicale, ces compositeurs puissent les techniques d'écriture à l'intérieur même des nouveaux matériaux sonores; techniques qui se dégagent, avec le temps, de leurs premiers liens génétiques avec ces matériaux pour devenir des opérateurs indépendants, constituant les nouvelles bases de l'écriture moderne. Ceci est fondamental, car

le matériau sonore est le plus enclin à évoluer et à suivre les progrès de la technologie (arrivée du violon, puis du piano, puis des vents chromatiques, puis des sons électroniques, etc.). Celui-ci a constamment poussé les formes à s'adapter au progrès. Je ne veux pas dire qu'il y ait sens unique et que le matériau soit la seule locomotive, car les recherches de nouveaux matériaux sonores sont aussi issues de besoins formels (augmentation de l'ambitus du piano par Beethoven). Mais, si l'on observe l'évolution des procédés d'écriture dans des musiques qui n'ont pas subi de profondes modifications quant à la production du son (comme en Inde), et qui sur le plan de la facture instrumentale et de l'organisation formelle se rapprochaient beaucoup de nous au Moyen Age, on remarque que ces musiques ont surtout développé une complexification des codes et de la combinatoire mélodico-rythmique en multipliant les modes rythmiques, les règles intervalliques, etc. L'évolution importante et rapide du matériau est typique du monde occidental, et ceci dans tous les domaines. Ainsi, l'écriture musicale s'est toujours adaptée aux évolutions du monde sonore grâce à sa flexibilité et grâce au fait que les bases de l'écriture musicale occidentale ont de plus en plus de rapports profonds avec le matériau lui-même.

Ainsi, à notre époque, lorsque les héritiers de la pensée combinatoire sérielle (issue, comme nous l'avons déjà mentionné, des techniques mélodico-contrapuntiques du passé) continuent de prôner celle-ci comme unique manifestation de la modernité, ils refusent de prendre en compte les nouvelles technologies du son (car leurs procédés d'écriture ne peuvent pas les assimiler) et donc, se condamnent à entrer dans une voie de garage stérile et comparable aux académismes du passé (néo-classique, etc.).

Par contre, bien plus riche est l'attitude du compositeur finlandais Magnus Lindberg (né en 1958) qui conserve certaines méthodes de générations combinatoires (quelquefois très complexes) afin de créer des liens structurels profonds entre les objets, et par des procédés de convergence, force ces liens à structurer le timbre ou d'autres paramètres musicaux par les techniques d'interpolation (attitude qui nécessite une technologie moderne). Cela se trouve réalisé de manière magistrale dans une œuvre pour grand orchestre : *Kraft*. Ce cheminement, que l'on retrouve un peu chez Philippe Hurel, est significatif de la volonté de créer une synthèse entre ces deux tendances esthétiques. L'avenir nous dira si cette démarche tout à fait intéressante est porteuse de développements.

Néanmoins, la voie est ouverte vers une nouvelle musique qui, si elle contient en elle un certain hédonisme (comme peut en contenir la musique de Debussy), tout en rétablissant certains principes élémentaires, absorbe le bouleversement technologique contemporain. Des pièces importantes sont écrites par cette génération de créateurs (dont quelques-unes représentant un échantillon très réduits, sont analysées dans ces pages) et ouvrent des champs jusqu'alors inexplorés, qui participent sans aucun doute à l'épanouissement de nouvelles formes d'expression artistique assurément enracinées dans le *xxi<sup>e</sup>* siècle.

## **La part de l'insaisissable**

par Antoine BONNET

Il est aujourd’hui beaucoup question du timbre. Mais que recouvre ce terme? S’il circule allégrement sur les chemins de la musique contemporaine, il est finalement peu suivi d’explications, et donne plutôt l’impression d’être ce signifiant par lequel bien des compositeurs chercheraient à condenser leur imaginaire sonore.

Acoustiquement parlant, le timbre n’est certes plus cette donnée négative qu’il était encore dans les années cinquante: ce qui d’un son n’est ni sa hauteur, ni sa durée, ni son intensité; et l’on sait désormais qu’il dépend d’un certain nombre de variables telles que les transitoires d’attaque, la courbe d’intensité, le spectre harmonique ou le degré de rugosité. Mais à peine se laisse-t-il approcher qu’il se dérobe aussitôt, nous entraînant dans un abîme de perplexité, comme le ferait une nébuleuse fuyante ne laissant derrière elle qu’une traînée opaque, trace éphémère de son insaisissable réalité.

Mon ambition n’est pas de définir *in abstracto* cette catégorie semble-t-il bien complexe, mais plutôt de donner mon point de vue de compositeur sur la place qu’elle me paraît pouvoir occuper aujourd’hui dans la composition musicale.

### **I. De deux significations du timbre**

#### *1. Le timbre instrumental*

Le timbre instrumental concerne tous les instruments pris individuellement ainsi que leurs multiples caractéristiques sonores liées à leurs différents modes de jeu. Il est, dans l’histoire de la musique occidentale, la première signification du mot timbre. J’ai bien conscience du côté abusif des périodisations schématiques, mais il me semble que l’on peut dire tout de même que le timbre instrumental est une dimension secondaire jusqu’au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle. Que l’on puisse jouer *L’art de la fugue* tant au clavecin qu’à l’orchestre me paraît en tout cas significatif. Le timbre instrumental est plutôt à cette époque l’un des moyens de souligner l’articulation d’une œuvre en ses différentes sections. Dans la période suivante, disons de Haydn à Berlioz, il prend une tout autre importance, particulièrement chez ce dernier, dans les œuvres duquel il n’est pas

rare qu'une couleur instrumentale vienne contester la suprématie — déjà ! — à la hauteur. Mahler, Schoenberg, Stravinsky et Webern me paraissent être les représentants les plus significatifs de l'étape suivante, spécialement Webern avec son usage quasi systématique de la *Klangfarbenmelodie*. Enfin, si le timbre instrumental reste aujourd'hui l'une des préoccupations de la majorité des compositeurs, je serais tenté de désigner Ferneyhough comme celui qui en exploite le plus radicalement les possibilités.

## 2. *Le timbre global*

On ne manquera pas de s'étonner de l'absence dans ce petit panorama historique des deux noms qui viennent tout de suite à l'esprit lorsqu'on parle du timbre : Wagner et Debussy. Je me les suis en effet réservés, si j'ose dire, pour ancrer dans l'histoire ma deuxième définition du timbre : le timbre global<sup>1</sup>. Cette notion, tout d'abord, ne se situe pas sur le même plan que le timbre instrumental : si celui-ci renvoie à une réalité préexistante, le timbre global est lui le résultat d'un assemblage plus ou moins complexe, disposé dans l'espace de la partition par le compositeur, et dont le timbre instrumental n'est qu'une des composantes. Autant dire tout de suite que le timbre global est un effet sonore qui, s'il peut être — doit être, à mon avis — le produit de l'écriture, n'en est pas moins une réalité pour la seule perception.

On voit mieux dès lors comment la fantasmagorie wagnérienne relève de cette catégorie, non seulement le fameux prologue de *L'or du Rhin* ou le prélude de *Parsifal*, mais aussi presque toute son œuvre. Il y a en effet chez Wagner une façon très particulière d'effectuer les doublures, d'enchevêtrer les lignes mélodiques et de jouer sur les profils dynamiques qui me paraît révélateur d'un souci tout à fait nouveau pour l'époque.

Quant à Debussy, il est, je crois, le premier à proposer l'idée de ce que je serais tenté d'appeler *l'objet musical*, soit l'idée d'une entité musicale modulable par les catégories de l'écriture. C'est, sur ce point du moins, le bilan que je ferai de Debussy, bilan qu'ont dû faire, je suppose, d'autres compositeurs, avocats du concept d'écriture. Il existe en effet tout un courant musical, jadis représenté par Varèse et actuellement par les adeptes du timbre de synthèse, dont le bilan est sensiblement différent. Mais je reviendrai ultérieurement sur ce point, voulant maintenant faire quelques remarques.

## II. Fondements de l'importance actuelle du timbre

Il serait intéressant de s'interroger de façon très générale sur les raisons de l'importance actuelle du timbre. Il n'est pas impossible que l'on puisse alors faire ressortir des points de convergence entre l'évolution de la pensée musicale et celle des mathématiques ou de la philosophie par exemple. Une telle réflexion pourrait même se révéler utile, car la pensée musicale a je crois tout à gagner à s'enrichir de la pensée d'autres domaines que le sien, sans toutefois devoir espérer y trouver le moindre modèle<sup>2</sup>. Je ne m'en tiendrais cependant qu'à quelques réflexions internes au domaine musical.

1. Il y a certes des exemples de timbre global avant Wagner, *Le frémissement des flots* dans *Hippolyte et Aricie* de Rameau notamment ; mais ces exemples me paraissent peu significatifs dans la mesure où ils restent très ponctuels et ne remettent nullement en cause la logique tonale.

2. Il n'y a de lien entre les différentes disciplines de la pensée que dans l'abstrait ; il me paraît donc absurde et inconséquent d'appliquer des formules mathématiques à la musique par exemple.

## *1. Timbre instrumental et principe d'identification*

Le timbre instrumental, par comparaison avec le timbre global, reste une réalité tangible et élémentaire. Ainsi, une oreille tant soit peu éduquée reconnaîtra facilement un hautbois, un violon, etc. C'est pourquoi le timbre instrumental était particulièrement bien adapté à la musique tonale et au principe d'identification sur lequel elle reposait. Ainsi, toute unité harmonico-mélodico-rythmique associait une hauteur, identifiable en tant que telle, un accord, dont la fonction était perçue, une durée, non relative puisque prise dans un système de proportion simple, une intensité ou un profil dynamique, et un timbre instrumental tout à fait identifiable. Ceci explique par exemple que l'on puisse prendre en dictée, comme on le fait dans les conservatoires, la musique tonale, chose presque toujours impossible pour la musique contemporaine, passé du moins un certain seuil de complexité d'ailleurs très vite atteint.

## *2. Destruction du principe d'identification*

Ce principe d'identification a été détruit au cours de ce siècle pour deux raisons. La première est extérieure dans la mesure où elle concerne l'imaginaire des compositeurs, lesquels semblent avoir recherché de plus en plus des effets relevant du timbre global. Ils ont ainsi privilégié la perception de grands ensembles au détriment de la perception des éléments qui les constituent. Au point qu'aujourd'hui l'oreille, dans la plupart des cas, ne peut plus reconstituer la genèse des opérations qui sous-tendent les œuvres, car l'élaboration du timbre global entraîne inévitablement une plus grande complexité dans l'emploi des composantes sonores, y compris des timbres instrumentaux. Il suffira de feuilleter même rapidement les partitions d'orchestre de ce siècle pour s'en convaincre.

La deuxième raison est beaucoup plus fondamentale puisqu'elle a trait à l'évolution du langage musical. En congédiant le système tonal et, par voie de conséquence, le thématisme qui ne se définit que par rapport à lui, le dodécaphonisme mais surtout le sérialisme ont détruit le principe d'identification en instaurant un espace sonore non plus fonctionnel et hiérarchisé mais relatif.

## *3. Retournement du sérialisme*

En généralisant le principe sériel à toutes les composantes sonores, le sérialisme aboutit au chaos musical, car le renouvellement de toutes les données paramétriques déchire à ce point le tissu sonore qu'il rend impossible la constitution d'enveloppes ou d'entités sonores intéressantes, c'est-à-dire susceptibles d'instituer une hiérarchie à un niveau supérieur d'organisation. Ainsi les sériels durent abandonner le traitement algébrique des intensités et surtout des timbres instrumentaux, paramètres s'y refusant catégoriquement de par leur nature, mais aussi des durées dont la pratique montre que, pris au pied de la lettre, il constitue une contrainte tant brimante pour le compositeur que peu satisfaisante quant au résultat. Et si le principe sériel a pu se réfugier dans le domaine des hauteurs, c'est finalement parce que celles-ci sont désormais des données si relatives qu'elles reculent — disparaissent souvent — derrière la catégorie de timbre instrumental devenue plus prégnante en l'absence d'un principe fonctionnel fort comme celui, gravitationnel, de la tonalité. Que reste-t-il alors du sérialisme ? Je dirai : de la lettre, à peu près rien si ce n'est quelques

techniques ou plutôt quelques idées combinatoires ; de l'esprit, un systématisation constructif, soit une certaine conception de l'écriture ; et, quant au point qui nous intéresse plus particulièrement aujourd'hui, cette constatation que la radicalisation de son principe de mise en ordre a bénéficié au bout du compte à la dimension musicale qui lui était la plus rétive : le timbre instrumental. Ironie du sort. Quant au timbre global, il en sort également gagnant car le sérialisme — et là n'est pas le moindre de ses apports —, en faisant de l'espace sonore un « indice de répartition », instaure un terrain on ne peut plus favorable à son élaboration.

### III. Le timbre de synthèse

Les adeptes du timbre de synthèse, notamment les compositeurs du Groupe Itinéraire, semblent avoir retenu de l'œuvre de Debussy que l'on ne composait pas avec des notes mais avec des sons. Certes, par ses déclarations, ce dernier laisse prise à une telle interprétation, encore que ses diatribes contre l'écriture ne me paraissent nullement devoir être prises au pied de la lettre : la rencontre d'un académisme aussi borné que celui de d'Indy ne lui donnait-il pas en effet de bonnes raisons de se révolter ? Toutefois, la question de l'écriture ne se posait pas au début de ce siècle comme elle se pose aujourd'hui, et Debussy a malgré tout bénéficié, même s'il l'a transcendée, de la logique tonale.

Mais peu importe ; ces compositeurs sont à peu près les seuls aujourd'hui à tenir un discours constitué sur le timbre, et cela même requiert que l'on s'y intéresse et que l'on se prononce sur leurs propositions.

#### 1. *Une position radicale*

Ces compositeurs considèrent (comme le pensait déjà Varèse) que « la révolution électrique-électronique<sup>3</sup> » implique une redéfinition de tout l'univers compositionnel. Ils appuient d'ailleurs leurs investigations sur la technologie moderne et estiment notamment que la synthèse numérique permet aujourd'hui d'aborder la composition musicale à partir du son lui-même, ce que les compositeurs auraient toujours dû faire. Murail déclare par exemple « qu'il y a erreur dès l'origine » (1984), qu'il est absurde de composer avec des symboles puisque la note n'est pas le son et que les spéculations sur les notes n'amènent qu'à pervertir les rapports de l'écriture et de la perception. Dans le même esprit, Grisey dit encore que « la structure doit s'arrêter à la perceptibilité du message » (1987), etc. Leur musique se fonde sur la constitution « naturelle » du timbre (du moins sur ce qu'on en connaît à l'heure actuelle) et consiste à opérer des synthèses sonores à partir de données acoustiques que leur fournissent des spectrogrammes, pour leur faire subir ensuite un certain nombre de transformations. Cette vision de la composition me paraît très problématique pour essentiellement deux raisons.

#### 2. *Absence de dialectique*

Pour « fonctionner », cette musique doit se subordonner aux lois d'un matériau non neutre. Or, le principe de fusion et la logique du continu qu'induit un tel matériau me semblent le rendre inapte à supporter une torsion, une confrontation avec un principe excédant sa constitution même. Pour faire une

---

3. L'expression est de Dufourt.

comparaison, je dirai que cette musique se trouve dans la situation où se serait trouvée la musique tonale si celle-ci n'avait jamais pu transcender son système de polarité élémentaire et avait dû se contenter ainsi — comme d'ailleurs s'en est contentée ce que j'appellerai la «musique pauvre» de ces trois derniers siècles — d'aligner des cadences sans qu'aucun travail thématique digne de ce nom ne puisse jamais venir s'y confronter en vue d'établir une véritable dialectique compositionnelle. En d'autres termes, la musique de synthèse ne me paraît pas avoir d'enjeu compositionnel véritable, la logique du climat sonore dans laquelle elle tombe inévitablement, du beau son, aussi inoui et subtil soit-il, ne pouvant à mon sens en constituer un. Le beau son de cette musique me paraît être quelque part un équivalent moderne du «bel air» de l'opéra italien ou plutôt de la «jolie mélodie française», encore que l'enjeu de ces musiques pût, parfois, se constituer ailleurs : dans un rapport à la langue ou au texte.

### 3. Carence de rythme

Cette musique se constitue sur l'idée d'un continuum sonore tant verticalement, puisque les ensembles qu'elle manie reposent sur la fusion des éléments, qu'horizontalement, puisque ces ensembles se déplacent dans le temps par transformation continue. De ce souci exclusif du «devenir des sons» résulte à mon avis l'impossibilité pour cette musique de mettre en œuvre une problématique rythmique qui soit à la fois autonome et solidaire du matériau sonore qu'elle déploie. Pour s'articuler, elle n'a alors d'autre ressource que le recours au geste, c'est-à-dire à un procédé d'articulation extérieur. Ce problème était à mon avis déjà celui de Ligeti dont le cycle d'œuvres, *d'Atmosphères à San Francisco Polyphony*, permet de mesurer les limites du geste, et cela d'autant mieux que ce compositeur a fait preuve d'une maîtrise et d'une intuition tout à fait impressionnantes en la matière.

Ces deux lacunes majeures ont à mes yeux une cause commune : le rejet de l'écriture, rejet dont découlent en cascade bien d'autres problèmes. Je mentionnerai simplement le court-circuitage de toute possibilité d'interprétation (la non-prise en charge de la figuration équivalent à un retour au principe de la tablature, retour d'ailleurs réclamé par Murail), et le rabattement du temps musical sur le temps chronométrique (la forme n'étant plus chez ces compositeurs que le simple temps nécessaire au déploiement des effets sonores).

## IV. Timbre et rythme : la texture

La texture est la notion que je proposerai en vue d'aborder l'espace-temps contemporain à partir du rythme et du timbre qui me paraissent en être les deux grandes dimensions.

### 1. L'Autre du timbre : le rythme

J'ai dit que la musique de synthèse butait sur un problème de rythme par excès de timbre. Parallèlement, je dirai que le premier sérialisme s'est heurté à un problème de timbre par excès de rythme. On peut en effet interpréter le renouvellement permanent de toutes les données paramétriques comme un trop pathologique de rythme, aboutissant d'ailleurs à une destruction du rythme puisqu'il n'y a plus alors de réitération perceptible du même.

En outre, on a vu que les hauteurs tendaient à reculer derrière le timbre instrumental en l'absence d'échelle hiérarchisée et d'harmonie fonctionnelle, et

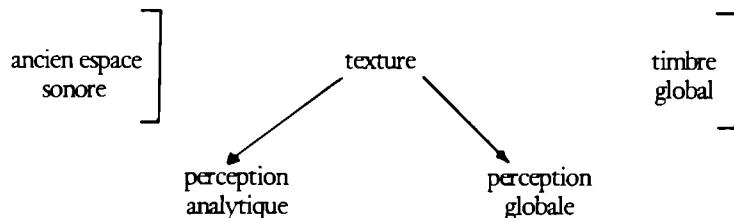
que le timbre global faisait bon ménage avec un espace sonore pensé comme « indice de répartition ». D'autre part, il semble que les durées tendent elles aussi à reculer derrière une définition plus générale du rythme en l'absence d'un système de proportion stable et d'une phraséologie élémentaire telle qu'en proposait la musique tonale. Parallèlement aux notions de timbre global et de timbre instrumental que j'ai déjà avancées, je proposerai maintenant celles de rythme global et de rythme paramétrique. Le premier est le mouvement général résultant du contrôle dans le temps de toutes les composantes sonores, la seconde concerne le rythme individuel de chaque paramètre.

Je constate par ailleurs que le rythme et le timbre sont les deux catégories auxquelles durent avoir recours les compositeurs du début de ce siècle qui n'osèrent pas proclamer la caducité du système tonal<sup>4</sup>. Ainsi, Debussy, Stravinsky et Bartók, devant l'affaiblissement considérable de la logique tonale, et dans leur refus d'en exploiter les *fonctions* harmoniques, eurent l'idée, sans doute intuitive, de faire de l'accord tonal une harmonie-timbre (soit déjà l'idée de l'objet musical) et de faire appel à des principes rythmiques pour structurer leurs œuvres.

Tout ceci incline à penser que le rythme et le timbre sont les deux grandes catégories de la musique actuelle et que, pour en revenir à la dialectique, l'enjeu moderne de la composition musicale pourrait bien se trouver dans le produit de leur confrontation. Dans un article remarquable qui marque à mon avis une étape importante dans l'évolution de la pensée musicale, Nicolas (1986) a d'ailleurs déjà proposé de penser le temps musical — la forme — comme le produit dialectique du rythme et du timbre, notions opérant chacune de manière spécifique une synthèse de tous les paramètres sonores.

## 2. La texture

Entre la conception contrapuntique ancienne et la logique du timbre de synthèse, la texture est pensable comme une modalité de confrontation en situation du rythme et du timbre. La texture est une notion large et autorise un grand nombre de situations. Afin de la délimiter, je dirai que sur l'un de ses bords, intérieur, elle offre une situation de timbre global, et sur son autre bord mais extérieur cette fois, elle *présenterait* une situation de contrepoint ou de polyphonie classique.



*Figure 1*

4. Ce n'est pas que les Viennois se soient désintéressés du rythme et surtout du timbre, mais leur désir d'un nouveau langage les liait à d'autres préoccupations. Je suis en tout cas frappé de ce que les grandes questions contemporaines de la composition — l'écriture et le langage musical d'un côté, le rythme et le timbre de l'autre — aient fait l'objet d'une sorte de distribution des tâches au début de ce siècle, comme si, pour schématiser, Paris en avait pressenti les grandes catégories en cherchant à colmater les brèches d'un système devenu défaillant, et Vienne le moyen de les penser de façon nouvelle en déclenchant une réforme radicale du langage.

La texture est susceptible d'offrir tous les modes de perception, de la perception analytique (l'auditeur pouvant alors prendre conscience de certaines données élémentaires de l'œuvre pour en comprendre les développements) à une perception globale (l'auditeur ne pouvant avoir alors qu'une saisie d'ensemble renvoyant plutôt au macro-rythme de l'œuvre). Enfin, la texture permet toutes sortes de constructions : polyphonie, hétérophonie... et leurs combinaisons. Mais ces notions ayant quelque peu perdu leur sens original et pouvant de ce fait prêter à confusion, je dirais plutôt que la texture présente des *situations*.

## V. Timbre et pensée musicale

A partir de deux de mes partitions, j'indiquerai maintenant comment j'envisage l'intégration du timbre, donnée perceptuelle et topologique, dans une conception de la composition fondée sur l'écriture, domaine du discontinu.

*D'une source oubliée* et *Trajectoires*<sup>5</sup>, pour 15 et 27 instruments, sont deux œuvres construites à partir du même matériau, la seconde étant une amplification en tout point de la première. Elles relèvent de la même problématique et sont en trois parties. Je dirai que la première est rythmique et que la seconde est plutôt axée sur le timbre. Il n'y a bien sûr de division que théorique du rythme et du timbre, puisque ces notions n'existent dans la pratique que l'une par rapport à l'autre (ce qui est d'ailleurs la raison pour laquelle elles offrent la possibilité d'un jeu dialectique). Lorsque je dis que la première partie est rythmique, je veux simplement indiquer que dans la confrontation du rythme et du timbre qui s'y opère, c'est le rythme qui est le terme dominant et qui impose sa logique de développement, et inversement dans la seconde partie. Quant à la troisième partie, elle supporte simultanément les deux logiques de développement, lesquelles sont prises dans un processus où le timbre devient peu à peu le terme dominant pour s'imposer finalement dans une sorte de coda assez développée, quatrième partie si l'on veut, ou plutôt retombée, traitée assez librement, de la troisième partie.

Plutôt qu'une analyse de ces partitions, je ferai une rapide traversée diagonale des trois parties. Quelques données générales tout d'abord. Les instruments sont disposés de manière spécifique dans l'espace réel, leur emplacement étant systématiquement pris en compte lors de leurs interventions. Quant à l'espace sonore, il est découpé en 10 notes-pôles, attribuées dans la première partie à trois groupes distincts d'instruments, lesquels constituent les trois sous-ensembles de la texture de départ.

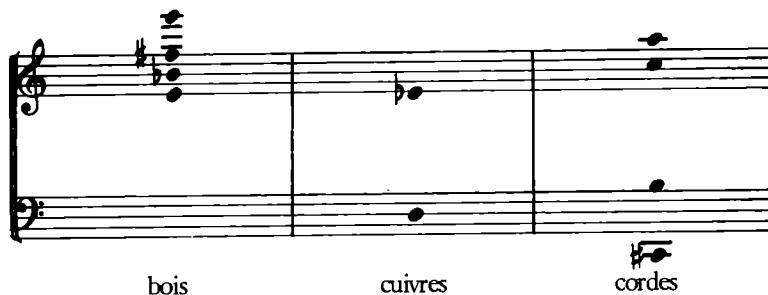


Figure 2

5. *D'une source oubliée* (1987), Éditions Salabert. *Trajectoire* (1987-1988), Éditions Amphion.

# D'UNE SOURCE OUBLIEE

Antoine BONNET

Tutti accordéon et pianinette

The musical score consists of two systems of staves. The top system shows parts for Flute, Clarinet, Bassoon, Trombone, Trompette, and Piano. The bottom system shows parts for Violin, Cello, Double Bass, and Piano. The score includes dynamic markings like 'forte' and 'pianissimo', and performance instructions like 'accordéon' and 'pianinette'. Measure numbers 3, 4, 2, 1, 3, 3, 2, 4, and 3 are indicated above the staves.

Tutti accordéon et pianinette

Forte

Flute  
Clarinet  
Bassoon  
Trombone  
Trompette  
Piano

Violin  
Cello  
Double Bass  
Piano

3 4 2 1 3 3 2 4 3

Tutti accordéon et pianinette

Forte

Violin  
Cello  
Double Bass  
Piano

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

31 32 33 34 35 36 37 38 39 40

41 42 43 44 45 46 47 48 49 50

51 52 53 54 55 56 57 58 59 60

61 62 63 64 65 66 67 68 69 70

71 72 73 74 75 76 77 78 79 80

81 82 83 84 85 86 87 88 89 90

91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

(A) accordéon  
(B) accordéon  
(C) accordéon accordéon accordéon accordéon accordéon accordéon accordéon accordéon accordéon accordéon

© 1987 by Editions Salabert, Paris  
International copyright secured all rights reserved  
EDITIONS SALABERT S.A. 22, rue Chauvel 75009 PARIS

E.M.S. 10000p

Tous droits réservés  
pour tout pays

*Exemple 1.*

## 1. Première partie

Dans la première section, le sous-ensemble des bois repose exclusivement sur les 4 notes-pôles toujours parcourues dans le même ordre. Il s'agit en fait d'un canon à la croche de triolet en circuit fermé créant un incessant mouvement de micro-situations toutes différentes à la faveur d'un jeu sur la vitesse et le rythme intérieur de rotation, les profils dynamiques, les modes de jeu et d'articulation, le tout en liaison avec la disposition spatiale puisque les quatre bois sont dispersés dans l'ensemble instrumental. Ce sous-ensemble constitue ce que j'appelle un *objet musical*; il est ici en constante transformation. Il ne s'agit pas là bien sûr de l'objet musical schaefferien puisqu'il a une composition algébrique et se trouve donc malléable de l'intérieur par le jeu de l'écriture. Cet objet musical sera d'ailleurs travaillé dans des directions variées durant toute la première partie.

Le sous-ensemble des cordes consiste en une combinatoire de trois objets musicaux on ne peut plus élémentaires : un accord *pizzicato* sur les 4 notes-pôles, un profil dynamique plus ou moins long lui aussi sur les 4 notes-pôles, et une incise homorythmique de 1 à 3 impacts, toujours à contretemps et assise sur l'une des 2 familles d'accords de 7 hauteurs qui nourrissent toute l'œuvre.

Enfin le sous-ensemble des cuivres est un peu particulier puisqu'il opère une articulation plus linéaire de la texture entière (Ex. 1).

Toute la première partie explore un grand nombre de possibilités rythmiques tant au niveau des sous-ensembles et des éléments constitutifs des objets musicaux qu'à celui des sous-ensembles entre eux, c'est-à-dire du rythme global de la texture. Je donnerai un exemple de développement de sous-ensemble (Ex. 2).

Ce passage se situe au début de la grande section centrale de trajectoires, à un moment où la situation de polyphonie de sous-ensembles vient de faire place à une situation de double antiphonie. Le champ harmonique qui en fournit le matériau est un de ces accords de 7 notes qui donnait précédemment lieu à une des incises homorythmiques. Le propos de ces quelques mesures est d'explorer la structure du champ harmonique au moyen des trois objets musicaux du sous-ensemble initial des cordes. Le jeu *pizzicato* égrène ainsi les 7 notes du champ, le profil dynamique émet la note *si*, commune au champ et à 2 des objets initiaux, enfin les doubles croches proviennent des incises homorythmiques et nourrissent un arrière-plan sonore lui aussi constitué des 7 notes du champ.

A ces 3 «modes de jeu» sont associées 3 organisations rythmiques spécifiques. Le profil dynamique est véhiculé par un instrument chaque fois différent dans un rythme de moins en moins rapide : 2 fois sur la durée d'une noire puis sur une valeur de plus en plus longue : 2, 3, 4, 5 puis 2 fois 6 noires. Les *pizzicati* sont joués à intervalles de successivement 5, 4, 3, 2, 1, 2, 3, 4, 5 et 5 noires, c'est-à-dire qu'ils dessinent un *decelerando* puis un *accelerando*. Quant aux doubles croches, leur débit est à peu près constant et non orienté.

Se superpose à cela un petit développement des bois sur la note *mi*, l'une des 4 notes-pôles de ce sous-ensemble. Il s'agit très simplement ici d'un rythme de circulation d'un son entre plusieurs instruments qui joue sur leur espace et les profils dynamiques pour créer les tuilages nécessaires au bon relayage. Les relais accélèrent progressivement : un relais toutes les rondes, puis toutes les rondes de triolet, etc., jusqu'à la noire.

Le propos de cette mini-section est donc double : *analytique* d'une part en

GROUPE A

GROUPE A  
 GROUPE B

*Exemple 2.*

examinant avec différents modes de jeu l'un des objets musicaux resté obscur du sous-ensemble des cordes; *perceptif* d'autre part en créant un réseau déphasé de faisceaux de convergence par un triple procédé d'*accelerando* et de *decelerando* permettant d'orienter tour à tour la perception sur l'une ou l'autre des composantes, mais tout en conservant l'identité globale des deux sous-ensembles grâce aux timbres instrumentaux et, secondairement, aux hauteurs.

Sans insister plus sur cette partie, je mentionnerai simplement qu'elle est entièrement prise dans un processus global de densification aboutissant à la désidentification des sous-ensembles, en sorte que la texture, saturée, n'offre plus finalement qu'une perception quasi globale, sans jamais toutefois basculer dans le timbre global.

## 2. Deuxième partie

La seconde partie débute par l'entrée des instruments à percussion résonants. On bascule alors brutalement sur le versant timbre. Le passage d'une partie à l'autre obéit au principe de la *rupture* et constitue ce que j'appelle un *événement* en ce qu'il crée une situation irréversible. L'irruption de cette seconde partie est toutefois perçue comme nécessaire dans la mesure où elle donne l'impression de libérer d'un coup toute l'énergie résonante implacablement contenue dans la première partie.

On rencontre dans cette deuxième partie le même découpage de l'espace sonore en 10 notes-pôles, mais qui va prendre cette fois un tout autre sens. Dans la première partie, les notes-pôles étaient des points d'ancre contribuant à définir l'un ou l'autre des *objets musicaux* dans chaque sous-ensemble. Dans la seconde partie, elles servent plutôt à délimiter des zones d'évolution, des bandes de fréquences, des *formants*, non attachés qui plus est à des groupes déterminés d'instruments<sup>6</sup>. Ces deux visions différentes de l'espace sonore sont à relier au rapport de dominance du rythme et du timbre dans les deux parties. Dans la première, le rythme, terme dominant, propose un découpage de type *algébrique* de l'espace sonore; de ce fait, les notes-pôles y sont perceptibles en tant qu'*éléments* et les objets musicaux ont des contours clairement définis et sont développés dans une *logique* essentiellement *combinatoire*. Dans la seconde partie, le timbre, à son tour terme dominant, impose un découpage que je dirai plutôt *topologique*, les *ensembles* (ou formants) qui y évoluent se déployant plutôt dans une *logique d'adhérence*, de *voisinage*, et proposant un espace-temps métaphorique de la constitution même du timbre: verticalement par étagement de régions, de formants et, horizontalement, par étalement de sa structure élémentaire: attaque, résonance (extinction).

Dans l'exemple 3, se situant à peu près au centre de la seconde partie, deux formants sont exploités: *mi-sib* et *ré-mib*. Le premier par le violon, l'alto et les bois, le second par le piano et les violoncelles 2 et 3. Simultanément, l'arrivée d'un nouveau formant (*sib-la*) est annoncée par des harmoniques de cordes. On voit ici comment les attaques sont dissociées des résonances: deux mesures avant CC par exemple, le marimba, le violoncelle 1 et les cuivres imitent, ici de façon très sommaire, les transitoires d'attaque, tandis que le piano, les

6. L'objet musical et le formant sont donc deux entités sonores qui diffèrent de par leur constitution; la première est un groupement d'unités dissociables, la seconde un ensemble d'éléments indiscernables; l'une offre la possibilité d'une perception analytique, l'autre ne peut être perçue que globalement.

A musical score page featuring six staves of music. The top staff includes dynamic markings such as  $\text{ff}$ ,  $\text{ff}$ ,  $\text{ff}$ , and  $\text{ff}$ . The bottom staff contains a tempo marking of  $125$ . Measure numbers  $1$ ,  $2$ ,  $3$ , and  $4$  are positioned below the staves. The key signature is  $B\flat$ .

A continuation of the musical score from the previous page. It consists of two staves. The first staff ends with a measure number  $4$ . The second staff begins with a measure number  $5$ .

A musical score page featuring three staves. The first staff has a dynamic marking of  $\text{f}$ . The second staff has a dynamic marking of  $\text{f}$ . The third staff has a dynamic marking of  $\text{f}$ . Measure numbers  $5$ ,  $6$ ,  $\Delta$ ,  $7$ ,  $8$ ,  $9$ ,  $10$ , and  $11$  are indicated. The key signature is  $A$ .

A musical score page featuring four staves. The first staff has a dynamic marking of  $\text{f}$ . The second staff has a dynamic marking of  $\text{f}$ . The third staff has a dynamic marking of  $\text{f}$ . The fourth staff has a dynamic marking of  $\text{f}$ . Measure numbers  $12$ ,  $13$ ,  $14$ ,  $15$ ,  $16$ ,  $17$ ,  $18$ , and  $19$  are indicated. The key signature is  $C$ .

*Exemple 3.*

CC

2 4      5 4      3      6 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 4

$\xrightarrow{\text{3/8}} \xleftarrow{\text{3/4}}$

$\xrightarrow{\text{2/2}} \xleftarrow{\text{2/2}}$        $\xrightarrow{\text{2/2}} \xleftarrow{\text{2/2}}$        $\xrightarrow{\text{2/2}} \xleftarrow{\text{2/2}}$

violoncelles 2 et 3 et la contrebasse figurent la résonance. De même à CC avec le vibraphone d'une part, la flûte, la clarinette en *la* et le violoncelle 1 d'autre part.

Je signalerai enfin que toute la seconde partie est elle aussi entièrement prise dans un processus global consistant cette fois en l'émancipation progressive de la résonance, laquelle est peu à peu véhiculée par les seuls instruments à son entretenu et ce dans un seul formant.

Il y a donc interaction dans les deux parties du rythme et du timbre, interaction que je détaillerai ainsi. Dans la première partie, le timbre instrumental *scinde* la texture en différenciant les sous-ensembles, et *analyse* les sous-ensembles par les modes de jeu; le rythme paramétrique *explore* les objets musicaux et le rythme global *scande* la texture. Dans la seconde partie, le rythme paramétrique *mêle* les éléments constitutifs des formants, et le rythme global *organise* leur déploiement; tandis que le timbre instrumental *colore* les formants, et le timbre global *articule* la texture.

### 3. Troisième partie

La troisième partie est une synthèse des deux premières: elle en supporte simultanément les deux logiques de développement, d'où une interaction plus complexe et serrée du rythme et du timbre. Ayant déjà donné pour les deux premières parties des exemples *locaux* et m'étant ainsi contenté d'en indiquer sommairement les processus et les enjeux, je m'emploierai plutôt cette fois à détailler le processus *global*. Celui-ci se scinde logiquement en deux mouvements: l'un opère du timbre vers le rythme, l'autre du rythme vers le timbre.

L'objectif de la troisième partie est de faire «triompher» le timbre global, en sorte qu'à l'issue du processus, ce qui était à son début référable à une problématique rythmique se désidentifie, se noie dans la logique de déploiement devenue submergeante du timbre global (mouvement du rythme vers le timbre), et que les timbres instrumentaux, encore perçus individuellement au début du processus, fusionnent peu à peu entre eux jusqu'à ce que leur fonction ne soit plus d'analyse mais d'articulation globale de la texture (mouvement du timbre vers le rythme); ce double mouvement peut s'écrire ainsi:

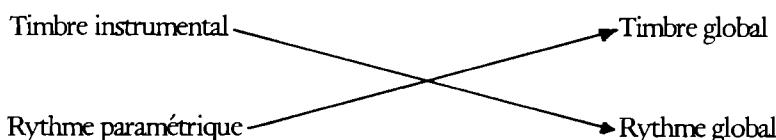


Figure 3.

Je ne parlerai là que du processus allant du rythme vers le timbre. J'ai souvent remarqué que la perception rythmique d'un fragment était liée à sa vitesse de pulsation; généralement, plus celle-ci est rapide, plus l'impression de rythme est forte et inversement. Mon idée fut donc de créer un ralentissement progressif du tempo pour favoriser la constitution d'un timbre global; l'élargissement du tempo offre en effet des possibilités combinatoires de durées d'autant plus riches que l'unité de pulsation devient divisible en un nombre plus grand de valeurs élémentaires différentes. La préoccupation d'une probléma-

tique rythmique véritable ne pouvant toutefois être évacuée dans cette troisième partie étant donné son ambition d'effectuer une synthèse des deux premières, j'ai écarté la solution d'un simple ralentissement arbitraire du tempo pour adopter un jeu dialectique de plusieurs tempi. Chaque nouveau tempo devait ainsi naître par torsion du précédent, autrement dit chaque section affectée d'un tempo particulier devait effectuer un travail de figuration tel qu'elle engendre un tempo plus lent. Ce principe me permettait alors de développer conjointement une problématique rythmique tant au niveau des unités paramétriques qu'à celui d'unités plus grandes, et de déployer une logique du timbre, autonome, mais d'autant plus dévorante que l'évolution agogique s'y prêtait.

La progression des tempi dans *D'une source oubliée* est la suivante : 132, 88, 66 à la noire. Le second tempo n'apparaît explicitement qu'à l'issue de la seconde section dans laquelle il ne s'exprime encore que par torsion du tempo initial à 132. Cette section, déployée dans le suraigu, fait alterner des mesures à la noire et des mesures à 3/8. En effet, celles-ci battues à un temps donnent une pulsation virtuelle à 88 puisqu'elles valent 3/2 d'une noire. Il y a donc au niveau supérieur report du tempo sur la métrique, tandis qu'au niveau inférieur la figuration a loisir, elle aussi, de tordre une pulsation à la noire ou à la noire pointée de manière à faire ressortir l'une ou l'autre des pulsations. Par exemple, une mesure à 3/4 avec la noire à 132 contient virtuellement la possibilité d'un deux-temps à 88 ; il suffit pour le rendre réel d'écrire deux noires pointées.

Il en va de même dans la troisième section où la pulsation maintenant stabilisée à 88 va subir des torsions dans deux sens : au début pour rappeler le tempo à 132, et peu à peu pour annoncer le tempo à 66. Là encore, il y a report du tempo sur la métrique à partir d'une articulation nécessairement ternaire cette fois<sup>7</sup>. On trouvera tout d'abord des mesures à 6 + 2/8 battues à trois temps : deux à 88, un à 132, puis peu à peu des mesures à 9 + 4/8 par exemple, battues à quatre temps : trois à 88, un à 66. Mais on retrouvera là aussi des procédés de torsion interne par la figuration ; dans l'exemple suivant, juste avant l'arrivée du tempo à 66, fin du processus, les cuivres articulent des blanches de triolet, c'est-à-dire des valeurs à 66 (Ex. 4).

Je signalerai pour finir que les tempi n'ont pas été choisis arbitrairement mais par rapport à une plus petite durée élémentaire valant 1/528 de minute dans toutes les sections. Cette durée est la double croche à 132, la double croche de sextolet (ou la double croche en ternaire) à 88, et la triple croche à 66. Outre le fait qu'il privilégie la constitution d'hétérorhythmes, terrain favorable à la formation du timbre global, l'intérêt de ce processus réside en effet dans ce que si la plus petite durée a la même *valeur absolue* dans toutes les sections, elle n'a pas la même *valeur musicale* suivant qu'elle est une double croche, une double croche de sextolet ou une triple croche (si toutefois, bien sûr, l'unité de pulsation reste la noire). C'est pourquoi ce processus de ralentissement du tempo provoque un basculement progressif de la texture, les structures perçues rythmiquement et de manière relativement analytique au début du processus n'étant plus perçues que globalement à son issue, parce que noyées dans un effet de timbre global qu'elles contribuent alors à échafauder.

7. Le recours au ternaire est en effet la solution la plus simple pour obtenir ces rapports de tempi, l'autre solution (qui serait inévitable dans d'autres cas) étant pour 9 + 4/8 par exemple : 3/4 + 2/3 avec quasi nécessairement un triolet de croches sur le 3<sup>e</sup> temps pour des raisons pratiques d'exécution.

*Exemple 4.*

## VI. Le timbre ou le réel de la musique

Pretendrai-je maintenant être parvenu à la maîtrise du timbre? Certes non; tout au plus ai-je quelque idée sur la place qu'il occupe aujourd'hui dans la composition musicale et sur les nouvelles perspectives dont il est porteur. Le timbre est en effet le témoin par excellence de l'*excès* irréductible de la

perception sur l'écriture, excès beaucoup plus déroutant que celui de l'écriture sur la perception, qui, lui, résulte d'opérations tout à fait contrôlées par le compositeur. Je persiste à penser toutefois que dans ce double excès réside une force potentielle de la composition. Ce n'est pas qu'il faille se priver de chercher à cerner le timbre d'un peu plus près ou d'enrichir la palette de ses effets au moyen de la technologie dont on dispose désormais, mais plutôt qu'il y a sans doute peu d'illusions à se faire quant aux possibilités que l'on pourrait avoir de l'éclaircir et de le maîtriser totalement.

Est-ce alors que resurgit là le vieux thème de l'ineffable? Non point, mais seulement qu'il est incontournable de devoir faire face, à un moment ou à un autre, au mur que dresse devant nous le *réel*. Et le timbre n'est-il pas le réel de la musique ou du moins un réel de la musique? Pour cette raison, le timbre échappera toujours au contrôle absolu et de ce fait exigera du compositeur qu'il prenne une décision sans pouvoir jamais être totalement assuré du résultat, bref qu'il parie. C'est pourquoi je ne dirai pas avec Deliège (1987) qu'il n'est pas temps pour l'heure d'espérer pouvoir faire œuvre nouvelle parce que la technologie ne nous en donne pas encore les moyens, mais accueillerai volontiers le précepte webernien selon lequel « il faut avoir confiance dans l'idée qu'on a eue », ce qui est moins une prétention qu'une exigence comme en a témoigné son auteur.

L'art n'a que faire des preuves; c'est son génie. Peut-être alors faudrait-il avoir le courage de penser la part la plus insaisissable du timbre comme l'une des chances les plus certaines de la musique.

Paris, novembre 1987.

# **Structuration des timbres dans la musique instrumentale**

par Gérard GRISEY

## **Introduction**

Depuis quelques années, l'électronique nous permet une écoute microphonique du son. L'intérieur même du son, ce qui était caché et occulté par plusieurs siècles de pratiques musicales essentiellement macrophoniques, est enfin livré à notre émerveillement. D'autre part, l'ordinateur nous permet d'aborder des champs de timbres inouïs jusqu'à ce jour et d'en analyser très finement la composition. L'appréhension de ce nouveau champ acoustique encore vierge a rafraîchi notre écoute et déterminé de nouvelles formes : il est enfin devenu possible d'explorer l'intérieur d'un son en étirant sa durée et de voyager du macrophonique au microphonique à des vitesses variables.

Seules, la synthèse électronique et la synthèse instrumentale nous permettent d'aborder cette dimension nouvelle. Dans la *synthèse instrumentale* qui est l'objet de cet essai, c'est l'instrument qui exprime chaque composante du son et, à la différence de la synthèse électronique, ces composantes sont si complexes qu'elles constituent déjà une micro-synthèse. Pour la distinguer de cette dernière, nous appellerons donc macro-synthèse la synthèse instrumentale qui vise à l'élaboration de formes sonores. Ces formes, empruntées à toute l'échelle des possibilités acoustiques depuis le spectre de partiels harmoniques jusqu'au bruit blanc, supposent une écriture utilisant des fréquences non tempérées. Précisons toutefois que celle-ci n'a rien à voir avec l'emploi de quarts ou de tiers de ton qui souvent ne proposent qu'un raffinement du système tempéré.

Ajoutons que l'instrument comme micro-synthèse et source complexe sera utilisé pour ses qualités spécifiques et non pour sa connotation culturelle (les flûtes idylliques, le hautbois champêtre, le cor lointain, etc.). Aussi l'analyse spectrale des instruments (sonagrammes et spectrogrammes) devient-elle le complément indispensable aux traités d'instrumentation désuets qu'utilisent encore les compositeurs du xx<sup>e</sup> siècle. Tel son de clarinette dont l'harmonique 3 est très saillant ou tel son de trompette dont la sourdine filtre une région de 3000 à 4000 Hz trouveront enfin

leur place dans la synthèse instrumentale en raison même de la distribution de leur énergie et non pour colorier une harmonie ou bricoler un joli timbre !

Il serait trop fastidieux pour le lecteur que j'aborde en détail l'aspect technique de cette écriture qui synthétise des spectres complexes, articule leurs transitoires, joue sur les glissements insensibles d'une forme à une autre, souligne les sons résultants, prend les battements comme source rythmique, les filtrages et les déphasages comme source mélodique, pour n'en citer que quelques traits parmi les plus saillants. Retenons de ces multiples traitements que la source instrumentale disparaît au profit d'un *timbre synthétique* totalement inventé et non donné a priori par les instruments. Le timbre et la hauteur sont donc composés simultanément et l'instrumentation, au sens traditionnel, est lettre morte. Avouons toutefois que nous sommes encore trop balbutiants dans ce nouveau mode d'appréhension de l'instrumental pour pouvoir nous passer tout à fait des bêquilles de la tradition !

Qu'on me permette d'insister sur ceci : il s'agit bien ici d'une véritable *écriture* et non d'un quelconque amalgame de matériaux nouveaux. Malheureusement, cet aspect échappe encore à ceux pour qui l'écriture se lit plus qu'elle ne s'écoute et qui restent persuadés que la note et le contrepoint en restent les fondements immuables. Au début du siècle, nos censeurs auraient certainement opté pour Vincent d'Indy, contre Debussy !

Dans cet article, je me propose d'aborder successivement différents modes de structuration du timbre instrumental tels que les révèlent principalement les pièces constitutives de mon cycle *Les Espaces Acoustiques* (1974-1985) :

- *Prologue* pour alto seul
  - *Périodes* pour 7 musiciens
  - *Partiels* pour 16 ou 18 musiciens
  - *Modulations* pour 33 musiciens
  - *Transitoires* pour grand orchestre
  - *Épilogue* pour grand orchestre et 4 cors solo
- ainsi que *Dérives* pour deux groupes d'orchestre.

Comme il m'apparaît impossible de traiter du timbre sans parler du temps, je renverrai fréquemment le lecteur à un autre article consacré au temps musical (revue *Entretemps* n° 8). D'autre part, l'analyse des modes de structuration du timbre nécessitera de nombreux exemples de partitions qui ne pourront être reproduits que partiellement dans le présent ouvrage. Je renvoie donc le lecteur aux partitions publiées chez Ricordi.

## I. Synthèse instrumentale et synthèse additive

### 1. *Le spectre d'harmoniques*

La première ébauche de synthèse instrumentale m'est venue en 1973 dans une partition pour grand orchestre : *Dérives*. Au cours des cinq dernières minutes de cette partition, les composantes d'un spectre d'harmoniques imaginaire sur *mi b* sont confiées aux différents instruments de l'orchestre. Il

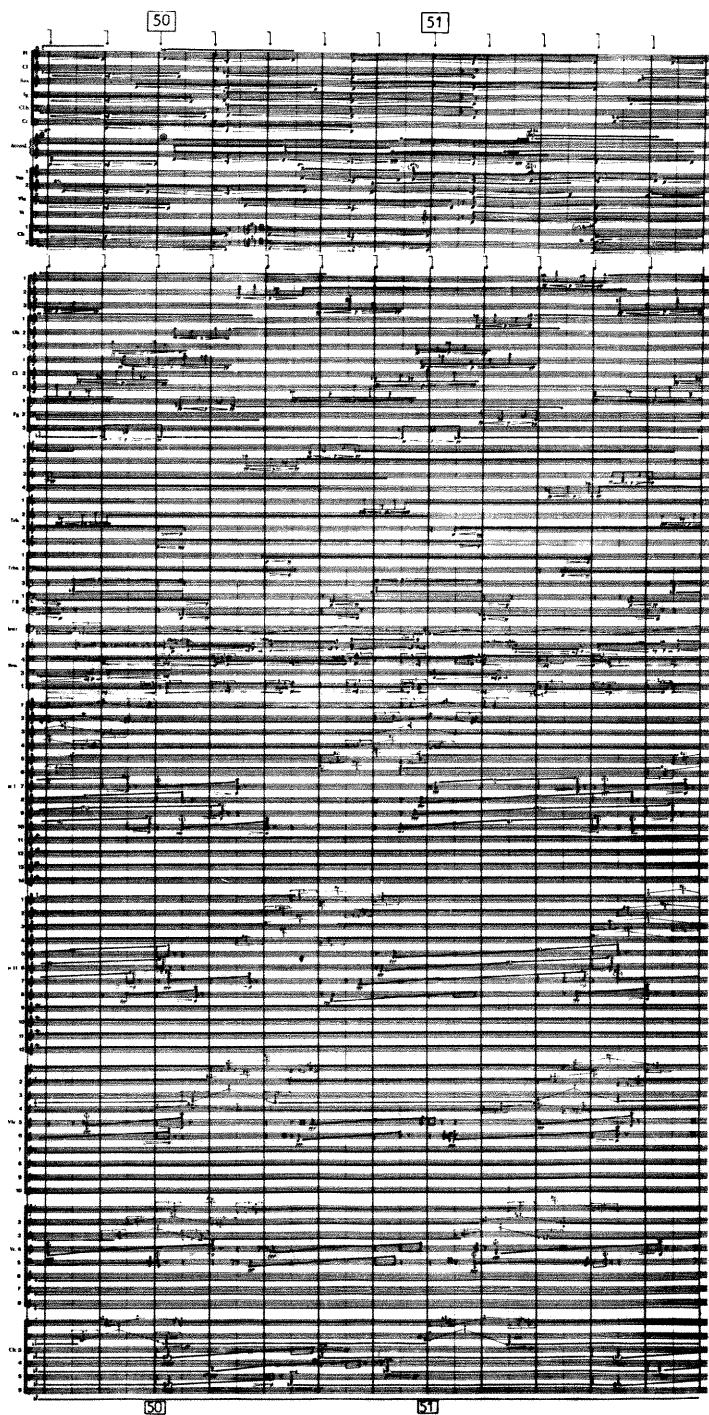


Figure 1. DÉRIVES.



Figure 2. DÉRIVES. Spectre générateur.

n'est cependant pas encore question ici de modèle instrumental ni de micro-intervalles.

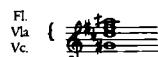
Sur ce spectre, se greffent peu à peu six événements périodiques apparentés à des cercles en rotation à des vitesses différentes.

- 1) Bois et cuivres : mélismes sur les sons du spectre d'harmoniques.
- 2) Percussions résonantes : changements d'intensité sur les mêmes sons.

Figure 3. PÉRIODES.

- 3) Petit ensemble : chaque harmonique produit son propre spectre d'harmoniques.
- 4) Cordes : enrichissement par ajout des harmoniques pairs et des glissandi d'harmoniques.
- 5) Cordes : faisceaux de glissandi balayant tout le spectre.
- 6) Percussions : bruit blanc (toutes les fréquences).

Le dernier cercle est le silence qui désassemble tous les rouages. L'ensemble nous donne à percevoir une image synthétique et fusionnée dans laquelle les



*Figure 4. PÉRIODES.* Spectre provenant de l'analyse sonagraphique du trombone.

différentes couches orchestrales disparaissent au profit d'un son unique bien que fort complexe.

La deuxième tentative a eu lieu à peu près à la même époque, dans une partition pour sept musiciens: *Périodes*. La dernière page de cette pièce propose en guise d'ouverture à la pièce suivante *Partiels* un spectre d'harmoniques sur un *mi* fondamental. La distribution et le formant de ce spectre proviennent de l'analyse du sonagramme d'un spectre de trombone sur cette même note.

Ici, les composantes harmoniques du spectre sont respectées quant à leurs fréquences justes, non tempérées, mais limitées aux quarts et aux huitièmes de ton pour les raisons pratiques que l'on comprendra aisément. L'instrumentation et la distribution des volumes et des intensités suggèrent un spectre synthétique qui n'est autre que *la projection dans un espace dilaté et artificiel de la structure naturelle des sons*.

## 2. Spectres inharmoniques

Le modèle instrumental peut aussi devenir un simple point de départ pour une dérive imaginaire vers des spectres totalement artificiels.

Au début de *Partiels*, le spectre d'harmoniques du *mi* de la contrebasse et du trombone est actualisé par dix-huit instruments. Ce spectre naturel dérive à chaque répétition vers un spectre de partiels inharmoniques. La zone formantique, progressivement décalée vers le grave, se colore

de fréquences de plus en plus inharmoniques. Elle est généralement confiée aux bois sans vibrato et sans diminuendo. Les durées des transitoires d'attaque et d'extinction évoluent elles aussi pour chaque répétition en raison inverse: les transitoires d'attaque croissent, les transitoires d'extinction décroissent. Les durées des zones stables fluctuent autour d'une constante.

Les changements de composantes du spectre, les changements de timbre de chaque partiel et les événements transitoires qui surviennent dans le corps du son sont additionnés. Ils constituent le degré de changement entre un état de l'évolution spectrale et le suivant. (Fig. 5, 6).



*Figure 5. PARTIELS. Évolution du formant, des inharmoniques (note 0) et des changements de timbres (chiffres 1 à 11).*

### 3. Spectres d'harmoniques et de sous-inharmoniques

Quelques années plus tard, dans *Modulations*, ma technique d'écriture spectrale est devenue plus précise. Les chiffres 44 à 54 de la partition contiennent une série de spectres orchestrés pour instruments à vent, cordes, harpe et orgue électrique.

A chaque spectre correspond un miroir de ce même spectre (sous-harmoniques). L'apparition et l'évolution des inharmoniques va de pair avec un étalement des transitoires d'attaque, une transposition vers le grave des spectres droits et vers l'aigu des spectres inversés ainsi qu'une similarité progressive des timbres. Même si le résultat sonore n'a en apparence rien de commun, le processus est semblable à celui du début de la partition: un

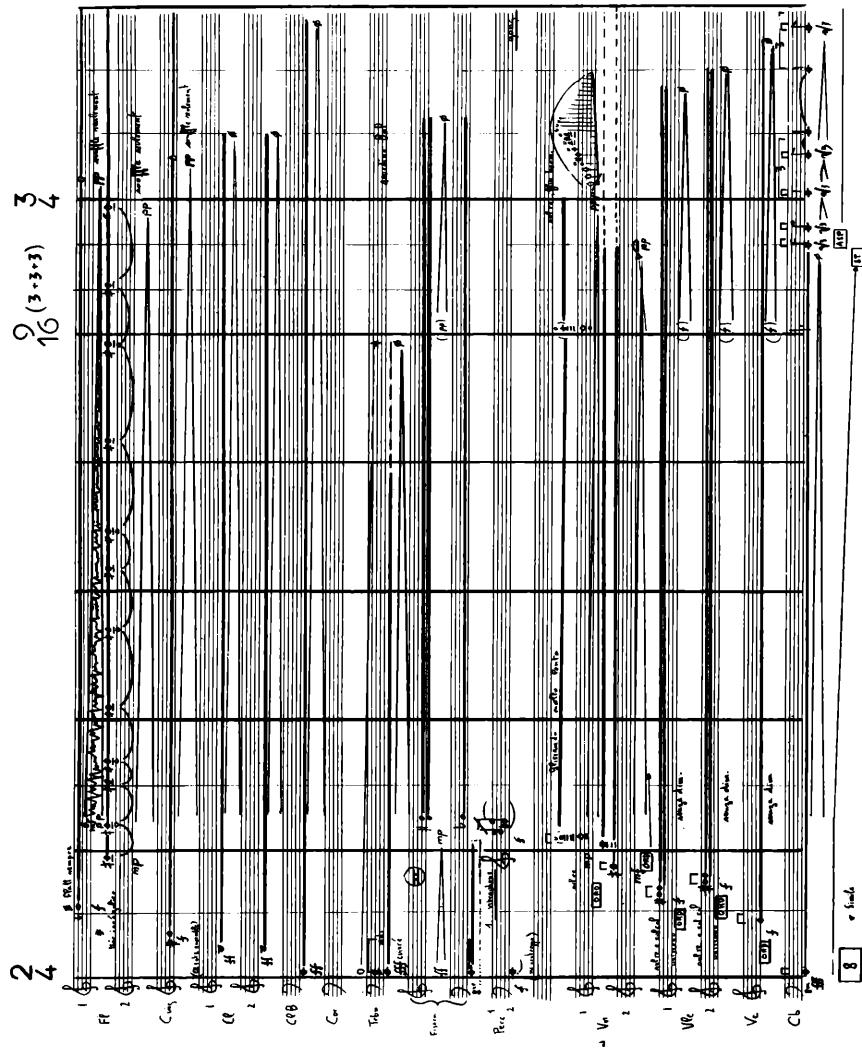
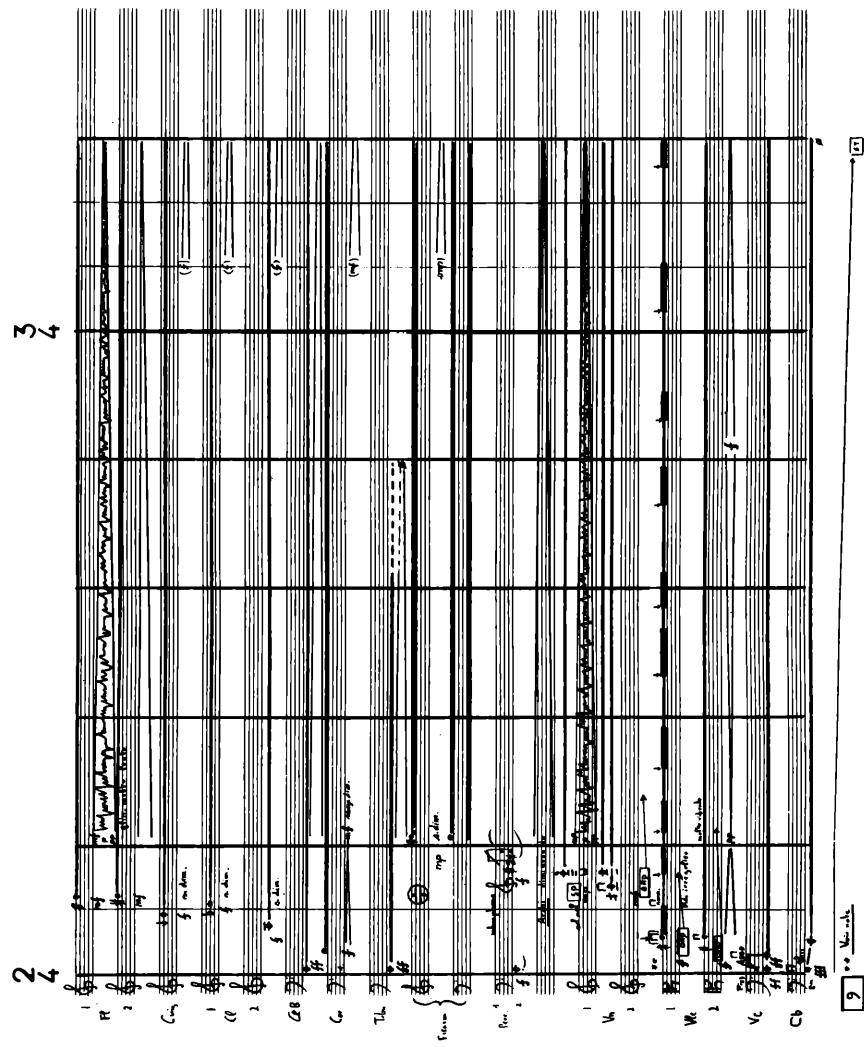
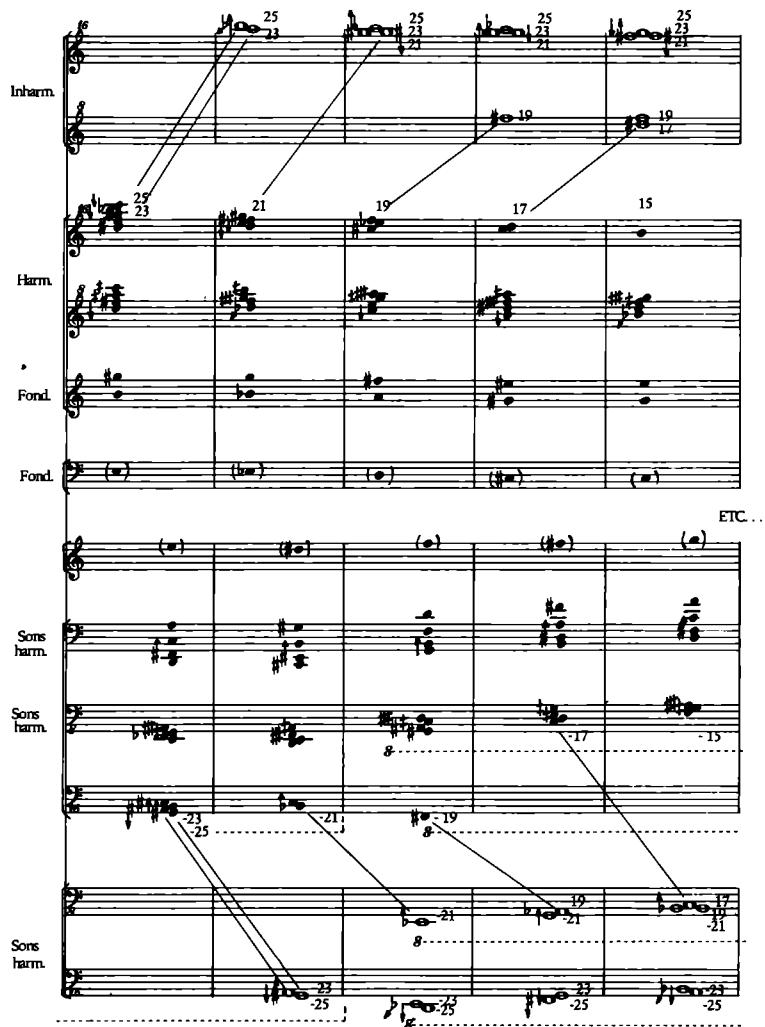


Figure 6. PARTIELS.



*Figure 6. PARTIELS (suite).*

parcours progressif du disparate au semblable, une tendance à la fusion en un spectre de bruits pour cette dernière section et en un spectre d'harmoniques pour la première section. (Fig. 7, 8).



*Figure 7. MODULATIONS. Évolution des spectres vers l'inharmonicité (chiffres 44 à 54).*

2      3 (46)      2      3

**Figure 8. MODULATIONS.**

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

297

298

299

300

301

302

303

304

305

306

307

308

309

310

311

312

313

314

315

316

317

318

319

320

321

322

323

324

325

326

327

328

329

330

331

332

333

334

335

336

337

338

339

340

341

342

343

344

345

346

347

348

349

350

351

352

353

354

355

356

357

358

359

360

361

362

363

364

365

366

367

368

369

370

371

372

373

374

375

376

377

378

379

380

381

382

383

384

385

386

387

388

389

390

391

392

393

394

395

396

397

398

399

400

401

402

403

404

405

406

407

408

409

410

411

412

413

414

415

416

417

418

419

420

421

422

423

424

425

426

427

428

429

430

431

432

433

434

435

436

437

438

439

440

441

442

443

444

445

446

447

448

449

450

451

452

453

454

455

456

457

458

459

460

461

462

463

464

465

466

467

468

469

470

471

472

473

474

475

476

477

478

479

480

481

482

483

484

485

486

487

488

489

490

491

492

493

494

495

496

497

498

499

500

501

502

503

504

505

506

507

508

509

510

511

512

513

514

515

516

517

518

519

520

521

522

523

524

525

526

527

528

529

530

531

532

533

534

535

536

537

538

539

540

541

542

543

544

545

546

547

548

549

550

551

552

553

554

555

556

557

558

559

560

561

562

563

564

565

566

567

568

569

570

571

572

573

574

575

576

577

578

579

580

581

582

583

584

585

586

587

588

589

590

591

592

593

594

595

596

597

598

599

600

601

602

603

604

605

606

607

608

609

610

611

612

613

614

615

616

617

618

619

620

621

622

623

624

625

626

627

628

629

630

631

632

633

634

635

636

637

638

639

640

641

642

643

644

645

646

647

648

649

650

651

652

653

654

655

656

657

658

659

660

661

662

663

664

665

666

667

668

669

660

661

662

663

664

665

666

667

668

669

670

671

672

673

674

675

676

677

678

679

680

681

682

683

684

685

686

687

688

689

690

691

692

693

694

695

696

697

698

699

700

701

702

703

704

705

706

707

708

709

710

711

712

713

714

715

716

717

718

719

720

721

722

723

724

725

726

727

728

729

720

721

722

723

724

725

726

727

728

729

730

731

732

733

734

735

736

737

738

739

730

731

732

733

734

735

736

737

738

739

740

741

742

743

744

745

746

747

748

749

740

741

742

743

744

745

746

747

748

749

750

751

752

753

754

755

756

757

758

759

750

751

752

753

754

755

756

757

758

759

760

761

762

763

764

765

766

767

768

769

760

761

762

763

764

765

766

767

768

769

770

771

772

773

774

775

776

777

778

779

770

771

772

773

774

775

776

777

778

779

780

781

782

783

784

785

786

787

788

789

780

781

782

783

784

785

786

787

788

789

790

791

792

793

794

795

796

797

798

799

790

791

792

793

794

795

796

797

798

799

800

801

802

803

804

805

806

807

808

809

800

801

802

803

804

805

806

807

808

809

810

811

812

813

814

815

816

817

818

819

810

811

812

813

814

815

816

817

818

819

820

821

822

823

824

825

826

827

828

829

820

821

822

823

824

825

826

827

828

829

830

831

832

833

834

835

836

837

838

839

830

831

832

833

834

835

836

837

838

839

840

841

842

843

844

845

846

847

848

849

840

841

842

843

844

845

846

847

848

849

850

851

852

853

854

855

856

857

858

859

850

851

852

853

854

855

856

857

858

859

860

861

862

863

864

865

866

867

868

869

860

861

862

863

864

865

866

867

868

869

870

871

872

873

874

875

876

877

878

879

870

871

872

873

874

875

876

877

878

879

880

881

882

883

884

885

886

887

888

889

880

881

882

883

884

885

886

887

888

889

890

891

892

893

894

895

896

897

898

899

890

891

892

893

894

895

896

897

898

899

900

901

902

903

904

905

906

907

908

909

900

901

902

903

904

905

906

907

908

909

910

911

912

913

914

915

916

917

918

919

910

911

912

913

914

915

916

917

918

919

920

921

922

923

924

925

926

927

928

929

920

921

922

923

924

925

926

927

928

929

930

931

932

933

934

935

936

937

938

939

930

931

932

933

934

935

936

937

938

939

940

941

942

943

944

945

946

947

948

949

940

941

942

943

944

945

946

947

948

949

950

951

952

953

954

955

956

957

958

959

950

951

952

953

954

955

956

957

958

959

960

961

962

963

964

965

966

967

968

969

960

961

962

963

964

965

966

967

968

969

970

971

972

973

974

975

976

977

978

979

970

971

972

973

974

975

976

977

978

979

980

981

982

983

984

985

986

987

988

989

980

981

982

983

984

985

986

987

988

989

990

991

992

993

994

995

996

997

998

999

990

991

992

993

994

995

996

997

998

999

1000

1001

1002

1003

1004

1005

1006

1007

1008

1009

1000

1001

1002

1003

1004

1005

1006

1007

1008

1009

1010

1011

1012

1013

1014

1015

1016

1017

1018

1019

1010

1011

1012

1013

1014

1015

1016

1017

1018

1019

1020

1021

1022

1023

1024

1025

1026

1027

1028

1029

1020

1021

1022

1023

1024

1025

1026

1027

1028

1029

1030

1031

1032

1033

1034

1035

1036

1037

1038

1039

1030

1031

1032

1033

1034

1035

1036

1037

1038

1039

1040

1041

1042

1043

1044

1045

1046

1047

1048

1049

1040

1041

1042

1043

1044

1045

1046

1047

1048

1049

1050

1051

1052

1053

1054

1055

1056

1057

1058

1059

1050

1051

1052

1053

1054

1055

1056

1057

1058

1059

1060

1061

1062

1063

1064

1065

1066

1067

1068

1069

1060

1061

1062

1063

1064

1065

1066

1067

1068

1069

1070

1071

1072

1073

1074

1075

1076

1077

1078

1079

1070

1071

1072

1073

1074

1075

1076

1077

1078

1079

1080

1081

1082

1083

1084

1085

1086

1087

1088

1089

1080

1081

1082

1083

1084

1085

1086

1087

1088

1089

1090

1091

1092

1093

1094

1095

1096

1097

1098

1099

1090

1091

1092

1093

1094

1095

1096

1097

1098

1099

1100

1101

1102

1103

1104

1105

1106

1107

1108

1109

1100

1101

1102

1103

1104

1105

1106

1107

1108

1109

1110

1111

1112

1113

1114

1115

1116

1117

1118

1119

1110

1111

1112

1113

1114

1115

1116

1117

1118

<p

Le déplacement continu et indépendant de l'animal de la fosse au cheval et vice versa. Déplacement continu et indépendant de l'animal de la fosse au cheval et vice versa.

*Figure 8* (suite).

#### 4. *Microphonie, macrophonie: le modèle instrumental et sa projection orchestrale*

Examinons à présent les chiffres 17 à 43 de la partition de *Transitoires*. Il ne s'agit plus ici de transformation continue comme dans l'exemple précédent, mais d'un passage brutal du modèle instrumental, en l'occurrence la contrebasse, à une projection spectrale dans l'orchestre. De la microphonie à la macrophonie, nous avons affaire ici à un véritable changement d'échelle temporelle et de perception acoustique. Imaginons-nous munis d'un zoom acoustique qui nous projetterait brutalement, comme à l'aide d'un déclencheur, de l'extérieur (distant) à l'intérieur (proche) du son de la contrebasse.

J'ai longuement décrit dans *Tempus ex Machina* (1987) ces jeux de proximité, cette écoute plus ou moins fine et différenciée ainsi que les relations qu'elle entretient avec le temps musical.

Ici, le spectre de la corde de *mi* de la contrebasse a été enregistré puis étudié au moyen de sonagrammes dans les modes de jeux suivants : arco ord., arco pont., arco sul tasto, pizz ord., pizz pont., pizz sul tasto et passage progressif entre tasto et ponticello (Fig. 9).

Ces spectres ont été ensuite orchestrés *dans deux échelles temporelles différentes*, l'une pour quarante musiciens et l'autre pour quatre-vingts musiciens. L'échelle la plus grande permet d'atteindre le cinquantième harmonique.

L'analyse spectrale est déterminante pour le choix instrumental : on y trouvera notamment une correspondance entre le volume et la richesse spectrale des instruments de l'orchestre, d'une part, et l'épaisseur et l'intensité des formants du spectre qui a servi de modèle, d'autre part. Par exemple : les cors jouent dans la région du formant principal (harmoniques 11 et 13) dont les fréquences émergent dès l'attaque, le fondamental, d'ailleurs très faible, apparaissant beaucoup plus tard.

On remarquera la différence très nette dans les timbres orchestraux entre le spectre simulant la position ordinaire du son de contrebasse et celui qui simule la position sur le chevalet (apparition de nouveaux formants et d'harmoniques plus aigus). (*Transitoires* p. 16 pour l'échelle 1, p. 17 pour l'échelle 2 Fig. 10 et 11).

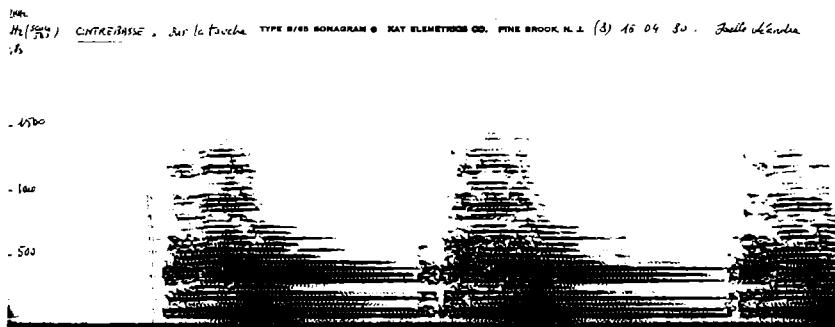


Figure 9. Sonagramme de la contrebasse.



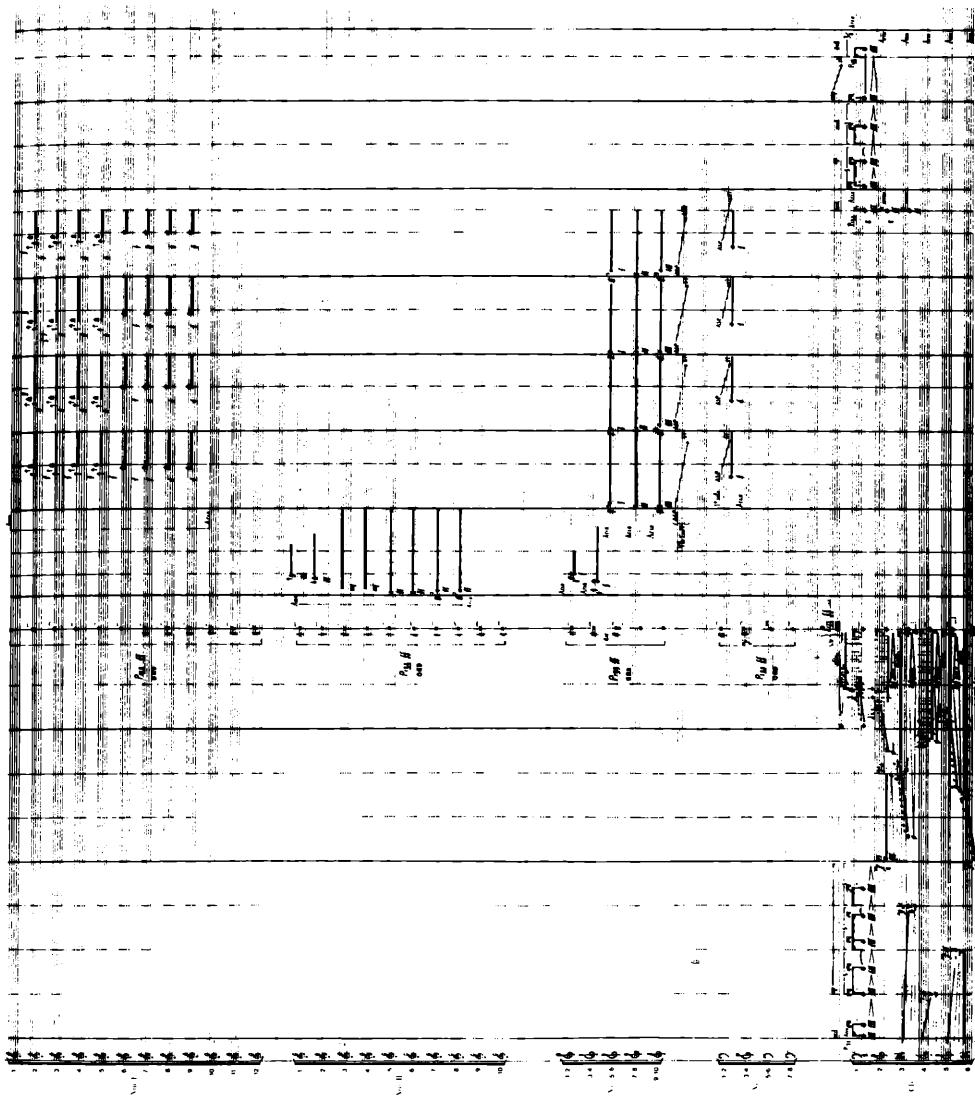
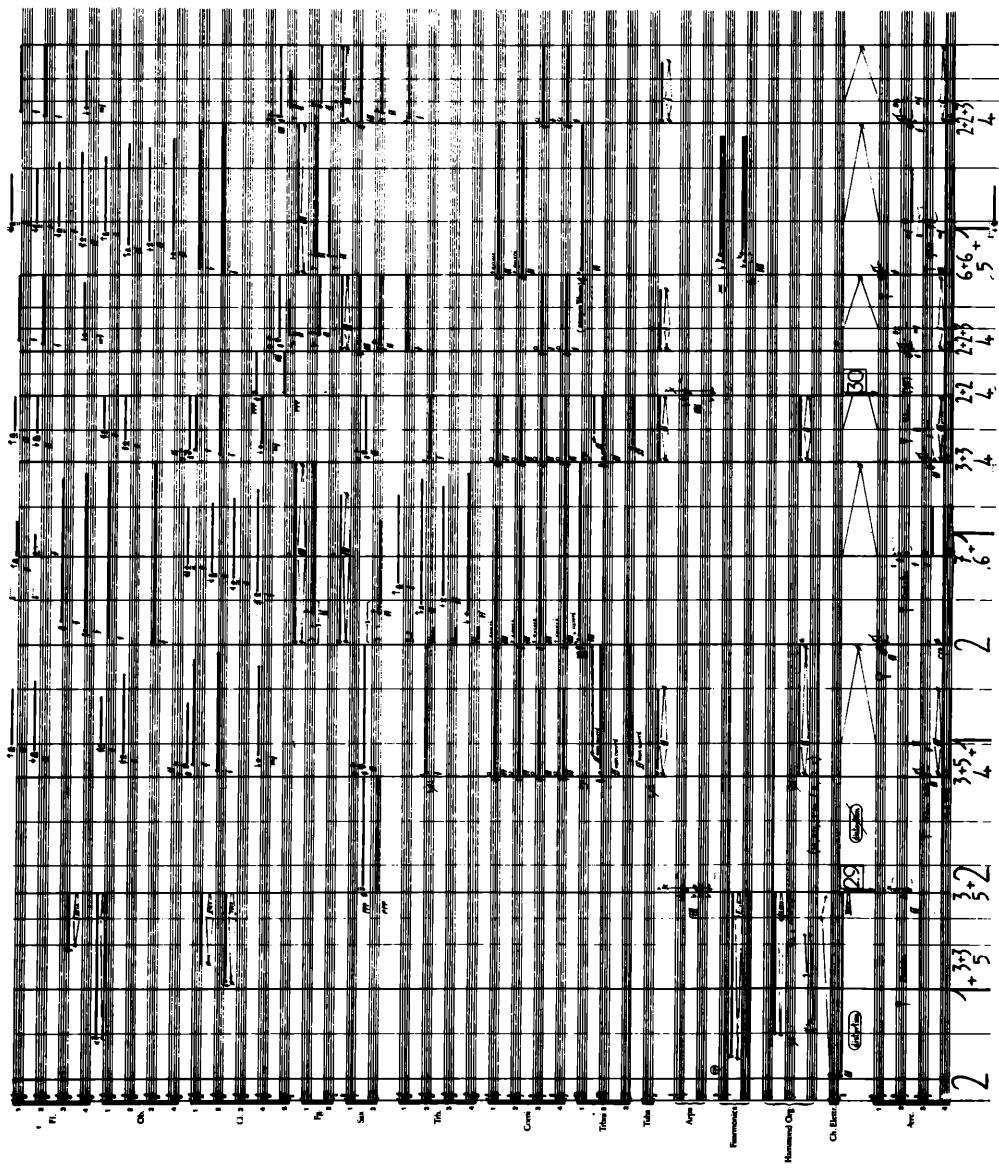


Figure 10. TRANSITOIRES (Échelle 1).





*Figure 11. TRANSITOIRES (Échelle 2).*

qu'entre deux sons entendus simultanément: l'ombre du son (en allemand, *Klangschatten*).

Il suffit d'examiner l'effet produit par une suite d'intervalles continus entre l'unisson et l'octave pour admettre que cette analogie n'est pas aussi arbitraire qu'il n'y paraît à première vue. Certains intervalles sont sans ombres parce que les sons résultants ne font que renforcer la lumière de leurs harmoniques. D'autres au contraire produisent un réseau infiniment complexe de sons résultants dont les fréquences sont fort éloignées de celles contenues dans les sons générateurs et leurs harmoniques. Cette analogie avec l'ombre portée est d'ailleurs à l'origine de *Jour*, *Contre-jour* pour orgue électrique, treize musiciens et bande magnétique.

Examinons à présent les chiffres 23 à 31 de *Modulations*. Les sons générateurs sont confiés à l'orgue électrique et aux cuivres. Le reste de l'orchestre joue différents sons de combinaisons qui sont groupés, hiérarchisés et orchestrés suivant leur degré d'ordre de manière à créer une sensation de profondeur, une aura engendrée par les sons principaux. Ces groupes de sons de combinaison succèdent aux sons générateurs suivant un ordre qui provient des courbes mélodiques de *Prologue* pour alto seul, première pièce du cycle. Malgré l'extrême diversité des timbres instrumentaux, l'impression reçue est celle de spectres synthétiques qui tendent vers la fusion et non de simples accords.

Du complexe de sons si dense qu'il ne peut qu'engendrer une ombre noire et bruitée, aux intervalles simples tels la seconde majeure et la quinte diminuée qui engendent une ombre plus colorée, nous retrouvons un parcours fréquent dans tout le cycle des *Espaces Acoustiques*: du complexe au simple, du bruit au spectre d'harmoniques. (Fig. 12, 13).

De nombreux exemples d'application de l'ombre des sons se retrouvent au long des *Espaces Acoustiques*, ainsi *Partiels*: chiffres 12 à 28, *Modulations*: chiffres 1 à 17, *Transitoires*: chiffres 43 à 52, mais également dans d'autres œuvres n'appartenant pas à ce cycle telles *Sortie vers la lumière du jour* pour orgue électrique, et quatorze musiciens, *Jour contre jour* pour orgue électrique, treize musiciens et bande magnétique et *Talea* pour violon, violoncelle, flûte, clarinette et piano.

### 3. Conclusion

Si l'on considère ce phénomène comme essentiel à notre perception, nous devons en tenir compte dans les structurations des timbres. Composer avec l'ombre des sons, c'est imaginer une orchestration qui met en lumière les champs de profondeur dans lesquels s'activent les différents timbres.

Ainsi, la proximité et l'éloignement n'est plus décrite par la seule intensité ou l'éloignement physique (les trompettes en coulisses!), mais également par les hauteurs. Quoi de plus adéquat pour éviter une orchestration à deux dimensions où tout se situe au même niveau? Nous disposons à présent d'un réseau de fréquences différentielles et additionnelles qui, tel l'ombre portée d'un objet, peut mettre en relief les fréquences génératrices et souligner leurs couleurs propres: c'est un nouvel espace pour le timbre orchestral.

3      4

Pic.

Fl.

Ob.

Cl.

Fag.

Tt.

Cr.

Trba.

Tb.

A

H. Org.

Per.

Vn.

Vcl.

Vc.

Ch.

27

2A

2A+B

3A+2B

A+B

2B-A

A-B

2A

3B-2A

*Figure 12. MODULATIONS.*

4

4

Picc.  
Fl. 1  
Fl. 2  
Ob. 1  
Ob. 2  
Cl. 1  
Cl. 2  
Ig. 1  
Ig. 2  
Tr. 1  
Tr. 2  
Cr. 1  
Cr. 2  
Trbn. 1  
Trbn. 2  
Tb.  
A.  
H. Org.  
Perc. 1  
Perc. 2  
Perc. 3  
Vln. 1  
Vln. 2  
Vln. 3  
Vln. 4  
Vln. 5  
Vlc. 1  
Vlc. 2  
Vc. 1  
Vc. 2  
Ch. 1  
Ch. 2

*Figure 13. MODULATIONS.*

### III. Structuration des timbres et degré de pré-audibilité

#### 1. Le degré de changement

Définir à chaque instant donné ce qui change par rapport à ce qui précède, structurer la quantité de changement, la différence entre chaque événement et le suivant, cette notion issue de la théorie de l'information fut reprise par Stockhausen (*Veränderungsgrad*) notamment dans *Carré* pour 4 orchestres et 4 chœurs. En incluant non seulement le son mais, plus encore, les différences perçues *entre* les sons, le véritable matériau du compositeur devient *le degré de prévisibilité*, mieux : *de pré-audibilité*.

J'ai décrit dans *Tempus ex machina* (1987) les rapports que cette écriture entretient avec le temps. L'apprehension et la mesure de la différence à chaque instant donné sont essentielles, *car entre un son et le suivant, au creux même de cette différence ou de cette absence de différence se love le temps non chronométrique, le temps phénoménologique qu'apprivoisent les musiciens avec patience, intuition et naïveté.*

Il m'est apparu que ce type de contrôle quantitatif était l'un des seuls possibles pour organiser les timbres instrumentaux qualitatifs par excellence. Entre un *la* de violon et un *la* joué par un autre violon, il existe une faible différence : celle de la qualité de l'instrument et de l'instrumentiste. C'est le *degré de changement minimum* que l'on peut espérer dans un ensemble instrumental.

On peut comparer ainsi la même figure sur tous les instruments de l'orchestre et établir des graduations plus ou moins arbitraires. Par exemple, le même *la* au violoncelle sera plus proche du violon qu'un *la* de flûte lui-même beaucoup plus semblable au violon qu'un autre *la* au tuba, et ainsi de suite.

La classification traditionnelle en instruments à vent, à corde, etc. ne résiste pas toujours à une écoute attentive de ce type : par exemple, le *ré* grave d'une flûte piccolo sera certainement plus semblable à une harmonique de contrebasse sur la même note que le même *ré* joué par une clarinette, un son de trompette avec une sourdine plus proche d'un instrument à vent en bois que d'un cor, etc. Que dire par ailleurs des transitoires d'attaque, des modes de jeux tels le ponticello des cordes et des sourdines qui changent si radicalement le spectre instrumental ?

Allons-nous vers la réalisation d'un nouveau traité d'orchestration qui classerait les timbres et les registres en fonction de leurs spectres, de leurs formants et de leurs transitoires et non plus en fonction de leur lutherie ?

Il est souhaitable que l'ordinateur puisse nous fournir rapidement une modélisation des spectres instrumentaux qu'il nous sera dès lors plus aisés de comparer et de hiérarchiser.

#### 2. Applications

La première manifestation de ce type de contrôle des timbres se trouve dans *Dérives*. Du chiffre 11 au chiffre 21 de la partition, j'ai utilisé la technique de la pré-audibilité pour contrôler tous les paramètres dont bien évidemment le timbre qui est en évolution constante. Dans l'exemple suivant, on trouvera une définition des deux pôles entre lesquels s'inscrit la continuité. (Fig. 14)

<i>Chiffre</i>	<b>11</b>	<b>21</b>
<i>Courbe des registres</i>	Sinusoïde faible amplitude brève période	Sinusoïde grande amplitude longue période
<i>Hauteurs</i>	Harmoniques Notes communes = maximum Tuilage = maximum	Bruit blanc Notes communes = 0 Tuilage = 0
<i>Timbres</i>	Semblables Lisses - - - - Granuleux - - - - - Transitoires = minimum	Dissemblables Brefs Transitoires = maximum
<i>Intensités</i>	Profil [_____] [cresc. - decresc.] [ $>$ decresc.] [ $>$ ] ppp	[>] fff
<i>Durées</i>	Périodiques	Apériodiques
<i>Tempi</i>	Rapide ( $I = 105$ )	Lent ( $I = 33$ )

Figure 14

L'exemple suivant (Fig. 15) est extrait du début de *Modulations* du chiffre 1 au chiffre 17 de la partition. Deux accords-spectres jumeaux (A : complexe de sons + B : sons additionnels) évoluent de l'hétérogène à l'homogène, des durées apériodiques aux durées périodiques.

A chaque répétition, les fréquences d'un spectre de partiels inharmoniques se rapprochent d'un spectre d'harmoniques, les fondamentaux sont transposés chaque fois d'un demi-ton et les durées et les timbres tendent vers la similarité, l'uniformité et la périodicité (chiffre 17).

Si l'on compare les accords A aux accords B à chaque apparition des durées périodiques, ils tendent vers la similarité et la fusion de leurs registres et de leurs timbres. Ainsi, du chiffre 2 au chiffre 16 :

<i>Chiffre</i>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<i>Accord A</i>	10 cordes	10 cordes	10 cordes	9 cordes 1 bois	9 cordes 2 bois
<i>Accord B</i>	7 cuivres 6 bois	6 cuivres 8 bois	6 cuivres 5 bois 1 corde	5 cuivres 5 bois 1 corde	4 cuivres 5 bois 2 cordes
<i>Différence instrumentale</i>			18 ou plus	16 puis 15	
<i>Chiffre</i>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>3 av. 12</b>	<b>4 ap. 12</b>
<i>Accord A</i>	7 cordes 3 bois	6 cordes 2 bois 1 cuivre	5 cordes 2 bois 2 cuivres	4 cordes 2 bois 2 cuivres	3 cordes 2 bois 2 cuivres
<i>Accord B</i>	3 cuivres 4 bois 3 cordes	3 cuivres 3 bois 3 cordes	2 cuivres 3 bois 4 cordes	2 cuivres 2 bois 4 cordes	2 cuivres 2 bois 3 cordes
<i>Difference instrumen.</i>	12	9 puis 7	7	7	5

<i>Chiffre</i>	<b>13</b>	<b>4 av.14</b>	<b>4 ap. 14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
<i>Accord A</i>	3 cordes 3 bois 1 cuivre	2 cordes 3 bois 1 cuivre	2 cordes 3 bois 1 cuivre	1 corde 3 bois 1 cuivre	3 bois 1 cuivre
<i>Accord B</i>	1 cuivre 3 bois 3 cordes	1 cuivre 3 bois 2 cordes	1 cuivre 3 bois 2 cordes	1 cuivre 3 bois 1 corde	1 cuivre 3 bois
<i>Différence instrum.</i>	3	2	2	1	1

*Figure 15. Évolution des timbres.*

### 3. Conclusion

Le degré de pré-audibilité comme mode de structuration des timbres n'est qu'une simple étape vers la constitution d'échelles plus complexes. Aux échelles discrètes appliquées à tous les paramètres (le tempérament, les rythmes, les timbres instrumentaux) se substitue un continuum de valeurs (fréquences non tempérées, durées, continuum de timbres entre la sinusoïde et le bruit blanc).

A l'extrême de la continuité se trouve la réalisation par l'ordinateur d'une interpolation linéaire entre un timbre et un autre. En composant les *Chants de l'amour* pour 12 voix mixtes et bande magnétique, l'utilisation de l'ordinateur et du programme CHANT m'a permis de multiples interpolations linéaires entre une voix humaine caractérisée et des situations vocales plus ou moins inouïes. A l'inverse de mon expérience instrumentale, l'ordinateur m'apparut alors presque trop adapté à résoudre ce genre de problème ! Quelque fascinés que nous soyons par cette continuité, il est certain que l'ordinateur sera l'outil le plus adapté à réinventer des échelles qui seront cette fois d'une grande mobilité.

Malgré tout le soin que l'on peut apporter à l'écriture instrumentale, elle ne parvient jamais à simuler parfaitement une transition continue entre un timbre et un autre. Tout au plus, peut-on espérer une échelle discontinue à peine perceptible en lui appliquant un degré de changement minimum. Cette incapacité instrumentale à la continuité crée une nouvelle *zone liminale*. L'instrument résiste à la continuité comme il résiste à la fusion, mais cette *tension dialectique entre l'intention du compositeur et la résistance du matériau* est si riche de conséquences que je me demande souvent si, dans ce cas, l'instrument n'est pas préférable au son synthétique justement à cause de ses limites et de ses imperfections.

## IV. Synthèse instrumentale et modules électroniques

Aux différents types d'écriture spectrale, se greffent différents traitements empruntés aux techniques de la musique électronique qui, appliqués à l'écriture instrumentale, nous obligent à reconsidérer notre structuration du timbre. Je prendrai trois exemples : le filtrage, la réverbération et la modulation de fréquence.

## *1. Filtrage*

Plusieurs sections de *Modulations* et de *Transitoires* présentent des spectres filtrés selon les données sonagraphiques de certaines sourdines. Les sourdines agissent en effet sur les cuivres comme des filtres doublés d'equalizer, supprimant certaines zones harmoniques et créant de nouvelles zones formantiques.

Ainsi, pour *Modulations* du chiffre 31 au chiffre 44, les quatre spectres qui constituent la base harmonique de la grande polyphonie spectrale analysée plus loin. (Fig. 16)

**MODULATIONS**      CHIFFRES 31 à 44      **SPECTRES**

**SPECTRE A**      Sourd. Harmon      a'      a''

Vn1      15  
Vn2      9  
Crotale/Vibraphone      8  
Fl. Ci      5  
Bassoon/Harmon

**SPECTRE B**      Cor bouché      b'      b''

Vn3      13  
Gōtes/Plaque/Clochette      8  
Vn4      7  
Cl/Bn      3  
Bassoon/Cor

**SPECTRE C**      Sourd. imaginaire      c'      c''

Vn5      11  
Alto 1      9  
Glock/Alu      6  
Hbo/Cor ang      5  
Bassoon/Cor/Tuba

**SPECTRE D**      Sourd. bol      d'      d''

Alto 2      10  
Alto 3      7  
Harpe      4  
Cl/Bn      3  
Bassoon/Cor

harm.      inharm.

*Figure 16*

Des spectres semblables sont entendus homophoniquement dans *Transitoires*, du chiffre 61 au chiffre 73. Cette fois, l'harmonique 2, à défaut du fondamental, est confié aux trombones et aux cors avec sourdines. Les bois réalisent instrumentalement les spectres virtuels des différentes sourdines.

Il s'agit ici d'une véritable *mélodie spectrale*, autrement dit un objet sonore situé entre la mélodie de timbres et la succession d'accords, formulation d'une nouvelle *zone liminale*.

## 2. Réverbération

Dans *Transitoires*, du chiffre 52 au chiffre 61, afin de simuler un effet d'écho complexe pour tout l'orchestre, j'ai imaginé des groupes instrumentaux différents auxquels sont affectées des vitesses de répétition fixes. Exactement comme un pour écho naturel, chaque répétition du son perd en intensité et en harmoniques de rangs élevés.

Suit un jeu complexe à cinq parties, de mise en phase progressive des durées et des hauteurs, dans lequel l'orchestre devient une sorte de machine vibrant à des périodicités différentes. (Fig. 17.)

## 3. La modulation de fréquence

Cette technique provient également des studios électroniques mais elle ne doit pas être confondue avec les sons différentiels qui, malgré l'existence du modulateur en anneaux, restent avant tout un phénomène naturel au même titre que le spectre d'harmonique.

Malgré quelques apparitions de spectres générés par cette technique dans *Transitoires* (chiffre 31 et chiffre 32 de la partition), j'ai peu utilisé la modulation de fréquence, au contraire de compositeurs comme Tristan Murail ou Mesias Maiguashca qui en font largement usage dans leurs dernières œuvres.

# V. Polyphonies spectrales

La musique des *Espaces Acoustiques* peut apparaître comme la négation de la mélodie, de la polyphonie, du timbre et du rythme comme catégories exclusives du son, au profit de l'ambiguïté et de la fusion. Les paramètres n'y sont qu'une grille de lecture et la réalité musicale réside au-delà, dans les seuils où s'opère une tentative de fusion. *Liminal* est l'adjectif que je donnerais volontiers à ce type d'écriture; plus volontiers en tout cas que celui de *spectral*, entendu souvent aujourd'hui et qui me semble trop limitatif.

On a fréquemment allégué que, pour complexes que soient ces structures, elles ne sont finalement que monophoniques. Mais qu'est-ce que la polyphonie? N'est-elle pas une conséquence directe de la proximité, donc de l'espace? Une fugue entendue de très loin nous apparaît comme une coagulation indifférenciée. A l'inverse, un son unique ausculté par le microphone peut révéler une véritable polyphonie de ses composantes spectrales.



*Figure 17. TRANSITOIRES.*

## TRANSITOIRES

## CHIFFRES 52 à 58

## SPECTRES

SPECTRE A Sourd. Harmon.



COMPLEMENT VARIABLE DE 0 à 6

13
10
7
6
4
3

SPECTRE B Cor bouché



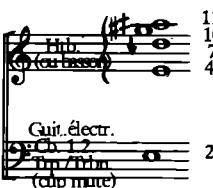
11
10
9
6
5
4

SPECTRE C Cor ouvert



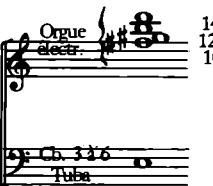
11
10
8
7
4
3

SPECTRE D Sourd. bol (Cup Mute)



12
9
8
6
5
3

SPECTRE E complémentaire



13
11
8
7
6
5

Figure 18,

38

The musical score page 38 is divided into four groups (A, B, C, D) by vertical lines on the left side. Group A includes Vla 2, Vla 3, Arp, Fg 1, and Timp 1. Group B includes Vn 5, Vla 4, Perc 2, Cmg 2, and Timp 1. Group C includes Vn 3, Perc 4, Vn 4, Fg 2, Cr 2, Vn 1, Yo 2, Perc 3, Cr 2, Cr 1, and H. Org. Group D includes Cr 2, Cr 1, and H. Org. The page number 38 is at the top center, and the page number 42 is at the bottom left.

Figure 19. MODULATIONS.

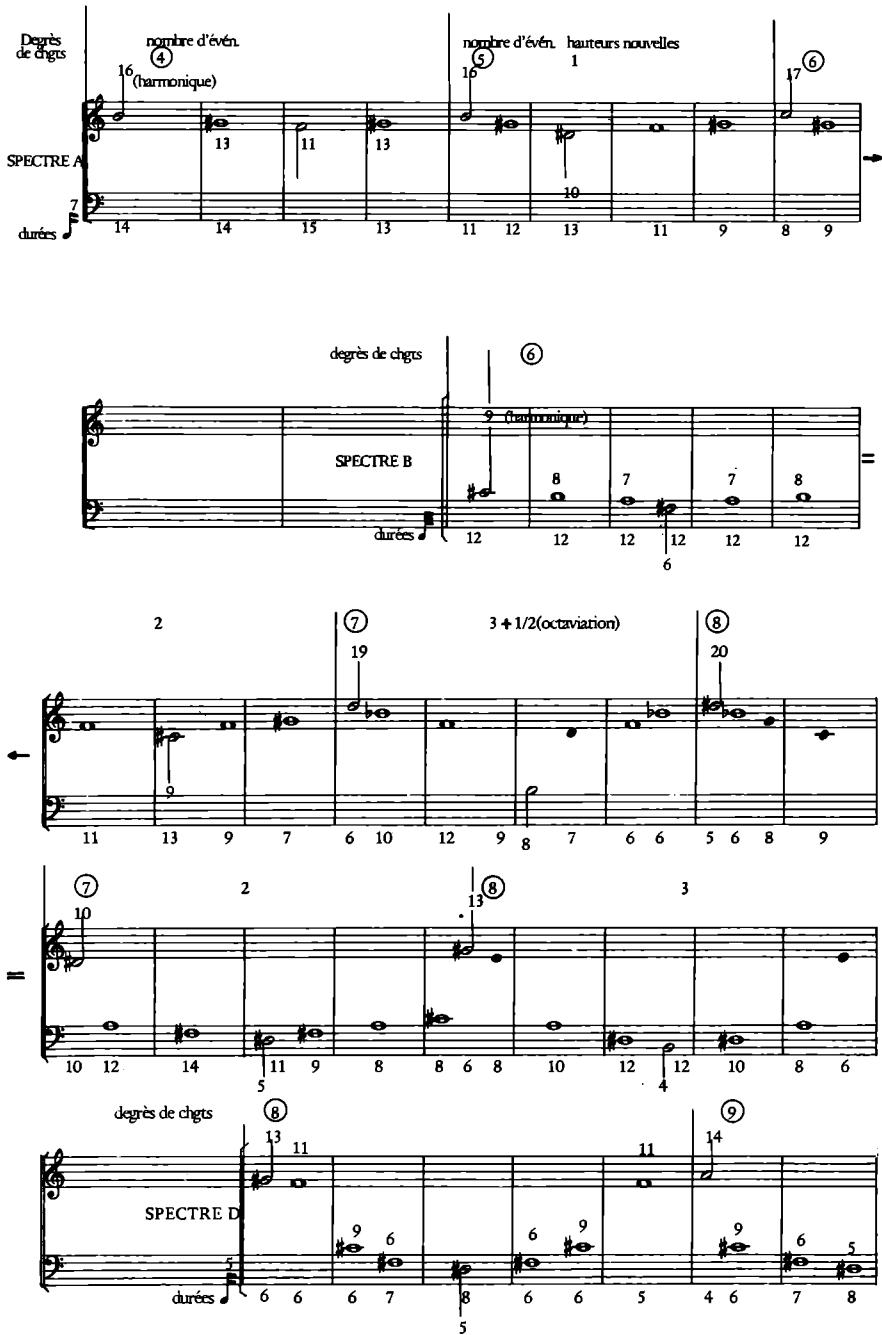


Figure 20. TRANSITOIRES, du chiffre 61 au chiffre 73. Évolution des fondamentaux.

4

(9) 21 4 + 1/2 (10) 22 5

(9) 15 3 + 1/2 (oct.) (10) 17 4 + 1/2

3 + 1/2 (oct.) (10) 17 4 + 1/2 (11) 18

degrés de chgrs | (10) 11 (11) 11 13

SPECTRE C

durées 4

5 1/2

24 (11) 25 (12) 6

5 4 3 2 3 5 8 10 8 6 5 4 3 2 1 2 4 5 7 9 10 7 5 3 2 1

19 (11) 6 (12) 21 5 1/2

3 5 7 10 11 10 8 6 5 4 3 2 4 6 6 8 10 12 9 6 4 3 2 1

5 1/2 (12) 6

9 8 6 4 3 2 2 1 2 4 5 6 7 11 9 6 4 3 2 1

4 1/2 (12) 5 1/2

8 7 6 5 4 3 2 3 5 6 7 10 11 9 5 4 3 1

degrés de chgts . (12)

SPECTRE E

durées

9 7 4 3 5 4 3 5 6 5 4 3 2 1

Ainsi la distance que le compositeur imagine pour la perception du son qu'il invente peut ou non créer une polyphonie. Certes, nous sommes loin ici du contrepoint de Bach ou de Schoenberg mais, de grâce, épargnons-nous une acception trop limitative et trop rigide de ce terme : de Ockeghem aux musiques pygmées, de Ives aux musiques balinaises, la polyphonie est passée par bien des avatars. Elle continuera sans doute à stimuler de nouvelles approches et de nouvelles définitions.

Dans le cas qui nous préoccupe, est-il possible de superposer deux ou plusieurs structures spectrales différentes ?

Je vais tenter de répondre à cette question en examinant deux exemples extraits, pour le premier, de *Modulations* et, pour le second, de *Transitoires*.

## 1. Modulations, *du chiffre 31 au chiffre 44*

A l'origine de ces quelques minutes : quatre spectres provenant de l'image sonagraphique de cuivres jouant la même note et munis de différentes sourdines. Le formant et le filtrage opérés par les sourdines donnent des spectres plus ou moins stylisés et limités à quelques harmoniques : A, B, C, D. Ces mêmes spectres sont ensuite distordus et déviés (*shifted*) vers deux types de spectres inharmoniques : A', B', C', D', puis : A'', B'', C'', D''. (Fig. 18)

A B C D, A' B' C' D' et A'' B'' C'' D'' sont complémentaires, chaque groupe reconstituant toute la série d'harmoniques.

De cette structure harmonique se dégage une polyphonie de densité croissante (chiffre 31 à 37) qui se transforme peu à peu par coagulation et homorythmie en polyphonie de blocs flous (chiffre 39) puis de blocs précis (chiffre 41), enfin en homophonie absolue (chiffre 43). (Fig. 19)

## 2. Transitoires, *du chiffre 61 au chiffre 73*

Outre l'effet d'écho orchestral déjà cité plus haut, ces quelques mesures présentent l'embryon de ce que j'aimerais nommer une *polyphonie spectrale*.

Les cinq couches en présence proviennent de cinq spectres semblables à ceux déjà cités. Elles ont en commun que leurs fondamentaux appartiennent à un unique son fondamental fantôme, que l'on n'entend pas, mais qui supporte l'évolution harmonique des cinq couches vers l'inharmonicité. Leur mise en phase est progressive jusqu'au chiffre 58. (Fig. 20)

Ces deux exemples polyphoniques créent-ils à nouveau une zone liminale ? C'est fort possible, car les couches sont suffisamment différenciées mais elles proviennent d'un *champ d'organisation commun*. Nous hésitons donc entre l'amalgame de toutes ces couches en un seul complexe sonore et l'écoute différenciée et analytique de l'une des voix ou de l'un des groupes que l'on suit pas à pas jusqu'au moment où les méandres se perdent dans la masse.

## VI. Conclusion

On n'a que trop répété que timbres et rythmes sont l'apanage de la musique du xx<sup>e</sup> siècle. Les compositeurs d'aujourd'hui, surtout ceux qui se sont dévoués à la musique électronique, ont joué avec le timbre comme les zélateurs de la nouvelle notation mesurée au xiv<sup>e</sup> siècle : délire et tâtonnement !

Cependant, que nous sommes loin d'une fonction des timbres au sens où l'on parle d'une fonction des hauteurs ou des durées ! Est-ce d'ailleurs dans cette direction qu'il faut chercher ? Comment pouvons-nous appréhender le plus mystérieux de tous les paramètres sans pénétrer jusqu'aux cellules qui le composent ?

Dans son aspect violemment qualitatif, il fait échec à toute approche sérialisante comme il a ruiné la pensée tonale, il ruine la pensée sérielle et la mine de l'intérieur, il fait éclater les matrices et les grilles en tout genre et nous force à une autre appréhension *parce qu'il possède a priori un ensemble corrélé d'énergies*. En quelque sorte, il est préformé au moment où l'on en parle : ainsi, une fréquence de 20 Hz est déjà une fréquence alors qu'une sinusoïde n'est pas un timbre. Mieux encore, il contient déjà microphoniquement hauteurs, durées et intensités. Aussi le timbre ne peut-il s'appréhender que de deux manières : l'une, résolument intuitive et empirique *et l'autre*, rigoureusement scientifique.

Toute la pensée organisatrice de la musique occidentale, du grégorien à la musique sérielle, provient d'une appréhension directe et d'une mise en échelle des hauteurs et des durées.

L'avènement du timbre, *comme incitation à une approche plus qualitative de l'organisation*, suppose une technologie avancée qui nous fasse pénétrer au cœur même de cette nouvelle génétique sonore.

C'est chose faite : nous sommes face à l'inouï. Beaucoup se voilent la face ! D'autres plongent et barbotent désespérément ! Certains avancent prudemment !

Ce qui est mis en question par l'approche microphonique du timbre n'est pas seulement d'ordre structurel. C'est toute une façon de penser le vocabulaire musical et sa syntaxe et toute une écoute qui se meurent. D'autres sont en train de naître. Pour qui refuse de colmater cette brèche ouverte par le timbre, les implications en sont si radicales qu'il lui faudra au moins toute cette fin du xx<sup>e</sup> siècle pour en réaliser et en assimiler toutes les conséquences.

## Quelques réflexions sur le son musical

par George BENJAMIN

Après avoir entendu *L'Après-Midi d'un Faune*, l'auditeur ne peut que rester hanté par le son grave de la flûte sur un doux fond de cordes et de harpes, par la magnifique richesse de l'harmonie. Voilà une musique où le son est si vivant et d'une sensibilité telle que les mélodies, les accords, et les silences même, commencent à se charger de timbre. La qualité physique du son résonne à l'oreille — le timbre, ainsi utilisé, devient l'un des éléments les plus séduisants de l'alchimie musicale.

Cela dit, l'exploitation du timbre en soi, hors contexte, présente à mon sens assez peu d'intérêt. La nouveauté des comparaisons et autres effets d'interaction a tôt fait de s'estomper, à moins que les qualités purement physiques du son ne soient mises au service de considérations musicales plus profondes. Des ressources de timbre limitées n'empêchent pas une musique de survivre (pensons à une bonne part de la musique baroque pour clavier), alors que le timbre seul ne suffit pas à la faire exister (le manque de profondeur de la plupart des musiques de texture récentes en est la preuve).

*At First Light* est, de tout ce que j'ai composé jusqu'à présent, l'œuvre qui explore le plus en profondeur la qualité du son en soi. Cette pièce m'a été commandée pour l'orchestre de 14 musiciens du London Sinfonietta, constitué de quatre bois, trois cuivres, cinq cordes, plus clavier et percussions. D'emblée j'ai voulu éviter le « petit » son, qui caractérise tant d'œuvres modernes écrites pour ce type d'orchestre. Certaines pièces, qui sont pourtant reconnues comme des chefs-d'œuvre, baignent dans une sonorité beaucoup trop maigre pour la substance musicale, ce qui produit l'impression que la moitié de l'orchestre est en grève.

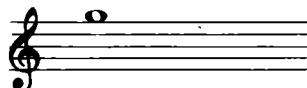
Aussi ai-je voulu, dans *At First Light*, donner l'illusion d'un tissu orchestral substantiel. Ce désir de créer un grand tissu sonore a déterminé les types d'accords, leurs registres, leurs densités et (très important) la direction et la vitesse de leur mouvement harmonique.

Dans cette pièce, le mouvement harmonique est presque toujours lent. Les sonorités verticales, associées à plusieurs notes prolongées internes de longue durée, ont le temps de se déployer, ce qui crée l'impression d'une masse considérable. Par ailleurs, une fois mise en place la lente musique de fond, une

secousse soudaine dans l'activité harmonique peut provoquer un choc sensible, tandis que la profondeur d'ensemble de la sonorité est maintenue.

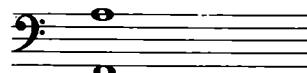
En ce qui concerne le registre, la basse n'est presque jamais utilisée mélodiquement, car cela ferait immédiatement ressortir l'insuffisance des forces instrumentales. De même, les cordes et les instruments à vent jouent rarement en solo dans le registre qui va du ténor au soprano, car c'est dans la musique de chambre que cette tessiture est traditionnellement au premier plan. Les instruments jouent souvent dans leurs registres extrêmes et dans des associations inhabituelles, afin de masquer leur identité individuelle.

C'est à la trompette solo qu'échoit l'écriture mélodique la plus importante, qui s'articule autour de la note :



Ce *sol* est peut-être la note la plus forte de la trompette, et elle se situe dans un registre où plusieurs instruments de la partition sont sollicités au maximum de leur puissance.

Les accords évoluent de concert avec l'orchestration; ensemble, ils donnent à l'œuvre son impulsion et forment son noyau sonore. Certaines combinaisons harmoniques élémentaires suffisent parfois à produire une impression de profondeur de son. Par exemple, il me semble que le simple intervalle de dixième majeure dans le registre médium-basse sonne assez pour



remplir une salle quand on le joue avec seulement deux instruments. A l'inverse, une septième majeure sonnera toujours «maigre», quelle que soit l'orchestration. Dans le registre aigu, les «tritons» semblent aptes à remplir un «espace sonore» étonnamment vaste, et ont également une qualité ambiguë, stridente. Ainsi de suite...

Toutefois, on ne perçoit pas les accords complets comme une superposition d'intervalles isolés, mais plutôt comme la fusion complexe de hauteurs simultanées en un ensemble harmonique. Par ailleurs, les quelques octaves qui constituent le territoire de toute musique sont loin d'être une terre vierge — on ne peut pas ignorer les langages harmoniques antérieurs, ni les éviter par simplisme. Dans certains domaines, la théorie sérielle et ses sous-produits se révèlent gravement inadéquats. En outre, la pensée sérielle fournit des formules pratiques mais insuffisantes pour la relation entre la logique horizontale et l'harmonie verticale; du fait de la complexité croissante des matériaux acoustiques modernes, cette question devient de plus en plus essentielle, et elle ne saurait se satisfaire de théories faciles, si infaillibles soient-elles.

Dans le tissu orchestral de *At First Light*, il arrive souvent que chacun des 14 instrumentistes doive accomplir trois fonctions, ou davantage, dans un ensemble donné: par exemple, renforcer la basse, accentuer la ligne d'un autre instrument qui passe au premier plan, émerger en solo, enrichir la texture générale (cf. le piano dans l'exemple 1). Ce type d'instrumentation non linéaire

### *Exemple 1*

### *Exemple 1 (suite)*

est très trompeur pour l'oreille, qui imagine entendre bien plus d'instruments qu'il n'y en a en réalité.

A d'autres moments, des familles d'instruments sont regroupées pour créer la sensation d'une sonorité ample et unie (cf. les instruments à vent et les cordes aiguës dans l'exemple 2). Les quatre instruments à cordes les plus hauts jouent souvent un rythme à l'unisson, ce qui donne l'illusion d'un large groupe de cordes (plutôt que d'un soliste), ce particulièrement lorsque le groupe va dans une seule direction en strates superposées.

**A**

**Very slow and solemn**  
( $J = 50$ )

**(Solo)**  
ben tenuto, sempre

**Practice note**  
(distant - played wif)

**P.Tpt.**

**Pno.**

**Perc.**

**STRINGS: bow freely and smoothly, never changing bow on bar lines.**

**Vln.1**  
**Vln.2**  
**Vla.**  
**Vlc.**

*Exemple 2*

(Always very slow) ( $\downarrow = 50$ )

FLUTE *brillante*

Ob. *brillante*

B.CI. *brillante f*

Bsn. *brillante*

Hn. (Solo) Practice mute > > *molto ff* open  
P.Tpt. (played *ff*)

Tbn. Straight mute flz. norm.

Pno. *pp secco* *pp br.* *molto ff* *fff*  
(Crot.)

Perc.

Vln.1 *pp* *(pp)*

Vln.2 *pp* *(pp)*

Vla. *pp* *(pp)*

Vlc. *norm.* → *sul pont.* *pp* *ff*  
*pizz.* *pp* *ff*

Db.

6 16 3 4

8

### *Exemple 2 (suite)*

**B**

(Always very slow) ( $\text{♩} = 50$ )

F1. *poco f*  
Ob. *poco f*  
B.C. Cl. *poco f*  
Ban. *poco f*  
Hn. *3* *4*  
P. Tpt. (Solo) *f*  
Tba. *5* *3* *flz.* *norm.*  
Pno. *5 p beco*  
Crot. *repido Bva.*  
Perc.  
*3* *4*  
Vln.1 *molto ff* *3* *ff sforz.* *lots of bow.* *ff* *(ff)*  
Vln.2 *molto ff* *3* *ff sforz.* *lots of bow.* *ff* *(ff)*  
Vla. *molto ff* *3* *ff sforz.* *lots of bow.* *ff* *(ff)*  
Vcl. *pizz.* *ff* *ff* *norm.* *sul pont.* *pizz. δ*  
D. *ff* *ff* *ff* *pizz. δ* *ff*

### *Exemple 2 (fin)*

**A tempo ( $\text{J} = 80$ )**

QUIET SHORT

Ft. *norm.* *breathy* *molto rall.*

Cl. *norm.* *ppp almost nothing* *poco* *pp 5 7* *poco più*

Hn. *norm.* *ppp almost nothing* *poco* *pp 5 7* *poco più*

Tbn. *4* *2* *3* *4* *3* *4* *ppp cresc...*

Pno. *(soundless)* *8va - pppp possible* *8va - ½ 8va* *ppp poco sicc...*

**SHALL MARA** *(almost inaudible)* *ppp sempre* *morendo...* **Cymbals** *on drums hard (felt stick)* *ppp poco sicc...*

Perc. *ppp sempre* *morendo...* *Cymbals* *on drums hard (felt stick)* *ppp poco sicc...*

*4* *2* *3* *4* *3* *4* *ppp poco sicc...*

Vln.1 *gliss.* *arco* *sul pont.* *gliss.* *norm. vib.* *ppp*

Vln.2 *ff* *arco sul pont.* *ff* *norm. vib.* *ff*

Vla. *ff* *ff* *sul pont.* *v gliss.* *col legno* *ff*

Vcl. *sempre pp* *ff* *ff* *ff* *ff* *ff* *ff*

Db. *ff* *ff* *ff* *ff* *ff* *ff* *ff*

*sempre pp*

*Exemple 3*

..(molto rall.)

Fl. norm.  $\text{fz}$   
 $\text{mp} > \text{mp} >$   
 $\text{mp} > \text{mp} >$  (senza cresc.)  
 $\text{p} > \text{p} >$

Ob.  $\text{mp} > \text{mp} >$  (senza cresc.)  
 $\text{p} > \text{p} >$  (dona)

Ct.  $\text{p} > \text{p} >$  (senza cresc.)  
 $\text{p} > \text{p} >$

**2 4** EXAGGERATE DIMINUENDOS **4 4** **2 4**

Ha.  $\text{pp}$   $\text{p} > \text{p} >$   $\text{mp} > \text{mp} >$  (legato)  
 $\text{mf} > \text{mf} >$   $\text{f} = \text{ppf}$

Tbn.  $\text{pp}$   $\text{p} > \text{p} >$   $\text{mp} > \text{mp} >$   $\text{mf} > \text{mf} >$   $\text{f} = \text{ppf}$

Pno.  $\text{pp}$   $\text{p} > \text{p} >$   $\text{mf} > \text{mf} >$   $\text{f} = \text{ppf}$

(Cym)  $\text{pp}$   $\text{p} > \text{p} >$   $\text{mf} > \text{mf} >$   $\text{f} = \text{ppf}$

Perc. Slightly round the edges  
(just off the drum)  
 $\text{pp}$   $\text{p}$   $\text{mf}$   $\text{f}$   $\text{ff}$   $\text{ff}$

**2 4** **4 4** **2 4**

Vln. 1  $\text{p}$  cresc.  $\text{mf}$  cresc.  $\text{f}$  lots of bow  $\text{molto}$   $\text{ff}$   
Vln. 2  $\text{mp}$  cresc.  $\text{mf}$  cresc.  $\text{f}$  lots of bow  $\text{molto}$   $\text{ff}$   
Vla.  $\text{norm}$  vib.  $\text{ba}$   $\text{ba}$   $\text{ba}$   $\text{ba}$   $\text{ba}$   
Vlc.  $\text{norm}$   $\text{p}$   $\text{vib.}$   $\text{ba}$   $\text{ba}$   $\text{f}$  lots of bow  $\text{molto}$   $\text{ff}$   
Db.  $\text{norm}$  bowed below the bridge:  $\text{molto}$   $\text{ff}$   $\text{pp ff}$   $\text{p ff}$  L.H. pizz.

8  $\text{mf} > \text{mf} >$  extreme bow pressure (scratching)

*Exemple 3 (suite)*

Picc. 8 3 5 3 5 3 5  
*(ff) dolce*  
 Ob. sempre non vib.  
 B.Cl.  
 Hn.  
 Tpt.  
 Perc. **TAM-TAM**  
 With triangle stick;  
 (as before)  
 poco ff pp  
 l.v.

4 2 3  
 4 4 2 4 3 4

Via. sempre sul testo (muted) (vib.)  
 poco fpp  
 Vlc. sempre sul testo (muted) (vib.)  
 poco fpp  
 Db. *ff dolce legato; bow on each note*

*Exemple 4*

Ces éléments indiquent, à mon avis, qu'il existe deux façons d'aborder le timbre orchestral. Une première, que j'appellerais « illuminative », se trouve, disons, chez Debussy dont l'orchestration est constamment mobile et conçue pour suivre et modeler le mouvement intérieur de l'harmonie et de la phrase. Avec la seconde, que je qualiferais de « fonctionnelle », le timbre délimite la substance musicale — comme dans la musique de Messiaen où chaque oiseau, chaque mode, chaque tâla est strictement défini par son instrumentation.

Dans *At First Light*, j'ai voulu opposer ces deux modes — et créer parfois des ambiguïtés en passant de l'un à l'autre. Imaginons, par exemple, que l'on fonde une masse sonore solide varésienne dans un continuum nébuleux à la Ligeti, ou que l'on fasse un montage des vagues sonores de *Une barque sur l'océan* de Ravel à la manière du Stravinsky des *Symphonies d'instruments à vent*.

Dans l'exemple 2, extrait du premier mouvement de *At First Light*, l'utilisation « fonctionnelle » des timbres instrumentaux aboutit à une identification très précise des différentes entités musicales — que ce soit la trompette solo avec son écho, le fond sonore des cordes, les cascades de notes des bois, ou les grondements disparates de l'orchestre dans les basses. Le timbre est stratifié — polyphonique — même s'il existe une couleur harmonique d'ensemble qui apporte une sonorité unificatrice (un timbre « ambiant », lequel rappelle peut-être la lumière qui irradie le tableau de Turner dont cette composition s'inspire).

Par ailleurs, dans l'exemple 1, extrait de la fin de l'œuvre, les identités instrumentales (excepté la trompette solo qui se détache du fond) sont contraintes à suivre et faire ressortir la tension et la couleur de l'harmonie — l'orchestration est alors « illuminative ». A mesure que la basse s'épaissit et que la distance harmonique entre un accord et le suivant augmente, la prolifération graduelle des trilles, trémolos, « flutter tongue », glissandi et percussions à hauteurs indéterminées provoque une distorsion du timbre. De la même façon, la nature des gestes instrumentaux s'élabore en parallèle. L'énergie de la musique est canalisée à la mesure 7 en un timbre uni et violemment distordu. Là, le son est exploité comme une suite d'onomatopées : des bruits de perceuse, de moteur, de rafales de vent, voire des rugissements d'animaux, sont suggérés. C'est également le moment le plus distordu de la pièce, l'apogée des sons inharmoniques disposés stratégiquement qui émergent au cours de l'œuvre.

En contraste, presque immédiatement après ce passage, la musique s'approche en hésitant du son le plus purement harmonique de toute l'œuvre, avec une pédale en *do* à l'octave ample et claire qui résonne sur de nombreuses mesures à la basse ; ce son était jusque-là suggéré, mais n'apparaissait pas si explicitement. Là (et surtout si la pièce est jouée dans une petite salle), les qualités les plus physiques du son sont exploitées presque à l'état brut — le corps de l'auditeur devrait vibrer à l'unisson de cet énorme son !

On peut retrouver dans l'exemple 3 l'interaction potentielle des deux méthodes d'orchestration que j'ai décrites. Là, à partir de la deuxième mesure, alors que les glissandi *fff* courrent dans les cordes en passant au-dessus des sonorités basses opaques, les notes tenues en harmoniques (*si* et *do*) commencent à évoluer de façon *illuminative* à travers tout l'orchestre (de l'alto et de la contrebasse à la flûte et à la clarinette, puis au cor et au trombone), puis s'amplifient graduellement pour donner, à la fin de l'exemple, des sons semblables à des gongs, *fonctionnels*. Dans l'idéal, l'auditeur devrait percevoir

une transformation du tissu orchestral sans être à même d'analyser comment elle s'est produite.

Les utilisations paradoxales du timbre, dans cette pièce, ne se limitent pas à ces exemples. Dans le second mouvement, lors d'un moment calme, l'orchestration superpose des accords nus et discordants à des timbres très doux (célesta grave et vibraphone au-dessus de sons pédales de clarinettes et de cor avec sourdine). Cela produit une qualité sonore étrange, translucide.

A un autre moment (Ex. 4), le piccolo et la contrebasse partagent une ligne lyrique dans le même registre. Visuellement, l'effet de contraste entre la lourde contrebasse et le petit piccolo est presque surréaliste. A l'oreille, toutefois, le résultat est tout autre: le son tendu mais pur des harmoniques élevées de la contrebasse se mêle étonnamment bien au son creux et bruité du piccolo profond, en particulier par rapport au fond sonore harmonique et à sa texture.

Tout comme le registre, la masse, le volume et la vitesse, le timbre est l'un des révélateurs les plus immédiats et les plus puissants de la forme musicale. Pensons, par exemple, à l'apaisement physique que procurent les chaudes sonorités de la harpe et des cordes dans l'*Adagietto* de la *Cinquième symphonie* de Mahler, après les sons durs et comme déchiquetés qui dominent les premiers mouvements. De même, les sonorités déformées qui se manifestent en crêtes toujours croissantes dans le troisième acte de *Tristan et Isolde*, préparent la libération finale des textures mélodieuses et rayonnantes de la *Liebestod*. Toujours dans cette œuvre, le fameux accord de Tristan — qui est utilisé à la fois pour son ambiguïté tonale et pour sa qualité sonore plus qu'évidente — joue un rôle rythmique structurel tout à fait remarquable. La soudaine apparition du gong et des tam-tams dans *Le Marteau sans maître* transforme la nature de la pièce et prépare sa conclusion — l'élément rituel et visuel est, là, aussi important que le timbre. On trouve d'autres exemples en remontant dans l'histoire de la musique: l'introduction dramatique, avec une économie parfaite, des trombones dans *Don Giovanni*, ou les percussions dans la *Neuvième* de Beethoven.

Dans *At First Light*, l'ouverture du troisième mouvement (Ex. 5) constitue le moment crucial de l'œuvre, et doit, dans son contexte, apparaître comme unique. Plusieurs éléments contribuent à la faire ressortir: tout d'abord, les longs silences qui la précèdent; ensuite, tout l'ensemble est écrit dans un registre jusqu'alors évité, et rassemblé dans l'espace d'une octave, ce qui donne à la pièce une densité et une homogénéité de texture nouvelles. Le son des accords parfaits et la stabilité harmonique qui en résulte sont également des éléments nouveaux, de même que la régularité et la tranquillité du rythme. Du fait de la simplicité du cadre musical, l'oreille est appelée à apprécier la qualité du son en soi, les flux et les reflux du volume, la position des archets, les cordes à vide, le vibrato, les sourdines. C'est un moment de sérénité où le son, plutôt que d'être projeté dans une narration dynamique, est contemplé.

Cette dialectique entre une approche statique et une approche évolutive du son est essentielle en composition — elle est mise en lumière par deux grands compositeurs contemporains: Messiaen et Carter. Dans la musique de Messiaen, le son lui-même est extraordinaire — chaque accord résonne avec son individualité propre, chaque geste est éclatant de couleur; cependant, la composition demeure généralement statique dans ses mosaïques rituelles. La musique de Carter, en revanche, témoigne d'une puissance extraordinaire de continuité et de développement complexes — alors que le son est souvent sec.

III

Calm, gently sonorous ( $\text{♩} = 60$ )

(The Tempo must be very flexible, and must "breathe" with the crescendos and harmonic movement)

FLUTE  
non vib. → vib. → n.v. sim. → vib. → n.v.

CLARINET  
non vib. poco → vib. → n.v. sim. poco → vib. → n.v.

BASSOON  
son vib. poco → vib. → n.v. sim. poco → vib. → n.v.

$\frac{3+4}{4}$        $\frac{4+3}{4}$        $\frac{3+4}{4}$        $\frac{4+3}{4}$        $\frac{3}{4}$

HORN  
+ poco → vib. → n.v. sim. +

TROMPET  
Harmon mute → poco → sim. → poco → sim.

TUBA  
Harmon mute → poco → sim. → poco → sim.

Percussion  
(Vibra.) I.v.

$\frac{3+4}{4}$        $\frac{4+3}{4}$        $\frac{3+4}{3}$        $\frac{4+3}{4}$        $\frac{3}{4}$

VIOLIN 1  
sonore sim.

VIOLIN 2  
muted vib. → non vib. → vib. → n.v. → vib.

VIOLENTA  
muted vib. → non vib. → vib. → n.v. → vib.

VICCIANO  
(sul A) V  
poco → sonore → sim.

DRUM  
PP poco → norm. → ½ sul pont. → norm. → ½ sul pont.

Exemple 5

Ce qui domine chez Messiaen, c'est *ce qui est*; chez Carter, c'est *ce qui se passe*. On pourrait dire, avec une certaine naïveté, que l'attitude de Messiaen à l'égard du son est quelque peu orientale, tandis que celle de Carter s'affirme comme occidentale.

Essayer de trouver une liberté d'évolution entre ces deux univers musicaux est un grand défi. La musique contemporaine foisonne de timbres nouveaux — dans les techniques instrumentales avancées, les percussions, les spectres complexes, les sons de synthèse — et pourtant, l'élaboration d'un langage musical florissant qui permettrait de les englober se révèle être une tâche problématique.

L'interaction entre musique acoustique et musique électronique devrait constituer un champ d'exploration doué d'un potentiel extraordinaire; cependant les résultats sont souvent décevants: le son mécanique (de l'orgue à l'ordinateur) risque de paraître fatallement artificiel dans un contexte instrumental spontané et direct.

On se fourvoie sûrement à vouloir mettre les forces électroniques et instrumentales sur un pied d'égalité dans des œuvres multi-média. Quelle que soit la démarche que l'on adopte, l'entreprise est vouée à l'échec: l'électronique ne peut capter ni la souplesse expressive ni le dynamisme des instruments acoustiques, et ces derniers, quant à eux, ne sont pas en mesure d'égaler les capacités de transformation et la virtuosité acoustique de leurs partenaires numériques.

Ce dilemme nous amène à nous demander jusqu'à quel point il est possible d'unir ces deux univers sonores à un niveau musico-linguistique. Dans de nombreuses pièces, le lien est purement gestuel, et donc très limité: on assigne à l'électronique le rôle d'ensemble de percussions hyper-élaboré, ou on lui demande de fournir des atmosphères sonores comparables à une bande d'effets sonores que l'on ajoute à une musique de film.

*Désintégrations* de Tristan Murail réalise entre ces deux univers sonores la fusion la plus profonde que j'aie entendue. Dans cette œuvre originale et belle, Murail n'a pas plaqué des effets spéciaux brillants sur un style pré-existant, mais il a élaboré un langage musical ayant pour but d'unir acoustique et électronique. Toutefois, pour parvenir à ses fins, il a dû considérer que la bande et l'ensemble instrumental étaient, au même titre, des pourvoyeurs de fréquences brutes; en se concentrant ainsi sur le plus petit dénominateur commun, il a plutôt nui à la nature intrinsèque des instruments acoustiques.

Il faut certainement parvenir à un équilibre, à un juste milieu entre le mélange des palettes de sons et l'exploitation des incompatibilités entre ces deux mondes. Les différences inconciliables qui séparent les sons acoustiques des sons électroniques peuvent, aussi bien que les nombreux points communs, se révéler très stimulants pour l'imagination.

A mesure que la technologie progresse, les langages musicaux désirés gagneront en richesse et en souplesse. Il est déjà possible avec le programme CHANT de l'I.R.C.A.M. de produire toutes sortes de timbres hybrides et de comportements instrumentaux métissés, et de s'adonner à l'alchimie acoustique. La synthèse convaincante de la voix humaine constitue une réussite extraordinaire, et le fait que presque tous ceux qui l'entendent s'y trompent (et beaucoup s'en effraient!) prouve que le son électronique a maintenant acquis ses lettres de noblesse.

CHANT peut donc accomplir les transformations les plus époustouflantes tout en restant ouvert aux sons naturels. Cette capacité est absolument

indispensable, du moins pour le moment. Actuellement, en effet, on peut faire sortir d'un haut-parleur davantage qu'un simple tissu abstrait de sons, ou une superposition concrète maladroitement réalisée. Les possibilités de créer de nouveaux types de continuité musicale sont phénoménales.

Il serait nécessaire que cette nouvelle technologie échappe à l'immobilité des haut-parleurs, aux bandes magnétiques fossilisées et la mainmise des « pistes de topage », afin d'être employée à l'élaboration de véritables instruments.

Les synthétiseurs, quelle que soit la forme qu'ils prendront, joueront un rôle crucial dans l'orchestre de demain. Ils s'y sont déjà fait une place grâce à leur remarquable sensibilité de toucher et à la souplesse de leurs claviers. On obtient désormais des registres, des dynamiques et une justesse qui, auparavant, étaient très approximatifs, voire impossibles à réaliser. Quant aux timbres proprement dits, plus les sons sont simples et percutants, moins ils paraissent synthétiques dans le tissu orchestral. Cette situation est toutefois appelée à changer, surtout si les programmes qui succéderont à CHANT travaillent en temps réel et sont suffisamment agiles.

C'est avec à l'esprit toutes ces réflexions que j'ai abordé la composition de ma pièce *Antara* pour l'I.R.C.A.M. Comme point de départ, j'ai pris une source simple pour presque tous les sons électroniques que j'ai utilisés : les flûtes de Pan.

Ce choix a été motivé par de nombreuses raisons : en premier lieu, le son des flûtes de Pan est pour moi profondément poétique et évocateur. Leur simplicité, le pouvoir physique de leurs sonorités, leur histoire universelle plusieurs fois millénaire m'apparaissaient avec d'autant plus d'évidence que, chaque fois que je sortais de l'I.R.C.A.M., je tombais sur ces groupes de musiciens excellents qui « font la manche » sur l'esplanade du Centre Pompidou. Le fait d'entendre, jour après jour, le plus antique de tous les instruments à vent résonner devant cette grande bâtie, emblème de la modernité, fit en effet sur moi une profonde impression.

Cela dit, d'autres raisons, dont certaines sont d'ordre purement pratique, m'ont amené à choisir cet instrument. Du fait de la simplicité et de la pureté de leur son, les flûtes de Pan se prêtent à toutes sortes de manipulations. La transposition, par exemple, parfois sur un registre de deux octaves, se révèle étonnamment convaincante. On peut également réaliser une boucle dans le son d'une seule note (après l'attaque) ; ainsi, en utilisant la 4X comme un outil d'échantillonnage perfectionné, couplée à deux claviers Yamaha KX88, il a été possible, malgré une mémoire très limitée, d'élaborer en temps réel toute la partie électronique de ma pièce.

Les flûtes de Pan en direct ont des limites bien définies : elles sont monophoniques ; le vrai legato (qui serait très difficile à synthétiser) est irréalisable, et l'on ne peut s'en approcher que par des gammes (comme dans *La Flûte enchantée*), ou en faisant « hoqueter » une ligne par deux musiciens ou plus. Elles ont un registre relativement restreint (cinq octaves au maximum), et leur accord est fixe. Toutes ces contraintes, et bien d'autres, fournissent à l'ordinateur des champs d'action où ce qui n'était possible auparavant qu'en imagination devient réalisable : flûtes de Pan immenses et extrêmement graves, ou minuscules et ultra-aiguës, formant des accords de 64 notes ; virtuosité surhumaine ; nouveaux timbres obtenus par micro-chirurgie acoustique des instruments, ou timbres de synthèse hybrides réalisés avec CHANT ; minutieuses variations microtonales dans l'accordage ; effets de chœur ; glissandi ; etc.

Dans mon œuvre, ce monde de flûtes de Pan imaginaire dialogue avec deux flûtes solo modernes et un petit ensemble orchestral. Lors des tentatives d'unification de ces deux univers sonores, deux choses sont apparues de toute première importance: tout d'abord, il faut noter la partie électronique avec autant d'exactitude que la partie instrumentale: non pas se contenter d'une vague série de symboles et de formes, mais indiquer les hauteurs et les rythmes par une notation temporelle exacte, si complexe et si peu habituelle soit-elle. De plus, le rôle dramatique attribué à chaque élément compte beaucoup. Je crois que, quelle que soit la disparité des sources sonores, on peut trouver de bonnes occasions de les associer, pourvu que le contexte musical et dramatique l'exige.

Si l'on pense que les nouvelles technologies dont disposent les compositeurs seront dépassées d'ici une dizaine d'années, on n'en reste que plus modéré. En effet, ce n'est peut-être pas sans un certain effroi que l'on imagine ce qui sera possible dans le siècle à venir si le progrès continue sur sa lancée. Quel enrichissement pour la musique que l'univers sonore qui nous attend !

Cela dit, certains problèmes risquent d'apparaître. Le plus évident, c'est que la musique se réduise à des suites de sons organisés en séquences et juxtapositions banales, comparables au maniériste qui affecta l'école de Mannheim au début du XVIII<sup>e</sup> siècle. Ce défaut risque d'apparaître très fréquemment, car, actuellement en tout cas, les techniques qui permettent de réaliser de bonnes synthèses sonores sont si complexes, qu'elles ne laissent plus guère à l'imagination et à l'intellect la liberté d'inventer une véritable substance musicale. La qualité musicale n'est pas forcément proportionnelle à l'accroissement du matériau acoustique. Après tout, la musique de Mozart est contenue dans quelques tonalités, quelques gammes, quelques accords. Le conseil que prodigua George Ives à son fils Charles n'est peut-être pas dépassé: « N'attachez pas trop d'importance aux sons, car vous risqueriez de passer à côté de la musique. Ce n'est pas sur de jolis petits sons que vous chevaucherez, sauvage et héroïque, jusqu'au ciel. »

## Spectre-harmonie-mélodie-timbre

par Mesias MAIGUASHCA

Scientifiques et artistes ont des méthodes de travail fondamentalement différentes, et aboutissent à des résultats profondément distincts. Il peut toutefois se révéler intéressant de comparer les deux démarches lorsqu'elles portent sur un seul et même objet. Dans le cas qui nous intéresse, il s'agit de la physique et de la psychophysique appliquée à un art, et, pour la musique, plus précisément de l'acoustique et de la psychoacoustique.

Le scientifique analyse l'état des connaissances dans le domaine qui est le sien, puis il formule une hypothèse qu'il confirme ou infirme ensuite par l'expérimentation. Si, sur le plan scientifique, ses travaux sont couronnés de succès, ils enrichissent les connaissances dans le domaine concerné.

L'artiste, en l'occurrence le compositeur, n'a certes pas pour objectif premier de perfectionner un domaine de connaissances, mais si son travail est axé sur un objet spécifique, il peut fournir une certaine quantité de « données », de « travail expérimental », susceptible de contribuer à l'enrichissement d'un savoir.

La réciproque est également vraie : bien que la création artistique ne soit pas le but visé par les scientifiques, certains résultats de leurs travaux peuvent être une source de stimulation pour des artistes travaillant dans un domaine similaire.

Il me semble que cette interaction a pris au cours des dernières années une importance accrue, et qu'elle se révélera peut-être très fructueuse à l'avenir.

Le débat dont le timbre est actuellement l'objet pourrait bien illustrer la fertilité de ces échanges. Acousticiens, psychoacousticiens et musiciens travaillent sur des sujets apparentés, selon des méthodes et avec des buts qui leur sont propres, mais chacun bénéficie certainement du travail des autres.

Je souhaite apporter une contribution à ce débat en parlant de ma composition *Monodias e Interludios* (1984). Bien que ma préoccupation n'ait jamais été explicitement le « timbre », lorsque je reviens sur cette œuvre, il m'apparaît bel et bien comme l'un de ses axes principaux... quelle que soit la signification de ce terme.

En 1981, j'ai composé *FMelodies I* pour ensemble instrumental et bande magnétique. J'ai repris la même bande dans *FMelodies II*, mais avec de nouvelles parties instrumentales, cette fois pour violoncelle et percussion.

La bande a été créée à l'I.R.C.A.M. avec la machine 4C et le programme 4CED de Curtis Abbot. Le procédé suivant a été utilisé:

— Un spectre a été créé selon les techniques classiques de modulation de fréquence.

— Ce spectre a ensuite été filtré par un filtre dynamique dont la fréquence centrale créait une mélodie avec les fréquences des bandes latérales présentes en entrée dans le spectre FM. J'ai pu utiliser jusqu'à quatre filtres en même temps, ce qui produisait alors une polyphonie à quatre parties au même contenu harmonique.

— Les parties instrumentales ont créé un nouvel ensemble de mélodies à partir des mêmes fréquences.

Ainsi, les informations fournies par les techniques de l'informatique et de l'électronique musicales ont été utilisées pour l'écriture de la partition instrumentale et mélangées à des sons synthétiques.

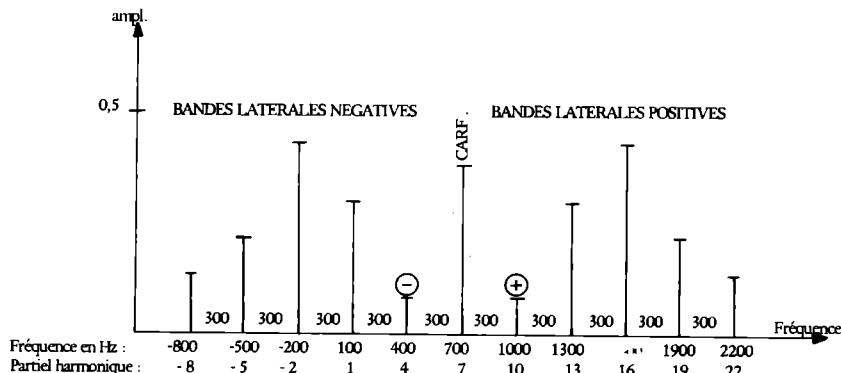
Ce processus a eu pour conséquence immédiate de susciter le désir de composer une nouvelle pièce en appliquant les méthodes que je viens d'indiquer à l'écriture instrumentale, mais, cette fois, sans le support de sons de synthèse ; en d'autres termes, il s'agissait de simuler une synthèse FM avec des instruments d'orchestre.

C'est ce qui a constitué le point de départ de *Monodías e Interludios*.

A ce stade, il n'est peut être pas inutile de rappeler au lecteur quelques principes élémentaires des techniques de modulation de fréquence et leurs applications à « Monodías ».

Un circuit FM produit des bandes latérales symétriques autour d'une fréquence porteuse ; la différence, en Hertz, qui sépare les bandes latérales correspond à la fréquence de modulation. Les amplitudes de la fréquence porteuse et des bandes latérales sont déterminées par les fonctions de Bessel grâce à un « indice de modulation ». Plus cet indice est élevé, plus les bandes latérales ayant des amplitudes importantes sont nombreuses. Le graphique 1 montre les bandes latérales positives et négatives produites par une fréquence porteuse (CARF) de 700 Hz, une fréquence de modulation (MOF) de 300 Hz et un indice de modulation de 4. Bien entendu, nous pouvons représenter la CARF et la MOF sous forme de rapports, en l'occurrence de 7 à 3, 7 et 3 indiquant le septième et le troisième partielle harmonique d'une fondamentale 1. CARF: 700 Hz, 7<sup>e</sup> partielle harmonique de 100 Hz.

MOF: 300Hz, 3<sup>e</sup> partielle harmonique de 100 Hz. Indice de modulation: 4



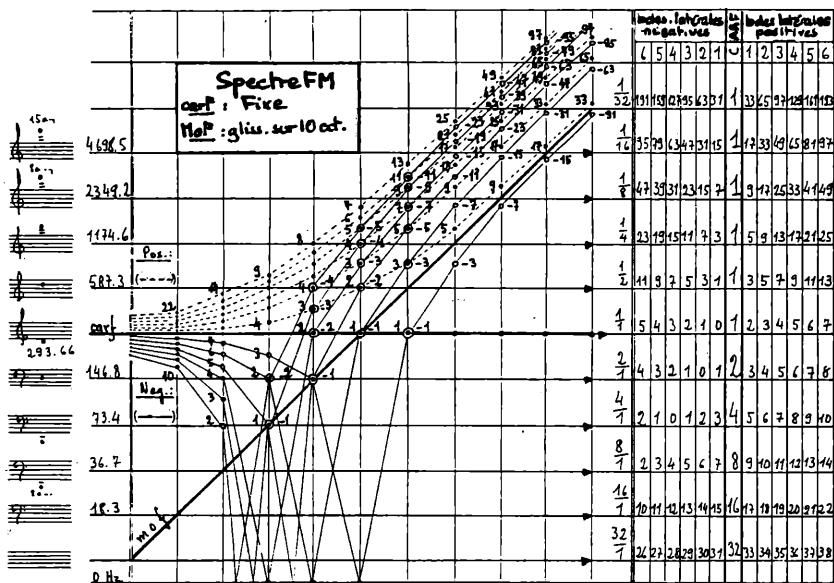
Graphique 1

Les fréquences négatives (ici  $-200$ ,  $-500$  et  $-800$  Hz) sont perçues exactement comme si elles étaient positives, à ceci près qu'elles ont une phase opposée. Les fréquences perçues se présentent alors comme suit dans un ordre croissant :

Hz	100	200	400	500	700	800	1000	1300	1600	1900	2200
Partiels harm.	1	2	4	5	7	8	10	13	16	19	22

Cet exemple montre qu'il est plus intéressant de se référer à la CARF et à la MOF en tant que rapports (avec des nombres entiers) qu'aux seules fréquences exprimées en Hz. Ainsi, on travaille avec des partiels de la série des harmoniques, que tous les musiciens connaissent, ou, du moins, devraient connaître.

Les possibilités de créer différents rapports CARF/MOF sont étonnamment multiples. Dans un souci de les représenter et de les organiser, j'ai conçu le graphique 2. Une fréquence porteuse constante est modulée par une fréquence de modulation, évoluant un glissando du très grave au très aigu sur une étendue de 10 octaves. Six bandes latérales positives et six bandes latérales négatives sont tracées. On ne tient pas compte des informations concernant les amplitudes. Le graphique est axé sur une fréquence porteuse de 293,66 Hz, un ré 4 tempéré; bien entendu, n'importe quelle hauteur peut convenir.



Graphique 2

Nous avons là une sorte de carte des possibilités de création de spectres avec la modulation de fréquence.

Prenons par exemple une CARF et une MOF dans un rapport de 16 à 1 (la CARF est plus haute de 4 octaves par rapport à la MOF): le spectre qui

en résulte montre 6 partiels harmoniques consécutifs de part et d'autre de la CARF, formant une sorte de « cluster d'harmoniques ».

Dans l'octave de 4:1 à 2:1, les bandes latérales négatives sont très largement réparties sous la CARF.

Au-dessus de 1:2 (la MOF est une octave au-dessus de la CARF), toutes les bandes latérales sont plus hautes que la CARF.

Le graphique décrit une MOF en perpétuel changement et, donc, des bandes latérales qui se comportent de même. Pour des raisons de commodité j'ai dû quantifier la MOF, c'est-à-dire la diviser en degrés. Après expérimentation, j'ai fini par accepter la division traditionnelle d'une octave en 12 degrés. Il fallait opérer la division en intervalles justes, non tempérés, car la représentation en CARF et en MOF exigeait des nombres entiers. J'ai choisi la représentation traditionnelle, 15:16 pour la seconde mineure, 8:9 pour la seconde majeure, 5:6 pour la tierce mineure, et ainsi de suite (voir la ligne encadrée du tableau 1). Le tableau 1 montre la transposition de cette division à une étendue de 8 octaves, ce qui crée 96 rapports CARF/MOF, soit 12 par octave.

TABLE DES RAPPORTS FREQUENCES PORTEUSE/MODULANTE DE 16:1 à 1:16  
( 12 divisions par octave )

16:1	15:1	128:9	40:3	64:5	12:1	34:3	32:3	10:1	48:5	9:1	128:15
8:1	15:2	64:9	20:3	32:5	6:1	17:3	16:3	5:1	24:5	9:2	64:15
4:1	15:4	32:9	10:3	16:5	3:1	17:6	8:3	5:2	12:5	9:4	32:15
2:1	15:8	16:9	5:3	8:5	3:2	17:12	4:3	3:4	6:5	9:8	16:15
1:1	15:16	8:9	5:6	4:5	3:4	17:24	2:3	5:8	3:5	9:16	8:15
1:2	15:32	4:9	5:12	2:5	3:8	17:48	1:3	5:16	3:10	9:32	4:15
1:4	15:64	2:9	3:24	1:5	3:16	17:96	1:6	5:32	3:20	9:64	2:15
1:8	15:128	1:9	5:48	1:10	3:32	17:192	1:12	5:64	3:40	9:128	1:15
	1:16										

Tableau 1

L'idée directrice de cette composition était de générer théoriquement des spectres FM. Les notes représentant les bandes latérales créeraient une entité harmonique, et les instruments créeraient des mélodies, des séquences, avec cette entité. L'interaction des instruments créerait des structures, des « objets sonores » qui, en fait, resynthétiseraient le spectre de départ:

Spectre → harmonie → mélodie → spectre...

Une seconde idée: certains synthétiseurs modernes utilisent le principe de l'interaction des « timbres de partie » pour créer une « voix ». Par exemple, on traite séparément quatre timbres de parties, mais on les active tous à partir d'une touche pour créer un « son ». J'ai souhaité faire quelque chose d'analogique: bien que les instruments aient dû jouer des textures différentes, il fallait qu'ils se rassemblent en « une » voix que je comptais utiliser pour écrire des textures monodiques, les *Monodias*. Bien entendu, j'entendais écrire également des textures non monodiques qui seraient organisées en « interludes ».

Après quelques expérimentations, j'ai décidé de prendre 2 flûtes, 2 clarinettes, 1 marimba et un instrument grave. Les flûtes et les clarinettes sont assez « homophones » pour représenter des bandes latérales; quant à l'utilisation du marimba et de l'instrument grave, j'en parlerai plus tard.

*Monodías e Interludios* regroupe six petites compositions qui constituent chacune un traitement différent du point de départ. Je décrirai les différentes applications des idées que j'ai évoquées, sans entrer davantage dans les analyses de métrique, de forme, etc.

J'ai utilisé un programme informatique que j'ai moi-même écrit en PASCAL sur Apple pour calculer les spectres en fonction d'une fréquence porteuse, d'un rapport CARF/MOF, et d'un certain nombre de bandes latérales. Les résultats de ce programme sont montrés dans le tableau 2. Ces informations ont ensuite été transcrites en langage musical classique, avec une précision d'un quart de ton. Le premier spectre de l'exemple 1 est une transcription, selon cette méthode, du tableau 2.

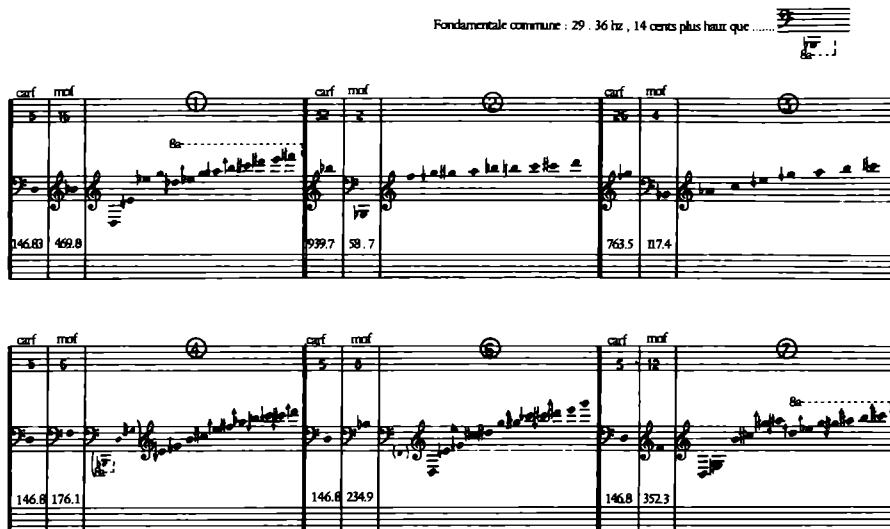
=====					
CARF= 146.830					
CARF-MOF RATIO					
5.000 / 16.0001					
FUNDAMENTAL: 29.366					
CARF REAL 146.830; MOF REAL 469.856;					
6 SIDEBANDS					
PARTIAL	FREQ.				
5	146.830	-	0.03 CENTS AS	146.832=D0	
11	323.026	-	35.02 CENTS AS	329.627=E1	
21	616.686	-	15.56 CENTS AS	622.254=DIS2	
27	792.882	+	19.52 CENTS AS	783.990=G2	
37	1086.54	-	34.99 CENTS AS	1108.73 =CIS3	
43	1262.74	+	25.17 CENTS AS	1244.51 =DIS3	
53	1556.40	-	12.83 CENTS AS	1567.98 =G3	
59	1732.59	-	27.17 CENTS AS	1760.00 =A3	
69	2026.25	+	43.08 CENTS AS	1975.53 =H3	
75	2202.45	-	11.76 CENTS AS	2217.46 =CIS4	
85	2496.11	+	4.93 CENTS AS	2489.01 =DIS4	
91	2672.31	+	23.01 CENTS AS	2637.02 =E4	
101	2965.97	+	3.51 CENTS AS	2959.95 =FIS4	

Tableau 2

I. La première composition utilise 6 rapports CARF/MOF différents pour produire des spectres qui ont la même fondamentale. La fréquence de la fondamentale est de 29,366 Hz, quatorze cents<sup>1</sup> au-dessus du *si* bémol le plus grave du piano. Le cinquième harmonique de cette fondamentale, qui deviendra une sorte de constante dans la pièce, a une fréquence de 146,83 Hz, ce qui correspond à un *ré* 3 tempéré grave. L'exemple 1 montre les 6 spectres utilisés dans ce mouvement.

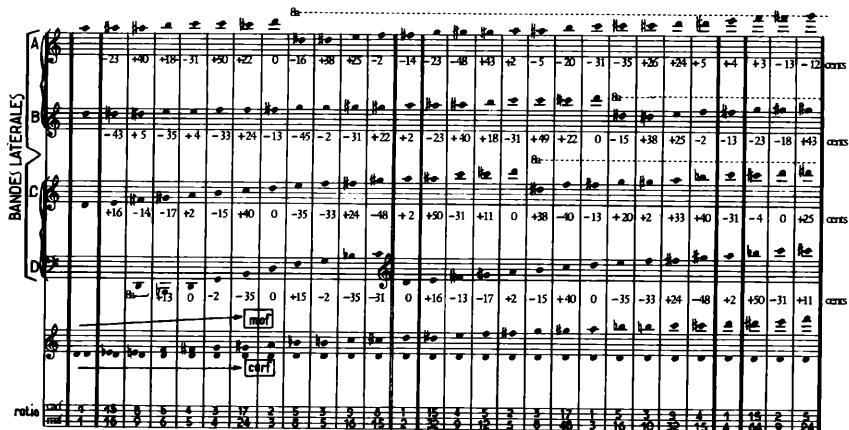
1. 1 cent = 1/100 du demi-ton tempéré.

Fondamentale:



*Exemple 1*

II. Dans la seconde composition, l'instrument grave simule une fréquence porteuse (293,66 hz, ré 4 tempéré); le marimba simule une fréquence modulante qui change rapidement; les flûtes et les clarinettes simulent deux bandes latérales positives et deux négatives. L'exemple 2 montre CARF et MOF, leurs rapports, et les 4 bandes latérales qui en résultent (avec des déviations en cents par rapport aux degrés tempérés). Appelons-les A, B, C et D, en partant de la plus haute (B représente la première addition, A la deuxième, D la première soustraction et C la deuxième). Comme on pouvait s'y attendre, la flûte 1 (en réalité piccolo) joue la bande latérale A, la clarinette 2 (clarinette basse) joue D, la flûte 2 joue B jusqu'à un rapport 1 : 2, pour ensuite jouer la bande latérale C. Parallèlement, la clarinette 1 joue C jusqu'au même point, et ensuite passe à la bande B. Un bref coup d'œil sur l'étendue des bandes latérales suffit pour comprendre cette inversion. En guise d'illustration, se référer au graphique 2: la CARF y est la même que dans cette pièce. Examinez les deux bandes latérales positives et les deux autres négatives entre 1:1 et 1:4, et comparez-les à celles de l'exemple 2.



**III.** Dans cette pièce, la CARF (207,65 Hz, *sol*# 3 tempéré) est également constante (exemple 3). La MOF opère un déplacement chromatique d'une seconde mineure à une septième mineure pour créer différents rapports CARF/MOF (je ne saurais dire pourquoi je me suis arrêté à la septième mineure au lieu de compléter une octave). Le marimba joue CARF et MOF en trémolo. Les flûtes et les clarinettes jouent des arpèges quasi aléatoires avec les notes du

F carf mof ① F carf mof ② F carf mof ③

F carf mof ④ F carf mof ⑤ F carf mof ⑥

F carf mof ⑦ F carf mof ⑧ F carf mof ⑨ F carf mof ⑩

Exemple 3

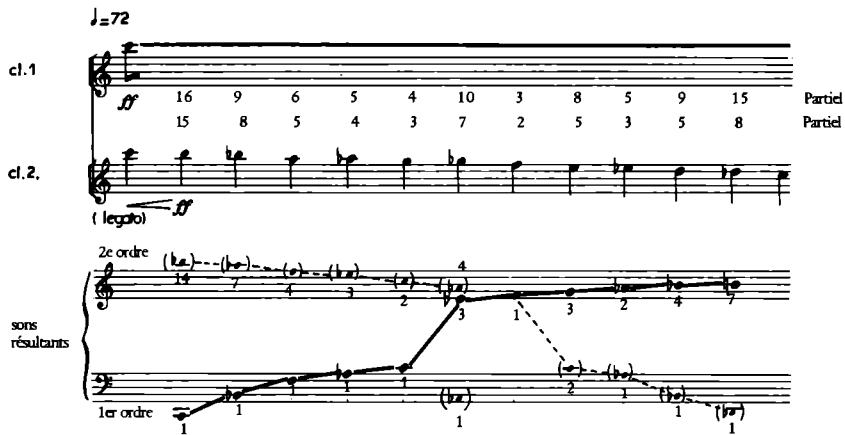
spectre correspondant jusqu'à ce que ce dernier soit bien identifié, puis elles passent au spectre suivant. L'instrument grave joue les fondamentales de chaque spectre (indiquées par F dans l'exemple) à condition qu'elles se situent dans son registre. Les 10 spectres sont montrés dans l'exemple 3.

**IV.** La clarinette 1 joue une mélodie sur quatre notes. Chaque note génère un « accompagnement » différent, non seulement sur le plan harmonique, mais également dans la qualité de l'articulation (voir l'exemple 4). Le spectre 1 est très « étendu », et « molto staccato »; le spectre 4 est très « resserré » et « molto legato ». Les spectres 2 et 3 ont des qualités intermédiaires. L'instrument grave joue la fréquence modulante correspondante.

*Exemple 4*

**V.** La cinquième composition n'utilise pas le calcul de la modulation de fréquence. Deux clarinettes produisent des « sons différentiels ». Le phénomène des sons différentiels m'a toujours profondément intrigué. Je n'en ai jamais vraiment compris le mécanisme, et, pour moi, il a quelque chose de « magique » et possède l'aura d'une « UR-MUSIK »<sup>2</sup>. Il est relativement simple de calculer les sons différentiels d'un intervalle donné avec des sons sinusoïdaux, mais en les projetant sur des instruments on ajoute une complexité proportionnelle au spectre des instruments. Bien entendu, les deux clarinettes, dans le registre employé, ont un contenu harmonique assez pauvre et se prêtent donc très bien à la re-création de la figure de l'exemple 6, qui donne le « thème » de tout le mouvement.

2. « Musique du fond des âges. » Le sens de UR, préfixe allemand, se rapproche de « primordial », « ancien » (N.d.T.).



*Exemple 5*

Dans une nouvelle version de *Monodías* (pour orchestre), j'ai successivement attribué cette figure à deux clarinettes, deux hautbois, deux piccolos et deux trompettes, afin de permettre une comparaison directe.

**VI.** Dans ce mouvement, la même mesure est répétée 28 fois, avec une variation continue de la coloration et de la texture du même spectre. Le spectre utilisé est fondamentalement identique au numéro 4 de la première composition, mais comprend des bandes latérales plus nombreuses. Le marimba joue CARF et MOF en trémolo, l'instrument grave joue la fondamentale (le si bémol le plus grave du piano) sans interruption, les flûtes et les clarinettes jouent des variations des notes du spectre en allant d'une extrême simplicité à une extrême complexité, puis en revenant à la simplicité. L'exemple 6 montre la mesure 14 de ce mouvement.

Quelques mots sur le problème de l'intonation : le calcul de FM donne des fréquences non tempérées. J'ai transcrit ces fréquences avec une précision d'un huitième de ton dans *FMelodies* et d'un quart de ton dans *Monodías e Interludios*. Tout bien considéré, je crois que la dernière solution est la meilleure. (Le marimba, bien sûr, ne peut pas être accordé au quart de ton...)

*Monodías e Interludios* est une œuvre très « académique ». D'une certaine façon, on peut la considérer comme une suite « d'exemples auditifs » de propositions théoriques que je souhaitais tester. J'espère qu'au-delà de cet aspect elle possède une qualité musicale.

alle : cresc.

Fl. 1

Fl. 2

9 (d.=40-50)

Cl. 1

Cl. 2

Marimba

Bass

$\frac{9}{8}$

$\frac{8}{8}$

$\frac{9}{8} f$

$\frac{8}{8} a$

*Exemple 6*

*Monodías e Interludios* a été écrit pour l'ensemble « 2e2M ». Je travaille actuellement à une version pour orchestre.

Baden Baden, novembre 1986.

## **Timbre et harmonie \***

par Kaija SAARIAHO

### **Introduction**

Je discuterai dans cet article quelques-unes de mes pièces, concentrant mon attention principalement sur les solutions harmoniques et l'utilisation du timbre, et sur la relation qu'entretiennent ces deux aspects avec la forme musicale. J'en viendrai aussi à décrire quelques-unes de mes méthodes de travail avec l'ordinateur pour créer le matériau musical et son organisation.

Les principales questions traitées seront :

- timbre et forme : la notion d'axe timbral,
- les espaces transitoires,
- le concept de réseau multidimensionnel,
- l'organisation structurelle avec ordinateur,
- le spectre inharmonique, et l'harmonie pour la musique instrumentale.

### **I. Timbre et forme : la notion d'axe timbral**

La notion que je désignerai par le terme générique de « timbre » est évidemment déjà une synthèse de plusieurs composantes. Parmi celles-ci, je citerai notamment la *clarté* du son (qui comprend la relation pur/bruité) et sa texture (granulaire/lisse), qui ont pour moi une importance particulière. Ces paramètres sont eux-mêmes des faisceaux de plusieurs traits distinctifs ; il s'agit d'appellations subjectives que j'utilise dans le cadre de mon travail — et qui n'ont aucune concordance stricte avec les terminologies psychoacoustiques habituelles.

Depuis mes premières compositions, je me suis intéressée tout particulièrement à l'élaboration de la forme musicale ; ceci est devenu pratiquement la base de mon travail de création. Lorsque je dis « forme », j'entends par là précisément la notion que Vassily Kandinsky définit ainsi : « *La forme est la manifestation extérieure de la signification intérieure* » (1969). C'est ainsi que dans mon travail, je n'ai jamais fait appel à des structures de forme pré-établies. C'est souvent à travers une idée globale de la forme que j'aborde les différents paramètres musicaux et leurs problèmes particuliers.

---

\* Cet article a d'abord paru en anglais in *Contemporary Music Review*, Vol. 2, N° 1, 1987.

En approfondissant l'élaboration de la forme, mon attention s'est trouvée naturellement attirée par la signification de la dynamique et du repos. Parmi les modèles d'organisation connus dans le domaine de la hauteur, le système tonal est, selon mon expérience personnelle, le moyen le plus efficace d'utiliser l'harmonie pour construire et maîtriser des formes musicales dynamiques. Ceci est illustré par les nombreuses structures de forme, amples et volumineuses, qui ont vu le jour pendant l'époque de la musique tonale. Il serait difficile de trouver une conception aussi dynamique de la forme parmi les autres approches.

Pour moi cependant, l'utilisation des fonctions tonales en tant que telles est à exclure ; cela relève définitivement du passé. C'est pourquoi le système tonal me paraît être uniquement un modèle potentiel permettant de créer des tensions en utilisant les hauteurs.

Depuis déjà quelques années, j'ai manifesté dans ma musique des tendances à associer le contrôle du timbre et le contrôle de l'harmonie.

J'ai d'abord commencé à utiliser l'axe son/bruit pour élaborer, soit des phrases musicales, soit des formes plus importantes et façonnier par là les tensions intérieures de la musique. Dans un sens abstrait et atonal, l'axe son/bruit peut, en quelque sorte, se substituer à la notion de consonance/dissonance. Une texture bruitée et grenue serait ainsi assimilable à la dissonance, alors qu'une texture lisse et limpide correspondrait à la consonance. Il est vrai que le bruit dans le sens purement physique est une forme de dissonance poussée à l'extrême. Sur le plan de l'expérience auditive, nous pouvons comparer, d'une part, la perception d'une tension qui se décharge par la tonique (ou par une consonance si le contexte n'est pas tonal), et d'autre part, une texture bruitée qui tout en s'amplifiant se transforme en sons clairs : il existe là une certaine analogie.

Le « bruit » en soi peut en fait se manifester sous des aspects très différents, doux, râche, etc. Sur un plan général, la notion de « bruit » signifie pour moi des émissions telles que la respiration, le son de la flûte dans les registres graves, d'un instrument à cordes sul ponticello, et le bruit blanc.

En revanche les sons clairs sont, par exemple, le glockenspiel, le jeu sur les harmoniques au violon, ou des chants d'oiseaux ; ils sont aussi divisés en sons « purs » (sinus, harmoniques) et sons « pleins » (i.e. fortement pigmentés : cuivres, certaines percussions métalliques, etc.).

L'existence de l'axe son/bruit est une abstraction qui peut être appliquée à des échelles différentes : on peut le matérialiser avec un seul trait d'archet, ou alors en utilisant tous les instruments d'un orchestre. Chaque instrument, mode de jeu et son synthétique a dans mon esprit sa place dans l'espace de timbres ainsi défini.

Pour qualifier les conceptions traditionnelles des fonctions respectives du timbre et de l'harmonie, je dirais que la fonction du timbre est considérée comme verticale et celle de l'harmonie comme horizontale. L'harmonie fournit ainsi le mouvement de progression, alors que le timbre constitue la matière qui suit ce mouvement. En revanche, lorsqu'on emploie le timbre pour créer la forme musicale, c'est précisément le timbre qui prend la place de l'harmonie comme élément progressif de la musique.

On peut aussi dire que ces deux éléments se trouvent confondus l'un dans l'autre lorsque le timbre devient un constituant de la forme et lorsque l'harmonie en revanche se limite à conditionner la sonorité générale. Cependant l'axe son/bruit est unidimensionnel. Il offre certainement en soi des modèles d'organisation plus pauvres qu'une hiérarchie tonale. Dans le but d'enrichir le

réseau des dimensions musicales, j'ai adopté d'autres oppositions en plus de «son/bruit». On peut ainsi faire intervenir le timbre, mais aussi l'harmonie, le rythme, l'ambitus de la hauteur, etc.

Bien entendu, la construction de la forme musicale a employé depuis toujours ce principe d'oppositions. Dans une composition, on pourrait le rencontrer à petite ou grande échelle (partie lente/partie rapide), et non seulement dans la musique, mais dans tous les arts. Dans son ouvrage *Point-Ligne-Plan*, Kandinsky parle des oppositions fondamentales dans les arts plastiques : le point (repos) et la ligne (tension créée par mouvement) — la chaleur et la froideur d'une couleur — le vertical et l'horizontal. Toute forme de création artistique est basée sur des notions identiques ; seules les terminologies diffèrent. En fin de compte, il s'agit de notre façon de concevoir le monde, de distinguer les choses les unes des autres grâce aux différences et oppositions.

Même si dans la composition, je travaille purement avec des matériaux sonores et leur organisation, les expériences visuelles, telles que regarder la nature, ou voir des films, ont toujours été d'importantes sources d'inspiration. La plupart de mes esquisses sont d'ailleurs des dessins.

Quelques films ont directement affecté ma pensée musicale, et non seulement m'ont inspirée mais m'ont aussi aidée à clarifier mes idées. Deux films spécialement importants pour moi, ont été *Stalker* d'Andréï Tarkovski, et *Dans la ville blanche* d'Alain Tanner.

L'utilisation structurelle par Tarkovski de l'alternance des sections noir et blanc et couleurs, de même que les variations de différents éléments (l'usage, par exemple, de l'eau sous toutes ses formes ou états possibles : chutes, pluie, rivières, mers, nuages, vapeurs, etc.), a sensibilisé mon imagination à propos des textures musicales, de leurs possibilités de combinaisons et de transformations, a réellement ouvert mon esprit à la compréhension de tous ces éléments musicaux qui sont susceptibles d'être utilisés comme des facteurs de forme pour la musique.

Le film de Tanner m'a révélé le dilemme devant lequel je me trouvais au moment où je l'ai vu et qui tient à la place privilégiée que je donne au timbre parmi les paramètres musicaux. Quand j'ai réalisé des expériences sur de très lentes transformations des éléments musicaux afin de pouvoir me concentrer sur des variations extrêmement raffinées du timbre à l'intérieur du matériau sonore même (cf. *Vers le blanc*, 1982), je me suis soudain retrouvée très éloignée de la pensée musicale occidentale.

Donner tant d'importance à des événements de timbre plutôt qu'aux développements harmonique, rythmique, ou mélodique, avait rendu la pièce incompréhensible à certains auditeurs. Dans le film *Dans la ville blanche*, il y a une longue scène avec seulement de l'eau, ses couleurs, et ses reflets. Après ce long passage complètement minimaliste, deux bateaux apparaissent dans l'image, et leurs mouvements amènent soudain le sens de la direction et du temps. A la vision de ce passage, j'ai remarqué en moi-même deux façons clairement différentes de percevoir : en regardant à la surface miroitante de la mer, on s'immergeait dans une perception purement sensuelle, intemporelle, et hypnotique ; quand les bateaux arrivaient, la mer devenait seulement un arrière-fond pour leurs formes, leurs vitesses et leurs directions. Je m'observai alors devenir plus active, plus prête à suivre l'histoire du film.

Mon objectif est devenu d'essayer de trouver des manières de composer la musique qui permettraient d'avoir ces deux expériences simultanément : une

apparence sensuelle, raffinée, composée avec une direction et un sens musicaux réels.

## II. Les espaces transitoires

Les arts plastiques m'ont aussi permis de saisir l'importance des espaces transitoires. Déjà lorsque j'étais enfant, j'étais fascinée par cette idée lancée par Goethe dans sa *Théorie des Couleurs*, qui situe la naissance des couleurs aux confins de l'obscurité et de la luminosité.

Les tensions créées par les espaces transitoires m'ont fascinée avant tout comme paramètres susceptibles de créer des formes musicales. De ces réflexions sont nées quelques œuvres dans lesquelles j'ai tenté de façonnner une dynamique musicale en utilisant les transitions brusques entre différents matériaux et de compenser ainsi l'absence des tensions de grande envergure à l'intérieur d'un matériau harmonique. Dans ces œuvres (*Im Traume*, 1980, *Sah den Vögeln*, 1981) j'emploie des textures et des modes de jeu musicaux très différents et le seul facteur commun entre les différents matériaux est souvent l'harmonie seule, laquelle devient ainsi paradoxalement l'élément le plus stable parmi tous les autres.

J'ai été amenée à m'intéresser de plus en plus aux phénomènes de transition et à leur réalisation à travers les différents paramètres. Le système de modulation de la musique tonale pourrait être l'exemple d'une transition musicale dynamique créant une sensation de mouvement. Lorsqu'on commence à moduler, à altérer la situation de repos créée par la tonalité dominante et qu'on s'avance ainsi vers une tonalité nouvelle et encore inconnue, la musique est alors caractérisée par une sensation de mouvement plus puissante, laquelle peut encore être renforcée par l'utilisation d'autres paramètres. Le même modèle peut être généralisé, s'adaptant à toute forme de transitions dans lesquelles la situation de repos est représentée par un état familier et reconnaissable.

Dans le domaine de la parole, la zone minuscule entre une voyelle et une consonne peut fournir un autre exemple de ce genre de transition. L'idée d'un ralentissement extrême d'un tel phénomène, au point de pratiquement l'immobiliser, s'est mise à me fasciner et j'ai eu envie de l'examiner avec les moyens de la technologie moderne — j'ai découvert l'intérêt d'une vue microscopique dans mon domaine ! C'est ainsi que j'ai entrepris d'utiliser dans ma musique l'amplification des instruments par microphone et autres moyens analogiques conventionnels, pour passer ensuite à l'informatique. Ma première composition réalisée avec ordinateur est un exemple extrême de l'utilisation de la lenteur : il s'agit de *Vers le blanc* (1982). Dans cette œuvre, j'ai tenté de constituer un ensemble inséparable en associant de manière radicale la forme et le contenu. L'idée fondamentale de cette pièce est le passage très lent d'un accord à l'autre en utilisant des glissandi d'une lenteur telle que les variations de hauteur deviennent imperceptibles à l'oreille. Cette idée m'a été inspirée par l'informatique.

L'ordinateur seul pouvait me permettre de la réaliser. Les glissandi durent aussi longtemps que l'œuvre elle-même (15'). Tout en se déplaçant dans des directions différentes, ils produisent une structure harmonique continuellement en mouvement (Fig.1). Ici l'harmonie ne peut être perçue par l'auditeur comme une série d'accords variables, car elle se présente comme un continuum, comme un accord ininterrompu qui se modifie sans cesse. Parfois seulement l'auditeur s'éveille en quelque sorte pour se rendre compte que la situation harmonique

a dû changer. Cela se produit souvent lorsque les glissandi se rencontrent pour former des rapports de fréquences ou des intervalles d'accord qui ont un aspect familier.

La façon dont l'auditeur vit la forme de l'œuvre est conditionnée par de tels instants d'éveil. Dans notre mémoire, il ne s'agit pas alors d'une forme perçue en continuum, mais notre esprit divise l'ensemble en structures plus réduites en se basant sur différents détails marquants.

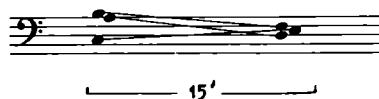


Figure 1. La progression « harmonique » de la pièce *Vers le blanc*, pour bande magnétique.

La forme et le contenu sont ainsi organiquement compris dans l'idée globale et deviennent inséparables. On peut ainsi ouvrir un chemin entièrement nouveau vers une pensée musicale dominée par la globalité, en abordant ces deux plans par le même outil informatique qui sert à réaliser l'ensemble de l'œuvre.

Dans *Vers le blanc*, j'ai créé des transformations de timbre par deux moyens techniques: premièrement en contrôlant les fréquences centrales des régions formantiques (régions de résonance) avec des fonctions du temps, deuxièmement en créant des variations des différents phonèmes à l'aide de systèmes d'interpolation.

Du point de vue du timbre, mon but dans cette œuvre était de créer l'illusion d'une voix humaine éternelle, permanente et «non respiratoire», voix qui par moments s'écarte de son modèle physique. Cet effet de différenciation se manifeste lorsque la voix se trouve masquée, amincie et dissimulée. On y parvient en modifiant très progressivement les valeurs de paramètres tels que la quantité de modulation aléatoire sur les fréquences centrales des formants, ainsi que la largeur de bande des formants, les coefficients des fréquences centrales et l'amplitude des formants. Ces deux derniers paramètres modifient les rapports de fréquence et d'amplitude; la structure habituelle des formants de la voix humaine se trouve ainsi altérée.

Dans cette méthode, les paramètres que je viens de citer sont contrôlés par des fonctions du temps qui s'éloignent très lentement des valeurs habituelles pour y revenir ensuite aussi lentement. De telles fonctions symétriques et cunéiformes se relaient en se superposant pour créer une variation continue de la texture.

### III. Le réseau multidimensionnel

Le travail sur l'ordinateur m'a donné des idées applicables également à la musique instrumentale. Par exemple, l'obligation de garder tous les paramètres sous contrôle permanent a élargi ma vision de la musique instrumentale, de même que le fait très simple de constater combien on peut vivifier un son en adoptant une micro-variation constante pour parfaire sa construction. En outre, la réalisation instrumentale des transitions et des interpolations a éveillé mon intérêt.

Je voulais comprendre également comment la création musicale pouvait être influencée par une pensée fondée sur la notion de transition et un système

multidimensionnel. Est-ce qu'une certaine forme se trouve ainsi favorisée ? Est-ce que certaines choses deviennent totalement impossibles dans un tel cadre ? Et encore : quelles sont les différences par rapport aux possibilités offertes par un système hiérarchique développé ?

A mon avis, le système que j'utilise offre la possibilité de construire des formes tensorielles et des structures à plusieurs niveaux. C'est un peu pour prouver cela que j'ai voulu réaliser une œuvre utilisant au maximum le réseau multidimensionnel pour créer la forme. Ce fut le point de départ de *Verblendungen* (1982-84 pour orchestre et bande).

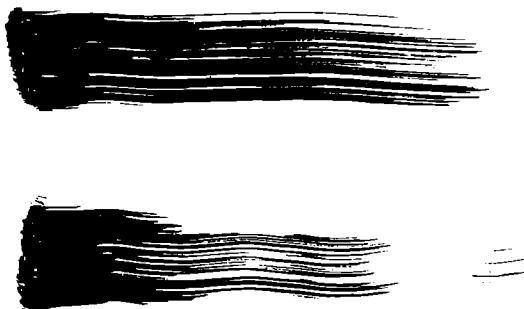


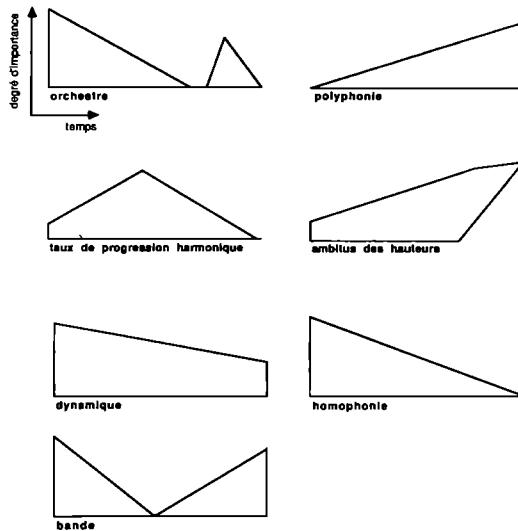
Figure 2. Les premières esquisses pour la forme globale de *Verblendungen*, pour orchestre et bande.

L'idée initiale de cette pièce est une forme globale « impossible » : une œuvre qui commencerait par son apogée maximal et dont la suite ne serait qu'apaisement consécutif à cette explosion initiale (Fig. 2). Une telle impossibilité de la forme m'a obligée à exploiter tous les paramètres d'une façon aussi dynamique que possible afin de maintenir la musique en mouvement. Pour chaque paramètre, j'ai calculé une courbe évolutive spécifique, qui est en relation avec toutes les autres. L'interaction de tous les paramètres constitue les points culminants qui déterminent la forme de l'œuvre. La superposition des courbes réalisées sur des transparents m'a permis ensuite de concevoir l'ensemble de l'œuvre en progressant seconde par seconde. Ces courbes évolutives sont toutes décrites de façon identique. D'une manière déroutante, elles sont présentées comme si elles étaient soumises aux mêmes dimensions, tout en ayant cependant chacune une signification différente selon qu'elles agissent à un moment donné sur tel ou tel paramètre. Par exemple, la courbe « ambitus des hauteurs » fait directement apparaître l'évolution de l'ambitus global de l'œuvre (Fig. 3).

En revanche, la description de la partie bande par la courbe ci-dessous signifie l'importance proportionnelle de la bande par rapport à la partie orchestrale.

Ainsi la représentation graphique ne permet pas directement de déchiffrer la signification musicale, mais elle me sert d'aide-mémoire quant à la forme de chaque paramètre, m'évitant ainsi de perdre de vue la globalité.

Les principaux éléments dans cette pièce sont le timbre et l'harmonie. Je tenterai maintenant d'éclaircir les rapports réciproques de ces deux paramètres dans l'œuvre en question. Du point de vue du timbre, l'évolution globale est limpide : la partie bande débute par un matériau bruité et rythmisé et se termine par un quasi orchestre lumineux construit avec des sons de violon. En revanche,



*Figure 3.* Des courbes pour des paramètres compositionnels de *Verblendungen*. Pour chaque courbe, le temps est représenté sur l'axe horizontal.

l'évolution globale de la partie orchestrale est inverse: les sons d'instrument prennent une texture de plus en plus bruitée jusqu'à se perdre complètement dans le quasi orchestre de la bande magnétique.



*Figure 4.* L'accord de base de *Verblendungen*. Tous les intervalles sont inclus dans l'accord. Quelques-uns, comme la quinte juste et la tierce mineure, résultent d'un changement d'octave.

f	e	d
e	d	c
d	c	b
c	b	a
b	a	a
a	a	a

*Figure 5.* L'intervalle **a** se propage et fait se déplacer les autres intervalles (**b**, **c**, etc.) vers l'aigu.

Pour contrecarrer cette évolution extrêmement limpide au profil très apparent, je souhaitais trouver pour l'harmonie une solution qui soit polysémique et me permette de découvrir une nouvelle manière d'aborder l'harmonie, une manière qui me permette de travailler la forme. J'ai donc abordé l'harmonie de la façon suivante : j'ai construit un accord de base contenant tous les intervalles (Fig. 4). A partir de cet accord, l'harmonie se déplace successivement dans différentes directions de telle sorte qu'à chaque fois un intervalle différent de l'accord de base finit par occuper l'ensemble de la structure verticale (Fig. 5). Une fois arrivé au terme, c'est-à-dire lorsque l'accord ne comporte plus qu'un seul intervalle, l'harmonie se défait à nouveau pour retrouver l'accord de base. Dans ce système, un accord qui est familier assume en quelque sorte une fonction de consonance (Fig. 6, 7).



Figure 6. Un exemple concret du principe d'évolution harmonique dans *Verblendungen*: la progression harmonique du début de la pièce.

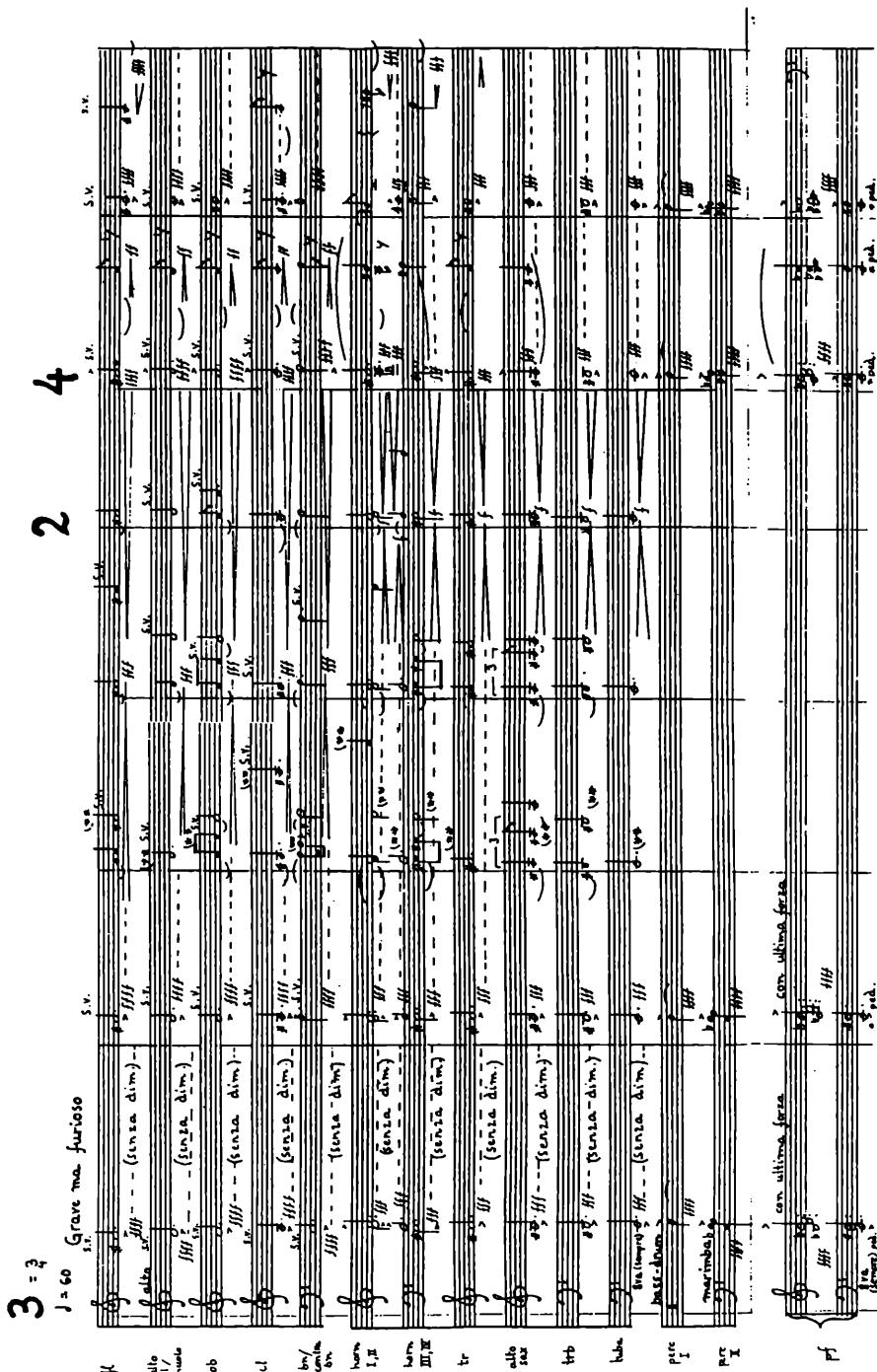
Dans l'ensemble, ma solution initiale pour l'harmonie a fonctionné comme je l'avais souhaité : les accords se renouvellent sans cesse et j'ai pu cependant en disposer pour les utiliser d'une façon dynamique.

#### IV. L'organisation structurelle avec l'ordinateur

Dans les cas que je viens de décrire, j'ai travaillé le timbre et l'harmonie en les considérant comme des paramètres séparés, bien qu'ayant souvent des points de contact. Depuis ma première expérience avec l'ordinateur, je me suis intéressée de plus en plus aux possibilités combinatoires de ces deux paramètres, tout en étant passionnée par les possibilités globales offertes par l'informatique dans le domaine de l'organisation des structures musicales. J'ai également été attirée par la possibilité de faire disparaître la frontière entre l'organisation et le matériau organisé — chose qui équivaudrait à provoquer la fusion entre le timbre et l'harmonie. Je me suis ainsi mise à élaborer un système de programmes qui rendrait possible la réalisation de telles idées, et me permettait de combiner les idées concernant des interpolations musicales et différents changements de textures déjà décrits.

Avant d'exposer en détail mon travail relatif au timbre, je voudrais dire quelques mots sur les programmes que j'ai utilisés. En effet, tous les paramètres sont contrôlés, à peu de chose près, avec les mêmes points de départ. L'idée

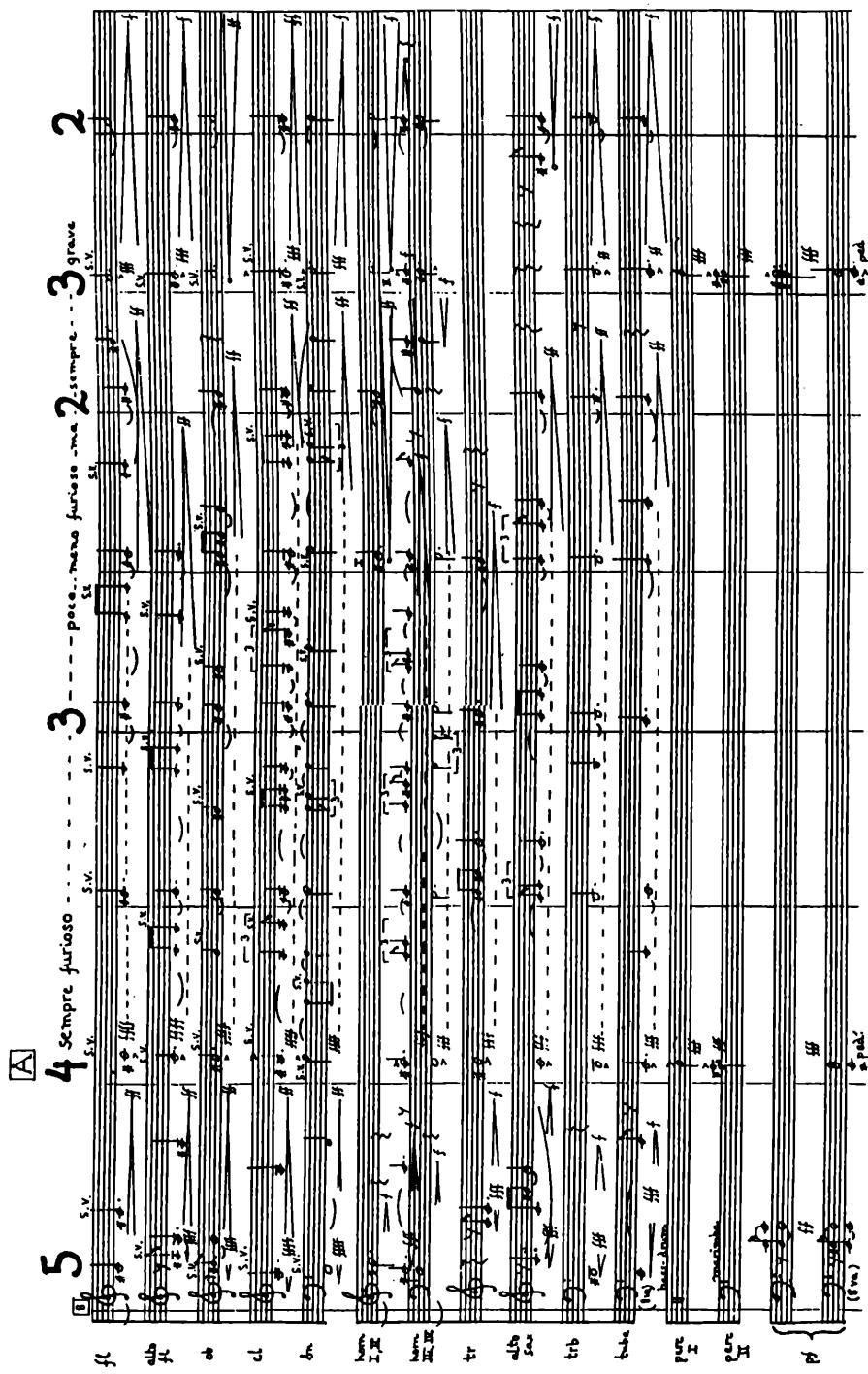
*Figure 7.* L'utilisation de l'évolution harmonique de la Fig. 6 dans les six premières pages du manuscrit de *Verblendungen*.

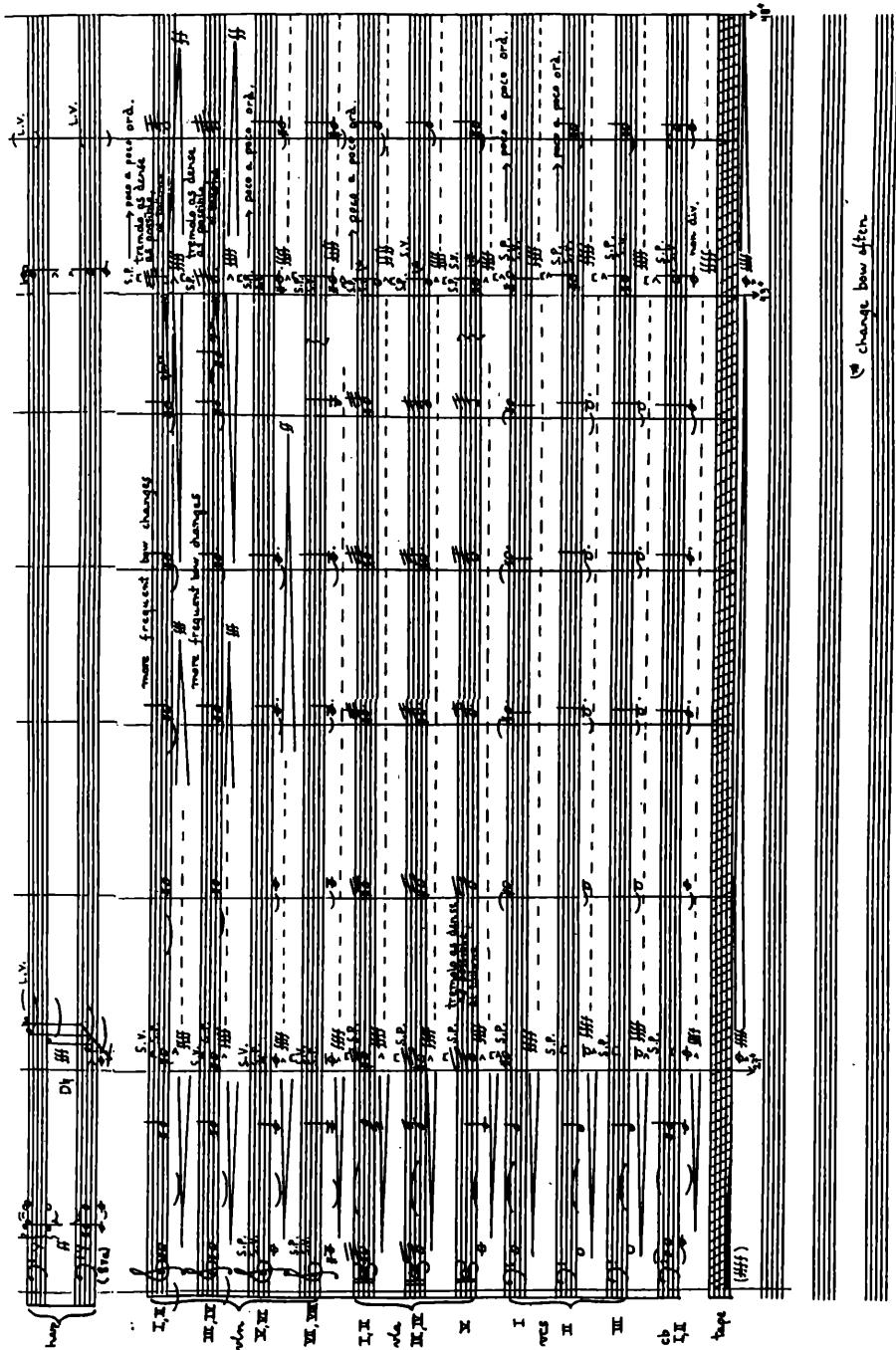


\* bow changes always imperceptible and alternatively

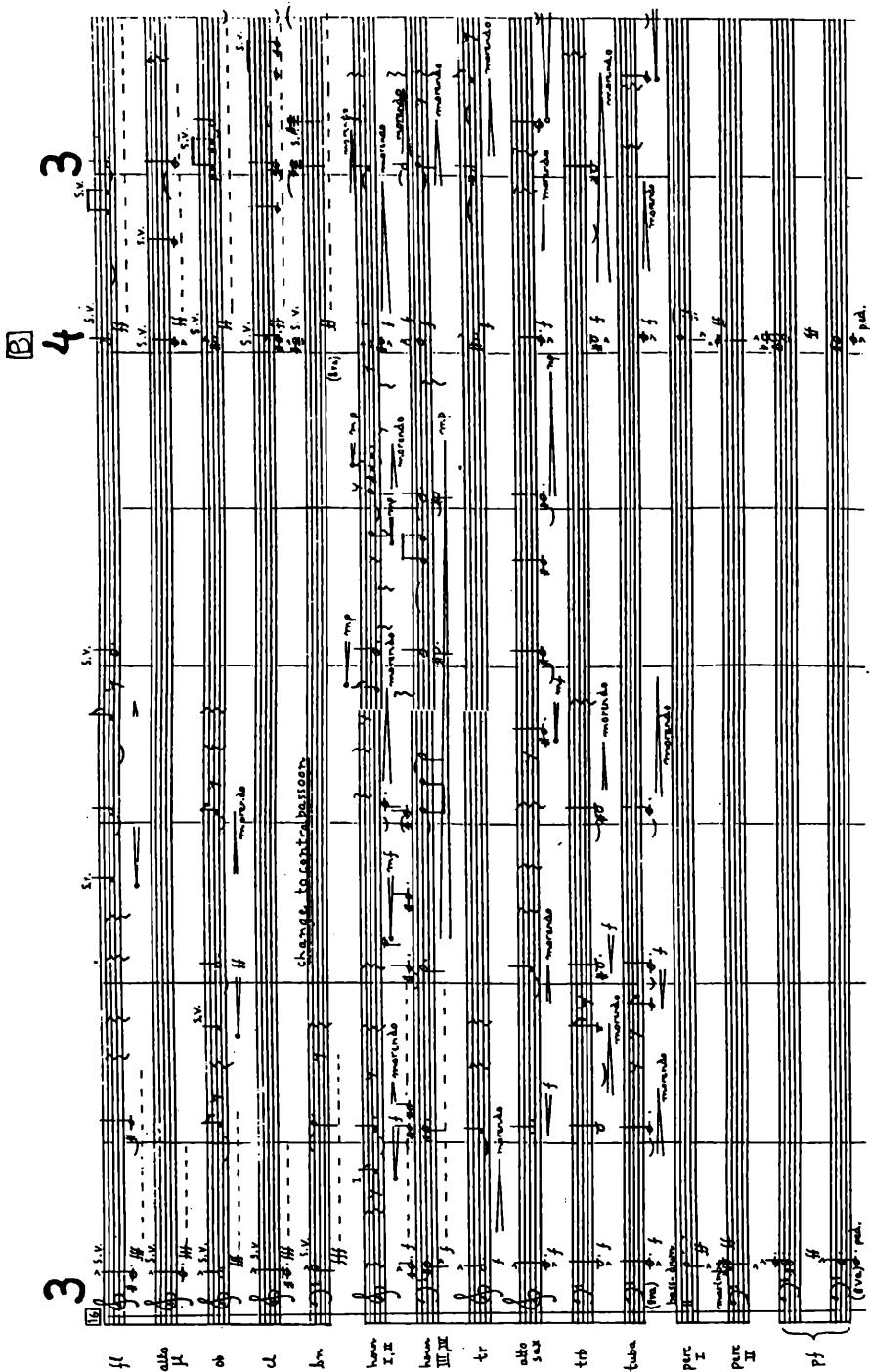
(८) विष्णुवाचो य तो विष्णुवाचम् विष्णुवाचो य तो विष्णुवाचम् विष्णुवाचो य तो विष्णुवाचम्

*Figure 7* (suite).





*Figure 7 (suite).*



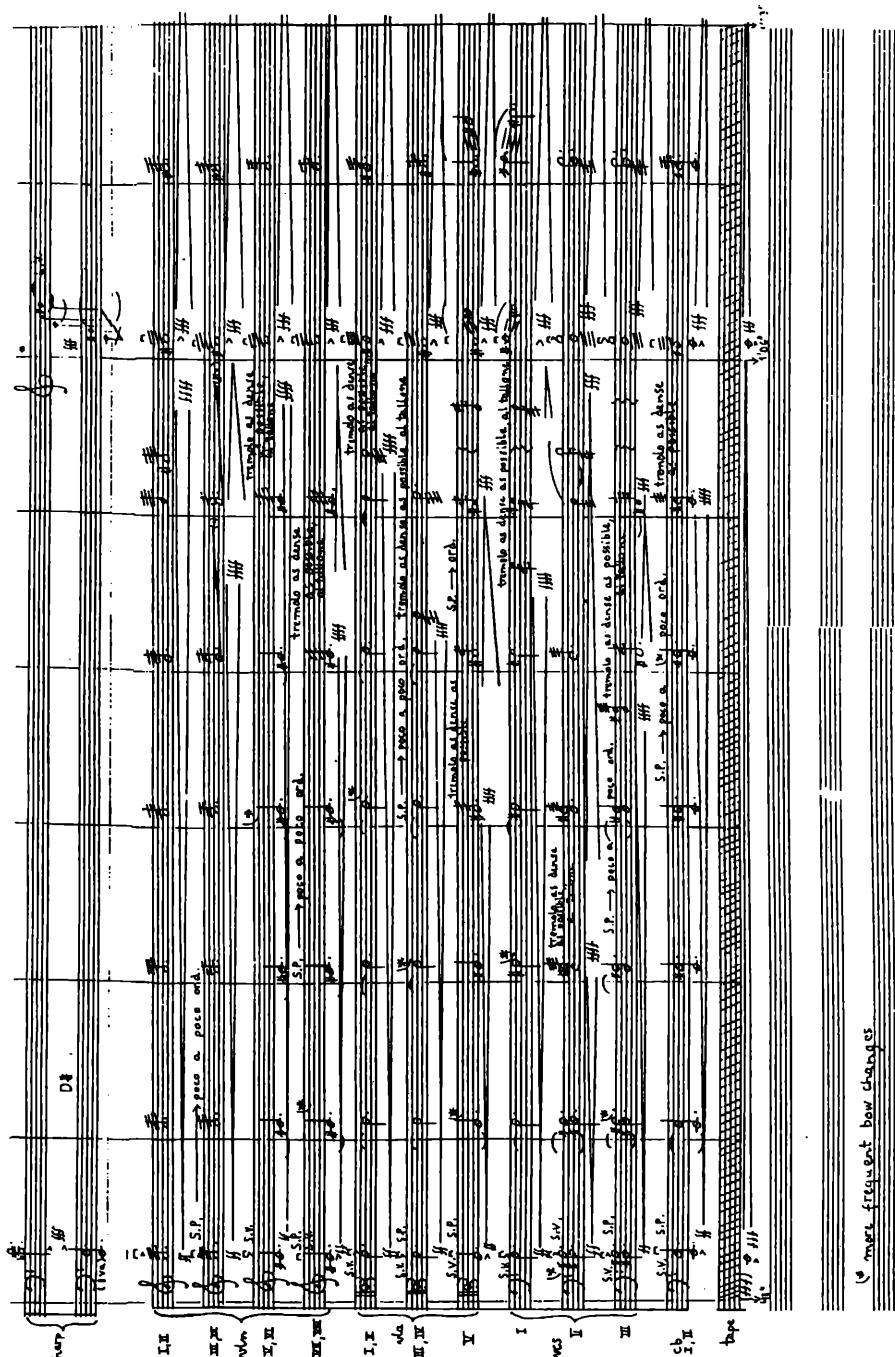
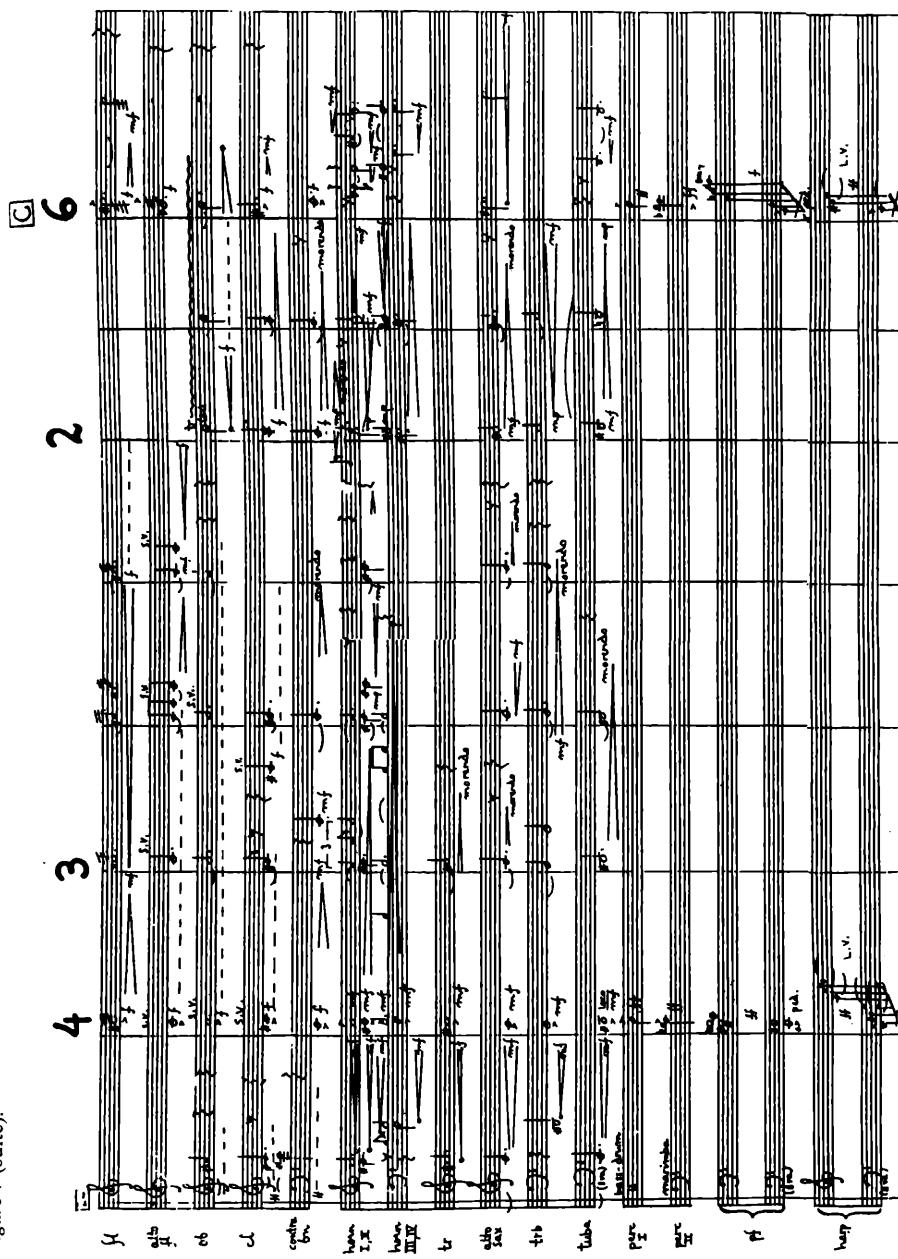


Figure 7 (suite).



Cont'd.

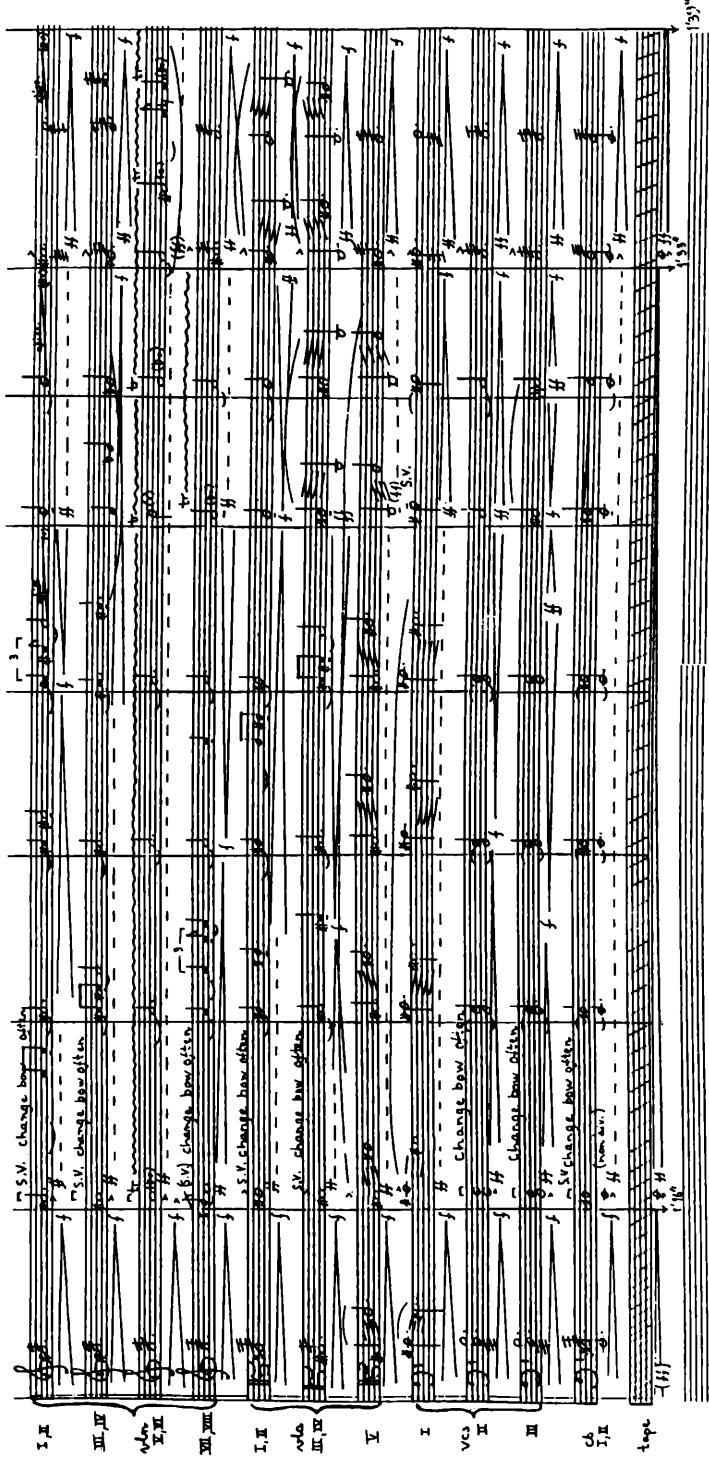
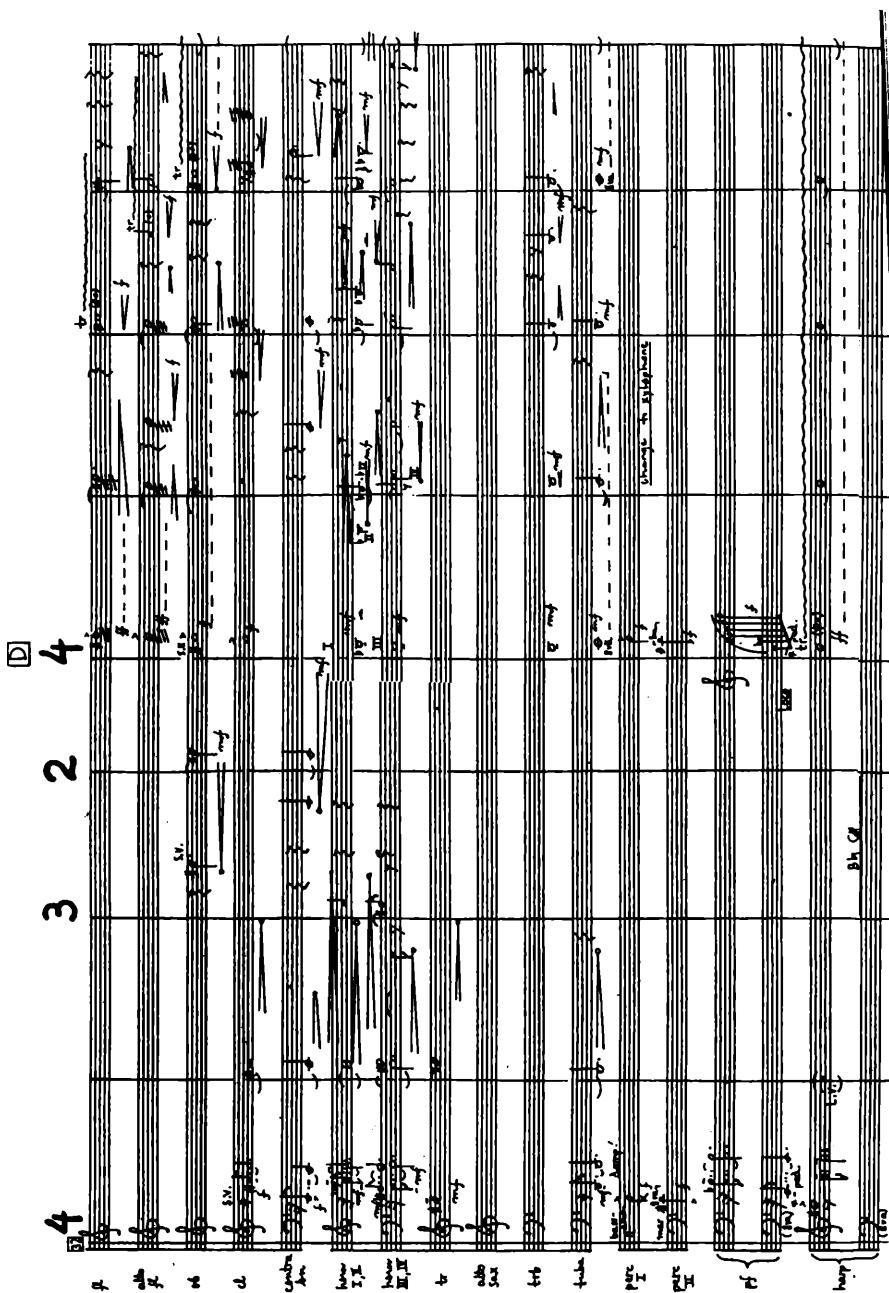
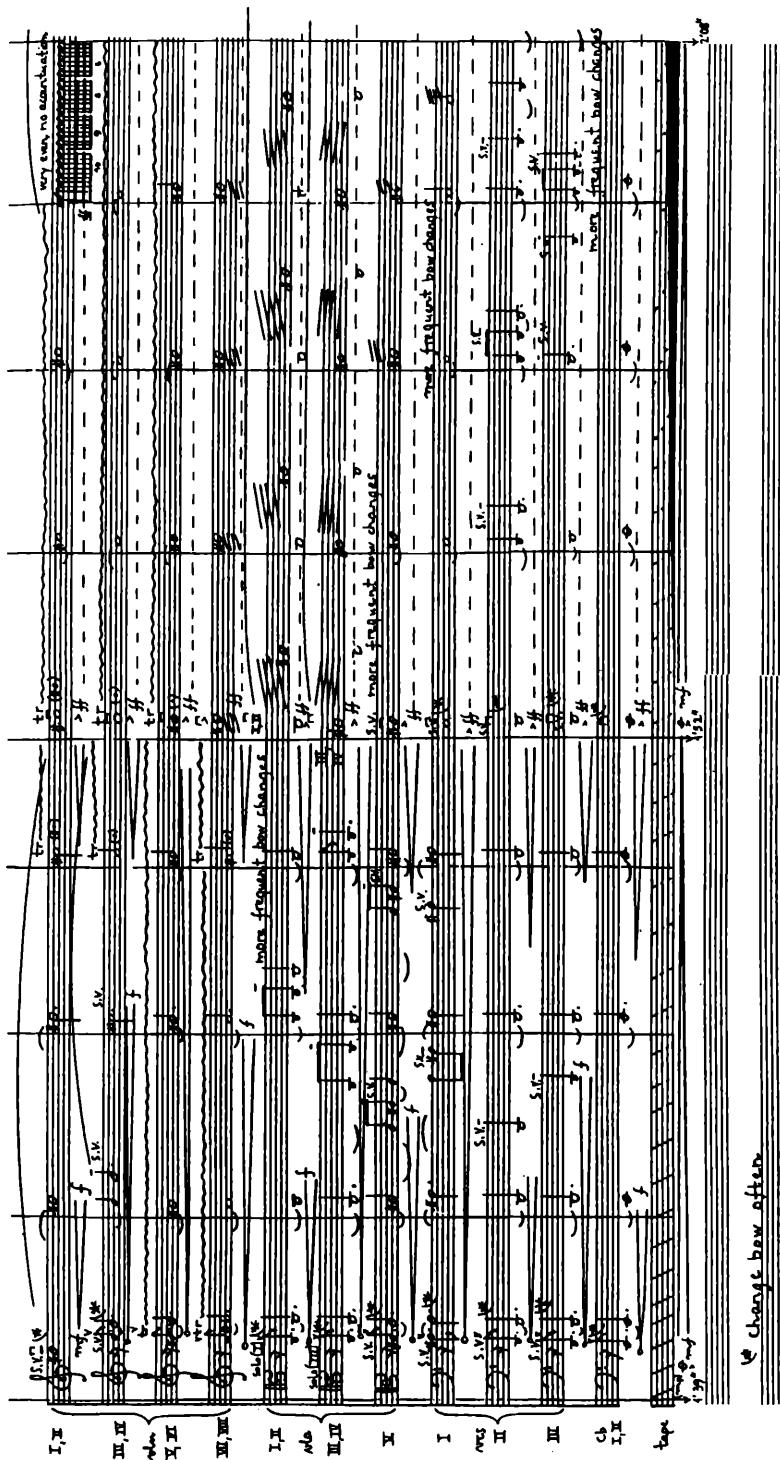


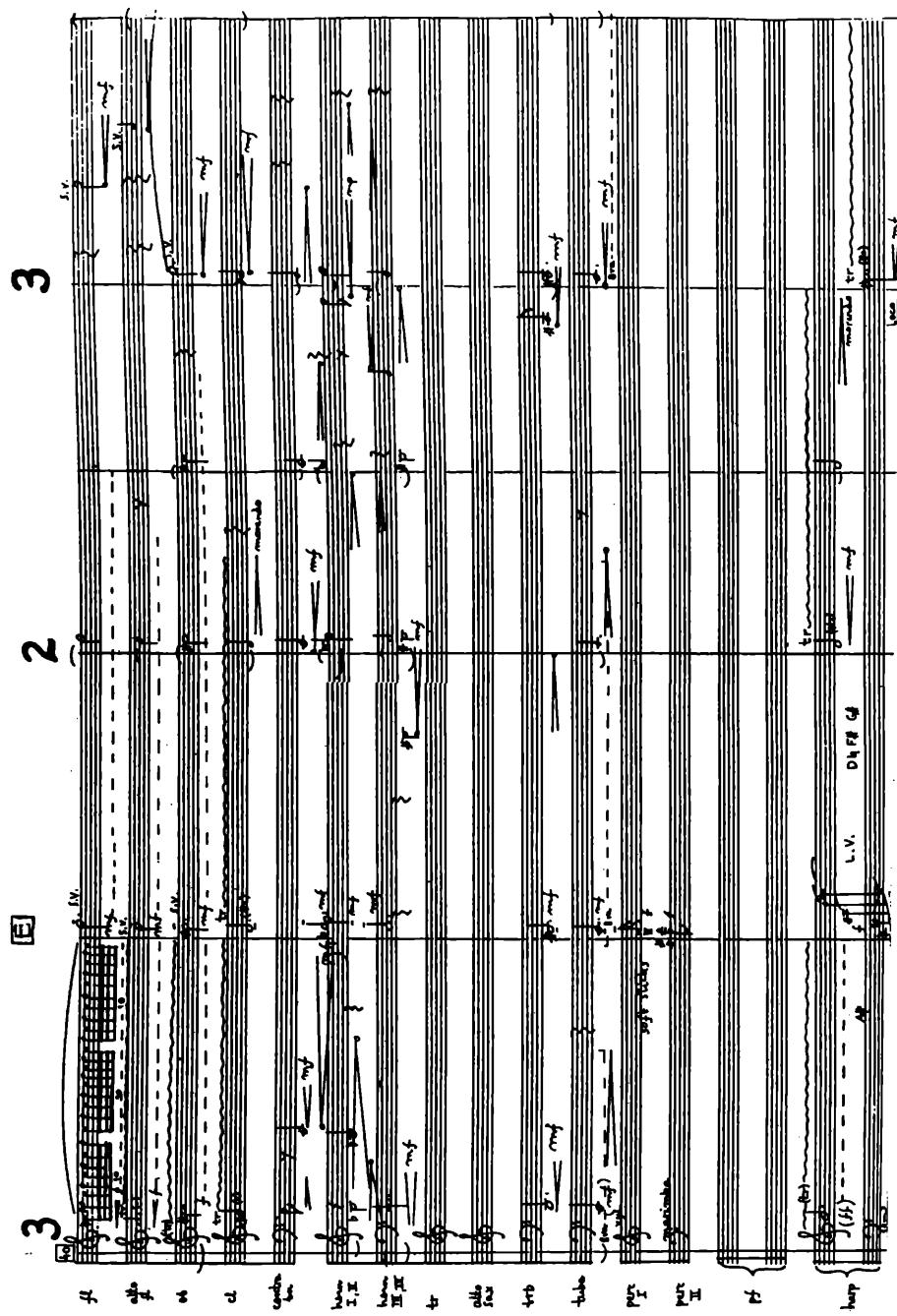
Figure 7 (suite).

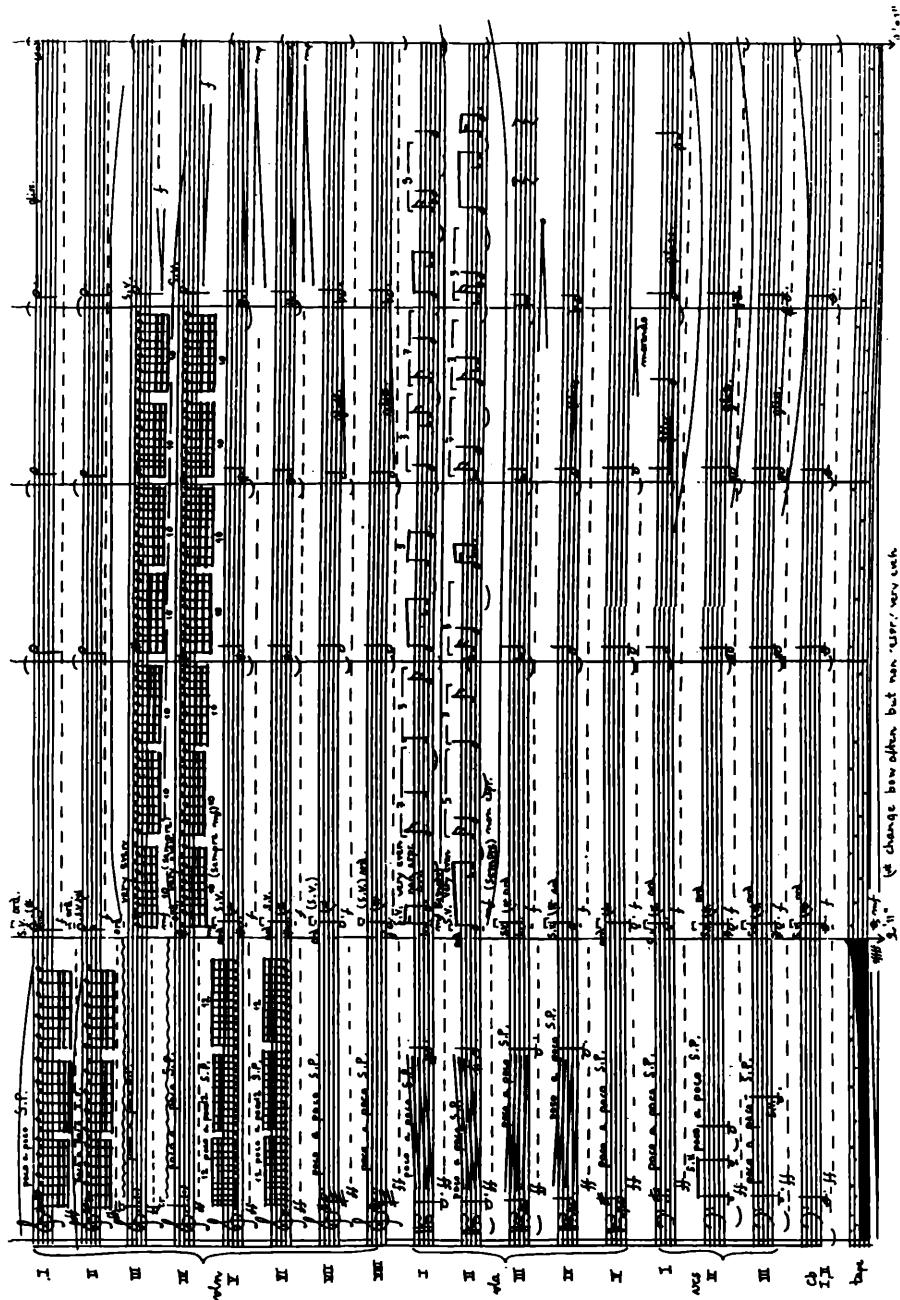




*Cont'd.*

*Figure 7 (suite).*



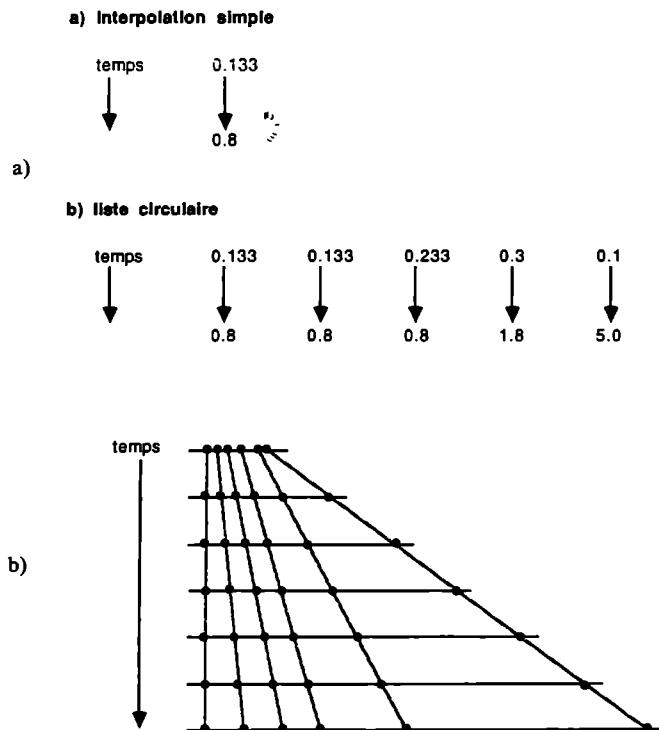


fondamentale de mes programmes était mon désir de constituer pour tous les paramètres musicaux un cadre commun dans lequel tous ces paramètres puissent être contrôlés grâce à différents processus et interpolations. Mon objectif était de parvenir ainsi à faire mieux coïncider l'informatique et la création musicale et de rechercher de nouvelles solutions sur le plan technique de la composition.

Mes programmes ont été réalisés avec le langage d'aide à la composition FORMES couplé à une version du programme CHANT pour la synthèse et le traitement sonore développé à l'I.R.C.A.M. (Rodet et Cointe 1985; Rodet, Potard et Barrière 1985).

Sur le plan général, les programmes sont constitués par des « patterns » dont les valeurs sont fixées par des listes de valeurs pour chaque paramètre choisi. Les listes de valeurs sont ensuite regroupées. En plus de ces matrices, c'est-à-dire les listes et les ensembles de listes, on peut utiliser plusieurs fonctions du temps pour déterminer l'évolution générale.

Sur une matrice, on attribue des valeurs à un nombre de particules souhaité et on détermine les rapports d'interpolation. A l'intérieur d'un son, on peut réaliser une interpolation soit entre deux valeurs, soit avec une matrice circulaire, dans laquelle chaque valeur se modifie avant de se reproduire, ce qui varie continuellement le caractère général du pattern (Fig. 8).



*Figure 8. Deux types d'interpolation : a) une interpolation simple entre deux valeurs ; b) une interpolation entre deux listes circulaires de valeurs. Sans l'interpolation, les listes restent intactes. Avec l'interpolation, chaque valeur changera graduellement dans la direction de sa valeur cible correspondante.*

Une telle matrice circulaire peut se présenter par exemple sous la forme d'un accord, dans lequel chaque note se déplace pendant le processus vers la note d'un nouvel accord.

Mon objectif est de créer un réseau multidimensionnel dans lequel chaque détail est strictement contrôlé et se modifie continuellement. Pour certains paramètres, un même son peut être contrôlé à plusieurs niveaux.

Un processus qui modifie en permanence peut être réalisé par exemple en combinant des listes de paramètres différents, comportant des matrices de différentes dimensions pour chaque paramètre (Fig. 9).

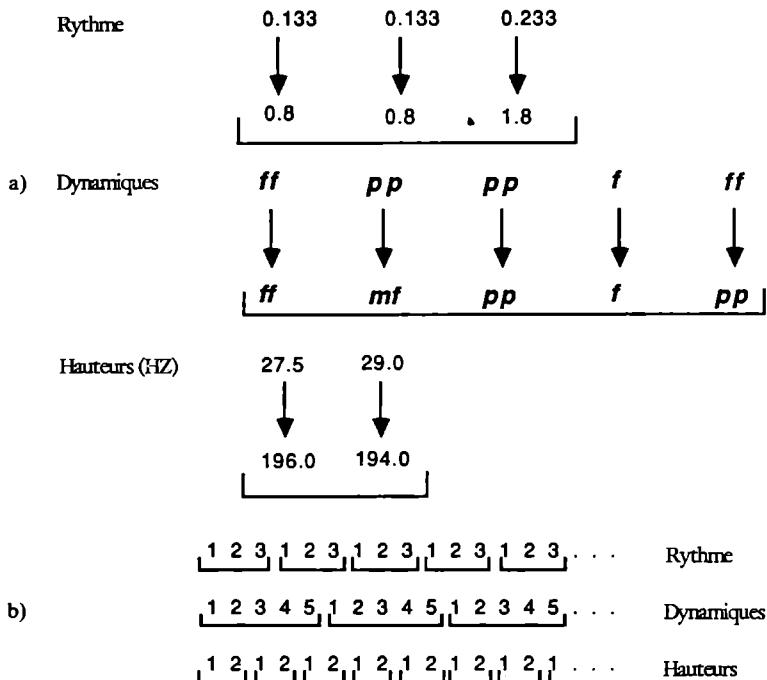


Figure 9. a) des paires de listes circulaires pour le rythme, la dynamique, et la hauteur.  
b) quand le nombre des éléments dans chaque liste n'est pas le même, les cycles de changement dans les paramètres différents ne sont pas synchronisés entre eux.

J'ai utilisé ce système de programmes pour la première fois dans une étude intitulée *Jardin secret I*. Dans cette pièce, l'harmonie et le timbre ont en partie les mêmes points de départ. Quelques structures d'intervalles sont en effet les mêmes pour les deux éléments. Ces structures ont pour principe de base une division de l'octave en différentes graduations symétriques. J'ai choisi l'utilisation des échelles symétriques pour créer de nouveaux univers contradictoires. Pour l'harmonie, on les utilise d'abord de telle sorte que l'accord de départ se trouve modifié par une interpolation pour produire l'accord suivant. L'harmonie se trouve ainsi divisée en segments plus stables ou plus dynamiques suivant que l'on passe d'un système d'intonation à un autre ou que l'on reste dans le même système.

Le mouvement intérieur des sons est d'abord minimal: ceux-ci restent cohérents, entiers et limpides. Dans cette première moitié de la pièce, le timbre

poursuit lui aussi une évolution qui lui est propre dans une large mesure, depuis des sons clairs et abstraits jusqu'à des sons en plus en plus bruités et voisés. J'utilise ici l'identité ou la capacité de reconnaissance des sons comme un moyen de donner une ponctuation formelle.

Ensuite, lorsqu'on s'approche de la fin, les mêmes structures d'intervalles sont utilisées pour construire des sons avec une réduction extrême de la largeur de bande des formants : la largeur s'approche de zéro et donne comme résultat un son non harmonique (avec des sons presque purs correspondant aux fréquences centrales des formants). Ces sons constituent en eux-mêmes des accords de départ pour différents processus qui sont réalisés par les matrices. Je prendrai comme exemple les trois dernières minutes de la pièce, pendant lesquelles seul un matériau de sons inharmoniques est utilisé. Dans ce matériau, le timbre et les structures d'harmonie sont donc contrôlés au moyen des mêmes structures de départ.

Les accords sont disposés dans une mémoire, d'où on peut les extraire à volonté pour concevoir une progression d'accords. On procède alors en construisant une liste pour aligner les accords choisis et pour déterminer la durée de chaque accord et de chaque transition entre deux accords (Fig. 10). Une transition peut, si on le désire, durer très longtemps, jusqu'à atteindre dans un cas extrême une longueur égale à la durée des deux sons avoisinants. Elle peut être également plutôt courte, comme dans le cas présent. La progression de l'harmonie comporte ainsi ses propres rapports de durée qui sont indépendants du reste. A ce stade, beaucoup de sons successifs conservent le même timbre, compte tenu des différences dans la progression des accords et dans la durée des rythmes. C'est pourquoi je voulais associer à la progression des accords un autre processus qui modifie le timbre chaque fois qu'on change de note et provoque également des variations harmoniques en éloignant l'harmonie de ses points de départ. J'ai réalisé ce processus avec une application que j'appelle matrice d'expansion, qui me permet de modifier l'enveloppe spectrale par compression ou expansion des fréquences des formants, tout en laissant intacts les rapports internes de ces fréquences (Barrière 1984).

La matrice d'expansion est une liste circulaire qui permet de fixer un processus spécifique pour chaque particule voulue ; ces dernières viennent ensuite à tour de rôle modeler les accords qui se succèdent (Fig. 11).

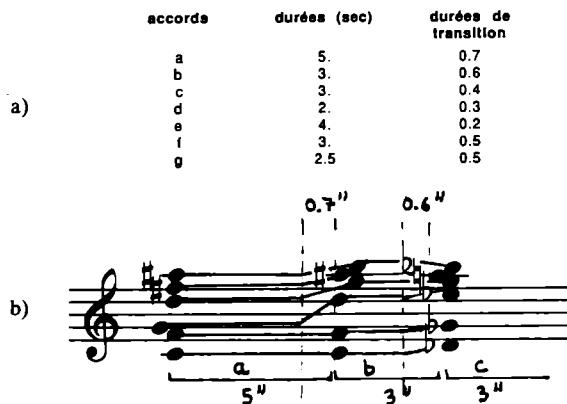


Figure 10. a) une séquence de durées des accords et les durées des transitions entre les accords;  
b) réalisation de cette séquence pour les accords a, b et c.

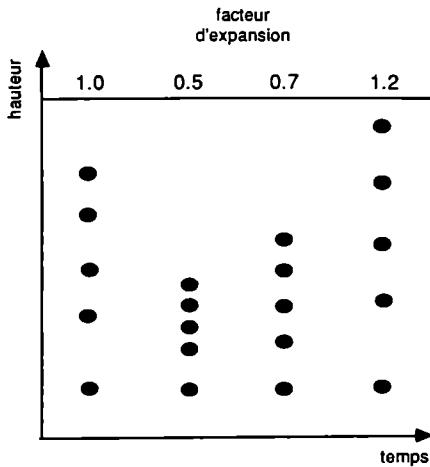


Figure 11. L'évolution d'un accord par application d'une série de facteurs de contraction/expansion.

Il s'agit ici d'un exemple d'une démarche qui ne serait pas réalisable sans ordinateur. Lorsque l'instrument lui-même et l'usage qu'on en fait sont contrôlés par le même dispositif, la situation pour le compositeur devient fondamentalement différente de celle de l'approche classique basée sur les instruments traditionnels. Ces possibilités nouvelles signifient pour le compositeur une esthétique nouvelle, l'accès à une pensée globale depuis le stade de la schématisation de la forme et des matériaux jusqu'au perfectionnement définitif du résultat sonore, en passant par l'organisation générale de l'œuvre.

Dans un sens, ceci est une progression tout à fait logique dans l'évolution de la musique occidentale. En effet, depuis le début du siècle, des compositeurs ont tenté de contrôler des paramètres indépendants de plus en plus nombreux, tout en cherchant par ailleurs des modes organisationnels communs à ces différents paramètres. En outre, les nouvelles méthodes informatisées d'analyse du son nous apportent de multiples ouvertures. Toutes ces connaissances nouvelles enrichissent en soi le travail du compositeur. Par exemple, les structures identiques du détail et de l'ensemble, que j'ai décrites plus haut en parlant de *Jardin secret I*, sont typiquement des solutions que l'informatique a rendu possibles aujourd'hui, mais qui auraient été inenvisageables dans le passé.

Ceci ne signifie en aucune manière que je considère les œuvres ci-dessus mentionnées totalement satisfaisantes. Après avoir réalisé *Jardin secret I*, j'ai commencé à comprendre que, avec les moyens disponibles aujourd'hui, essayer de bâtir un réseau de programmes qui permettraient de réaliser entièrement une composition, en partant de la synthèse des sons pour finir à leur organisation, était une idée merveilleuse mais non encore opératoire.

Les possibilités d'un travail musical interactif avec l'ordinateur sont encore très limitées, même si en continue amélioration. Afin de continuer mon travail avec mes programmes, j'ai dû séparer les fonctionnalités de calcul des paramètres musicaux de celles de synthèse du son, et j'ai alors commencé à les utiliser aussi pour la musique instrumentale.

La partie la plus utile jusqu'à présent a été le programme d'interpolation rythmique, que j'ai utilisé dans toutes mes pièces instrumentales depuis 1984.

La première pièce après *Jardin secret I* fut *Jardin secret II* (pour clavecin et bande réalisée avec ordinateur, 1984-1986), dans laquelle j'ai utilisé les mêmes types de processus à la fois pour le clavecin et pour la bande, modifiant le matériau suivant qu'il était joué par l'instrumentiste ou par la bande. Les deux interprètes de ce duo sont de natures très différentes. Alors que la bande favorise des rythmes exacts, des microvariations qui ne sont pas possibles à noter, aussi bien que des textures microtonales et le mouvement du son dans l'espace, le musicien vivant amène de la présence à la musique en interprétant des variations sur le même matériau adaptées aux possibilités et aux limites de l'instrument.

Plus je travaille avec ces interpolations, moins je les veux linéaires et évidentes. Dernièrement, par exemple dans ma pièce *Io* (pour ensemble, bande réalisée avec ordinateur, et électronique en direct, 1986-1987), j'ai cherché des trajets d'interpolation plus surprenants, comme dans le fragment de cette partition (Fig. 12).

Récemment, ces programmes qui fonctionnaient uniquement sur l'ordinateur général VAX 780 de l'I.R.C.A.M. ont été adaptés à l'ordinateur personnel Macintosh dans l'environnement d'aide à la composition *Esquisse* (Baisnée *et al.* 1988), spécialement pour favoriser le travail dans le contexte de la musique instrumentale; les résultats peuvent être aussi bien joués pour vérification en contrôlant des synthétiseurs numériques extérieurs qu'imprimés pour être utilisés dans l'écriture.

## V. Le spectre inharmonique et l'harmonie pour la musique instrumentale

Mon œuvre *Lichtbogen* (1985-1986, pour ensemble et live-electronics) pourrait constituer un exemple de l'utilisation des méthodes informatiques d'analyse dans le domaine de la musique instrumentale.

Dans cette pièce, j'ai exploré des méthodes, concernant le matériau harmonique, que j'ai continué à utiliser et à développer dans mes œuvres suivantes. L'objectif général, ici, est de trouver de nouvelles structures harmoniques, à travers une manière cohérente d'utiliser les micro-intervalles, et lorsque l'on combine les instruments et la bande (comme dans *Io*), et d'utiliser les mêmes structures de hauteur pour l'harmonie et la synthèse des sons.

Comme je suis spécialement intéressée par les sons bruités, j'ai choisi ce type de matériau afin de les analyser avec l'ordinateur. Ces sons ont des spectres complexes, et les résultats ne sont pas des séries de partiels harmoniques, mais une riche structure microtonale, que je modifie ensuite en éliminant les intervalles indésirables et en les combinant avec d'autres structures.

Pour *Lichtbogen*, je m'étais particulièrement intéressée à certains sons riches et bruités du violoncelle que l'on obtient en augmentant la pression de l'archet pour aboutir à une multiphonie. Les transitions entre de tels sons ont également retenu mon attention. Comme points de départ, j'ai choisi deux types de transitions dans lesquels le son se transforme aussi progressivement que possible depuis un son clair, ici un harmonique de corde (naturel ou artificiel), jusqu'à un son fortement bruité. Il s'agit là, soit d'augmenter la pression sur l'archet tout en l'approchant du manche (Fig. 13a), soit de glisser d'une harmonique à un autre (Fig. 13b).

Ces transitions ont ensuite été analysées en prenant des échantillons aux différentes phases du son. Les données ainsi obtenues m'ont servi pour construire des progressions harmoniques. Les transitions qui sont ici la base de

**2 E** SOLO poco agitato tr. 5/

Piccolo (41) P mf

alto FL2 P

BASS FL1 f gliss. P

CORI 2

TRB

TUBA

PERC1.2 dolce xyl.

CLOTHES (senza sord.) S.V. → wide, rapid vibrato

CELESTA (senza sord.) S.V. → wide, rapid vibrato

HARP dolce 8va. 10 9 mp

VLN S.T. → N  
poco agitato very slow bow S.V. gliss. mp

VLA S.T. → N  
poco agitato very slow bow S.V. gliss. mp

VCL S.T. → N  
poco agitato very slow bow S.V. gliss. mp

VC S.T. → N  
poco agitato very slow bow S.V. gliss. mp

CB S.T. → N  
fusions gliss. S.V. → N

(PULSION: bass fl. str. 1st 10th)

TAPE PCM : cb

— 8 —

1'36.5"

1'48"

*Figure 12.* Les pages 8-9 et 43-44 du manuscrit *Io* pour ensemble, bande et électronique: voir les phrases solistes de contrebasse et piano, toutes deux basées sur l'idée d'interpolation.

3

5/

4   $\text{f} = \text{j} (j=60)$

3

2

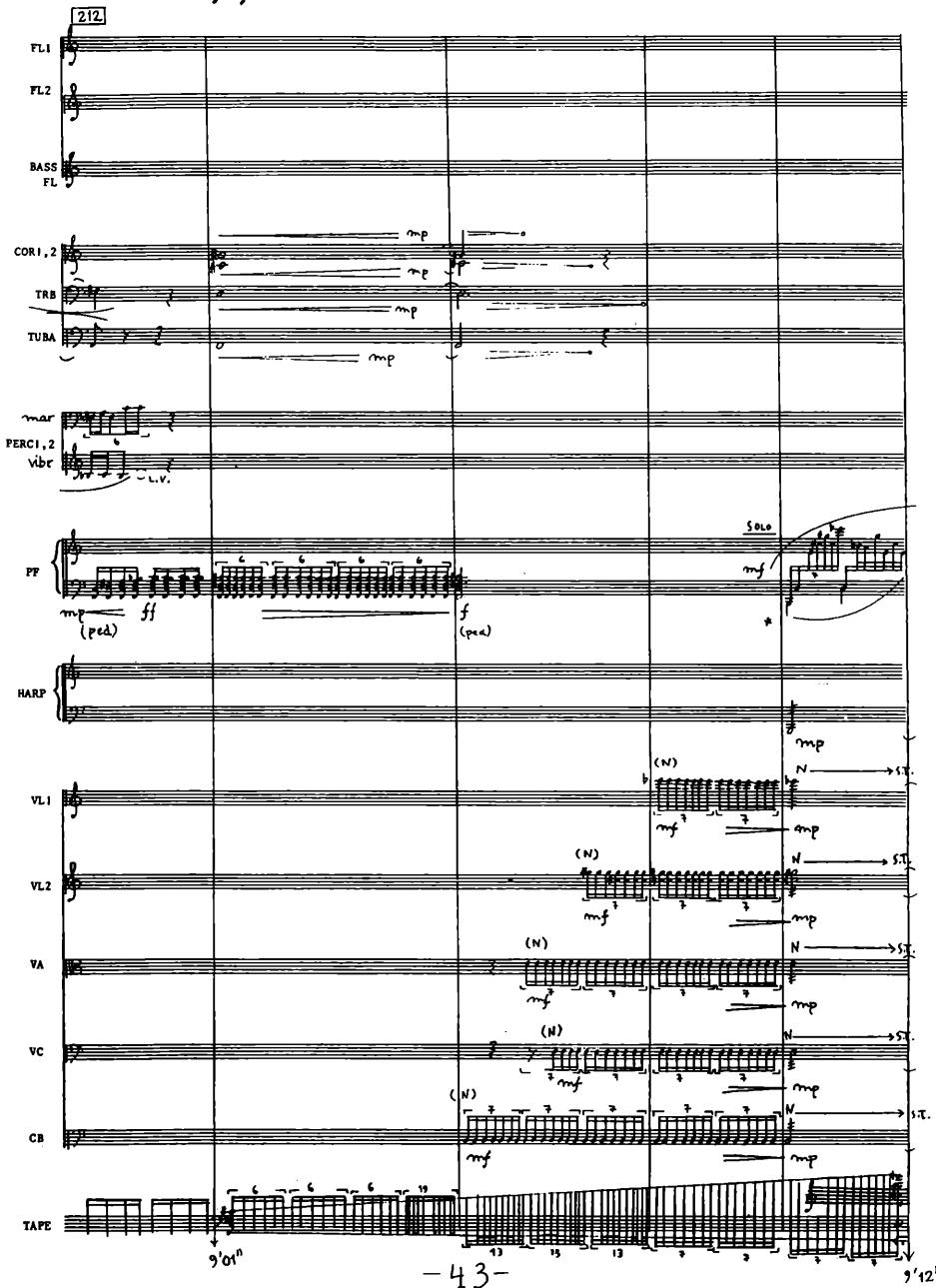
212.

FL1  
FL2  
BASS FL  
CORI, 2  
TRB  
TUBA  
mar  
PERC1, 2  
Vibr

PP  
HARP  
VL1  
VL2  
VA  
VC  
CB  
TAPE

mp   
mp   
mp   
ff (ped)  
f (ped)  
  
*Solo*  
mf  
mp  
  
(N)   
(N)   
(N)   
(N)   
(N)   
(N)   
mp  
N   
mp  
N   
mp  
N   
mp  
N 

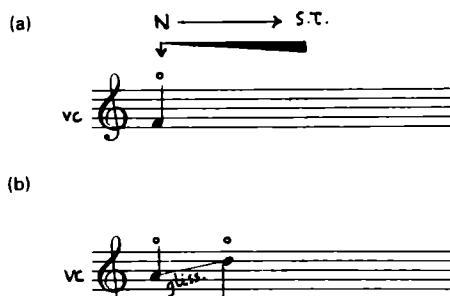
9'01" - 43 - 9'12"





l'harmonie relèvent à nouveau d'une application de l'axe son/bruit. A l'extrême «consonance» de cet axe correspondent cette fois-ci les harmoniques des cordes, tandis que la «dissonance» est représentée par les sons bruités, brisés en multiphonie.

Ici, les domaines du timbre et de l'harmonie s'accompagnent mutuellement dans la mesure où les différents modes de jeu sont associés à l'harmonie. C'est ainsi qu'un accord «sous tension» peut être joué avec une surpression de l'archet, comme le son initialement analysé qui avait servi à créer l'accord en question.



*Figure 13.* Des transitions entre les sons purs et bruités:  
a) en ajoutant la pression de l'archet et en jouant de plus en plus vers *sul tasto*  
b) en jouant glissando à partir d'un son harmonique vers un autre.

De manière générale, certains principes dans mon travail avec l'harmonie n'ont pas changé depuis *Verblendungen*, même si j'ai travaillé plus librement depuis. L'un d'entre eux est celui de l'utilisation d'un accord de base, qui par sa couleur harmonique spécifique donne une sensation de relâchement quand il apparaît.

Dans *Lichtbogen*, où l'instrumentation incluait d'une part des instruments très propices à la production de micro-intervalles (les cordes et la flûte), et d'autre part des instruments limités à l'accord traditionnel (piano, harpe, et percussions à clavier), l'harmonie devait être reliée complètement à l'orchestration. Cette même division entre les deux groupes instrumentaux surgit à nouveau sous d'autres aspects, tels la nature des attaques, et par-dessus tout, la capacité à produire des sons bruités. Ainsi, les cordes et la flûte peuvent être utilisées pour bâtir des textures bruitées, microtonales, alors que le piano, la harpe, et les percussions à clavier, forment des passages clairs et en accords (Fig. 14 a, b).

Habituellement, l'utilisation des micro-intervalles est concentrée dans des passages plutôt lents, qui permettent à l'harmonie d'être clairement perçue, mais aussi correctement jouée. Dans l'orchestration de ces passages, le second groupe n'est utilisé que pour produire les notes tempérées, le cas échéant (Fig. 15).

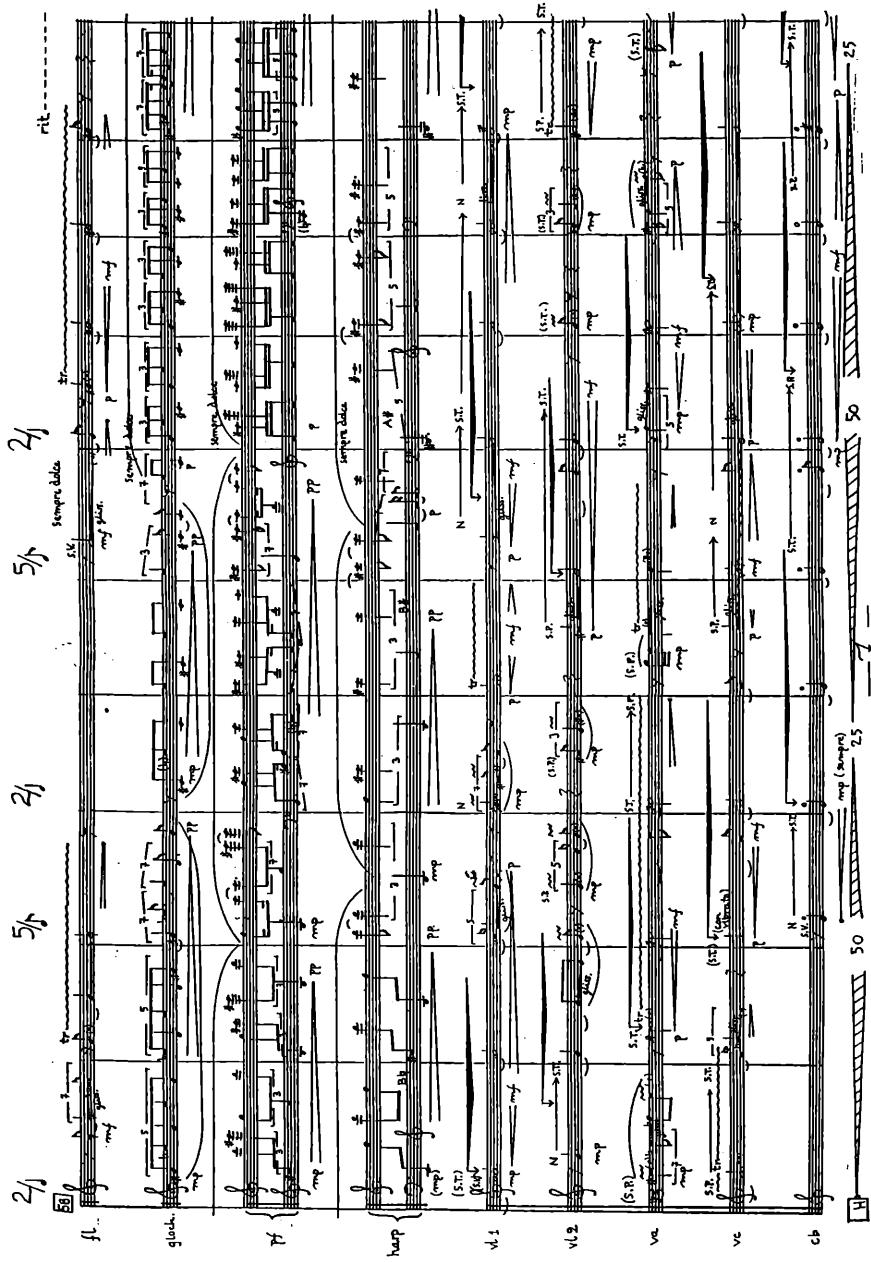
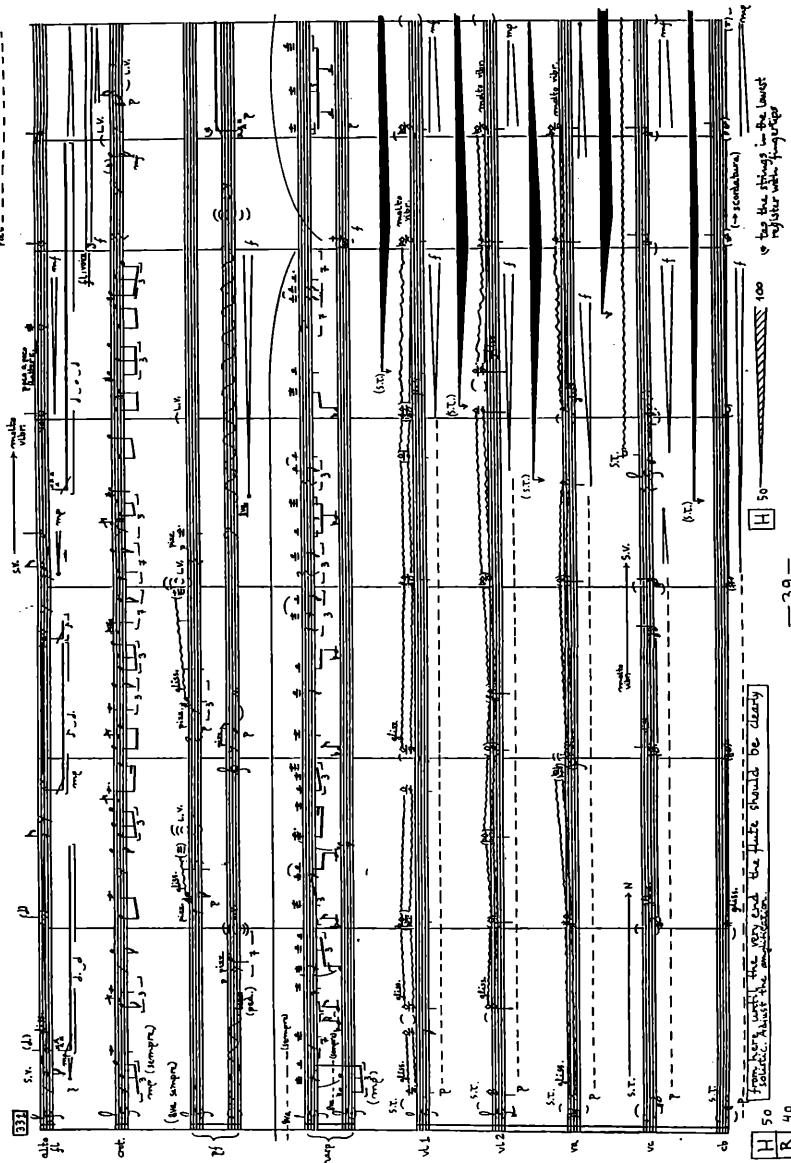
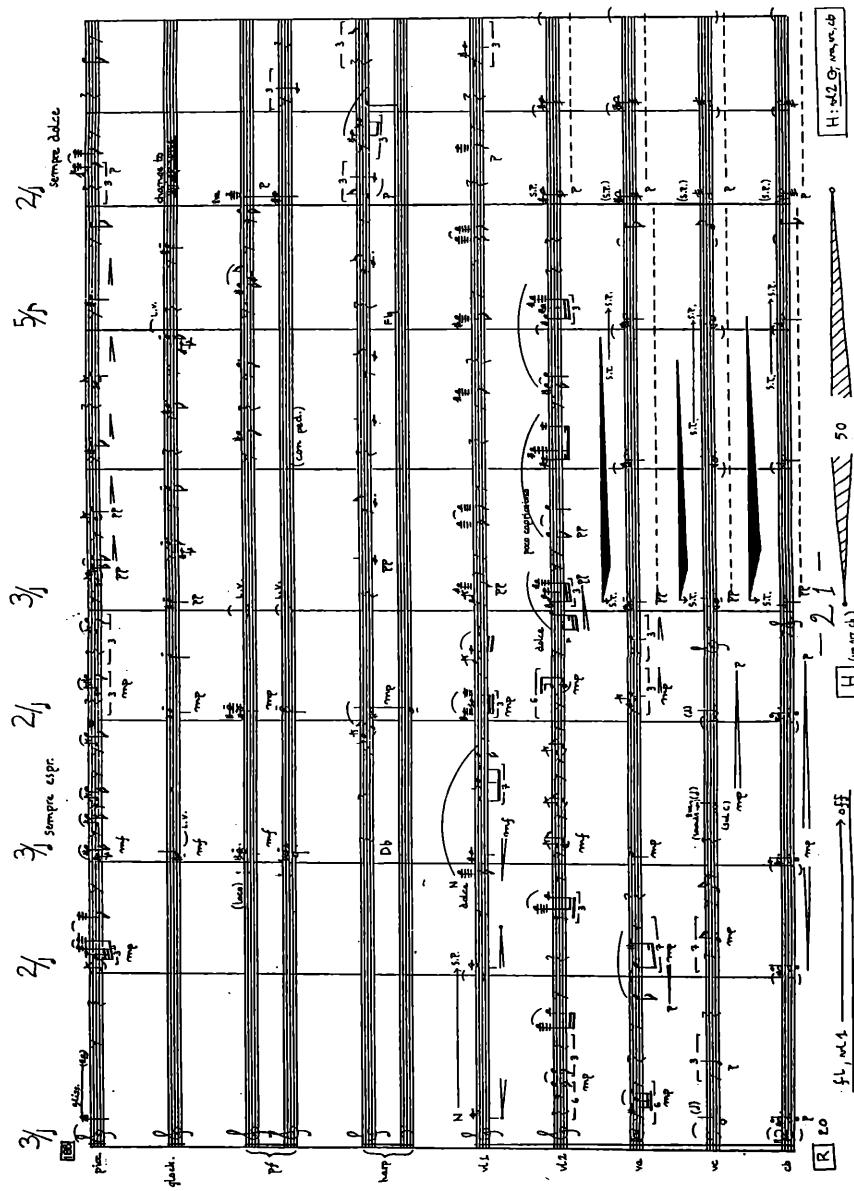


Figure 14 a et b. Deux passages de *Lichtbogen* (pages 7 et 39 du manuscrit): exemples de division des instruments par leur capacité à produire des sons bruyés, et implication de ces caractéristiques dans l'écriture musicale.

2/EE





*Figure 15. Lichibogen*, page 21 du manuscrit : les micro-intervalles sont joués par le premier groupe instrumental, le second groupe jouant uniquement les sons tempérés.

Dans *Io*, j'ai utilisé des sons de contrebasse et de flûte basse pour mes analyses. Toutes ces analyses ont été faites avec le programme IANA écrit par Gérard Assayag d'après l'algorithme de détermination des hauteurs virtuelles de Ernst Terhardt. Ce programme, à partir par exemple d'un son instrumental enregistré dans l'ordinateur, donne, en plus des hauteurs, les amplitudes relatives de chaque partielle, ainsi que leur importance perceptuelle. Les résultats, qui peuvent être imprimés sur des portées musicales, comprennent d'abord tous les partiels, puis seulement ceux ayant un poids perceptuel important (Fig 16). J'utilise habituellement ces derniers pour mes harmonies. Les amplitudes correspondantes peuvent éventuellement être utilisées de manière grossière pour la musique instrumentale, pour spécifier les nuances dynamiques. En revanche, pour la synthèse, l'utilisation stricte de cette information précise est importante.

#### ANALYSE FFT/TERHARDT

- La première séquence donne, du grave à l'aigu, les hauteurs spectrales issues de la FFT.
- La seconde montre les seuls composantes auxquelles l'algorithme de Terhardt confère un « poids perceptif » non nul.
- Sous chaque note sont indiqués de haut en bas :
  - 1 — en cents (de 0 à + au - 50) son écart de justesse par rapport à la note chromatique tempérée écrite.
  - 2 — sur une échelle linéaire de 0 à 1000, l'amplitude pour chaque fréquence.
  - 3 — sur la même échelle linéaire le poids perceptif attribué par l'algorithme de Terhardt à ces fréquences.

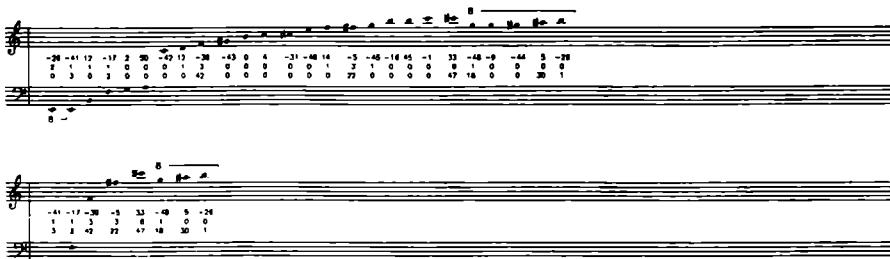


Figure 16. Le programme IANA : analyse d'un son de contrebasse enregistré dans l'ordinateur. Sur la première ligne les hauteurs, les amplitudes relatives et les poids perceptuels de chaque partielle. Sur la deuxième ligne, seuls les partiels ayant un poids perceptif pertinent.

Dans *Io*, j'ai utilisé ces analyses pour l'harmonie, à la fois pour les instruments et pour la partie bande, qui procède principalement de la synthèse de sons. Dans le cas de l'écriture instrumentale, je les ai appelées structures, mais pour la synthèse des sons, le terme de modèle semble plus approprié, dès lors que pour la synthèse une combinaison de paramètres correctement ajustés et formant une entité est nécessaire.

Le groupe instrumental et la bande commencent souvent sur le même accord, puis l'un ou l'autre, ou bien les deux à la fois, s'en vont vers des structures différentes, pour se rencontrer à nouveau plus tard. Cela produit le même effet que deux calques ou transparents superposés dont les figures seraient partiellement similaires et différentes, de telle sorte que quand une des images bouge de temps à autre, les lignes se séparent pour construire des figures différentes (Fig. 17).

*5/ Sempre espressivo* 2 3 2 4

*1'22,5"* — 18 — *4'32"* *4'36"*

*Figure 17 a et b. Io (pages 18-20 et 58-59 du manuscrit):*

- a) la partie bande déclenche la partie instrumentale, mais les deux conservent leur propre logique
- b) partie finale de *Io*: naissance de la coda instrumentale à partir d'un son synthétique sur la bande.

3

3/

**80**

PI.1  
in C

PI.2  
in C

BASS  
FL

COR 1,2  
(con sord.) (slide trill)

TRB  
(con sord.)

TUBA  
(con sord.)

PERC 1,2

PF

HARP

VI.1  
mf

VL.2  
N → S.T. → S.P. → S.P.

VA  
mf → S.T. → S.T. → S.T.

VC  
N → S.T. → SV

CB  
N → S.T.

T.A.P.C.

— 19 —

$4\frac{4}{4} \frac{5}{4}$

4  $\frac{5}{4}$   $\frac{5}{8}$  (J=75) dolce 3 (ritard.) 4

VI.1 (in C) mp  
 FL2 (in C) s.f.  
 BASS FL tr  
 FL mf  
 COR1,2  
 TRB → senza sord.  
 TUBA → senza sord.

Glock  
 PERC1,2

PF esp.  
 HARP

VI.1 mf  
 VL2 f.t. → N → S.T. N  
 VA N s.m. → N → S.P. S.V. → conv. vibr.  
 VC s.p. → S.P. → S.T. → conv. vibr.  
 CB s.v. N → S.T. → conv. vibr.

TAPE

4'43" -20- 4'59.5"

**GG**  
**4** rubato, molto calmo  
**3**  $J = \sim 40$   
**dolce, leggiere**  
**Subito  $J = 120$**

**2**  $J = \sim 40$   
**2**  $J = 120$

**FL1** inc.  
**FL2** in G  
**BASS**  
**FL**  
**CORI, 2**  
**TRB**  
**TUBA**  
*(\* breathe imperceptibly when necessary)*

**Glock**  
**PERC1, 2**  
**vibr**  
**PF**  
**HARP**  
**VL1**  
**VL2**  
**VA**  
**VC**  
**CB**  
**TAPE**

**S.T.**  $\rightarrow$  **molto vibr**  $\rightarrow$  **S.V.**  $\rightarrow$  **molto vibr**  $\rightarrow$  **S.V.**  
**S.T.**  $\rightarrow$  **molto vibr**  $\rightarrow$  **S.V.**  $\rightarrow$  **molto vibr**  $\rightarrow$  **S.V.**  
**S.T.**  $\rightarrow$  **molto vibr**  $\rightarrow$  **S.V.**  $\rightarrow$  **molto vibr**  $\rightarrow$  **S.V.**  
**S.T.**  $\rightarrow$  **molto vibr**  $\rightarrow$  **S.V.**  $\rightarrow$  **molto vibr**  $\rightarrow$  **S.V.**  
**S.T.**  $\rightarrow$  **molto vibr**  $\rightarrow$  **S.V.**  $\rightarrow$  **molto vibr**  $\rightarrow$  **S.V.**  
**S.T.**  $\rightarrow$  **molto vibr**  $\rightarrow$  **S.V.**  $\rightarrow$  **molto vibr**  $\rightarrow$  **S.V.**  
**S.T.**  $\rightarrow$  **molto vibr**  $\rightarrow$  **S.V.**  $\rightarrow$  **molto vibr**  $\rightarrow$  **S.V.**  
**S.T.**  $\rightarrow$  **molto vibr**  $\rightarrow$  **S.V.**  $\rightarrow$  **molto vibr**  $\rightarrow$  **S.V.**

*(\* start ~ 14'49")*  
*(\* start ~ 14'42")*  
*(\* start ~ 14'54")*  
*(\* start ~ 14'56")*

*(\* bow changes always imperceptible on & alternatively)*

**Stop the tape**

**58 -**

5/ 2 4.  $\text{J} = \sim 40$  [HH] sostenuto  
 296 molto vibrato

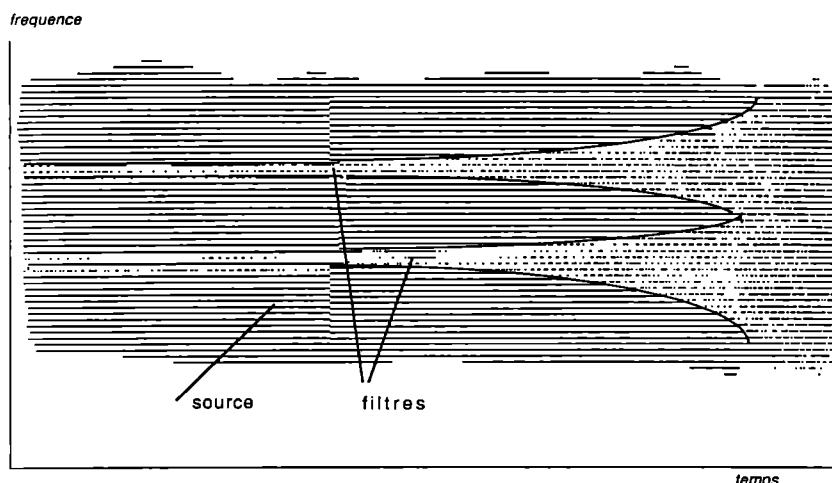
V.1.1  
 alto FL 2  
 basso FL  
 CORI, 2  
 TRB  
 TUBA  
 PERC1, 2  
 PF  
 HARP  
 VL.1  
 VL.2  
 VA  
 VC  
 CB

piccolo  
 mettendo vibrato  
 (con sonz.) I  
 tubular bells  
 crotales  
 (pd)  
 (pd)  
 (s.p.)  
 (s.v.)  
 (s.p.) (s.v.)  
 (s.v.)  
 (s.p.) (s.v.)  
 S.P.  
 S.T.  
 (\*) bow changes always  
 imperceptible and  
 alternatively

- 59 -

Dans la partie bande de *Io*, j'évolue d'un modèle à un autre principalement par des interpolations graduelles. Il est possible de réguler l'aspect le plus proéminent, suivant certains paramètres de la synthèse des sons : de faire que celui-ci soit la structure réelle de hauteurs, ou bien la fusion du timbre du son. Parfois la bande fonctionne comme un arrière-plan de timbre pour les instruments, qui dessinent les lignes harmoniques précises par-dessus.

Les mêmes modèles sont aussi utilisés pour contrôler les fréquences de bancs de filtres : les largeurs de bande des filtres déterminent ce qui est le plus audible, de la structure de hauteurs donnée par le modèle ou bien d'une source sonore réelle (ici toujours un son instrumental concret enregistré dans l'ordinateur) qui est ainsi filtrée. Il est possible de se déplacer graduellement d'une position à une autre, c'est-à-dire aussi d'une perception à une autre (Fig. 18). (Potard et al. 1986 et ici même).



*Figure 18.* Dualité du principe de largeur de bande en filtrage : quand les bandes sont étroites, les fréquences centrales de contrôle des filtres sont directement perceptibles (le filtre résonne) et la source filtrée n'est pas suffisamment restituée pour être reconnaissable ; en revanche, plus les bandes sont larges, plus la source filtrée est précisément restituée et perceptible, et moins les fréquences centrales des filtres sont pertinentes.

La raison d'être de la partie bande de cette pièce était précisément de réaliser le type de processus que j'ai mentionné plus haut. Avec les outils raffinés de synthèse qui sont disponibles à l'I.R.C.A.M. (je parle du programme CHANT, avec lequel toute la synthèse sonore aussi bien que les filtres sont réalisés), on peut bâtir une continuité entre timbre et harmonie, ou les superposer de différentes manières. L'addition des instruments multiplie les possibilités de texture. Les territoires communs entre la synthèse et l'instrument deviennent larges, et permettent une véritable versatilité du discours entre les deux. La totalité du tissu musical est souvent représentée dans mon esprit comme un espace à trois dimensions, de telle manière que différents timbres et textures sont comme de fines couches, plus ou moins transparentes, reposant les unes sur les autres. Une des fonctions de la bande est de produire un effet de zoom à l'intérieur de cet espace, au niveau microscopique du monde instrumental.

## Coda

Si je parle beaucoup de l'informatique, c'est que j'estime qu'elle occupe une position-clé dans l'évolution de la pensée musicale de notre temps. Par rapport aux instruments traditionnels (et aux contraintes humaines et matérielles qui conditionnent leur utilisation), l'ordinateur offre des possibilités qui sont théoriquement illimitées.

Pratiquement, ces possibilités sont encore bien restreintes. Mais avec ses limites propres, l'informatique offre au compositeur un point de départ nettement plus révolutionnaire que la musique instrumentale actuelle. L'informatique rend possible — et l'on ne peut y échapper — une remise en question des idées reçues sur la musique instrumentale.

J'estime cependant que les possibilités créatrices les plus riches sont actuellement offertes par l'association des moyens informatiques et des instruments acoustiques : on parvient ainsi à exploiter au mieux leurs avantages respectifs et à pallier leurs défauts et lacunes.

Art et technologie sont entremêlés aujourd'hui plus que jamais, et contrairement à ce qu'on pourrait imaginer, je trouve que les progrès de la technologie libèrent la créativité et élargissent la pensée. Du moins j'espère que cet art apparu au début de l'ère informatique, cet art froid, technocratique, ne pouvant se passer de la machine (car dépourvu de capacité propre), cédera la place à une nouvelle forme de sensibilité et de souplesse, au fur et à mesure que la technologie deviendra plus subtile et multiforme.

En travaillant sur *Io*, j'ai ressenti très fortement le sentiment que j'avais trouvé les bonnes pièces de mon puzzle musical, pour le moment. Progressivement, la syntaxe de mon langage musical s'est formée, plus souvent à travers des décisions compositionnelles intuitives qu'à travers une pure réflexion. Ma volonté de former et de réguler la tension musicale m'a conduite à chercher des outils à partir de deux directions : organiser le timbre et le relier à l'harmonie, et construire un système d'interpolations. Je ressens que je travaille dans un environnement musical riche, qui offre de nombreuses possibilités. En ce moment, j'essaie d'oublier le vocabulaire traditionnel de la musique, et j'ai décidé de chercher des solutions en faisant abstraction des modèles historiques, telle que la hiérarchie tonale. Je n'ai jamais utilisé de formes toutes faites dans lesquelles j'aurais mis ma musique. J'ai essayé de ne pas utiliser, non plus, de vieilles solutions, devenues schématiques, dans d'autres parties de la composition. Je sens qu'un nouveau langage prend forme, et il ne pourra être analysé et nommé que quand il existera.

Au moment où, commençant cet article, j'ai subdivisé mes idées sous différentes rubriques, je m'apprétais à clarifier la manière dont chacun de ces différents aspects, le timbre, l'harmonie et la forme, les espaces transitoires, le réseau multidimensionnel, et l'utilisation de l'ordinateur, a été introduit dans mon travail musical. Actuellement, ils y sont tous indissociablement mêlés, et synthétisent une musique à partir de laquelle pourrait naître un nouveau vocabulaire, en relation directe avec ce langage musical particulier à ce moment particulier de l'histoire musicale. Je veux aujourd'hui prendre toute la distance nécessaire afin de leur donner l'entièvre possibilité de se développer, libérés des contraintes du passé.

## Œuvres de K. Saariaho citées :

*Vers le blanc*, pour bande (IRCAM, Paris 1982).

*Verblendungen*, pour orchestre et bande (Édition Wilhelm Hansen, Copenhagen, 1982-84).

*Jardin secret I*, pour bande (IRCAM, Paris 1984-1985).

*Jardin secret II*, pour clavecin et bande (Édition Wilhelm Hansen, Copenhagen, 1984-1986).

*Lichtbogen*, pour ensemble et électronique en direct (Édition Wilhelm Hansen, Copenhagen, 1985-1986).

*Io*, pour ensemble, bande et électronique en direct (Édition Wilhelm Hansen, Copenhagen, 1986-1987).

## Le miroir de l'ambiguïté\*

par Jonathan HARVEY

Généralement, lorsqu'on compose, on commence par imaginer un son, parfois on le vérifie ou on le corrige au piano, puis on l'écrit : on le note. Existe-t-il une différence fondamentale entre cette méthode de travail traditionnelle et la composition de musique de synthèse sur ordinateur ? Lorsqu'on est devant son terminal, on imagine aussi un son, puis on l'essaie, on le corrige, et on le sauvegarde dans un langage informatique.

Une fois achevé le long et fastidieux travail de programmation (comparable au tracé des portées sur une feuille de manuscrit), l'informatique devient un jeu tout à fait fascinant et assez éloigné de la composition traditionnelle. Je crois que cela est dû au sentiment d'être face à *un miroir*. On recherche la forme définitive du son, tel qu'il sera joué en concert, alors qu'en composition traditionnelle, on cherche la *notation* définitive qui *aboutira* au son souhaité, lequel appartient encore à l'imagination. On corrige le son en fonction de ce que transmettent les haut-parleurs du système. On se pose les questions suivantes : « Quelle valeur faut-il mettre pour que ce son, cette chute, ce quinzième partielle, cet accelerando vibrato d'amplitude prennent la forme que l'on reconnaîtra comme étant la bonne ? » Certes, nous traduisons nos réactions en nombres et nous quantifions tout avec précision, mais notre réaction est avant tout émotionnelle. Les mots, et toute la philosophie, ne sont pas à même de rendre compte avec précision et objectivité de ces domaines essentiels de l'activité humaine. Si nous n'aimons pas un son, nous pouvons peut-être donner quelques raisons à cette aversion : « il ressemble trop au bruit d'une machine à laver, ou à un rot » — ou, si nous avons une vision claire du son imaginé (ce qui est loin d'être toujours le cas), nous pouvons dire que cela ne correspond pas à ce que nous souhaitions, que nous nous sommes trompés. Le plus souvent, nous savons que nous n'avons pas obtenu le résultat recherché, mais nous sommes incapables de dire ce que nous *voulions* exactement.

L'ordinateur nous demande de traduire notre émotion en nombres ; il faut quantifier le moindre détail, car la machine n'est pas douée d'intelligence. Il

---

\* Cet article est paru dans sa version originale dans le livre *The Language of Electroacoustic Music*, publié sous la direction de Simon Emmerson, MacMillan Press, 1986.

s'agit là d'une différence radicale par rapport au travail avec des musiciens. On peut demander à ces derniers de jouer « plus lyrique », « plus agressif », « *più nobilmente* », et immédiatement, sans réfléchir, ils corrigent des centaines de paramètres relatifs au spectre, au tempo, à la hauteur, etc. Les musiciens réagissent à un niveau très supérieur où ils n'ont nul besoin de réfléchir ou de quantifier leur intervention. Ils « sentent » tout simplement ce qu'il faut faire.

Or, c'est cette obligation même d'analyser le cœur d'une émotion et de la traduire en calculs précis qui rend le travail avec l'ordinateur extraordinairement fascinant. On a le sentiment de contempler un miroir insolemment fidèle qui pose précisément les questions pertinentes. On modifie un paramètre, et on réagit émotionnellement au résultat. On modifie un autre paramètre, et cela produit une émotion subtilement différente, déconcertante. Un autre changement... et ainsi de suite, ce va-et-vient spéculaire entre le subjectif et l'objectif se répète des centaines de fois jusqu'à ce que l'on obtienne une sorte d'adaptation mutuelle.

« Ce qu'est la musique des hommes, il suffit de se pencher sur sa propre nature pour le comprendre. Car qu'est-ce qui peut unir au corps l'activité incorporelle de la raison, sinon une certaine adaptation mutuelle, tels des sons graves et aigus s'unissant en une consonance unique? Quelle autre opération peut unir les parties de l'âme elle-même et accomplir ce qui, pour Aristote, est l'union du rationnel et de l'irrationnel? » (Boethius, traduit par Strunk 1950).

Jusqu'à présent, il n'avait jamais été possible d'analyser à ce point les rapports déconcertants et quelque peu perturbants qu'entretiennent la musique et les mathématiques. Pour l'esprit médiéval (et c'est peut-être encore vrai), cette relation était d'ordre métaphysique; l'homme moderne réfute les explications métaphysiques, qu'il estime trop générales. En mettant en lumière les configurations exactes de la musique des mathématiques — qui, pour être « musique », doit répondre à un sens esthétique ou spirituel jugé jusque-là profondément irrationnel — nous approchons une meilleure compréhension de nous-mêmes. L'intelligence artificielle, dans ses applications les plus courantes, ne permet guère une telle compréhension du cerveau et de l'intellect, même si, bien évidemment, ces domaines ne lui sont pas étrangers. Ce que l'on éprouve en travaillant sur un programme de synthèse, ce sentiment étrange de scruter le fond même de la conscience, me semble indiquer que la musique, une fois encore, approche le cœur du débat philosophique. Pour certains penseurs, dont Marvin Minsky, le langage et la linguistique ne peuvent plus, contrairement à la musique, fournir des clés pour l'analyse du fonctionnement intrinsèque de la pensée.

J'ai mené l'expérience que je viens de décrire à l'I.R.C.A.M., où j'ai travaillé avec MUSIC V<sup>1</sup> et CHANT<sup>2</sup> pilotés par FORMES<sup>3</sup>. D'autres systèmes y sont disponibles, à savoir, le système Yamaha de synthèse par modulation de fréquence<sup>4</sup> et la 4X, processeur de signaux numériques en temps

---

1. Cf. Mathews 1969, Richer 1979.

2. Cf. Bennett 1981, Rodet *et al.* 1984.

3. Cf. Rodet et Cointe 1984.

4. Système de synthèse par modulation de fréquence, constitué, entre autres, du séquenceur QX1, du générateur de son FM TX816, et du synthétiseur d'algorithmes numériques programmable DX1.

réel<sup>5</sup>. Ces deux derniers systèmes sont conçus pour répondre aux besoins des compositeurs : ils produisent des sons préparés sans que l'on ait à se préoccuper de tous les détails ; en outre, le compositeur peut tenir compte de la part d'intuition qu'apporte un interprète. Ainsi peut-on demander au clavier ou au potentiomètre de jouer *più nobilmente* si on le désire. En comparaison, les programmes que j'ai utilisés exigeaient que chaque aspect du son soit défini avec précision, et que chaque paramètre soit exactement quantifié. Le travail est donc très lent, et il ne fait aucun doute qu'à l'avenir les productions de l'I.R.C.A.M. se feront principalement sur les systèmes Yamaha et 4X. Cela dit, l'I.R.C.A.M. est un institut de recherche, et, dans la logique de ce que j'ai dit plus haut, le fait de travailler avec des systèmes plus lents et, peut-être, plus exigeants, nous permet d'atteindre à une compréhension très profonde. Cet aspect est parfois quelque peu oublié, et il convient de le souligner.

L'un des problèmes que l'on rencontre avec le système Yamaha, c'est qu'il est difficile d'obtenir une grande précision par la modulation de fréquence. Le rapport entre le niveau de l'oscillateur et l'indice de modulation est excessivement complexe : il s'exprime par le rapport entre le niveau de la fréquence porteuse et les bandes latérales de premier et de deuxième rang. Pour établir avec exactitude le rapport entre modulateur inharmonique et fréquence porteuse, il faut s'en remettre à l'oreille, agir « au jugé », ou se livrer à des calculs laborieux (une tâche sans commune mesure avec l'extrême facilité de manipulation des données entrées sur un clavier). Par ailleurs, les recherches informatiques ont permis de calculer la fréquence de modulation et la fréquence porteuse nécessaires pour produire le spectre inharmonique spécifié (cf. Roads 1985). Au lieu de tâtonner à l'aveuglette, le compositeur peut penser en termes de structures spectrales précises et composer en toute connaissance de cause dans un domaine nouveau où aucune zone d'ombre ne subsiste, alors qu'avec les synthétiseurs, il était condamné à des tentatives semi-conscientes.

C'est avec MUSIC V que j'ai obtenu la précision souhaitée. Ce système se prête particulièrement bien à la synthèse additive, et la version de l'I.R.C.A.M. permet d'ajouter des partiels afin d'enrichir les spectres concrets. On peut modifier des sons enregistrés, en commençant par analyser le spectre par FFT (Fast Fourier Transform, ou Transformée de Fourier rapide), puis en ajoutant des partiels aux points stratégiques, par exemple pour qu'ils entrent en battement avec les partiels existants et apportent un « frémissement » à une note de percussion juste. Le partielle ajouté peut également produire un glissando, de sorte que le battement varie en intensité ou en rapidité sur un certain laps de temps, et ainsi de suite. On peut ajouter toute une série d'interactions pour transformer avec une extrême précision le son original. Au bout d'un certain temps, j'ai appris à connaître le fonctionnement interne des spectres et les valeurs nécessaires à l'obtention d'un son donné. Avec des outils musicalement plus expressifs, la nature générale de ces connaissances n'est guère accessible, alors qu'avec MUSIC V la composition accède à une nouvelle dimension.

Prenons le cas du timbre pour illustrer l'interaction entre beauté et nombres. Lorsque l'on crée des sons de synthèse en partant de zéro, on constate très vite que le timbre existe à peine en tant que concept. Les composantes essentielles de sa perception relèvent, entre autres, de l'évolution de l'amplitude

---

5. Processeur de signaux numériques en temps réel, développé à l'I.R.C.A.M. par Giuseppe di Giugno, avec licence Sogitec.

des partiels dans le temps, de la micromélodie jouée par la fondamentale et ses partiels, et, surtout, de l'image mentale du bois, du métal, du boyau, bref, du matériau qui, dans notre esprit, est associé à la source plus ou moins évanescante du son. Modifier un timbre revient en fait à modifier une mélodie ou une harmonie : le timbre se voit ainsi privé d'existence propre.

Pour construire un timbre de flûte, il faut simuler tous les indices que l'oreille recherche pour confirmer le « fait » que quelqu'un est bien en train de souffler dans une flûte : le souffle, la micromélodie imposée au vibrato par la nervosité de l'instrumentiste, le bruit des lèvres à l'attaque, et ainsi de suite. Lorsque le « fait » est confirmé, l'image mentale d'une flûte naît et rassemble ensuite les multiples sons de timbres très disparates sous l'appellation de « flûte ». On peut considérer que la perception de ces sons disparates comme appartenant à un même instrument est une illusion (car il y a une différence plus grande entre les graves et les aigus d'une flûte qu'entre certaines notes de flûte et de hautbois), un de ces tours que notre esprit éprouve d'ordre nous joue pour nous rassurer face à un flot chaotique.

Pourtant, ce terme de « timbre » est bel et bien employé. On dit souvent que la musique contemporaine s'y intéresse tout particulièrement. Nous avons tous vécu des instants magiques où le jeu des couleurs sonores atteint des sommets. Cette sensation qui nous émerveille, nous ne pouvons la rapporter qu'au timbre. Les orchestrations de Boulez, les manipulations électroacoustiques de Stockhausen, la musique « éthérente » de Ligeti, les musiques spectrales de Grisey ou de Murail, dans leurs meilleurs moments, créent une sorte de magie qui est bien due au timbre, malgré l'existence de tous les paramètres structuraux. Ces musiques ont autre chose en commun : elles jouent toutes sur l'identité assignée aux objets par leur timbre, afin de faire naître une *ambiguïté*. « L'expérience du timbre » est avant tout celle d'un changement d'identité, et elle résulte d'une confusion qui, fût-ce pour un instant, nous fait prendre un objet pour un autre. Il faut cependant que les deux sons soient, au départ, suffisamment distincts. Le résultat sera plus concluant si l'on associe une note de clarinette à une note de cor anglais qu'un violon à un alto. La fusion de deux spectres séparés en un nouveau spectre magique ne signifie pas nécessairement que l'on oublie la présence de deux instruments (pensez aux grands moments de maîtrise du timbre chez Berlioz), mais qu'un alliage spectral particulièrement fascinant coexiste avec les deux spectres originaux.

Ainsi, dans l'ordinateur, le concept du timbre disparaît en d'autres éléments pour resurgir de façon indéfinissable dans l'expérience esthétique. Étant donné que la recherche acoustique est l'une des obsessions les plus stimulantes de la musique actuelle et sans doute future, ce rapport singulier entre raison et sensibilité est particulièrement éclairant ; on est en train de définir « l'indéfinissable ». Comme le pensait Rudolph Steiner, l'homme devrait s'attacher constamment à rendre les choses plus conscientes. Il s'agit là de développement spirituel.

Mes travaux à l'I.R.C.A.M. ont été précédés de plusieurs études de manipulation de timbres. Dans *Inner Light (I)*, pièce pour sept instruments et bande (1973), la partie sur bande opère la transition entre le spectre et l'harmonie structurelle. Des simulations de spectres d'instruments « s'ouvrent » de plus en plus à mesure que les partiels augmentent en amplitude jusqu'à devenir équivalents, et simultanément, leurs hauteurs glissent vers l'harmonique la plus proche, ou « se referment » sur le timbre de la hauteur unique initiale par un processus inverse. Le timbre a une identité plus marquée lorsqu'il émerge

des instruments réels sur lesquels il est modelé. L'harmonie fonctionne parce que toute la pièce repose sur de vastes champs harmoniques où les hauteurs sont ordonnées symétriquement sur toute l'étendue des instruments; il y a donc toujours à proximité des partiels des notes disponibles. Ainsi, du moins quand environ vingt notes harmoniques dérivées des vingt partiels sont rejoindes par des instruments qui jouent d'autres hauteurs appartenant au même registre, l'auditeur perçoit aisément la signification structurelle. La structure des timbres et la structure harmonique forment donc un continuum. L'élément « violoncelle » fait partie de la structure; ce n'est pas un attribut supplémentaire.

*Inner Light (II)* pour quinze instruments et bande (1977) reprend le même processus avec des simulations de voyelles. Par exemple, une voix tient une voyelle en diminuendo. La bande introduit un accord qui joue un rôle essentiel dans la pièce, dont les quatre notes sont placées sur la fondamentale de la voix et sur les trois formants choisis pour caractériser chaque voyelle. Ces quatre notes peuvent être placées sur des harmoniques situées au-dessus de la fondamentale. Autrement dit, leurs intervalles contiennent de nombreuses quartes et secondes majeures. La bande, après une accentuation supplémentaire des formants actifs des voyelles, quitte la scène, tandis que quatre instruments à cordes jouent les deux accords de quatre notes restants de cette « série dérivée » et complètent les 12 classes de hauteurs. Ainsi, le timbre de la voix fait partie intégrante de la structure sérielle.

Dans *Inner Light (III)*, pour orchestre et bande (1976), les transitions se font d'un instrument à l'autre, souvent accomplies en demi-trajectoire autour de la salle de concert. Par exemple, une note de trompette part de l'orchestre qui joue sur scène, circule dans la salle, revient — comme son de clarinette — par les haut-parleurs, pour être reprise par la vraie clarinette. La bande explore également les rapports entre timbre et tempo. A la fin de la pièce, la musique sur bande est à la fois si lente que seul demeure le résidu de quelques grands bruits (tempo lent du timbre), et si rapide que les trilles de l'orchestre s'accélèrent jusqu'à former une texture bruissante et rugueuse (tempo rapide du timbre).

Pour des raisons esthétiques, je suis tenté d'utiliser un degré d'intégration toujours plus grand; par des transitions imperceptibles, les timbres s'intègrent à la structure, et cette dernière, comme dans l'exemple précédent, est elle-même intégrée au timbre. Toute la trilogie *Inner Light* a une structure d'expansion, ce qui apparaît très manifestement dans la troisième pièce, où le bruissement rapide et la réverbération dans l'espace quadriphonique représentent la conscience en expansion de l'expérience mystique; on arrive à ce résultat par une nette accélération des passages d'accords de valeurs égales alternant avec le ralentissement d'autres passages (ou simultanément). Le voyage « structurel » s'achève avec le timbre.

Plusieurs de mes pièces sans bande comportent des passages ou des mouvements reposant sur le jeu entre le spectre et l'harmonie. Je citerai un exemple simple et clair: dans les mesures 54-55 du troisième mouvement de *Song Offerings*, le soprano chante *senza vibrato* pour réaliser une fusion plus parfaite avec les deux violons et l'alto qui jouent, respectivement, ses troisième, deuxième et quatrième partiels, ainsi qu'avec la clarinette qui la double. Les cordes jouent soit à l'harmonique, soit *senza vibrato* et, cachées sous forme de partiels, fusionnent avec le soprano.

Lorsque la voix chante un sol, la fusion cesse. Les partiels des cordes sortent de l'ensemble et proclament de nouveau leur identité propre avec leurs

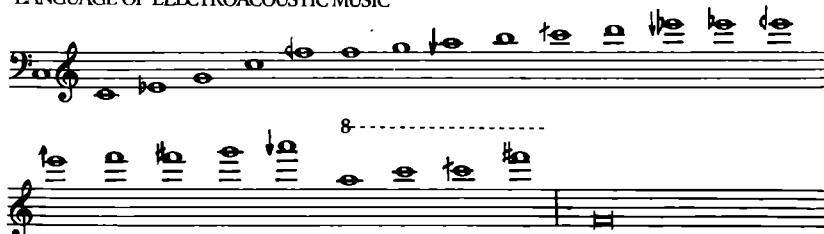
vibratos distincts, et, dans le même temps, prennent des positions harmoniques « correctes » dans la syntaxe de la pièce. Tout le mouvement, reposant sur l'idée de fusion mystique, oscille constamment de la fusion à la fission. Une partie instrumentale n'est-elle qu'une partie, ou bien une chose en soi? Telle est l'ambiguïté, le voile déconcertant de l'identité.

Lorsque j'ai décidé d'utiliser MUSIC V pour *Mortuos Plango, Vivos Voco* pour bande huit pistes (1980), ma première pièce écrite à l'I.R.C.A.M., il était désormais possible de développer la composition de timbres<sup>6</sup>. La structure de cette pièce est tout entière fondée sur le spectre (ou timbre) du bourdon ténor de la cathédrale de Winchester. Cet objet a envahi toute la composition, et il était suffisamment complexe, avec au moins 33 partiels inharmoniques, pour offrir un vaste champ d'exploration. Certains passages s'aventurent dans ses recoins les plus obscurs, et cependant l'oreille parvient à la fin à décomposer ou à dé-fusionner le spectre de la cloche, tout simplement parce que les données sont assez nombreuses pour être mémorisées. Normalement, bien entendu, on ne décompose pas le spectre: on entend une note avec un timbre. On pourrait donc dire que le but de la pièce est d'amener l'auditeur à une écoute anormale, à entendre dans un spectre une somme d'individualités dissociées. Plus exactement, on cherche à provoquer une écoute *uelle*, où les deux modes de perception sont simultanés.

Le spectre de la cloche a été analysé avec le programme FFT en un point situé une demi-seconde après le début du son: moment d'une richesse satisfaisante, ni trop distordu par le bruit du transitoire d'attaque, ni trop neutralisé par l'extinction des partiels supérieurs. Ces derniers — il y en a des milliers au cours des premières micro-secondes — s'éteignent très rapidement et m'ont suggéré l'image centrale de la pièce: à savoir, la progression de l'extérieur vers l'intérieur. (Le mantra de méditation oriental « OM » est conçu pour exprimer ce même mouvement.) La brillance spectaculaire de l'attaque cède progressivement la place au calme profond et prolongé du partiel le plus grave, le dernier à s'estomper. C'est certainement ce qui explique que les cloches soient « sacrées » dans de nombreuses cultures.

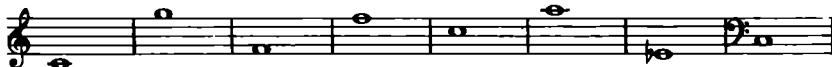
Les bourdons jouissent d'une autre particularité: ils comportent des partiels secondaires qui n'apparaissent pas à l'analyse. Le bourdon ténor de la cathédrale de Winchester émet un partiel secondaire à 347 Hz (le *fa* au-dessous du moyen). Ses vibrations, qui s'entendent de loin dans la ville, donnent un étrange frisson. Ce phénomène est dû aux divers partiels de séries harmoniques du *fa* de ce spectre (Exemple 1).

#### LANGUAGE OF ELECTROACOUSTIC MUSIC



*Exemple 1:* Spectre de la cloche avec note au coup secondaire.

6. Le compte rendu suivant est adapté de Harvey 1981.



*Exemple 2: Notes centrales des huit sections de l'œuvre.*

Les huit sections de la pièce ont pour hauteurs centrales respectives les partiels montrés dans l'exemple 2. Le spectre de la cloche, montré dans l'exemple 1, a été synthétisé avec ses amplitudes appropriées. Les données relatives à l'amplitude et à la fréquence ont été stockées dans un tableau réservé à toutes sortes de mutations. MUSIC V m'a permis de donner aux partiels toutes les enveloppes que je désirais. Par exemple, je pouvais retourner comme un gant le son de la cloche en faisant s'éteindre rapidement les partiels graves et lentement les partiels aigus, à l'inverse de leur comportement normal, voire même en donnant un crescendo sur une durée déterminée. Le passage d'une modification à l'autre s'est fait par des glissandi de sons sinusoïdaux. Afin d'éviter un parallélisme trop évident, j'ai choisi des tranches de spectres différents comme sons initiaux et finaux, et la note centrale ainsi définie constituait le «pivot» de la modulation. Ainsi, les «toniques de cloche» subsidiaires se trouvaient également modulées, et s'articulaient en hiérarchies schenkeriennes analogues à (bien que distinctes de) celles du système tonal occidental traditionnel. Chacune des huit sections est annoncée par — et fondée sur — une cloche transposée aux hauteurs indiquées dans l'exemple 2, ce avec toutes les conséquences structurelles des hauteurs secondaires.

L'enregistrement numérisé du bourdon de Winchester dans ses diverses transpositions était lu par l'ordinateur de plusieurs façons. Le MUSIC V de l'I.R.C.A.M. pouvait lire les fichiers à l'endroit et à l'envers, et ménageait la possibilité d'une variation continue de la vitesse. Souvent, on a induit une oscillation rapide du sens de lecture, produisant un decrescendo ou un crescendo des partiels aigus à la fin ou au début de l'attaque. Il était facile de créer des motifs rythmiques d'une grande subtilité en modifiant le point de demi-tour, parfois en interaction avec le mouvement spatial programmé. Ailleurs, les partiels de la cloche, ou certains d'entre eux, ont été répartis individuellement sur les huit haut-parleurs; l'auditeur avait ainsi la sensation curieuse d'entendre des partiels provenant de différentes directions, ou encore qu'il se trouvait lui-même dans la cloche.

Nous avons fait trois enregistrements d'une voix de garçon psalmodiant sur un partielle l'inscription latine gravée sur la cloche, chantant séparément tous les phonèmes du texte, et interprétant une courte mélodie reposant entièrement sur les hauteurs du spectre. J'ai pu simuler ces sons grâce au programme de synthèse CHANT développé par Gerald Bennett et Xavier Rodet; au début, il m'a été difficile d'obtenir le degré de fluctuation aléatoire et le vibrato rudimentaire correspondant à une voix plus aiguë pure. Du reste, le début des synthèses a souvent été masqué par un fragment de voix «réelle». A l'aide d'une autre technique, on numérisa les enregistrements des voyelles chantées par le garçon; les fichiers numérisés ont été ensuite lus par les modules d'entrée, mis en boucles, et dotés de hauteurs et de glissandi d'amplitude analogues à ceux qui avaient été appliqués aux composantes sinusoïdales des spectres synthétisés de la cloche. Au lieu de sons sinusoïdaux, la voix de synthèse chantait sur les partiels de la cloche, et nous avons introduit les modulations décrites ci-dessus.

Des enveloppes de cloche ont été attribuées à certains de ces sons de cloche composés à partir d'une voix de garçon. On a également appliqué des transformations aux spectres de certaines voyelles du jeune chanteur (spectres harmoniques) dont les hauteurs et les amplitudes se rapprochaient des équivalents les plus proches du spectre de la cloche (spectre inharmonique). Ce fichier pouvait être lu dans les deux sens et oscillait rapidement du son «voix de garçon» au son «cloche» à un rythme variable.

Pour obtenir une sensation de richesse sonore, il est toujours nécessaire d'imposer des limites rigoureuses. L'accord précis de sons par des nombres est un processus délicat, et les ajustements sont souvent infimes, presque imperceptibles. Une valeur peut produire un effet délicieux, une autre ne rien donner d'intéressant. Dans *Bhakti*, œuvre pour 15 instrumentistes et bande quadriphonique (1982), également réalisée à l'I.R.C.A.M., j'ai choisi de faire en sorte que la bande ne diffère que légèrement des sons instrumentaux de l'ensemble (cf. Harvey *et al.* 1984). J'avais le sentiment que les *différences* sociales et spirituelles entre la musique jouée par les instrumentistes et celle venant des haut-parleurs étaient insupportables sur le plan esthétique. Il fallait les contrarier — les rendre ambiguës — en établissant une similitude aussi grande que possible entre la structure et le son de la musique sur bande et ceux de la musique instrumentale. De surcroît, ces écarts légers et nombreux peuvent se révéler plus efficaces lorsque l'auditeur évalue avec précision la distance qui sépare ces sons synthétisés de leur «base». Un premier plan peut être composé *contre* un arrière-plan dégagé. L'ambiguïté est constamment présente, car l'oreille a souvent du mal à savoir si ce qu'elle entend correspond à la bande ou aux sons instrumentaux. Cette zone-frontière intrigue: les paramètres permettant de créer des identités bien définies et le champ d'ambiguïté jouent un délicat jeu d'équilibre avec les associations culturelles nées de plusieurs siècles d'usage de ces instruments.

Nous avons donc 15 instruments, tant pour l'ensemble que pour la bande (4 bois, 3 cuivres, 5 cordes, piano, harpe, percussions). La structure par familles d'instruments a été choisie délibérément: bon nombre des sons enregistrés sont des accords constitués par la multiplication d'un instrument, renforçant ainsi la tendance de l'ensemble à former des accords d'instruments *apparentés* (flûte, hautbois, clarinette, clarinette basse). Afin d'obtenir, dans les passages rapides d'accords enregistrés, la même attaque mordante pour un groupe de six clarinettes, par exemple, nous avons légèrement coupé les attaques et ajouté une extinction, ce qui donne au son des résonances associées à d'autres timbres. Les sons à attaque brutale, tels que ceux du piano, du vibraphone, du glockenspiel, de la harpe, des crotales, des cloches tubulaires et le pizzicato des altos, restent immédiatement identifiables. Le piano, la harpe et les percussions sont constamment intégrés, non seulement en ajoutant des partiels créant le «frémissement» mentionné plus haut, mais aussi par hybridation, en greffant l'attaque d'un instrument sur la résonance d'un autre: par exemple, harpe/piano, crotale/vibraphone, cloche tubulaire/glockenspiel, harpe/crotale, ou piano/cloche tubulaire.

Mais, à un moment donné (point culminant ou centre), l'élément de timbre éclate en dehors de ses limites. L'œuvre s'ouvre en un mélange soutenu de timbres déguisés sur une note unique, un sol, joué par la bande et par les instruments. Dans le neuvième mouvement, ce même sol statique revient sous forme d'un solo joué par la bande qui exploite toutes les possibilités de timbre.

Il s'agit là, bien entendu, d'explorer le fonctionnement interne d'un son statique, d'un retour sur soi spirituel qui est au cœur de la notion de *Bhakti*.

Ce sol fondamental est en dessous de la bande des fréquences perceptibles (à 1,5312 Hz). Avec CHANT, que nous avons utilisé pour cette section, une fois la fondamentale fixée, on simule toute la série des partiels en ne conservant que ceux qu'autorise une enveloppe spectrale dynamique ; cette dernière est définie par des « formants » ayant certaines largeurs de bande. Quand ces largeurs de bandes approchent de zéro, les formants deviennent des partiels qui fonctionnent de la même façon qu'en synthèse additive. On peut les faire passer du statut d'harmonique, fusionnant ainsi avec la fondamentale, à celui de formant, fusionnant alors différemment. L'évolution temporelle entre les divers degrés d'un état ou d'un autre peut être complexe et déroutante. En accroissant le temps d'excitation de chaque formant, on ajoute progressivement des éléments soutenus qui finissent rapidement par former des milliers de partiels.

Un certain nombre seulement des milliers de partiels audibles ont été utilisés : ceux qui renforçaient la classe de hauteur du sol et qui entraient en battement avec les partiels voisins d'un ou deux Hz. La masse sonore était contrôlée à un niveau supérieur par des formants comparables à ceux des voyelles qui sculptaient des enveloppes quasi naturelles (mais non clairement vocales), comme le faisaient les paramètres de vibrato et de rugosité vocale utilisés par CHANT. Ce son subit trois transformations différentes sur une durée de 60 secondes, atteint un point de saturation, puis s'éteint ; la troisième fois, son écho lointain flotte encore dans la salle pendant une minute, comme de la poussière cosmique.

Ainsi, le neuvième mouvement de *Bhakti* (sur un total de douze) renferme des manipulations sonores qui ne suscitent aucune image mentale. La perception se concentre sur les mouvements entre partiels fusionnés et partiels mobiles.

Après ces deux compositions, mon travail à l'I.R.C.A.M. a porté sur des sons totalement reconnaissables, et sur le paradoxe de leur interchangeabilité. Il semblerait que la mémoire fonctionne sur des quanta discrets. Nos images mentales sont essentiellement statiques et privées de leur dimension de changement. Les continuums sont fuyants, nous n'arrivons pas à les saisir, et, lorsqu'ils nous sont brusquement révélés, ils nous déconcertent. Nous tentons de les découper en fragments plus faciles à intégrer.

Les sons totalement reconnaissables que j'ai choisis de simuler pour ce nouveau projet étaient ceux des instruments suivants : shakuhachi, hautbois indien, koto, cloche de temple, voix de moines tibétains et plain-chant occidental. Ces simulations, ainsi que les autres programmations de ce projet, ont été réalisées par Jan Vandenheede avec CHANT et FORMES (1985). Il s'agit d'un processus extrêmement délicat et complexe. A ma demande, Vandenheede a simulé des gestes expressifs brefs impliquant des transitions d'une hauteur à une autre, ainsi que des ornementations expressives très caractéristiques du comportement de certains de ces sons<sup>7</sup>.

Plus on connaît un son et sa formulation numérique précise, plus il semble doté d'une individualité propre. Les méthodes de synthèse ont beaucoup varié selon les modèles : synthèse de formants, principalement, pour le koto, avec une

---

7. Dans le cas du hautbois et des moines tibétains, nous avons travaillé sur des modèles déjà préparés à l'I.R.C.A.M. par Xavier Rodet.

légère dose de synthèse additive à l'attaque; le shakuhachi, lui, exigeait en revanche deux niveaux de formants, un pour les partiels et un autre pour leur enveloppe spectrale, plus un système « d'effort » indépendant pour filtrer le bruit et que l'on peut augmenter pour les notes les plus graves et les plus chargées de souffle; pour la cloche de temple, on a utilisé la synthèse additive pure, le contrôle de son évolution temporelle et de ses partiels vibratoires étant nécessaire.

Une fois que l'on a défini des individualités aussi superbes, il serait paradoxal qu'elles puissent encore être perçues comme les éléments d'un continuum. Nous avons justement fait en sorte que cette perception existe.

A l'aide de FORMES, Vandenheede a construit un champ capable de recevoir tous ces modèles d'instruments, et, en outre, de les faire se transformer l'un en l'autre par des transitions progressives et continues. Cette démarche se démarque des précédentes parce que, dans ce cas, nous avons appliqué des méthodes de synthèse semblables pour tous les modèles. Nous avions eu l'intention de procéder de la sorte dès le début, mais cela ne produisait pas d'identités suffisamment claires; c'est pourquoi nous avons adopté les types différenciés de synthèse mentionnés plus haut afin de créer, tout d'abord, des images mentales claires, pour, *ensuite*, nous confronter au problème de leur intégration. Le programme FORMES ordonne hiérarchiquement les opérations de synthèse. L'objet hybride comporte un certain nombre de «sons», ou voix, activés principalement en parallèle, que l'on peut appeler à volonté lorsque l'on passe d'une voix à une autre ou lorsque chacune est présente dans des proportions différentes. On peut contrôler «d'en haut», si l'on peut dire, l'évolution des paramètres, si bien que l'on utilise en permanence l'évolution d'une voix à une autre ainsi que l'évolution au sein d'une voix. Les vibratos peuvent changer d'identité, de même que les progressions de hauteurs, les spectres, etc. Cela produit des effets surprenants et bien différents d'un mélange fusion-dispersion; en effet, les structures du son se métamorphosent au lieu de se succéder, et le résultat est beaucoup plus déroutant, car un continuum provoque chez l'auditeur une évolution mentale plutôt qu'un saut d'une image à une autre. Ces modifications peuvent se produire trois fois par seconde ou sur une durée de 30 secondes: elles sont faciles à manipuler (grâce à une programmation préalable complexe), et cette aisance se transmet à l'auditeur aussi directement que celle avec laquelle un virtuose joue des différents timbres et effets de son instrument. Il se crée un sentiment d'unité et d'intégration.

On est ainsi amené à penser que, en réalité, ces individualités étranges forment simultanément un continuum, ou qu'elles sont sujettes à des fluctuations rapides et ambiguës entre une existence autonome et l'appartenance à une entité plus vaste. Elles constituent à la fois un tout et une partie d'un tout. L'élément moteur de mes recherches est un désir esthétique de conjuguer intégration et individualité; on retrouve cette motivation aussi bien dans la sonate classique, avec l'intégration de sujets antagonistes, que dans le « Je veux tout intégrer » de Stockhausen (cf. Cott 1974). C'est là une idée importante, car l'art doit permettre à l'ego de s'ouvrir à la compassion, ou d'aboutir à sa propre disparition, pour reprendre un concept bouddhique. La fonction de l'art est essentiellement d'ordre éthique, fondamentalement spirituel. Chaque conscience nouvelle qui naît, par exemple, de l'expérience d'une transition de timbre, représente un pas accompli sur cette voie, une vie qui est changée.

Ces identités, ces hybrides et ces transitions sont articulés par les mélodies. Tous les modèles que nous avons utilisés pour nos travaux sont essentiellement

monodiques. En effet, les cultures orientales auxquelles ils appartiennent pour la plupart sont largement monodiques, de même que le plain-chant occidental. L'identité caractéristique de ces sons ressort particulièrement lorsqu'ils colorent une ligne monodique, passant d'une note à une autre d'une façon qui leur est propre. Il est donc parfaitement logique que ces travaux reposent essentiellement sur l'aspect mélodique, même si j'ajoute une part d'hétérophonie et de parallélisme, et, au-delà, de polyphonie. Une «musique de texture», pour reprendre un cliché en vigueur en électro-acoustique, serait tout à fait déplacée avec un matériau aussi délicat. J'ai créé une chaîne de 16 mélodies en prenant comme mode intervallique les partiels 6 à 36 des séries harmoniques; ainsi, les intervalles vont d'une courte tierce mineure à un quart de ton. Il n'existe pas deux intervalles de même taille; cependant, la différence de perception entre un saut de six des partiels 10 à 16 et 22 à 36 n'est pas due à cette différence de taille mais à des différences de contexte et de densité du mode. Je ne suis pas du tout convaincu par l'hypostase intervallique du sérialisme. La plupart des théoriciens estiment que le sérialisme est un système d'intervalles absolus, reconnaissables quand ils sont inversés, ou, plus simplement, quand ils sont répétés *quels que soient la transposition ou l'accompagnement*, car la crédibilité du système en dépend. Or, le terme d'intervalle a toujours eu deux acceptations : à la fois la distance *et* le passage d'un degré de la gamme à un autre. I-IV diffère sensiblement de III-VI dans la musique tonale. Pour le sérialisme, l'atonalité n'élimine pas les degrés de la gamme, même si elle leur fait perdre de la force, et une quarte d'un point neutre à un autre n'est pas toujours identique dans tous les contextes. La relation abstraite et élémentaire qu'exige le sérialisme intervallique n'existe qu'en théorie, et cette théorie est bâtie sur du sable.

L'exemple 3 illustre 5 mélodies de la chaîne : chacune comprend des motifs de celle qui la précède et de celle qui la suit. Chaque mélodie a son existence propre de même qu'en tant que *partie* de deux mélodies composites; là encore, nous avons l'idée des parties et du tout, au niveau macromélodique cette fois. La dernière mélodie composite intègre la première de la chaîne : la boucle est bouclée. Il n'y a aucun point de départ privilégié, aucune direction. C'est une mine ouverte au pillage de la composition.

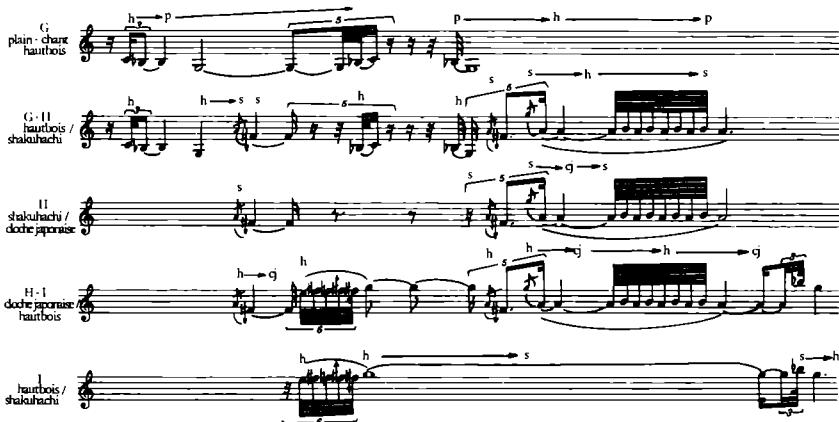
Les timbres indiqués au-dessus de la mélodie simplifient la structure. En règle générale, ils attirent l'attention sur le fait qu'une forme est identique à celle d'une mélodie voisine si on conserve l'invariant de timbre, du moins à son stade le plus pur (même s'il change souvent, à chaque fois qu'il se métamorphose en un timbre *différent* de ses partenaires dans la mélodie associée, suivante ou précédente). Le timbre donne un sentiment d'ambiguïté lors des transitions et dans les mélodies composites qui sont simultanément une chose en elles-mêmes, et deux choses à la fois (pourvu que j'aie rendu leur cohésion interne assez forte en tant que Gestalt mélodique). On perçoit à la fois (G + H) et (G) seule. Comme il est assez difficile de percevoir dans une mélodie nouvelle les éléments appartenant à une mélodie ancienne, le timbre permet de clarifier cette perception.

Nous avons également construit, à partir de ces mélodies, des canons où il est facile de percevoir l'imitation structurelle à l'œuvre. Là, nous avons utilisé le timbre pour masquer la structure, et non pour la faire ressortir: chaque transformation est réalisée par un couple de timbres différents. L'ambiguïté naît de ce que l'auditeur entend le même schéma répété et *aussi* le passage d'un shakuhachi à un autre. En d'autres termes, les *modèles* sont associés les uns aux

autres, quels que soient les motifs mélodiques. Avec plusieurs transformations, il devient plus difficile de discerner le nombre de voix et les rapports exacts qu'elles entretiennent ; mais les modèles purs, eux (davantage que les hybrides ou les transitions), sont facilement saisis et associés (Vandenheede et Harvey 1985). L'oreille aime la simplicité.

Ce matériau mélodique prend la forme d'une polyphonie complexe qui joue sur la parenté des instruments. Par exemple, on peut jouer (G) et (H) en même temps comme si elles formaient la mélodie (G + H), ce qui, en fait, n'est pas le cas. On peut ajouter (I) à bon escient, ou (H + I), ou les deux, et (IJ) rapidement après dans un quasi-canonical, et ainsi de suite, jusqu'à obtenir 16 voix polyphoniques ou davantage si les mélodies sont jouées en accords « parallèles ». L'exemple 3 montre la richesse de la texture imitative, et l'étonnante ambiguïté qui peut, éventuellement, se dégager d'une telle polyphonie.

Les instruments rassemblés ont tous une fonction cérémonielle ou rituelle ; le fait de les regrouper dans un champ donné, dans une cérémonie, leur donne un relief stylistique particulier : celui de la répétition, du rituel hiératique. Je pense qu'une bande solo, avec laquelle les seuls « instrumentistes » visibles sont les haut-parleurs, convient mieux à des architectures sonores proches de l'objet. L'évolution expressive et le flot émotionnel d'une exécution en public s'accompagnent mal de la passivité supra-humaine d'objets presque minéraux. Ainsi, ces mélodies, même si elles flottent dans les images mentales et les jeux de timbres ambigus qu'elles engendrent, sont en apparence inlassablement répétitives et invariantes ; c'est une fluidité formalisée : une dialectique de fonctions de courbe et de nombres entiers. C'est ainsi que nous réfléchissons notre indéfinissable moi.



*Exemple 3:* Cinq mélodies formant une chaîne. L'enchaînement se fait par des mélodies intermédiaires qui conjuguent la mélodie située au-dessus de celle située au-dessous. On ne voit ici que le début. Chaque mélodie évolue entre deux timbres (indiqués au début et au-dessus de la portée).

Sans l'ordinateur, cet effet de miroir n'existerait pas, ou, du moins, il ne présenterait pas l'avantage inestimable d'être un effet conscient. On ne pourrait pas se familiariser avec les dimensions d'un nouveau domaine de la connais-

sance sonore, et sans connaissance des dimensions, on ne peut établir ces rapports intuitifs entre l'homme et le temps (pourtant si précis) qui, pour Stravinsky, sont l'essence même de la musique: on n'a pas non plus de règle ou d'équerre pour créer de belles formes, des formes si complexes qu'on oublie l'équerre, ou presque. Stravinsky ne disait-il pas:

«Ce qui nous libère de l'angoisse dans laquelle nous plonge là liberté absolue, c'est de pouvoir toujours revenir au concret... Donne-moi du fini, du défini... plus j'aurai restreint mon champ d'action et plus je me serai entouré d'obstacles, plus grande et précieuse sera ma liberté» (Stravinsky 1970).

Les programmes décrits ici présentent nombre d'obstacles, mais la valeur de ces obstacles est bien celle dont parle Stravinsky: ils favorisent la liberté de composition car ils «rétrécissent» le champ des possibilités, pour ensuite l'ouvrir sur un nouvel univers, de même que le microscope réduit le champ visuel pour révéler d'autres univers. Ainsi les ordinateurs *permettent-ils* de manière unique la conception de nouveaux domaines de recherches, dont la manipulation de ce qu'il était convenu d'appeler le timbre; c'est là leur rôle essentiel dans l'esthétique de la composition. La quête de la nouveauté n'est rien d'autre qu'un élément de continuum de l'ancien; ce continuum, c'est la recherche d'une connaissance de soi dans laquelle miroirs et obstacles ont toujours eu un rôle à jouer.

## « Par-delà les dimensions connues » \*

par Roger REYNOLDS

Un bon nombre de méthodes ont déjà été proposées pour déplacer le son dans un espace quadraphonique, qui, presque toutes, impliquaient des chemins linéaires se référant à des analogies visuelles. Or, les tentatives visant à obtenir une spatialisation musicale subtile n'ont guère été concluantes. Les exemples les plus aboutis reposent sur des trains rapides de quasi impulsions qui, s'ils constituent un excellent matériau expérimental, ont un intérêt limité en musique.

Ces dernières années (1985-1986), j'ai écrit deux compositions importantes sur ordinateur, à l'aide de SPACE, le générateur CMUSIC de F. Richard Moore, et de plusieurs algorithmes d'édition : la première, *Vertigo*, avec des sons de piano semi-improvisés par Cecyl Lytle ; la seconde, *The vanity of words*, avec la voix de Philip Larson, chant et lecture à haute voix. Je voulais voir comment une différenciation contrôlée dans l'espace agissait sur un matériau vocal, tant du point de vue structurel qu'expressif.

Ces œuvres reposent sur des matériaux *joués en public*, où la forme de la présentation et le moule interprétatif sont mis en relief. Les éléments traditionnels — hauteur et durée — sont moins accentués, sans pour autant être négligés. Cet article se rapporte au timbre car il traite de la hiérarchisation des sons : cette dernière ne dépend pas principalement, en effet, de la hauteur ou de l'organisation rythmique, et est porteuse d'une force affective, même si elle échappe à toute description satisfaisante.

### I. Vertigo

*Vertigo* est construite à partir de trois types de sons de piano enregistrés : ostinati conjoints (Figures 1a, 1b), trilles conjoints élaborés, et séries d'accords.

---

\* Cette phrase est extraite de la note de programme rédigée par R. Reynolds pour *Vertigo*, pièce quadraphonique générée par ordinateur.

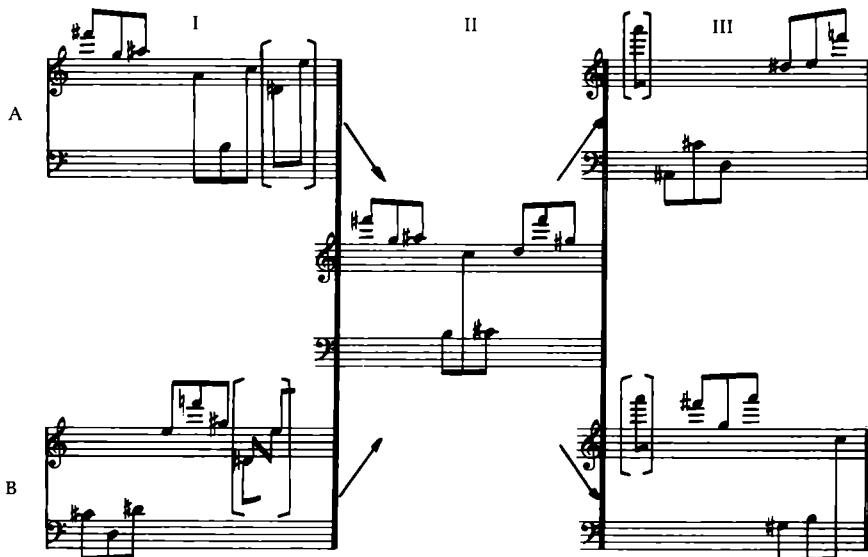
1. Ce générateur est décrit dans un article de F.R. Moore 1983.

CINQ ÉTAPES D'UNE FIGURE OSTINATO DISJOINTE



*Figure 1a*

FIGURE OSTINATO ENREGISTRÉE EN DEUX PHASES TRAJECTOIRES A et B



*Figure 1b*

1. DOIT ETRE EXECUTE COMME UNE EVOLUTION CONTINUE

(m.d.)

**a** (RH) b " ELEMENT

c. CONTINU"

(INSERER AVEC L'AM. D'OU LA MG.)

d.

f. PATTERN FIXE

e.



(mg) INSERER, AD LIB.

g.

h.

INSERER TOUT LE GROUPE



CHAQUE FIGURE DE II (a - i) EST

JOUE INDEPENDAMMENT MAIS

AVEC LA TRANSITION A LA SUIVANTE.

MONS . . . . . PLUS b TRILLE CONTINUE A L'AM. D. AVEC DES NOTES AUXILLAIRES PONDÉRÉES

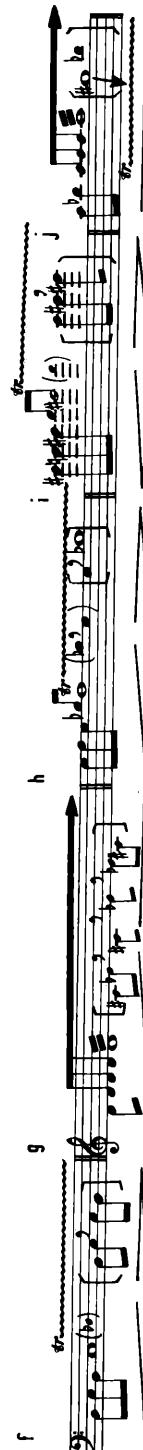
c.

d.

e.



AUXILLAIRES A L'AM. G. AD LIB.



FIGURES DE RELANCES

a.

b.

c.

d.

e.

f.

g.

h.

i.

j.

k.

l.

m.

n.

o.

p.

q.

r.

s.

t.

u.

v.

w.

x.

y.

z.

AA.

BB.

CC.

DD.

EE.

FF.

GG.

HH.

II.

MM.

GG.

PP.

QQ.

RR.

SS.

TT.

UU.

VV.

WW.

XX.

YY.

ZZ.

AA.

BB.

CC.

DD.

EE.

FF.

GG.

HH.

II.

MM.

GG.

PP.

QQ.

RR.

SS.

TT.

UU.

VV.

WW.

XX.

YY.

ZZ.

AA.

BB.

CC.

DD.

EE.

FF.

GG.

HH.

II.

MM.

GG.

PP.

QQ.

RR.

SS.

TT.

UU.

VV.

WW.

XX.

YY.

ZZ.

AA.

BB.

CC.

DD.

EE.

FF.

GG.

HH.

II.

MM.

GG.

PP.

QQ.

RR.

SS.

TT.

UU.

VV.

WW.

XX.

YY.

ZZ.

AA.

BB.

CC.

DD.

EE.

FF.

GG.

HH.

II.

MM.

GG.

PP.

QQ.

RR.

SS.

TT.

UU.

VV.

WW.

XX.

YY.

ZZ.

AA.

BB.

CC.

DD.

EE.

FF.

GG.

HH.

II.

MM.

GG.

PP.

QQ.

RR.

SS.

TT.

UU.

VV.

WW.

XX.

YY.

ZZ.

AA.

BB.

CC.

DD.

EE.

FF.

GG.

HH.

II.

MM.

GG.

PP.

QQ.

RR.

SS.

TT.

UU.

VV.

WW.

XX.

YY.

ZZ.

AA.

BB.

CC.

DD.

EE.

FF.

GG.

HH.

II.

MM.

GG.

PP.

QQ.

RR.

SS.

TT.

UU.

VV.

WW.

XX.

YY.

ZZ.

AA.

BB.

CC.

DD.

EE.

FF.

GG.

HH.

II.

MM.

GG.

PP.

QQ.

RR.

SS.

TT.

UU.

VV.

WW.

XX.

YY.

ZZ.

AA.

BB.

CC.

DD.

EE.

FF.

GG.

HH.

II.

MM.

GG.

PP.

QQ.

RR.

SS.

TT.

UU.

VV.

WW.

XX.

YY.

ZZ.

AA.

BB.

CC.

DD.

EE.

FF.

GG.

HH.

II.

MM.

GG.

PP.

QQ.

RR.

SS.

TT.

UU.

VV.

WW.

XX.

YY.

ZZ.

AA.

BB.

CC.

DD.

EE.

FF.

GG.

HH.

II.

MM.

GG.

PP.

QQ.

RR.

SS.

TT.

UU.

VV.

WW.

XX.

YY.

ZZ.

AA.

BB.

CC.

DD.

EE.

FF.

GG.

HH.

II.

MM.

GG.

PP.

QQ.

RR.

SS.

TT.

UU.

VV.

WW.

XX.

YY.

ZZ.

AA.

BB.

CC.

DD.

EE.

FF.

GG.

HH.

II.

MM.

GG.

PP.

QQ.

RR.

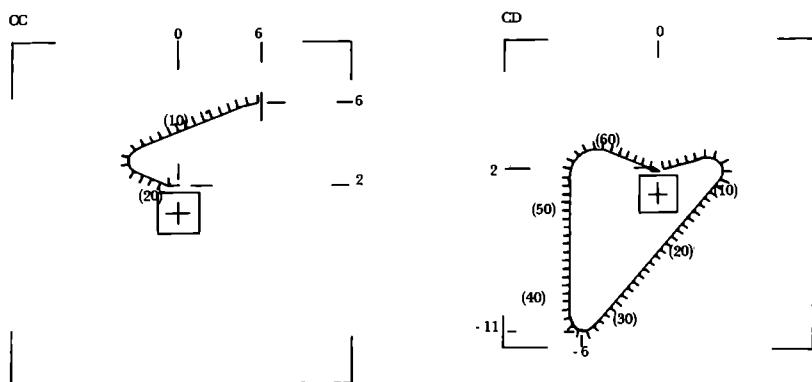
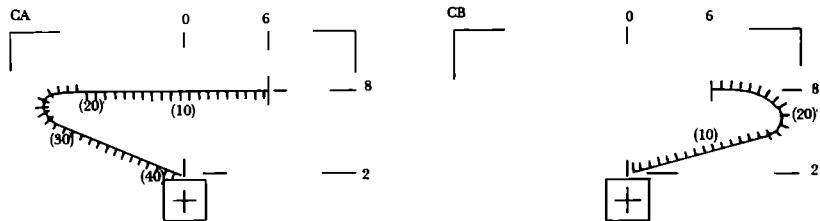
Nous avons également fait usage de sons improvisés. La continuité et les critères des « programmes interprétatifs » dépendaient des talents d'improvisateur de l'interprète ; le sens de l'évolution organique était crucial. Ainsi, outre les modifications — étape par étape — des hauteurs, des registres instrumentaux permis, etc., le début et la fin des séquences jouées étaient marqués par des états émotionnels très contrastés. Le pianiste modifiait progressivement ses intentions interprétatives (l'élan émotionnel), passant du « bouffon » à l'« extatique ». Les critères de composition et d'interprétation visaient à créer des segments caractéristiques, à la fois continus et très contrastés. Cette évolution continue produit des réarrangements d'édition qui émaillent la ligne, et dont l'effet musical est souvent saisissant.

La réorganisation des segments a été réalisée à l'aide d'algorithmes d'édition<sup>2</sup> développés d'abord à l'I.R.C.A.M. (avec le concours de David Wessel et Thierry Lancino), puis au Computer Audio Research Laboratory de l'U.C.S.D. (Université de Californie à San Diego) avec Mark Dolson. L'algorithme SPLITZ se prête bien à la reconfiguration d'ostinati disjoints. Il crée un tissu antiphonal généralement lâche à partir de fragments de l'original. Les segments sont extraits de chaque ligne mélodique originale, du début à la fin puis inversement. Un sujet donne ainsi deux sous-ensembles contrastés, parsemés chacun de silences proportionnellement contrôlés. Un autre programme standard, SPIRLZ, a été utilisé pour les quasi-trilles conjoints (Fig. 1c). En sortie, le matériau se rapproche plus ou moins de l'original qu'il imite en générant des chaînes de segments qui se raccourcissent ou s'allongent à chaque nouveau cycle. Grâce à ces deux algorithmes, l'identité du son original peut se manifester malgré la superposition de tendances fortes. Ils impriment une directionnalité au matériau de sortie et, le plus souvent, fournissent des énoncés de notes qui fixent la durée précise de chaque segment. Étant donné que l'on peut traiter ces fragments séparément, on peut également les segmenter et les placer dans un espace fictif grâce à n'importe quel programme capable de simuler les paramètres psychoacoustiques appropriés.

Un temps considérable a été consacré à l'analyse des conséquences des modifications des paramètres de base du générateur SPACE, et à l'établissement des caractéristiques optimales pour chaque type de matériau source et chaque effet musical-spatial recherché. Cela s'est fait en studio, avec, périodiquement, des séances d'audition évaluative à l'auditorium Mandeville de l'U.C.S.D. (900 places). L'accès à cet espace vaste et réverbérant s'est révélé extrêmement utile, car il a permis d'extrapoler des situations de concert réelles à partir des conditions d'écoute limitées qu'offre en général l'environnement de travail. Un grand soin a été apporté à l'optimisation de la numérisation des matériaux source, à leur assainissement grâce au programme DENOISE de Mark Dolson, et à la préparation de filtres d'accentuation à 3K (qui améliorent la localisation de ces matériaux).

---

2. Ces algorithmes sont étudiés dans deux articles de R. Reynolds (1986, 1987a).



*Figure 2a.* 4 segments de trajectoires, modulaires, dans le sens des aiguilles d'une montre.

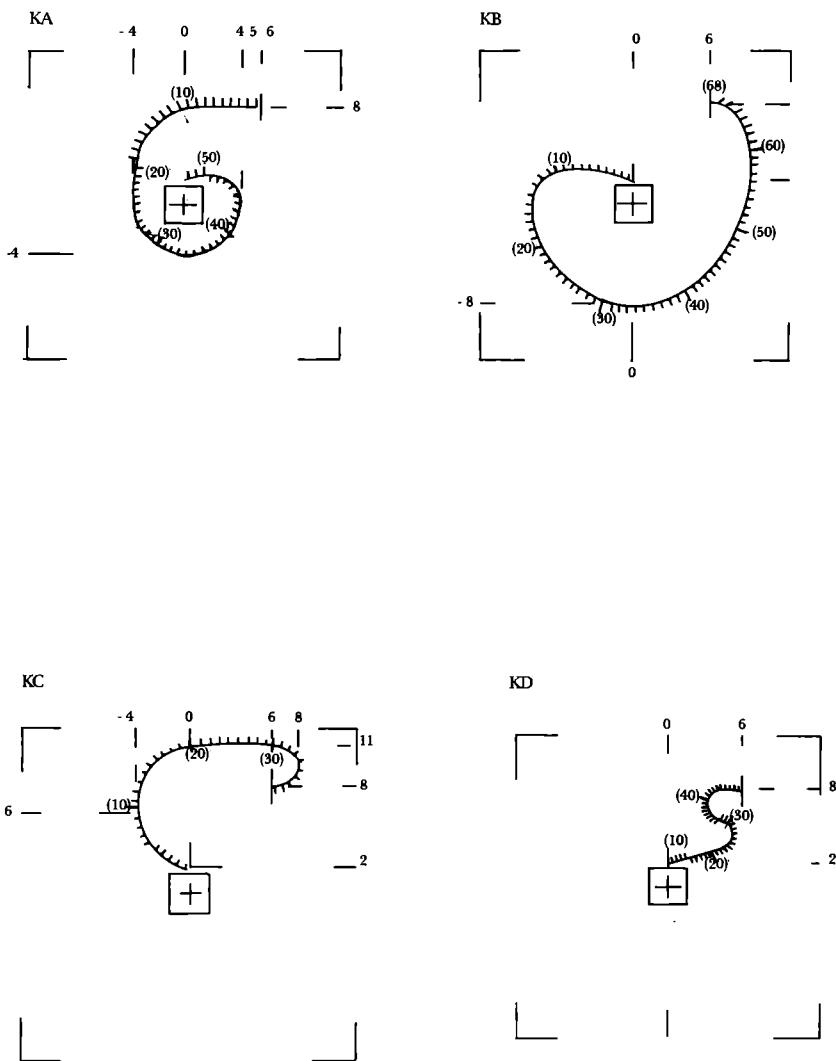


Figure 2b. 4 segments de trajectoires, modulaires, dans le sens des aiguilles d'une montre.

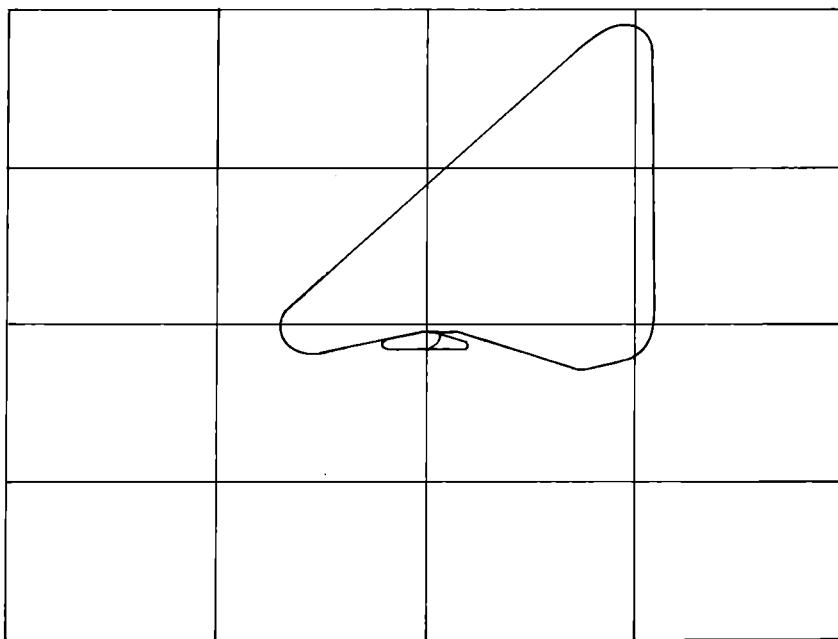


Figure 2c. Trajectoire composite de *Vertigo*; la position de l'auditeur est au centre de la grille.

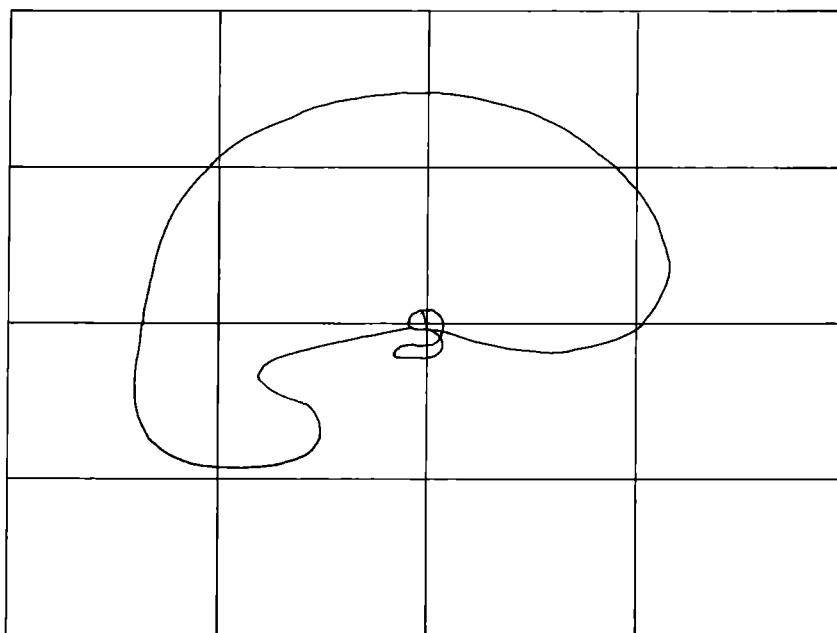


Figure 2d. Trajectoire composite de *Vertigo*; la position de l'auditeur est au centre de la grille.

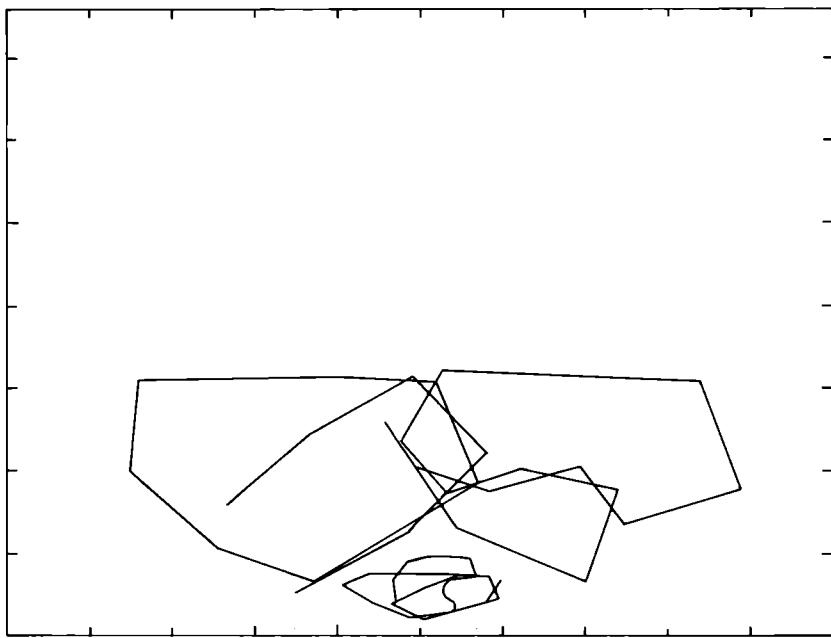


Figure 2e. Trajectoires composites de *The Vanity of Words*; la position de l'auditeur est au centre du côté inférieur.

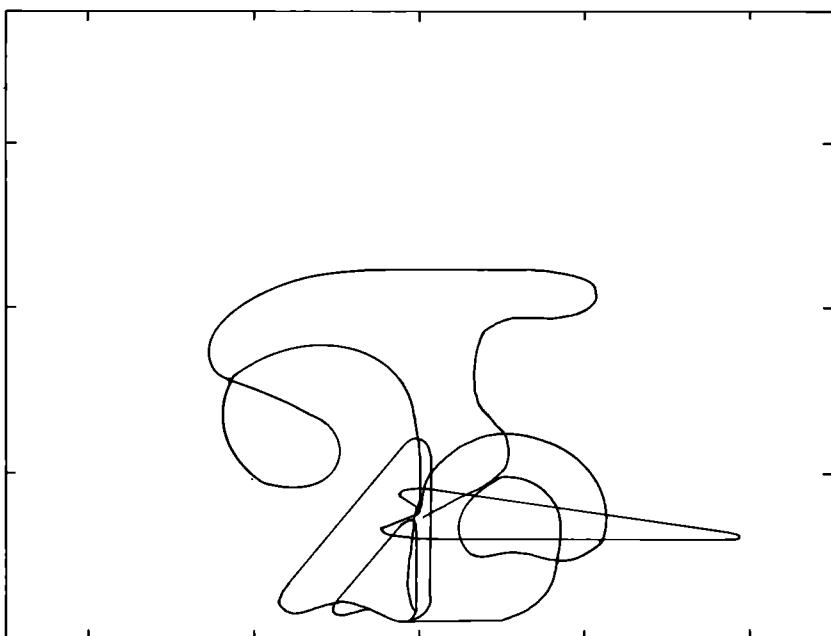


Figure 2f. Trajectoires composites de *The Vanity of Words*; la position de l'auditeur est au centre du côté inférieur.

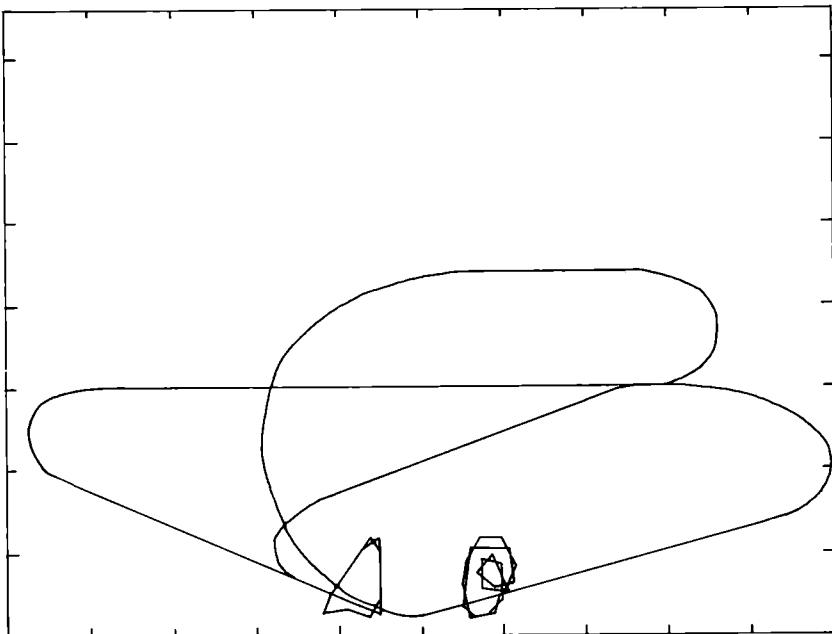


Figure 2g. Trajectoires composites de *The Vanity of Words*; la position de l'auditeur est au centre du côté inférieur.

Il a fallu ensuite concevoir un ensemble de segments de voies modulaires évoluant dans le sens des aiguilles d'une montre et inversement, segments qui, ensuite, ont pu être proportionnés, tournés et joints l'un à l'autre grâce au *path-make* de Mark Dolson, adapté du programme SOUND PATH de Gareth Loy.

Ces préparatifs visaient à améliorer le son et à éviter que les haut-parleurs compromettent la perception de ces effets spatiaux, que tout élément de distraction peut facilement perturber. Ma démarche doit beaucoup à l'imagerie visuelle, sinon pour le contenu imaginé, du moins en termes de représentation/notation (en fait, peut-être faut-il attribuer à la confusion des modes l'attrait qu'exercent, en musique, les effets spatiaux et leur caractère intangible). L'utilisation des ordinateurs présente un intérêt pour les projets décrits ici, en ce sens que chaque «effet» musical est alors totalement et objectivement quantifiable. Il existe un fichier «partition» CMUSIC et l'on peut suivre, reproduire exactement, ou modifier sur un registre différentiel, l'ensemble du processus — de l'enregistrement des sources à la production des matériaux.

Je ne m'étendrai pas plus longuement sur l'optimisation de SPACE, sinon pour préciser que son ajustement exige une extrême finesse. Il s'agit d'une étape longue et délicate, où il convient de trouver un équilibre entre une volonté de clarté — malgré la multiplicité des informations — et les éléments qui donnent à l'auditeur un sentiment d'espace et de profondeur : ceux qui ont travaillé avec des illusions spatiales le savent. L'analyse systématique, dans des contextes musicaux, des conditions objectives et subjectives, s'est toutefois révélée instructive : expérience dégrisante et stimulante à la fois. Avant de poursuivre, j'aimerais rappeler combien il est important d'éliminer tout ce qui peut, au sens métaphorique, masquer notre capacité (notre volonté, peut-être) de « partici-

per» à cette expérience. Qu'un segment de voie s'approche trop d'un haut-parleur, que du bruit ou un spectre terne empêche l'écoute, et l'auditeur ne pourra percevoir correctement les éléments spatiaux.

La perception d'un mouvement continu et de séries de changements de position différentiels sur des voies données a été moins nette que je ne l'avais espéré. Au cours de ces recherches, en revanche, un autre aspect s'est manifesté avec une force inattendue; il est facile de le décrire mais ses implications sont plus complexes: les procédés spatiaux peuvent permettre de créer un niveau de *différenciation* étonnant entre les événements sonores. Autrement dit, les sons se détachent plus nettement, et évoquent davantage de «significations» que je ne l'attendais. Voilà pour l'aspect encourageant. Toutefois, l'aspect moins réconfortant de cette différenciation subtile des champs sonores est qu'il est difficile d'expliquer dans la terminologie qui nous est familière *en quoi* un événement sonore diffère d'un autre. La différence est palpable, mais elle ne se prête guère à la description.

Pour compliquer encore la situation, il se trouve que l'élaboration d'un matériau musical suffisamment riche et abondant exige, bien sûr, des événements sonores variés. Cette diversité, cependant, compromet la capacité de percevoir avec précision la localisation de ces événements. Comme je l'ai indiqué, deux méthodes d'édition très productives ont été appliquées à des sons de piano enregistrés, où registres, combinatoires/intensité/attaque et résonances étaient très diversifiés. Ces deux méthodes perturbent les transitoires des sons originaux, et introduisent des pseudo-transitoires qui n'étaient pas présents auparavant. Certes, les transitoires sont les facteurs essentiels de la localisation, mais il en existe d'autres également indicatifs, tels que la couleur, l'intensité, le mordant de l'attaque, la résonance, et, surtout, la continuité des événements dans une phrase donnée (l'*«orientation»* progressivement indiquée par l'interprète). Un discours musical digne de ce nom peut-il rejeter cette plasticité au profit d'une illusion spatiale convaincante? J'en doute.

Par ailleurs, il me semble que l'on peut considérer comme acquise la capacité de faire des observations pertinentes et fiables sur la localisation des événements spatiaux. Le fait de connaître à l'avance la description d'un chemin influe considérablement sur l'aptitude à suivre sa progression lors de l'audition. Mais, à la réflexion, il s'agit davantage d'une détection et d'une confirmation, que d'une véritable attribution. L'information spatiale est présente, mais, du point de vue cognitif, elle semble être en retrait et perçue comme un ensemble de relations qui s'infiltrent difficilement dans la clameur d'indices plus développés. J'ai envisagé de présenter *Vertigo* avec des auxiliaires visuels, sortes de bâquilles intérimaires attirant l'attention de l'auditeur sur certains aspects de la musique qu'il aurait pu remarquer sans, toutefois, les enregistrer, et donc sans les intégrer. Ce type de spatialisation engendre un curieux univers de différenciations et d'implications. On en jugera en écoutant simplement l'un ou l'autre des quatre canaux.

## II. *The vanity of words*

*The vanity of words* (« la vanité des mots ») s'inspire du roman de Milan Kundera, *L'insoutenable légèreté de l'être*.

*Montage de Roger Reynolds*

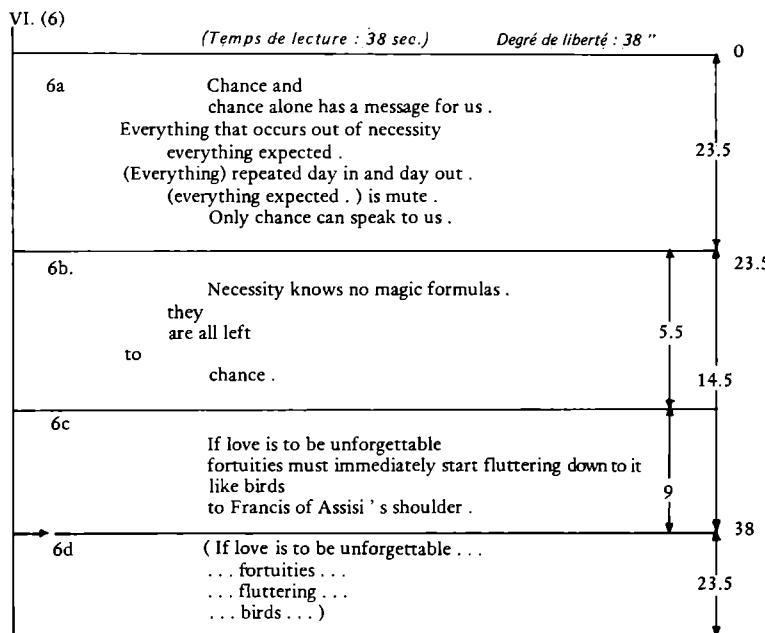
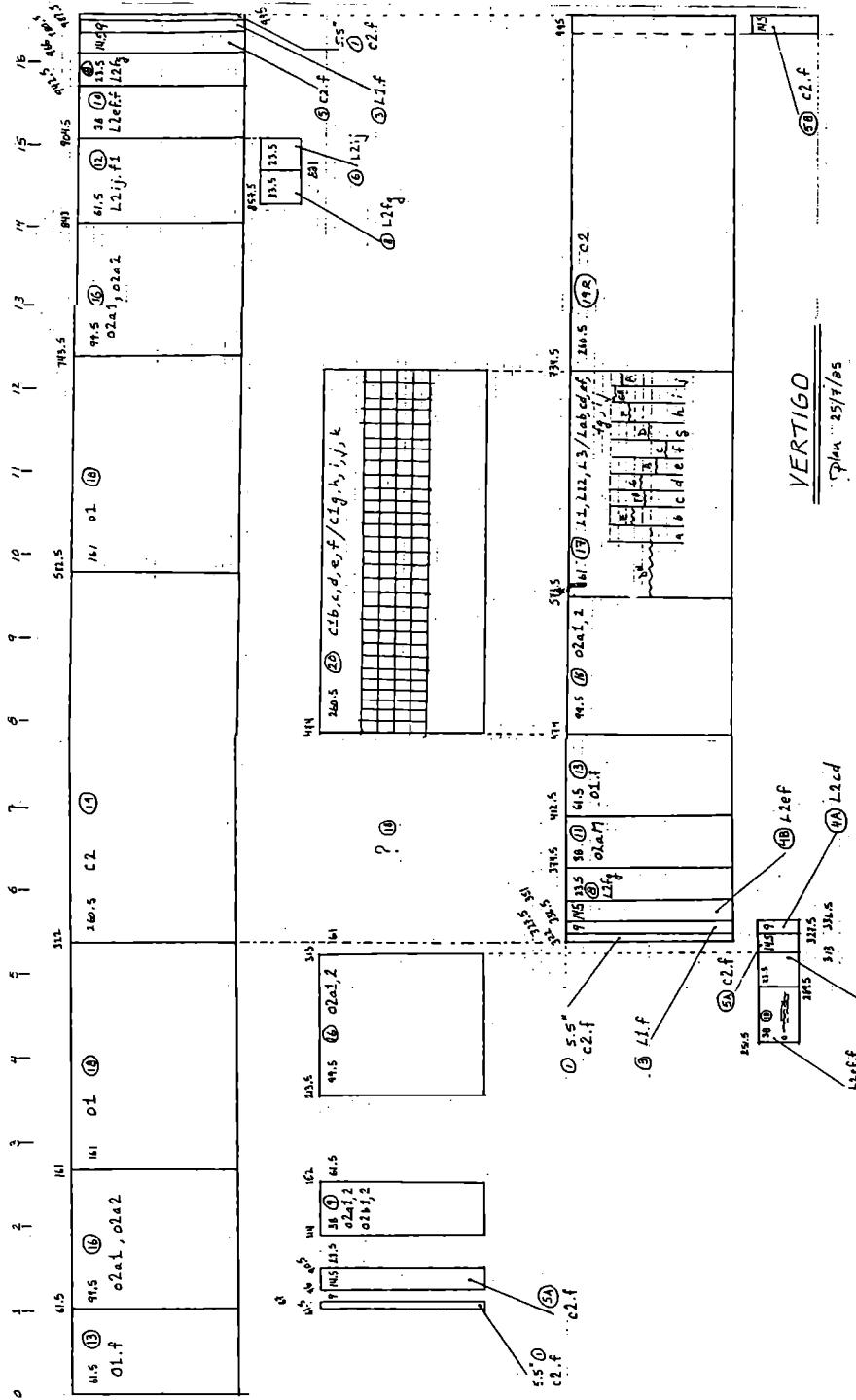


Figure 3

Trois montages d'extraits ont été lus, chacun dans un style distinct (ton aspiré, nettement accentué, et déclamatoire), par le chanteur Philip Larson. A chaque phrase était assignée une durée précise conforme à la conception proportionnelle globale de la pièce. Minutage serré, voix égale et exactitude du texte étaient les conditions requises pour une bonne lecture.

La conception proportionnelle de *Vertigo* et de *The vanity of words* reprend une démarche formelle que j'avais explorée pour la première fois à l'I.R.C.A.M. en 1981-83. La *mosaïque transformationnelle*<sup>3</sup> implique une subdivision du temps en durées ayant des rapports logarithmiques. La série qui contrôle les proportions des pièces en question est la suivante: 5,5; 9; 14,5; 23,5; 38; 61,5; 99,5; 161; et 260,5 secondes. Son utilité est évidente dans le contexte d'un médium tel que la musique sur ordinateur, où il est très fructueux pour l'architecte d'être en mesure de prévoir. *Vertigo* est la composition la plus complexe en termes de densité des relations; *The vanity of words*, pour laquelle l'intelligibilité joue nécessairement un rôle, est plus linéaire afin de permettre

3. La *mosaïque transformationnelle* est analysée en détail dans Reynolds 1986, 1987b.



**Figure 4a.** La durée totale de *Vertigo* (995 sec.) est représentée selon une structure en segments de 5,5 sec. à 260,5 sec. La texture complète se compose de 4 couches : 2 continues et 2 intermittentes. Les segments de durée égale peuvent être musicalement identiques (exemple : segment d'une durée de 99,5 sec. débutant à 61,5 sec. de la couche supérieure, et segment débutant à 4/4 sec. de la 3<sup>e</sup> couche ; notes 16), mais non nécessairement. L'expansion et la contraction de la durée d'un segment contrôle les tendances formelles.

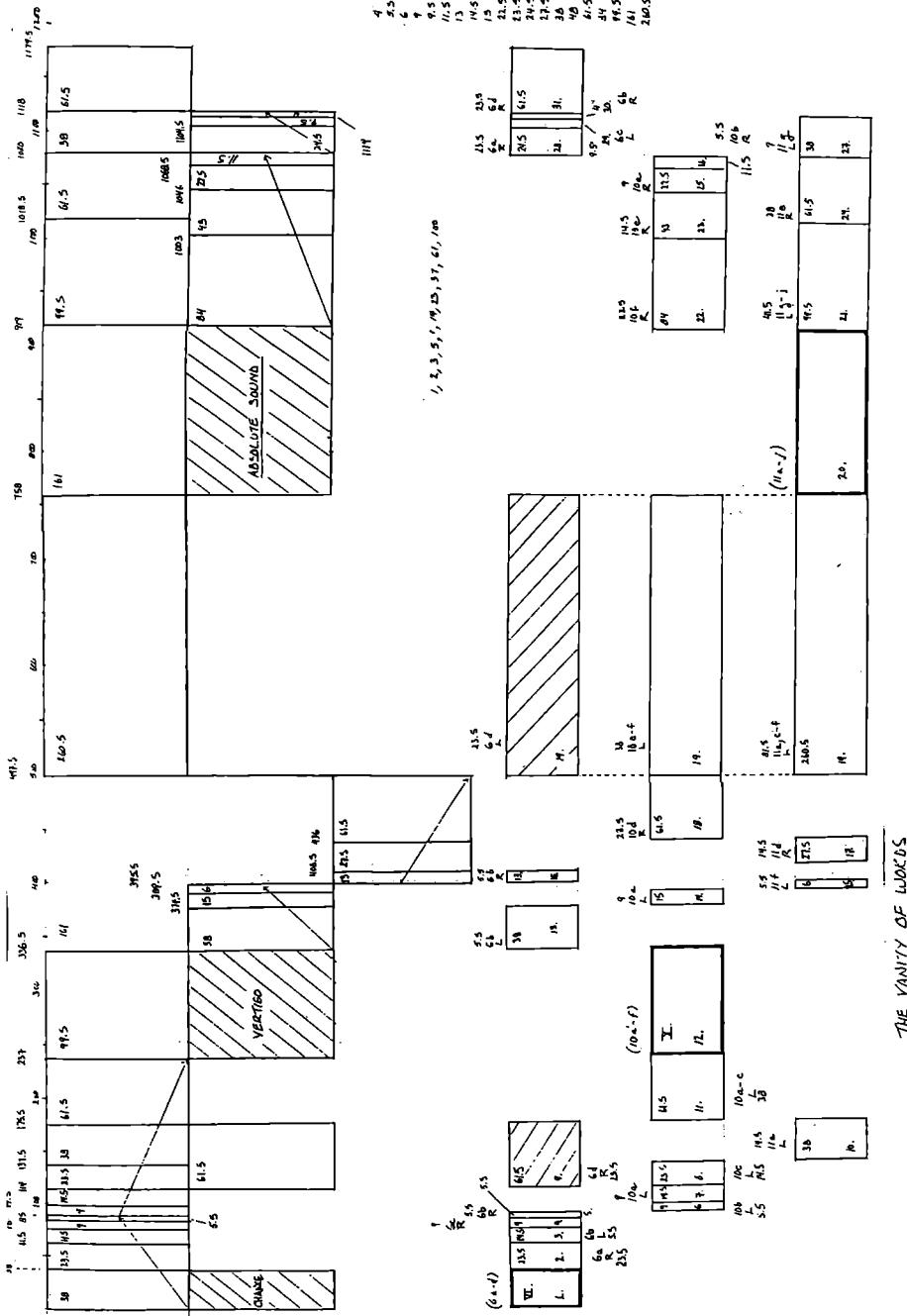


Figure 4b. La durée de *The Vanity of Words* (1179 sec.) est elle aussi représentée en segments de taille variable. La structure est ici schématisée de deux manières. Les trois couches contigües supérieures montrent une forme continue d'expansion et de contraction des segments. Les trois bandes segmentées inférieures correspondent aux trois modes de production vocale adoptés lors de l'enregistrement du texte de Kundera; en haut en bas : chuchotement, intonation, déclamation. Les segments en traits gras indiquent les présentations du texte sans montage accompagnées de phrases chantées. L'expansion de celles-ci a été réalisée grâce au processus de vocodéage de phase.

à l'auditeur d'appréhender le texte et les intentions interprétatives du chanteur. Chaque élément de la mosaïque musicale est taillé sur mesure, mais les groupes de « carreaux » manifestent des tendances plus générales en termes de structure temporelle et de spatialisation.

La configuration de ces « carreaux » reflète au plan structural les mêmes conventions numériques qui alimentent les logarithmes d'édition SPLITZ et SPIRLZ ; en effet, ces « carreaux » désignent les segments et les ordonnent dans le temps.

Sur la base des axes définis dans *Vertigo*, des méthodes d'édition ont été testées et adaptées en vue d'équilibrer l'intelligibilité du texte et l'influence plus « atmosphérique » des facteurs spatiaux. La spatialisation de chaque « carreau » a été établie avec la version standard du générateur SPACE suivant laquelle l'amplitude varie suivant l'inverse du carré de la distance entre la source et l'auditeur. SPACE sculpte les premières réflexions d'un son selon sa position dans une salle « modèle ». Mais avec *Vanity*, il fallait, pour créer une illusion de mouvement entre les positions rapprochées et éloignées, une salle plus vaste que la normale (plus de 100 m de côté), ce qui compromettait gravement la spécificité angulaire. Attendu qu'avec un modèle de 24 mètres de côté on obtient des temps d'arrivée optima pour les premiers chemins de retard, F. Richard Moore a modifié SPACE pour permettre une variation du niveau sonore inversement proportionnelle au cube de la distance. Des essais comparés ont démontré que l'on pouvait ainsi obtenir une bonne impression de profondeur, tout en conservant la meilleure précision azimutale qu'offrait la salle plus petite. Ces projets ne visaient pas à copier la réalité, mais à produire des résultats convaincants et exploitables en musique.

En fragmentant et en réarrangeant systématiquement, au moyen d'algorithme, les éléments d'un texte lu en public, ont été mises en évidence certaines qualités de ces procédures automatiques qui sont indécelables dans des contextes purement musicaux. Des va-et-vient rapides et systématiques donnent parfois l'impression d'entendre simultanément plusieurs messages, alors que, objectivement, un seul message acoustique peut atteindre l'oreille à un moment donné. Une sorte de multiplicité linéaire émerge, extension du contrepoint suggéré que l'écriture pour cordes solo de J.-S. Bach illustre admirablement. Il se crée des juxtapositions surhumaines de comportements fondamentalement humains (tendresse, accusation, ironie, subversion), présents — mais sans pré-méditation, semble-t-il — et se succédant l'un à l'autre avec une improbabilité parfois étourdissante mais une indéniable vraisemblance.

Comme les interventions de l'éditeur produisent des durées de plus en plus réduites (ex.: de 1,5 seconde à 70 millisecondes), on passe peu à peu de fragments signifiants à des mots auxquels le chanteur imprime encore un sens, puis à des bribes de mots, et, enfin, à des « éclats » de bruits pareils à des consonnes. Dans ce cas (c'est-à-dire après réduction), ainsi que dans les tentatives visant à allonger les mots parlés par des facteurs supérieurs à 10 (via l'analyse par vocodeur de phrase<sup>4</sup> et la re-synthèse en CMUSIC), on constate clairement que le contenu émotionnel reste parfois sans ambiguïté longtemps après que la spécificité linguistique a été obscurcie. De surcroît, la spatialisation de plusieurs « strates » de fragments de texte améliore sensiblement leur

---

4. Un vocodeur de phrase a été mis en application au Computer Audio Research Laboratory de l'USCD (cf. Reynolds 1986).

intelligibilité. Elle réduit la neutralisation réciproque de deux éléments coïncidents, et empêche partiellement l'auditeur d'appréhender et d'enregistrer des enchaînements de fragments extrêmement rapides. On pourrait peut-être établir un parallèle avec ce qui sépare la photographie de l'holographie. Avec chaque matériau sonore ainsi présenté, le changement de perspective d'écoute permet de bien enregistrer des informations très différentes.

On spécule encore sur la manière dont le «son organisé» (selon Varèse) nous touche. Il est évidemment plus commode d'attribuer les facteurs de l'affect musical aux continua qui sont déjà divisés et organisés, à savoir la hauteur et la durée. Toutefois, la qualité de l'expérience musicale est très variable: on perçoit des différences de signification radicales entre des interprétations qui sont virtuellement identiques en termes de comparaison statistique. Ces distinctions peuvent atteindre un degré de profondeur surprenant, et sont dues non pas à la structure de base, mais à sa modification de détail. Bien entendu, la souplesse temporelle et la diversité spectrale sont essentielles pour les nuances d'interprétation. L'aspect laborieux de la modulation du timbre d'une musique instrumentale dirigée (*Klangfarbenmelodie*) dissuade de nombreux compositeurs de lui donner beaucoup de poids. Il en va pourtant de même du contrôle des attributs spatiaux de la musique par ordinateur. Ces attributs sont insaisissables et se dérobent à l'évaluation objective. Mais ils apportent une telle *dimension* (au sens littéral) à la musique, qu'il serait désinvolte de les laisser de côté. La solution viendra d'une exploration systématique des *contextes musicaux*: chercher sans but prédéterminé, et prendre bonne note de ce qui «marche», même si l'on ne sait pas pourquoi.

Avec la musique informatique, il est toujours possible de savoir où l'on se trouve. Des modifications graduelles permettent de tester l'effet d'un changement de valeur infime. Lorsque l'on dispose de ressources suffisantes, on peut tenter de maximiser toutes les améliorations constatées. Je crois que les progrès dans ce domaine ont été limités par des références mal choisies et des attentes non pas tant excessives que mal placées. La possibilité de simuler une variation subtile et spectaculaire des aspects spatiaux de leur musique ouvre aux musiciens une voie déjà entr'aperçue mais jusqu'ici inabordable. En exerçant avec persévérance un jugement fondé, en faisant des choix artistiques dans un monde de possibilités ouvert et fécond, nous saurons mieux quels contrôles sont utiles. L'étude objective des distinctions perçues intuitivement permettra de dégager un niveau supérieur d'intuition qui élargira notre champ d'observation, et dont nous pourrons user avec autorité, car il sera la matière même de l'expression humaine.

### *Remerciements*

Au cours de nos recherches, F. Richard Moore, directeur du Computer Audio Research Laboratory de l'Université de Californie, San Diego, nous a aidé de ses précieux conseils. L'assistance musicale de Robert Scott Thompson, pour *Vertigo*, et de John Stevens, pour *The vanity of words*, a apporté une contribution essentielle.

### III. Appendix

Cet appendix tente de mettre en perspective les procédures qui ont été discutées précédemment. F.R. Moore a mis en évidence l'importance de la distinction entre les *souhaits* (ce qu'un musicien travaillant sur des caractéristiques spatiales voudrait faire ressortir) et les *mises en œuvre* (le choix d'une approche méthodologique particulière pour simuler les indices pertinents), et au-delà, l'utilité de la reconnaissance que « les différentes mises en œuvre produisent différents résultats étant donné les mêmes souhaits, et (que) de même, des mises en œuvre produisent le même résultat étant donné des souhaits différents ».

On utilise deux paradigmes; le premier décrit le parcours entier utilisé dans les deux pièces présentées et le second les détails du processus de spatialisation.

#### MODELE GENERAL

#### THE VANITY OF WORDS

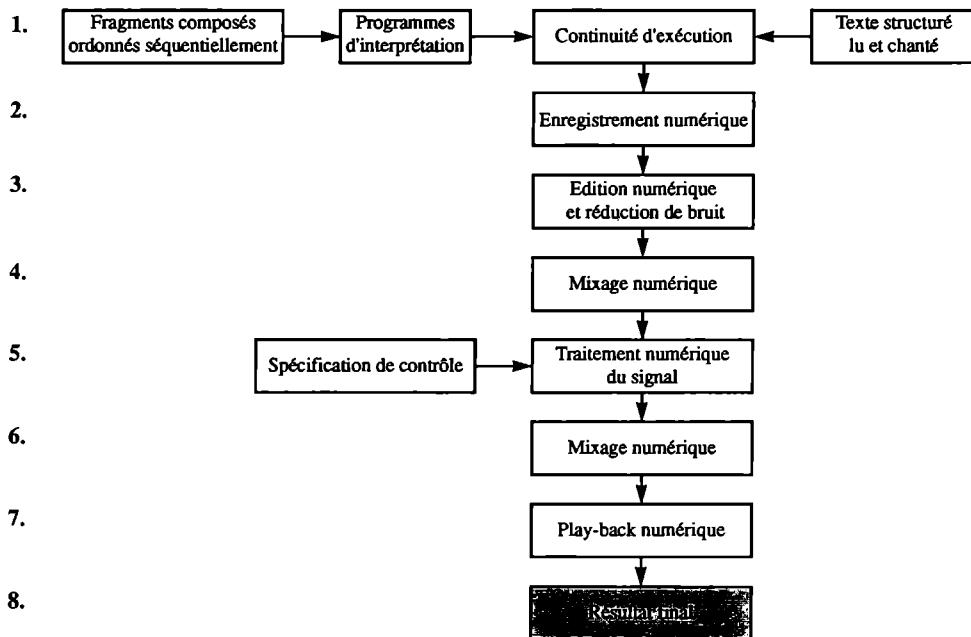


Figure 5.

(1) impliquait dans *Vertigo* une improvisation dirigée du pianiste Cecil Lytle, et dans *Vanity*, des lectures spécifiquement définies par le chanteur Philip Larson.

(2) et (7) utilisaient le convertisseur numérique analogique Digital Sound Corporation de CARL et un magnétophone numérique SONY PCM-F1.

(3) utilisait le programme *interactive play* (jeu interactif) de Gareth Loy et le programme *denoise* (réduction de bruit) qui est une adaptation de son programme de vocodeur de phase à CARL.

(4) et (6) utilisaient le VAX 11 780 qui exploite l'environnement logiciel standard de CARL sous le système d'exécution Berkeley UNIX.

(5) ont impliqué les programmes de traitement SPLITZ et SPIRLZ (Reynolds) enchaînés avec le programme CMUSIC qui inclut le module de traitement SPACE (F. R. Moore). Les spécifications de contrôle de SPACE ont été engendrées avec *Pathmake* de Dolson qui est une adaptation de SOUNDPATH de Loy.

## MODELE DE SPATIALISATION

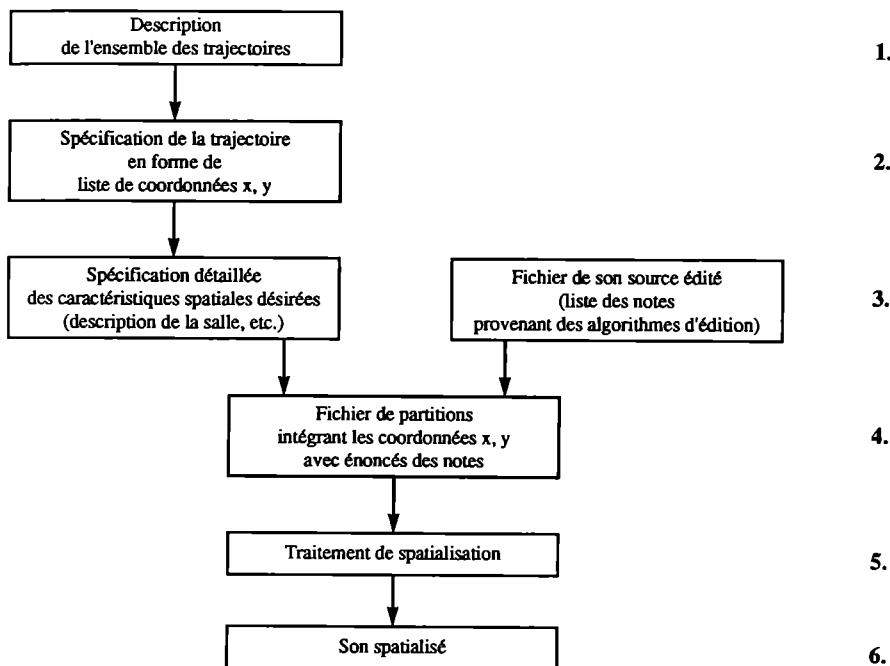


Figure 6

(1) impliquait des combinaisons autorisées de segments de parcours qui allaient à la fois dans le sens des aiguilles d'une montre et dans le sens inverse afin de former des dessins complexes (Figures 2a - g).

(2) convertissait au moyen du programme *PATHMAKE* les chemins désirés en séquences appropriées de coordonnées x, y.

(3) impliquait la définition suivante des caractéristiques spatiales en ce qui concerne le temps de chute, le contenu réverbérant, les indices de distance à la géométrie de la salle ; ainsi que le tri des fichiers de son d'entrée en fonction des critères formels précis.

(4) plaçait les deux ensembles de données provenant de (3) dans une forme coordonnée qui autorise...

(5)... le processus de spatialisation à calculer.

L'utilisation du module de traitement *SPACE* produit des contraintes qui définissent la source sous la forme de *vecteurs de radiation* qui contiennent une spécification de positions. Quand la position varie dans le temps, il est pratique d'utiliser un programme d'interface (par exemple *PATHMAKE*) pour traduire les composantes modulaires de parcours en listes de coordonnées x, y. D'autres caractéristiques spatiales peuvent être directement spécifiées à l'intérieur de partitions *CMUSIC*.

# **Un orchestre synthétique: Remarques sur une notation personnelle**

par Marco STROPPA

## **I. Pour commencer**

Que les compositeurs puissent utiliser un support visuel — la partition — pour noter leur pensée constitue certainement l'une des conquêtes fondamentales de notre culture musicale. Esquissée dès l'époque grégorienne, cette entreprise ne fut d'ailleurs développée totalement qu'à l'orée du XVIII<sup>e</sup> siècle.

Inventer des symboles capables de transmettre de la façon la plus fidèle possible les nuances infinies du jeu musical, décider des dimensions à privilégier et de celles à laisser davantage imprécises, et faire en sorte que ces choix soient acceptés par une communauté tout entière, n'a certainement pas été un maigre effort. Des neumes jusqu'à nos partitions modernes, en passant par toutes sortes de tablatures et autres tentatives intermédiaires, un millénaire a été nécessaire.

Mais tant d'efforts se sont finalement trouvés récompensés : notre système de représentation des principaux paramètres n'a fait l'objet d'aucun changement substantiel depuis presque quatre siècles et s'est au contraire étendu à une ample partie de l'activité musicale — savante ou non — du monde entier. Il est devenu un standard international. Un tel succès pour la traduction de gestes, de langages et de significations incroyablement différents, et parfois opposés, ne peut guère être comparé qu'à l'adoption de l'alphabet latin par nombre de langues, même non indo-européennes.

Exprimer une idée musicale de façon à ce qu'elle puisse être « vue » permet tout d'abord qu'un dialogue efficace s'établisse entre le compositeur et l'interprète, surtout lorsque ces deux figures ne sont — ou ne peuvent être — la même personne, comme c'est le cas des œuvres mettant en jeu plusieurs instruments. Toute pragmatique qu'elle soit, cette raison a cependant des conséquences profondes. Sur le plan social, l'image de l'interprète fait son entrée et se distingue de celle du « créateur » ; sur un plan plus conceptuel, l'acte qui consiste à « faire » de la musique se divise désormais en deux phases — composer et interpréter — qui communiquent entre elles au moyen d'un « interface » fixe et libre. Ainsi, les idées du compositeur, vraisemblablement constantes dans le temps, demeurent-elles distinctes de ce que l'exécutant

viendra y ajouter, lui qui possède sa propre sensibilité et s'inscrit à l'intérieur d'un contexte historique et culturel déterminé.

Entre autres choses, la simple existence d'une partition permet également d'étudier une pièce et d'en assurer la transmission. C'est en effet la notation qui rend possible l'analyse d'un raisonnement musical dans ses moindres détails. Combinés, permutés et développés de façon plus ou moins radicale, les symboles qui la constituent demeurent à la base même de toute technique d'*écriture*, laquelle écriture a la capacité de donner à un matériau sonore une forme à la fois concrète et présente. Voir ce qu'on entendra affine l'oreille, révèle des structures géométriques cachées et en facilite quelquefois la perception. La notation a rendu possible une ample partie de notre activité musicale actuelle.

Mon propos n'est pas de m'étendre en éloges, mais d'établir plutôt le contexte qui me permettra d'examiner la réalité de la musique informatique dans toutes ses caractéristiques.

La première constatation — la plus évidente aussi —, c'est qu'il n'existe pour cette musique aucune partition, et ce pour une raison non moins évidente : l'interprète n'existant pas, c'est le compositeur qui en endosse lui-même le rôle, le résultat sonore final demeurant sous son entière responsabilité. Aucune nécessité ne le pousse donc à noter ses idées. Pourtant, l'absence d'une partition empêche non seulement toute éventuelle ré-interprétation d'une œuvre, mais également son analyse approfondie.

Dans ce contexte, nul doute que l'une des toutes premières réactions pourrait bien être : « Pour l'interprète comme pour l'auditeur, il s'agit de s'adapter à une nouvelle réalité musicale qui réclame une approche également nouvelle. Cette approche ne pouvant être qu'auditive, aucune écriture n'a donc de raison d'être. »

Plus que de toute autre chose, cette réaction me semble résulter d'un sentiment d'impuissance : incapable ou peu désireux de trouver une forme d'expression symbolique adéquate, on préfère nier la simple nécessité de son existence.

Mais si nous admettons que l'avènement de l'ordinateur a radicalement changé notre façon de penser la musique en ce qu'il a mis en difficulté ce que celle-ci semblait pourtant avoir de plus stable — on ne pouvait naguère que combiner des sons déjà existants, tandis que, désormais, on peut en effet créer le son lui-même —, alors, il devient indispensable — et urgent — de posséder les moyens de comprendre cette révolution et de pouvoir l'analyser en détail. Au niveau sonore microscopique comme à celui de la forme, qu'est-il arrivé de nouveau ?

Peut-être convient-il tout d'abord de se poser quelques questions. Y a-t-il eu quelque chose de nouveau ? Et comment s'en rendre intimement compte autrement que par une impression fugace et superficielle ? La musique informatique permet-elle de développer une technique d'*écriture* digne de ce nom et originale, à la fois fondamentalement différente de la technique classique, mais d'une qualité de spéculation égale et d'une puissance d'expression similaire ?

La musique instrumentale a établi entre le compositeur et l'interprète une scission qui a finalement favorisé l'élaboration d'une technique remarquablement abstraite. L'interprète intègre les informations contenues dans les symboles sur la base des connaissances implicites (cf. McAdams 1988) que ses années d'expérience lui ont léguées. En musique informatique, cette base n'existe pas encore, et ne pourra se constituer que si la composition et

l'interprétation constituent deux activités indépendantes. Dès lors que plusieurs interprétations de la même œuvre existent, il devient possible d'établir une distinction entre les caractéristiques de l'œuvre qui sont invariables et celles qui sont plus instables. Qui plus est, la possibilité de *visionner* chaque procédé perceptif ou structurel est infiniment précieuse pour l'auditeur, les sons qui composent chacun de ces procédés étant souvent « inouïs » et ne faisant appel à aucune réalité tangible.

Pour les œuvres mixtes, une partie — celle relative aux instruments traditionnels — peut être analysée dans tous ses détails, tandis que l'autre — les sons synthétiques ou traités — ne peut qu'être « subie » par l'oreille, et dans des conditions d'écoute souvent peu idéales. L'appréciation véritable de ce délicat équilibre, comme celle des points de contact entre ces deux mondes lointains et différents, est parfois compromise, quand elle n'est pas tout à fait impossible. Il va de soi que les données inscrites dans l'ordinateur existent bel et bien; mais elles ne possèdent ni la qualité d'abstraction d'une partition ni son immédiateté de lecture (cf. Stroppa 1984, 1990), même au cas rare où aucune phase d'élaboration et de mixage n'interviendrait qu'après la genèse des sons.

Tel est le contexte à partir duquel je me suis mis en devoir de développer une notation pour mes propres sons générés par ordinateur. Je l'ai fait non seulement pour éclairer quelques-uns de mes principes compositionnels fondamentaux, mais aussi pour les démarquer de ma propre interprétation.

Loin d'avoir jamais eu la prétention de résoudre la question une fois pour toutes, j'ai simplement voulu tenter une expérience personnelle en l'appliquant à un travail précis, *Traiettoria... deviata* (TD), œuvre pour piano et sons générés par ordinateur, composée à la fin de 1982. La décantation des idées compositionnelles de leur interprétation m'a demandé un an de travail et est passée par les différentes phases intermédiaires qu'on trouvera rapidement répertoriées dans l'appendice du présent article.

Étant adapté à la façon que j'ai de concevoir la musique informatique — et, plus particulièrement encore, la synthèse sonore —, le résultat ne peut que refléter mes propres choix compositionnels.

Il est encore trop tôt pour dire si ces principes pourront être généralisés et pour savoir quand ils pourront l'être. Il n'est pas impossible que chaque compositeur, sinon chaque pièce, nécessite la mise au point de règles de notation « ad hoc ». Mais il me semble important que, à un moment où la pratique de la musique informatique commence à se répandre de façon « sauvage » — et à des degrés de qualité par conséquent très variables —, une réflexion vienne établir les conséquences que cela peut entraîner sur la pensée compositionnelle. Ce n'est que par l'ensemble des réflexions et des propositions personnelles que l'avenir sera peut-être en mesure de dégager un jour des principes communs.

## II. Le contexte

Cherchant à établir un contact fertile et efficace entre un instrument traditionnel — le piano — et un instrument nouveau — l'ordinateur —, une notation doit déjà être en mesure de traiter à la fois des paramètres classiques et des paramètres nouveaux. Pour ces derniers, une sémiotique spécifique doit être inventée.

Tant qu'elle faisait preuve d'une capacité de détail suffisante, j'ai conservé la notation traditionnelle comme base, ceci valant autant pour les sons synthétiques que pour ceux du piano — c'est particulièrement vrai pour ce qui

concerne les indications très soignées des différents touchers et des diverses qualités de résonance<sup>1</sup>. Il me paraît d'autant moins nécessaire de se servir de symboles nouveaux pour exprimer des concepts traditionnels — surtout lorsque des concepts nouveaux existent également —, que l'expérience que l'interprète possède de la notation traditionnelle se révèle être souvent d'une grande utilité.

J'ai défini trois types de notation des paramètres musicaux<sup>2</sup>:

1. paramètres notés à l'aide de symboles traditionnels et pris dans leur acceptation la plus classique;
2. paramètres notés à l'aide de symboles traditionnels, mais partiellement déformés et adaptés;
3. paramètres notés à l'aide de symboles totalement nouveaux.

Pour la transcription des sons de l'ordinateur de TD, la dynamique, le rythme (inscrit à l'intérieur d'un rectangle, comme on le verra plus loin), les arpèges, ainsi que certaines indications d'expression habituellement écrites en italien, appartiennent au premier groupe. La hauteur, elle, appartient entre autre chose au second groupe, et la gestion du spectre et de l'enveloppe d'amplitude du son, au troisième.

Ces réflexions pourront paraître superflues et résulter d'un exercice théorique futile ou d'un plaisir personnel gratuit et peu indispensable à l'exécution de l'œuvre. En réalité, des raisons d'au moins trois « ordres » — non au sens hiérarchique du terme, mais au sens catégoriel — ont rendu cette transcription nécessaire, raisons principalement motivées par la volonté de me détacher au plus vite d'une œuvre achevée, de lui donner une vie indépendante de ma présence physique, et de faire en sorte que, quoique complexe, cette partition puisse être comprise et exécutée par quiconque lui consacre suffisamment de temps et de concentration.

Les raisons du tout premier ordre sont entièrement liées à la nécessité de fournir au pianiste le guide absolument nécessaire à la mise en place de la synchronisation voulue entre son instrument et l'ordinateur. Qui plus est, la richesse et la variété polyphonique des sons synthétiques étant plus proches de celles d'un orchestre que de celles d'un instrument soliste, et beaucoup d'entre ces sons étant en outre pensés pour se fondre avec le geste pianistique, il était nécessaire que l'interprète eût la possibilité de les analyser et de les percevoir isolément, comme de pouvoir les extraire du contexte musical à l'intérieur duquel ces sons évoluent. C'est ainsi seulement que la qualité timbrique du matériau pianistique pourra s'accorder avec toute la finesse requise à celle du

---

1. Pour traduire les différentes qualités de sons désirées, il m'a fallu recourir à des images évocatrices (telles que « bizarre », « foudroyant », « comme une gifle », « bourru », « comme de la suie », etc.), plus expressives et moins réductrices pour l'interprète. Le double échappement est, de tous les types de toucher, le seul qui soit explicitement noté à l'aide d'un signe spécial. En ce qui concerne les différentes résonances, autant que possible, j'ai utilisé pour les notes muettes la notation que Stockhausen utilise dans ses *Klavierstücke*, additionnée de quelques phrases italiennes mises là pour rendre compte de la quantité et de la qualité de la résonance même (contrôlée surtout à l'aide de la pédale forte).

2. Il est important de souligner que l'exécutant est d'autant moins libre qu'un paramètre est noté de façon précise (*notation quantitative*), la notation la plus absolument précise étant celle qui use de chiffres numériques. En outre, certains paramètres sont à ce point liés à un contexte musical et acoustique imprévisible (par exemple, la dynamique) qu'ils ne sauraient être notés autrement que de façon relationnelle et approximative (*notation qualitative*). Pour la définition d'un nouveau symbole, il est nécessaire de savoir évaluer cette marge de liberté, en fonction de son propre projet compositionnel.

matériaux synthétiques, pour créer un nouvel objet sonore, un nouveau type d'interprétation qui, sans le concours et l'influence réciproque des deux instruments, ne pourrait exister<sup>3</sup>.

Les raisons du second ordre sont davantage théoriques. Dans *Traiettoria*, le contrôle des sons représente l'une des dimensions compositionnelles parmi les plus importantes et provoque la prolifération et le développement d'un grand nombre de structures formelles<sup>4</sup>. A ce propos, je me suis expressément contenté d'utiliser chaque instrument de la façon la plus « naturelle » possible. Le piano n'est jamais traité électroniquement et n'est jamais déformé; il est simplement amplifié pour des raisons d'équilibre sonore, au cas où la salle serait trop grande. L'ordinateur, quant à lui, élabore de façon tout à fait indépendante son propre matériau, selon les capacités techniques qui sont les siennes et sans jamais prétendre « imiter » le piano, ni en devenir une caricature. Les sons de l'ordinateur sont entièrement synthétiques; à aucun moment, je n'ai utilisé des sons de piano pré-enregistrés et traités.

Le pianiste se limite à actionner les touches et les pédales de son instrument; il ne le prépare pas, ne se penche pas sur la caisse de résonance pour en percuter les cordes et ne lui donne non plus aucun coup de pied... Si le jeu des touches et des pédales est indiqué avec une précision peu « traditionnelle », en revanche, l'interprète se tient en concert on ne peut plus « correctement ». En effet, tout geste supplémentaire produirait un effet scénique important qui détournerait l'auditeur du rapport existant entre les deux mondes qui se confrontent — celui du piano et celui de la machine —, rapport qui, loin d'être visuel, est au contraire strictement musical et auditif. Le son est ici le seul protagoniste.

Cependant, les deux mondes en question, quoique sans jamais abandonner leur propre indépendance, n'en cherchent pas moins à établir un dialogue réciproque. Pour ce faire, j'ai utilisé chaque instrument selon deux modes: le mode « naturel » d'une part, et, d'autre part, le mode « étendu », certains aspects du timbre étant, dans ce dernier cas, partiellement modifiés et déformés. Pour le piano, le mode « étendu » concerne le travail de la résonance. Privé de l'attaque, le timbre devient moins clair, moins « centré » et se dénature. L'ordinateur se mêle alors imperceptiblement à cet état ambigu et le transforme en un composé nouveau et hybride qui se développe d'une façon que les limites mécaniques du piano ne lui auraient jamais permis d'atteindre. L'exemple le plus caractéristique en est certainement l'entrée de l'ordinateur, au début de TD.

La notation doit donc permettre d'analyser la relation piano/ordinateur jusqu'à un degré d'intimité aussi étroit.

Enfin, des raisons d'un troisième ordre sont également intervenues, liées, celles-ci, à la figure toute nouvelle de l'interprète des sons synthétiques, dont la fonction peut être assimilée à celle d'un chef d'orchestre. C'est lui qui est responsable de l'équilibre dynamique, tant entre le piano et l'ordinateur qu'entre les sons synthétiques eux-mêmes.

Pour le moment, des problèmes technologiques limitent fortement son

3. Dans TD, ce type de rapport est encore timide et n'est développé qu'à un stade embryonnaire. Dans les deux pièces qui suivent (*Dialoghi* et *Contrasti*), il est porté en revanche jusqu'à des conséquences extrêmes.

4. On trouvera in Stroppa, 1990, une introduction plus générale aux divers aspects de ma poétique compositionnelle, ainsi qu'une analyse de la cadence pour piano seul de *Contrasti*.

champ d'action. L'équilibre interne a déjà été établi par mes propres soins — lors du mixage numérique — et la vitesse de déroulement est fixe. L'interprète se trouve donc à la tête d'une bande magnétique stéréo enregistrée sans variations dynamiques globales, qu'il doit diffuser à l'aide d'une table de mixage et d'un circuit d'égalisation souvent médiocre. Malgré ces limites importantes, une marge réelle d'interprétation existe véritablement. La partie des sons synthétiques nécessite d'être autant répétée que la partie pianistique, et le résultat diffère beaucoup d'une exécution à l'autre<sup>5</sup>.

Pour quelque événement sonore que ce soit, la notation doit également savoir répondre en concert aux exigences de cette orchestration idéale, et doit pouvoir également exprimer la différence qui existe entre mes propres idées compositionnelles et les divers choix que l'interprète sera amené à faire. Et si les premières ne changent pas, les secondes contiennent quant à elles — du moins dans l'enregistrement actuellement disponible — plusieurs approximations et quelques « erreurs » d'inexpérience pures et simples qu'aujourd'hui je saurais éviter. Il serait incorrect de traiter ces incertitudes techniques à niveau égal avec des idées compositionnelles invariables.

### III. Les choix d'ensemble

La richesse « orchestrale » des sons informatiques de *Traiettoria* est peut-être leur caractéristique la plus surprenante. Il existe plusieurs sources sonores qui doivent pouvoir être analysées et séparées une à une. Chaque source peut également être considérée comme un « instrument », dans la mesure où toutes possèdent des caractéristiques uniques et indépendantes qui permettent de les identifier.

Puisqu'il s'agit d'un orchestre, la capacité de distinction sera donc privilégiée, par rapport à la notation des nuances de chaque phrasé. Les sons entendus ne possédant, qui plus est, aucune référence explicite à quelque monde concret que ce soit<sup>6</sup>, le choix du symbole devient crucial pour la perception. L'une ou l'autre de ses expressivités, qu'elle soit fondamentale ou qu'elle soit mineure, peut tour à tour faciliter ou entraver le rapport qui doit exister entre le signe graphique et le phénomène sonore.

Plus que la manière de l'obtenir, — le choix en revient finalement à l'interprète et à l'ordinateur —, un symbole doit toujours exprimer l'effet voulu, et de la façon la plus synthétique.

J'ai établi cinq dimensions principales. La question de leur notation et du rapport existant entre piano et ordinateur est discutée ici de façon toute générale. Le prochain chapitre se chargera en effet de présenter mes choix concrets.

---

5. D'ici quelque temps, l'utilisation d'échantillonneurs multipistes sophistiqués, de processeurs puissants et de disques ultra-rapides de très grande capacité permettra un contrôle timbral et temporel de chaque son de l'orchestre synthétique. Un équilibre idéal et une adaptation constante aux exigences du piano deviendront ainsi réalité.

6. En réalité, notre système perceptif est beaucoup plus catégorique que notre imagination : il ne tolère pas l'inconscient et tend par conséquent à se forger des images — mêmes déformées — d'une origine bien connue. Dans TD, on peut ainsi entendre des sortes de cloches, des voix lointaines, ou d'autres évocations encore plus suggestives. Il est parfois nécessaire d'avoir recours à des métaphores plus ou moins poétiques pour comprendre ce qu'on perçoit. Ces sensations sont étrangères à mes intentions de composition, en ce sens que je n'ai pas expressément cherché à les obtenir, même si elles ne sont nullement négatives. Elles peuvent bien au contraire faciliter l'établissement d'une liaison entre des sons similaires mais éloignés.

## 1. Rythme et durée

Il m'a fallu imaginer deux types de notation différents, l'un pour les rythmes non mesurés, l'autre pour les rythmes mesurés — sans que rien, à ce niveau, ne différencie le piano de l'ordinateur.

Le premier type constitue une sorte de compromis entre une notation spatiale (où la distance est proportionnelle à la durée) et une notation plus libre, utilisant des figures « hors temps »<sup>7</sup> en abondance, agglomérées autour de pivots temporels précis (Fig. 1). La durée réelle de chaque son doit souvent être soigneusement choisie selon l'intérêt de son timbre et la variété de son évolution. Ces paramètres dépendent fondamentalement de l'instrument, de l'interprète et de la salle elle-même (Fig. 2).

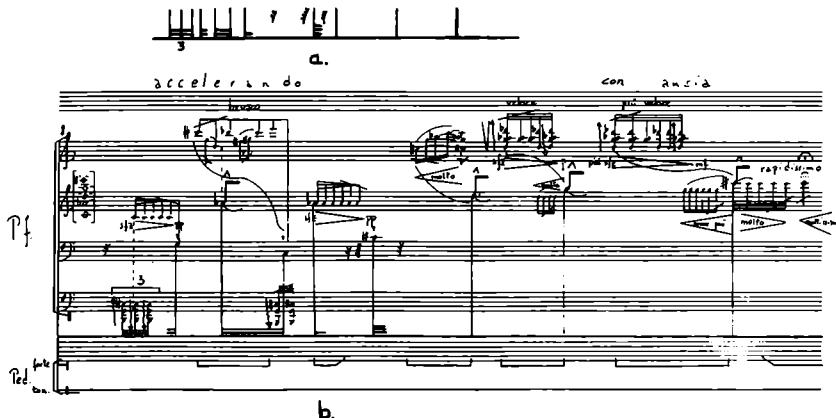


Figure 1. Écriture comportant de nombreuses figures hors temps et des pivots rythmiques précis (a : pivots seuls ; b : version complète).

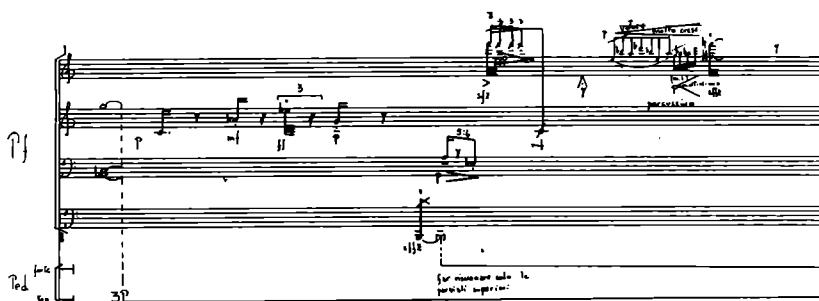


Figure 2. Durée réelle des sons choisie selon leur intérêt timbral.

Le second type nous ramène au cas de figure classique d'un temps pulsé à une certaine rapidité.

7. Contrairement à l'habitude, les figures marquées d'un petit trait en diagonal ne doivent pas être exécutées le plus rapidement possible, mais plutôt en toute liberté et en dehors de tout contexte rythmique précis. La rapidité moyenne varie et se trouve indiquée le plus souvent sur la partition. Dans tous les cas, le nombre de traits est en principe proportionnel à la rapidité de l'exécution.

## 2. Hauteur

La question de la notation de la hauteur n'existe évidemment que pour les sons synthétiques. Dans la pratique désormais classique de l'informatique musicale, deux dimensions principales de la hauteur ont été identifiées, l'une dénommée « hauteur tonale » et l'autre « hauteur spectrale » (cf. Risset 1978 b et c). La première renvoie à la perception d'une note précise et reproduitible (par exemple par le chant), la seconde met au contraire en évidence certaines caractéristiques spectrales du son.

Si je m'arrête pour l'instant à la seule première dimension, je constate que deux perspectives différentes s'en dégagent à nouveau : la première concerne la hauteur par rapport à une éventuelle échelle, tandis que l'autre se réfère au « centrage » plus ou moins clair de la note, c'est-à-dire à la prédominance d'au moins une hauteur unique bien définie. Par exemple, un son inharmonique contient habituellement un grand nombre de sensations de hauteurs faibles, tandis qu'un bruit n'en possède aucune.

Dans le rapport qu'entretiennent hauteur et échelle, l'ordinateur et le piano représentent l'un et l'autre deux pôles diamétralement opposés : totalement rigide, le piano n'a que douze sons inexorablement tempérés à sa disposition ; à l'inverse, totalement amorphe, l'ordinateur permet toutes les possibilités et à quelque registre de détail que ce soit.

Le plus délicat est encore de choisir entre indiquer des fréquences absolues et indiquer des notes discrètes (à diverses approximations microtonales), ou encore d'opter pour un mélange des deux. C'est en fait un choix compositionnel : la représentation d'un même phénomène sonore par des signes différents

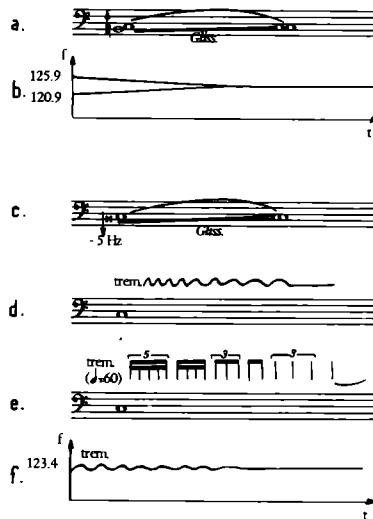


Figure 3. Six « significations » compositionnelles d'un même phénomène sonore.

ne met pas les mêmes informations en évidence et n'a par conséquent pas le même «sens» compositionnel<sup>8</sup>.

Dans la seconde perspective, toute la question est de codifier un passage (qu'il soit discret ou continu) entre une note bien centrée et sa transformation progressive vers un son inharmonique (multiplicité des points sonores), ou vers un bruit (défocalisation).

### 3. Espace

Rarement pris «au sérieux» par la musique traditionnelle, l'espace n'a jamais été une dimension compositionnelle susceptible de rivaliser avec les autres. L'avènement de l'amplification lui a certes conféré une valeur et un intérêt aussi nouveaux que parfaitement inattendus, mais l'analyse qu'on pourrait en tirer sort du cadre que le présent article s'est fixé.

En ce qui me concerne directement, deux dimensions différentes, au moins, m'intéressent tout particulièrement, l'une que je dirai statique et l'autre, dynamique. La dimension statique de l'espace désigne la mise en place, à l'intérieur du volume disponible, de diverses sources sonores, tant acoustiques qu'amplifiées. Fixée une fois pour toutes au début de la pièce, la dimension statique de l'espace ne change plus et ne nécessite aucune représentation spécifique: quelques lignes d'explication jointes à l'introduction suffisent amplement à tout régler. A l'inverse, la dimension dynamique de l'espace correspond à tout ce qui, à l'intérieur d'une configuration donnée, bouge. Certains mouvements peuvent être déjà simulés à l'intérieur même du son (et diffusés, par exemple, par le biais d'une bande quadriphonique), ou peuvent

---

8. Voici un petit exemple (Fig. 3 ci-contre) qui mettra en lumière l'importance de la représentation. Supposons que nous écoutions un *do* dont l'amplitude oscille légèrement cinq fois par seconde, puis ralentit jusqu'à s'arrêter. Nous pouvons imaginer diverses notations et tout autant de perspectives différentes:

Fig. 3a: L'objectif est de définir un micro-intervalle, attaché à une note tempérée, et de montrer comment il est peu à peu réabsorbé par le champ de la note elle-même. Cette représentation, même si elle ne correspond pas au phénomène acoustique réel, s'adapte parfaitement à un certain type de développement compositionnel. Cela pourrait être, par exemple, la conséquence d'une compression graduelle d'un intervalle. En outre, le choix d'une portée le rend exécutable instrumentalement.

Fig. 3b: Cette version entre à l'intérieur d'un cadre caractéristique de musique électroacoustique et indique de façon absolue les deux fréquences utilisées. Mais pour produire l'effet d'une note stable de 123.4 Hz (*do*), l'auteur doit savoir que lorsque deux sons simultanés de fréquence  $f_1$  et  $f_2$  tombent à l'intérieur de la même bande critique, la fréquence qui en résulte est égale à  $(f_1 + f_2)/2$ , la période du batttement étant pour sa part égale à  $1/(f_2-f_1)$ . C'est pour cette raison que le glissando inférieur doit être compensé par un glissando supérieur équivalent, et d'une amplitude maximale de 5 Hz. Cependant, le but de cette représentation, comme celui de la représentation précédente, est de révéler la structure architectonique de base plus encore que son résultat auditif. L'effet d'un tremolo qui ralentit doit être déduit en fonction des éléments donnés et des connaissances de physique acoustique supposées acquises (connaissances dans le cas présent tout à fait élémentaires).

Fig. 3c: Sorte de compromis entre la notion qualitative de la Fig. 3a et la notion à l'inverse purement quantitative de la Fig. 3b. Deux choses sont mises en évidence: la note tempérée de référence et la grandeur exacte du micro-intervalle (c'est-à-dire la fréquence du tremolo) qui, dans la Fig. 3a, était restée assez ambiguë.

Fig. 3d-f: Différents types de notation, plus ou moins précis, dérivés de ce qui est directement perceptible: une note unique, animée d'un léger battement.

Au-delà des quelques dimensions volontairement omises, et malgré la précision de chacune de ces représentations, quelques paramètres demeurent encore indéfinis, qui devront l'être au moment de la réalisation concrète, que celle-ci soit instrumentale ou synthétique. L'amplitude et la forme du tremolo, par exemple, sont indiquées avec trop peu de précision.

être réalisés par l'interprète qui dirige la table de mixage, surtout si celui-ci dispose d'un système multi-pistes. Dans ce cas précis, la partition sert véritablement de moyen de communication pour l'exécutant qui se trouve à la table de mixage, dont le rôle, selon la progression des possibilités de contrôle de l'espace, se rapproche ainsi toujours plus de celui d'un concertiste pur et simple.

#### 4. Dynamique

La dynamique est le type même de dimension qui, par force, nécessite une notation qualitative, la même quantité physique étant perçue de façon extrêmement différente selon la fréquence, l'énergie du son, le contexte musical, etc.<sup>9</sup>. Aucune différence ne vient ici séparer la notation employée pour le piano de celle utilisée pour l'ordinateur.

#### 5. Timbre

Le timbre, qui est indubitablement la dimension dont la notation pose le plus de problèmes, représente aussi la plus neuve et la plus provocante de toutes les dimensions musicales. Considéré comme un attribut perceptif complexe, il est constitué d'un ensemble de paramètres dont l'interaction produit parfois une seule image, et parfois une panoplie d'images d'une richesse et d'une variété fulgurantes. Dans le contexte de *Traiettoria*, j'ai privilégié deux des principales caractéristiques perceptives seulement : d'une part cette capacité à distinguer de nombreuses sources différentes à l'intérieur d'un contexte polyphonique, et, d'autre part, la nature « synthétique » des sources elles-mêmes. Le problème le plus épineux est évidemment celui que pose la segmentation d'un univers continuellement variable au sein d'un ensemble fini d'« objets » sonores dont le comportement peut être à la fois compris, reconnu et analysé. Ainsi m'a-t-il fallu inventer des critères de sélection des sons synthétiques tout à fait arbitraires, et inculquer à chaque objet sa propre personnalité, pour établir finalement son champ d'action, avec ses limites et ses propriétés.

Pour parler des cinq dimensions principales, je n'ai jamais voulu recourir à quelques termes techniques que ce fût, ni décrire le type de machine, d'algorithmes de synthèse ou de programmes utilisés. Ce genre de détails intéresse surtout ceux qui, après avoir étudié la partition, désireraient la réaliser. Je suis pour le moment le seul à m'être interprété moi-même, même si cela n'exclut pas que d'autres versions puissent également exister. La machine, les programmes, et jusqu'aux algorithmes eux-mêmes... tout change et évolue. Fixer les paramètres de contrôle une fois pour toutes équivaudrait à vouloir en empêcher l'évolution, ce qui serait d'ailleurs voué à l'échec. Étant donné la rapidité des progrès actuels, il faut savoir que tout document de ce type est, au moment même de sa parution, déjà daté. Et comme seul compte, finalement, le résultat musical, n'importe quel algorithme de synthèse peut donc être utilisé. C'est la plupart du temps une simple question de précision de contrôle.

9. Dans le monde ascétique des sons sinusoïdaux, et à un niveau extrêmement éloigné de la pratique musicale habituelle, les différences perceptives qui dépendent avant tout des propriétés mécaniques de l'oreille ont été qualifiées avec précision. Mais, au degré de complexité le plus haut, tout, ou presque, demeure encore mystérieux. La détermination automatique du poids dynamique réel d'un son synthétique inscrit dans un contexte musical particulier reste toujours l'un des problèmes les plus ardus de la musique informatique.

De l'ordinateur à la partition publiée, le passage progressif des données réclame un effort intellectuel considérable. Mais ce cheminement menant de détails concrets à un matériau toujours plus abstrait m'a également permis d'aboutir à une connaissance plus grande de son organisation.

#### IV. Les choix concrets

Les critères généraux que pose la problématique d'une transcription étant désormais définis, je voudrais maintenant examiner, dimension après dimension, les solutions spécifiques que j'ai utilisées dans TD<sup>10</sup>.

##### 1. Rythme et durée

J'examinerai tout d'abord ce type d'écriture rythmique libre s'appuyant à des pivots précis mais isolés dont j'ai parlé au cours de la section précédente. Le point de contact le plus sûr entre le piano et l'ordinateur est assuré par une « portée temporelle » spécifique (Fig. 4). Exprimé en secondes, le temps peut être placé à divers endroits de la règle elle-même : placé au centre, il exprime une synchronisation directe et obligée entre les deux instruments (Fig. 4a) ; placé en haut (Fig. 4b) ou en bas (Fig. 4c), il ne concerne à l'inverse que, respectivement, l'ordinateur ou le piano.

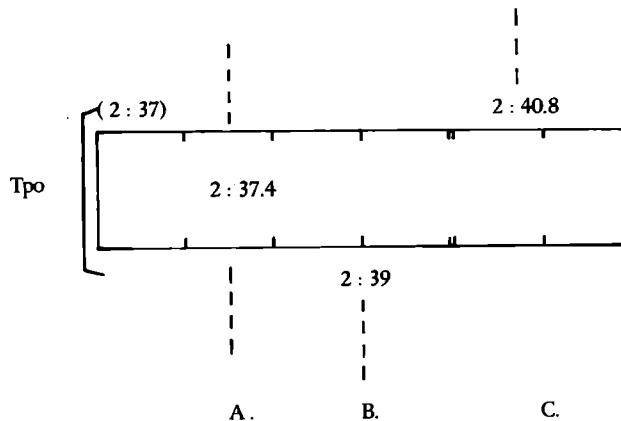


Figure 4. Portée temporelle (a: synchronisation piano/ordinateur; b: piano solo; c: ordinateur solo).

L'emploi des secondes plutôt que tout autre signe de durée conventionnel permet de démarquer ce type de notation de celui qui sera défini un peu plus bas. Il s'agit pourtant là encore d'une écriture somme toute très relative : il suffit en effet que la vitesse de déroulement du magnétophone soit modifiée pour qu'à leur tour, toutes les valeurs s'altèrent légèrement<sup>11</sup>. Pourtant, lorsque la

10. Il est important de souligner une fois de plus que ces solutions sont surtout appliquées à TD. Comme on le verra plus loin, la transcription de *Dialoghi* et de *Contrasti* comporte un développement important des principes exposés ici.

11. Ce déplacement est minime, mais ne peut pas être négligé et empêche a priori une exécution chronométrée. Par exemple, une bande enregistrée avec un *la* à 440 Hz et diffusée après avoir été accordée avec un *la* à 442 Hz entraîne, au bout de dix minutes, une anticipation de 2,7 secondes.

technologie permettra de mettre en place une exécution en temps réel, cette notation servira encore à fixer certaines proportions globales. Même dans le cas où les choix finaux pourraient être déterminés au moment même du concert, la synchronisation pourra toujours être parfaite là où c'est nécessaire.

Il est d'ailleurs toujours possible, indépendamment de toute question de synchronisation, de marquer d'un simple chiffre les éléments les plus importants pour la perception ou pour la structure compositionnelle, ou encore de les mettre soudain en évidence ou d'en faciliter la découverte à qui analysera la pièce.

Le second cas concerne la notation de rythmes pulsés à une certaine rapidité métronomique. Pour différencier ce cas-ci du précédent, surtout lorsqu'ils se présentent tous les deux simultanément, je l'ai isolé en l'enfermant dans un rectangle rattaché au flux temporel continu (Fig. 5) avec, marquée en son début, une indication en secondes<sup>12</sup>. Doté d'une vitesse d'écoulement autonome, libre de tout rapport avec les autres éléments qui l'entourent, celui-ci constitue ainsi un plan distinct et indépendant<sup>13</sup>.

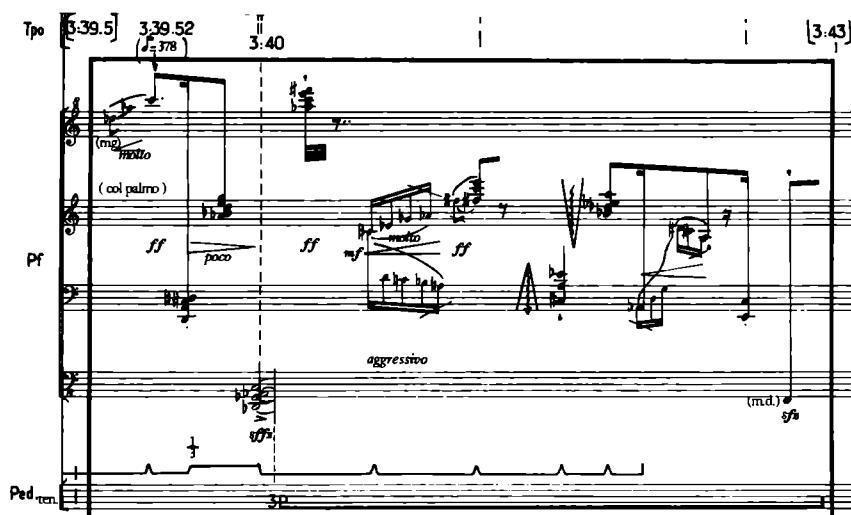


Figure 5. Exemple d'un rythme pulsé à une certaine rapidité métronomique.

## 2. Hauteur

Pour marquer le rapport existant entre hauteur et échelle, j'ai utilisé une « portée » à trois lignes marquée, selon le cas, d'une clef de *sol* ou d'une clef de

12. L'intervention de ce symbole spécifique à l'intérieur d'une situation classique est à mon sens justifiée du fait que son emploi est moins fréquent que ne l'est celui de l'écriture rythmique libre.

13. Le rythme est pulsé, mais non mesuré. Les barres de mesure sont rarement employées, si ce n'est pour des raisons pratiques, comme c'est le cas avec la longue pédale rythmique du début de *Dialoghi*.

*fa* (Fig. 6). Les trois lignes de cette portée correspondent aux première, troisième et cinquième lignes de notre portée traditionnelle, les clefs étant là pour définir l'étendue fréquentielle. Quatre portées de ce type suffisent à couvrir l'ensemble

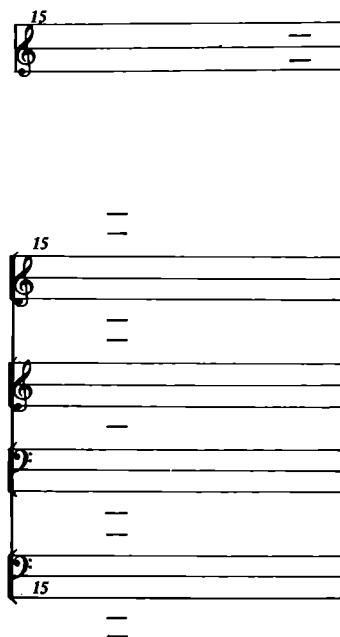


Figure 6. Portée à 3 lignes pour la hauteur (a : étendue maximum).

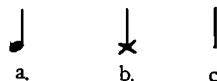
de l'espace musicalement utile<sup>14</sup>. Leur définition est assez approximative pour donner une idée du registre d'un événement sonore quelconque, sans que l'écoute ne se polarise sur une note trop précise<sup>15</sup>. Dans ce contexte, une échelle de fréquences en herz, en plus d'être excessivement détaillée, serait également incorrecte, du fait de l'accord avec le piano. Il n'y aurait par exemple aucun sens à spécifier «327.4 Hz», puisque cette valeur ne peut être reproduite avec exactitude. Une portée classique, incluant éventuellement les altérations

14. Les sons d'une fréquence inférieure à environ 20 Hz ne sont pas perceptibles. Les sons sinusoïdaux d'une fréquence de 5 à 15 kHz sont quant à eux bien perceptibles, mais ils sont dépourvus de toute signification musicale: une succession de sons de ce genre n'entraîne en effet aucune impression mélodique. Les intervalles n'étant pas perceptibles à ces fréquences-là, la transposition en devient impossible. Ces limites correspondent grossièrement à l'extension maximale d'un orchestre symphonique (cf. Moore 1982: 121).

15. Peu de personnes sont d'ailleurs habituées à relier des fréquences notées en Hz au registre musical auquel elles appartiennent. Dans la majeure partie des cas, «1362 Hz» n'a guère de signification concrète et ne donne bien souvent aucune idée de la région qui, sur l'étendue d'un clavier de piano, par exemple, peut lui correspondre. A l'inverse, un symbole placé un peu au-dessus de la première ligne de la portée à trois lignes la plus aiguë est beaucoup plus clair et semble être plus simple et plus immédiat.

microtonales, aurait quant à elle quelque chose de trop traditionnelle et rendrait, qui plus est, difficile une écoute libre de tout tempérament. Même s'ils expriment l'un et l'autre le même événement sonore, une hauteur placée entre les deux premières lignes d'une portée à trois lignes et un *la bémol* abaissé d'un sixième de ton ne correspondent pas à la même idée compositionnelle. Il suffit d'ailleurs de rajouter les deux lignes manquantes pour indiquer avec exactitude n'importe quelle note tempérée (Fig. 6a). Dans l'équilibre délicat qui relie tradition et nouveauté, cette portée spécifique semble posséder les qualités de compromis et de flexibilité idéales.

En ce qui concerne le «centrage» de la note, j'ai arbitrairement divisé l'écart de perception en trois régions différentes, auxquelles correspondent autant de symboles (Fig. 7):



*Figure 7. Différents «centrages» de hauteur (a: fort; b: médiocre; c: faible ou nulle).*

1. Forte sensation de hauteur, bien centrée, indépendamment du contexte<sup>16</sup> (Fig. 7a);
2. Sensation de hauteur médiocre et plus ou moins variable selon le contexte (Fig. 7b);
3. Sensation de hauteur faible ou nulle (Fig. 7c).

Appliquée à la force perceptive d'un son, cette division l'est aussi à sa valeur compositionnelle. Les principes architectoniques, toujours très importants structurellement même si leur audition est parfois difficile (comme c'est par exemple le cas des notes pivots d'un cluster), sont donc notés selon les mêmes critères que ce qui est immédiatement perceptible.

### *3. Espace*

La version des sons d'ordinateur de TD actuellement disponible est enregistrée sur une bande magnétique deux pistes. A l'intérieur de l'espace stéréo le mouvement des sons est donc fixe. Et même s'ils y ont été scrupuleusement composés, cette solution est toute temporaire, étant limitée par des contraintes technologiques qui seront bien vite dépassées. C'est pour cela que je n'ai pas cru bon d'en rendre compte sur la partition.

En ce qui concerne l'exécution en concert, j'ai au contraire défini un espace qui varie à l'intérieur de deux volumes extrêmes : un volume «contracté», d'une part, centré autour du piano et géré par une enceinte posée sous l'instrument et dirigée vers le haut, de manière à être en contact direct avec la table d'harmonie; et, d'autre part, un volume «expansé», enveloppant autant que possible le public. L'évolution de ces deux espaces est notée sur une autre portée à trois lignes (Fig. 8): les deux lignes supérieures correspondent au volume «expansé» — la première pour le côté droit de la salle et la seconde pour le

16. Une sensation de hauteur précise ne signifie pas nécessairement que la fréquence soit constante. Habituellement, un son centré est toujours associé à une légère fluctuation d'amplitude et de fréquence (tremolo, vibrato), perçue comme une qualité expressive.

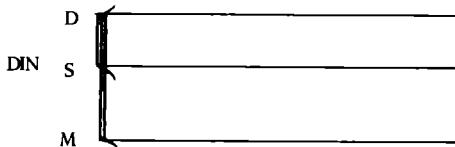


Figure 8. Portée à 3 lignes pour l'espace.

gauche —, et la troisième ligne au volume « contracté ». Ainsi peut-on, avec quelques indications de dynamique simples et quelques symboles traditionnels, articuler les sons synthétiques dans l'espace créé par ces deux volumes extrêmes. Malheureusement, un phrasé assez fin pour mettre en relief les accents, les petits crescendi ou pour rendre les expressions du type « sombre », « lointain », « brillant », « cristallin », etc., est à peu près impossible encore, eu égard aux moyens dont nous disposons aujourd'hui.

#### 4. Dynamique

Une véritable interprétation des dynamiques et du phrasé indiqués est certainement le problème le plus épineux que pose *Traiettoria*. En tout et pour tout lié au contrôle des moyens technologiques, c'est aujourd'hui encore un problème pratiquement insoluble qui demande à celui qui commande la table de mixage un effort créatif énorme pour arriver finalement à des solutions tout juste acceptables. Un véritable abîme sépare la qualité des nuances notées de ce à quoi il est pratiquement possible de parvenir. Le relief dynamique des sons enregistrés est encore trop plat et la marge permettant une véritable concertation en directe entre les deux interprètes est extrêmement réduite. Pour le musicien qui s'attaque à l'interprétation de cette pièce, une telle contrainte est souvent humiliante.

#### 5. Timbre

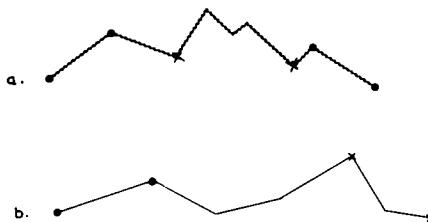
Dans les partitions traditionnelles, une correspondance directe lie toujours l'instrument perçu à la source sonore et aux dispositions qui existent sur le papier. Dès que l'oreille distingue une source, elle l'identifie à l'instrument concret qui s'y rapporte. A cet instrument correspond une portée, laquelle se trouve placée à un endroit précis de la partition, au côté d'autres instruments bien définis. Dans la disposition traditionnelle, les instruments sont regroupés par familles : bois, cuivres, percussions et cordes. A l'intérieur de chaque famille, le classement se fait de l'instrument le plus aigu à l'instrument le plus grave. Or, pour retrouver la portée d'un instrument qu'on ne parvient pas à identifier précisément tout en reconnaissant la famille, il suffit de parcourir simplement le système de la famille en question, d'où un gain de temps non négligeable. Dans un certain contexte, des violoncelles jouant dans le registre aigu risquent davantage d'être confondus avec les violons ou les alti (les portées étant proches) qu'avec les trompettes ou les hautbois (les portées étant davantage éloignées). Nos partitions traditionnelles sont donc conçues de telle façon qu'elles renforcent la segmentation des sources et facilitent davantage la dimension analytique de l'écoute que la dimension synthétique. Parvenir à imaginer de quelle manière l'ensemble sonnera au bout du compte, suppose naturellement une certaine expérience.

Je me suis inspiré des mêmes principes pour la transcription des sons

d'ordinateur de TD. J'ai tout d'abord défini quelques sources sonores arbitraires et virtuelles — elles ne correspondent en effet à aucun instrument concret — que j'ai placées à un endroit déterminé de la partition. Par définition, une source sonore est appelée « groupe ». Elle possède un caractère propre et fonctionnel, une « qualité » unique et caractéristique, clairement perceptible et identifiable à l'oreille. En suivant l'analogie du début, la qualité distinctive d'un groupe peut être comparée à celle d'une famille instrumentale classique. Malgré les transformations dont celle-ci peut être sujette, la perception de ce caractère spécifique doit être immuable et doit toujours rester évident d'un bout à l'autre de la pièce. Pour les instruments traditionnels, ce sont les caractéristiques physico-mécaniques qui ne sont l'objet d'aucun changement et qui, par conséquent, produisent un type de son — et, plus encore, d'articulation — qu'on ne saurait confondre avec aucun autre. A l'inverse, avec les sons synthétiques, il est indispensable de trouver un autre niveau de définition pour assurer autant que possible la stabilité perceptive interne d'un groupe et sa segmentation par rapport au contexte musical. De même que toute famille instrumentale peut se composer de plusieurs instruments différents, chaque groupe peut en outre être également subdivisé. Naturellement, l'appréciation de cette éventuelle subdivision ne peut guère survenir qu'en second lieu, après que l'écoute se sera familiarisée avec le comportement sonore caractéristique d'un groupe déterminé. Il est nécessaire qu'une capacité de distinction plus sophistiquée et une plus grande sensibilité aux petites particularités et aux diverses nuances d'articulation viennent aiguiser la perception.

Pour transcrire les sons d'ordinateur de TD, j'ai employé trois groupes principaux, identifiés chacun par les lettres A, B et C. A chaque groupe sont associés un ou plusieurs symboles spécifiques qui utilisent à leur tour les conventions décrites pour les autres paramètres.

En voici les définitions :



*Figure 9. Groupe A (a: glissandi percussifs; b: glissandi non percussifs).*

*Groupe A* : Sons mobiles et assez rapides ; glissandi de tout genre et de toute extension, sans limite de registre (Fig. 9). Toutes les notes ne sont pas transcrites, ni leur contenu spectral ; seuls le sont les changements de direction importants. Bien qu'il n'y ait aucune autre subdivision interne, la notation permet de distinguer les glissandi percussifs et discrets tels qu'en obtiennent, par exemple, les instruments à clavier (Fig. 9a), des glissandi non percussifs et continus tels qu'en produisent les instruments à cordes (Fig. 9b). Il suffira de modifier légèrement le signe pour traduire n'importe quelle phase intermédiaire.

Quelles sont les qualités spécifiques qui confèrent à ce groupe son caractère unitaire et distinct de tout autre ? Sans avoir la prétention d'en dresser ici la liste exhaustive, il est clair que certains aspects morphologiques jouent un rôle

déterminant: dans ce contexte, le glissando en question est traité comme un geste global composé de plusieurs fréquences en perpétuel mouvement qui procèdent par segments et se succèdent assez rapidement. Un embryon de microforme musicale émerge déjà de cette description sommaire, microforme dont les particularités certes restent à être définies, mais qui est malgré tout suffisamment détaillée pour pouvoir être apprise, développée et déformée. Cette forme, avec ses contours et ses « limites », dessine un objet unique et complexe, doté de son propre « champ gravitationnel » perceptif. Sa « compréhension » permet la « reconnaissance » de nouvelles « instances » dérivées, sans qu'il soit pour cela nécessaire de les avoir déjà entendues auparavant. Les limites d'une forme peuvent davantage être considérées comme des seuils relatifs et variables en fonction du contexte, que comme des valeurs absolues. Le franchissement de l'une d'entre ces limites (la vitesse de succession des fréquences peut, par exemple, être excessivement ralenti) atténue la limpidité morphologique du groupe et, sans aller pour autant jusqu'à le détruire totalement, rend malgré tout sa stabilité perceptive beaucoup plus ambiguë. A ce niveau, le contexte musical est déterminant: une altération extrême d'une seule limite ou une légère altération de plusieurs d'entre elles — et d'une telle façon que la « force déformante » totale demeure constante — ne produit pas du tout le même résultat.

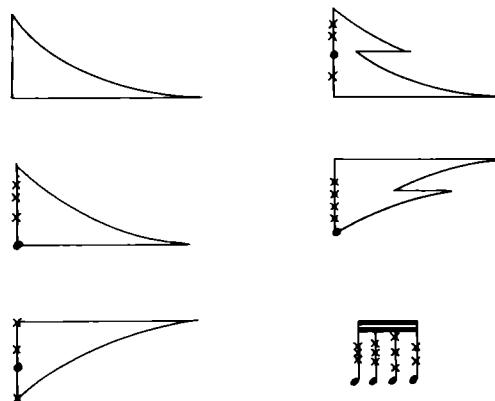
Il est de plus nécessaire de considérer la « direction » et la « vitesse » de la déformation. Imaginons qu'un groupe sonore soit représenté par un certain objet discret en évolution dynamique dans un « espace morphologique ». Cet objet est trop varié pour être saisi en entier dès le premier coup d'œil. Une certaine perspective doit être établie, qui engendrera de toute façon une forme déterminée: si la perspective change, alors la forme changera également. Chaque angle de vue met telles particularités d'un objet en évidence, tandis qu'elle en cache d'autres, conditionnant ainsi la perception qu'on en aura. Certains détails sont vus « de face ». Toute modification de ceux-ci saute immédiatement aux yeux: les limites sont étroites et parfois absolues. D'autres détails sont vus « de côté ». Les transformations dont ils seront l'objet se révéleront difficilement, la perspective s'y prêtant peu: les limites sont relatives. D'autres détails encore sont « cachés ». Dans cette perspective, leur déformation, pour peu qu'elle ne soit pas excessive, n'influera en rien sur leur perception. Naturellement, la « rigidité » et la « résistance » du matériau qui constitue l'objet, ainsi que la netteté de ses contours et la quantité et l'orientation de la lumière à laquelle il se trouve exposé, exercent une influence réciproque qui n'est pas négligeable.

Franchir une limite entraîne donc, dans une certaine direction, une « déformation » perceptible de l'objet dans l'espace morphologique. Loin d'être linéaire, cet espace, se courbe sous l'action des « champs gravitationnels » plus ou moins puissants qui accompagnent chaque objet. Si la déformation d'un champ croise un autre champ, le premier objet deviendra aussitôt ambigu, perdra sa stabilité perceptive et pourra même être finalement attiré par le nouveau champ, duquel il deviendra ainsi un « satellite ». A l'inverse, tant que cette déformation se dirige vers des régions vides et encore inexplorées, la perception de l'objet résiste davantage à l'influence de l'entourage et ne varie plus aussi facilement.

Ainsi cet espace morphologique est-il livré à l'action d'objets sonores en tous genres. Quoiqu'il soit déjà passablement complexe, c'est à ce niveau seulement qu'il est possible de reconnaître l'identité d'un objet synthétique. Son

insertion dans l'espace permet d'en décrire toutes les nuances perceptives, de les combiner entre elles et de les développer. Quant au rapport qu'un groupe entretient avec ses éventuelles subdivisions, il est comparable à un changement d'échelle. A une certaine distance, seules quelques particularités macroscopiques sont perceptibles, l'image auditive de l'objet étant alors plutôt floue et globale. Mais, en s'approchant un peu plus, la définition s'améliore et des nuances formelles, ténues mais importantes, apparaissent bientôt, tandis que l'écoute s'affine et devient par là même plus exigeante.

L'impossibilité de définir un objet sonore stable à un niveau plus élémentaire, et l'obligation de considérer plutôt la forme globale — générée par l'interaction simultanée de multiples dimensions — que quelques-uns seulement de ses aspects isolés s'accordent à la nature même du moyen utilisé : l'ordinateur. Les instruments traditionnels définissent un certain « répertoire » sonore, à la fois indiscutable et stable. Avec l'ordinateur, ce même répertoire est déjà le résultat d'un acte « micro-compositionnel » — acte aussi varié qu'imprévisible et qu'il n'est pas possible de définir une fois pour toutes. C'est pourquoi il est impossible de parvenir à une description satisfaisante du timbre des sons générés par ordinateur : les bases mêmes de cette stabilité font en effet défaut, comme le prouvent les diverses tentatives mort-nées — ou demeurées sans suite — qui en ont déjà été tentées. En réalité, il faut tourner nos regards ailleurs : dans l'espace morphologique, la stabilité est par définition assurée à un degré en vérité plus complexe : le degré minimal capable d'engendrer l'image d'une forme.



*Figure 10. Groupe Ba, différentes notations.*

*Groupe B:* Sons percussifs isolés, sans limite de registre, de complexité ou de densité. Leur comportement distinctif leur est principalement conféré par l'enveloppe d'amplitude percussive et par leur articulation prises en tant que sons indépendants, avec une résonance très riche. Avec le groupe A, c'était à l'inverse la direction du geste qui prévalait sur la perception de chaque événement. Le symbole utilisé donne autant d'informations sur le contenu spectral que sur le profil de l'enveloppe d'amplitude. Ce groupe est subdivisé en deux sous-groupes :

*Sous-groupe Ba:* Sons le plus souvent inharmoniques, plutôt purs, légers,

délicats, peu denses, d'une faible teneur en bruit, évoluant dans un registre médium-aigu (Fig. 10).

*Sous-groupe Bb:* Sons plus denses, plus riches et plus complexes que ceux du sous-groupe précédent, dont la fréquence fondamentale se situe dans un registre médium-grave, mais qui résonnent dans un registre médium-aigu. La perception de la fondamentale varie considérablement en fonction du contexte et du type de sons auquel on a affaire, quand elle n'est pas tout à fait inaudible (Fig. 11). Le symbole met d'abord en évidence le centrage plus ou moins clair de la fondamentale et, éventuellement, les régions de résonance les plus importantes, ainsi que l'enveloppe d'amplitude.

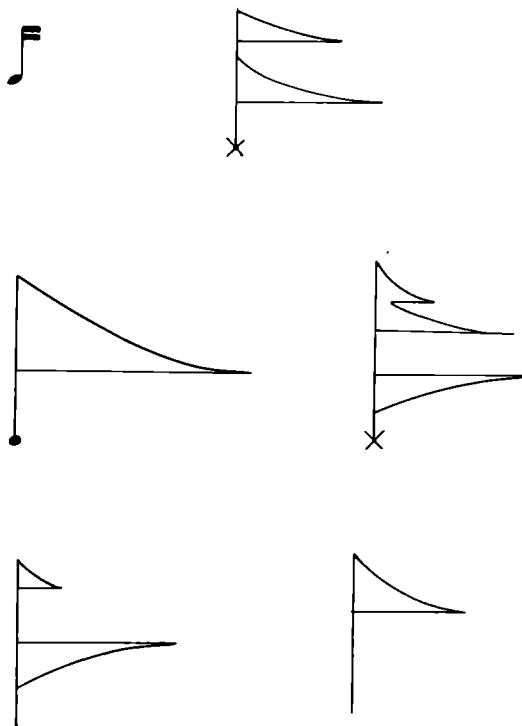
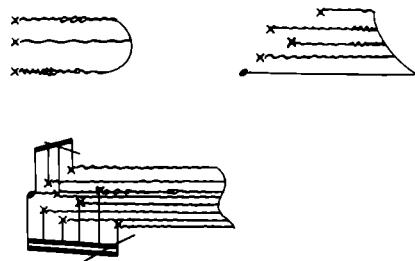


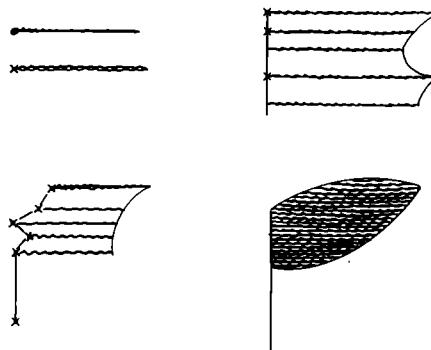
Figure 11. Groupe Bb, différentes notations

*Groupe C:* Bandes sonores longuement tenues, non percussives, sans limite de registre ni de densité. Ce groupe est lui aussi subdivisé en deux sous-groupes, selon les mêmes principes que le groupe B (Fig. 12).

Enfin, indépendamment de leur appartenance à tel ou tel groupe, une caractéristique commune relie tous les sons, qui relève de la quantité et de la qualité des variations expressives continues, telles que le vibrato et le tremolo.



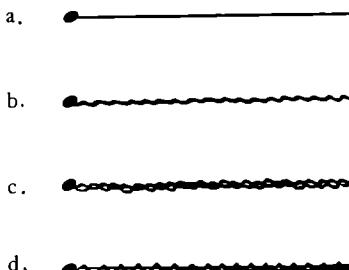
a.



b.

*Figure 12. Groupe C, différentes notations (a: Ca; b: Cb).*

De même que pour une interprétation classique, chaque son doit toujours être légèrement vibré. En revanche, l'absence de toute variation expressive est explicitement demandée. Il arrive que leur quantité et leur évolution temporelle soient parfois indiquées plus précisément encore par l'ajout d'une ligne ondulante qui accompagne le son jusqu'à son extinction. La forme, l'amplitude et la fréquence d'oscillation déterminent grosso modo la « quantité » de trémolo ou de vibrato nécessaire, et, par conséquent, le caractère même du son (Fig. 13).



*Figure 13. Modulation de la densité d'un son simple (a : modulation absente ; b : peu de modulation ; c : beaucoup de modulation ; d : modulation extrême, quasi-cluster).*

Malgré l'arbitraire qui la fonde et malgré son caractère un peu sommaire, cette subdivision permet cependant d'exprimer la composition interne d'un son avec une précision de détail importante. Il est certain qu'il serait facile de transformer un groupe en un autre groupe: un glissando peut, par exemple, ralentir et mettre à nu la structure interne de chacun de ses composants, de même qu'un son percussif peut avoir une résonance longue et élaborée au point de se transformer en bande sonore. Mais, dans ce cas, j'ai préféré indiquer la modulation de timbre de façon explicite et passer d'un groupe à l'autre, par un fondu-enchaîné, plutôt que de pervertir le comportement spécifique de l'un d'entre eux.

Tout comme la notation classique, cette notation-ci privilégie l'écriture analytique. Nul doute qu'il faille un certain temps d'apprentissage avant de parvenir à imaginer le résultat sonore à la simple vue d'une partition écrite à l'aide de cette notation. Mais cela n'en est pas pour autant impossible. Cependant, tout ce qui «se voit» ne peut pas être «entendu» avec la même clarté, et ce non seulement en raison des limites imposées par la technologie et la réalisation, mais aussi parce que le contexte musical influe beaucoup lui-même sur le résultat global et sur le «poids spécifique» de chaque son.

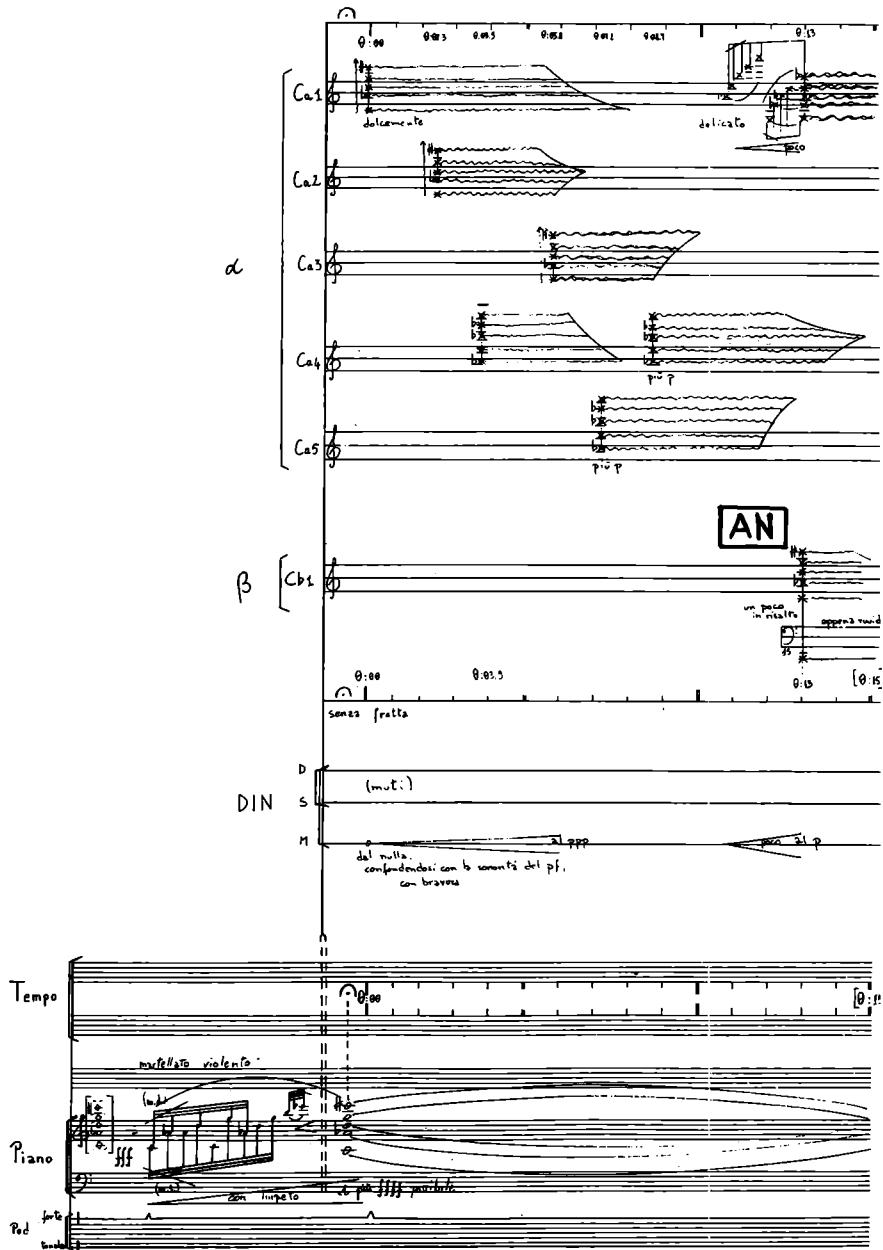
La disposition des groupes sur la partition suit l'ordre alphabétique — le groupe A en tête et le groupe C en queue. D'éventuelles copies de la même source sonore sont suivies d'un numéro progressif — par exemple: Ba1, Ba2, etc.

Tous les sons de TD sont issus de ces cinq catégories de base, regroupées en trois familles. Cependant, à l'écoute, la variété sonore semble parfois plus importante, au point qu'on parvienne à repérer souvent plus de cinq qualités nettement différentes. Pour examiner ce phénomène, il est nécessaire d'affiner la notation: lorsque plusieurs sources sonores élémentaires dessinent une idée musicale unique et simplement plus complexe et plus articulée qu'une autre, les lignes qui correspondent aux différentes sources sont reliées entre elles par une barre verticale, formant ainsi un système unique précédé d'une lettre grecque, que j'appellerai «code». Isolé du contexte qui l'entoure, le «comportement» musical cohérent de ces sources est mis ainsi en évidence.

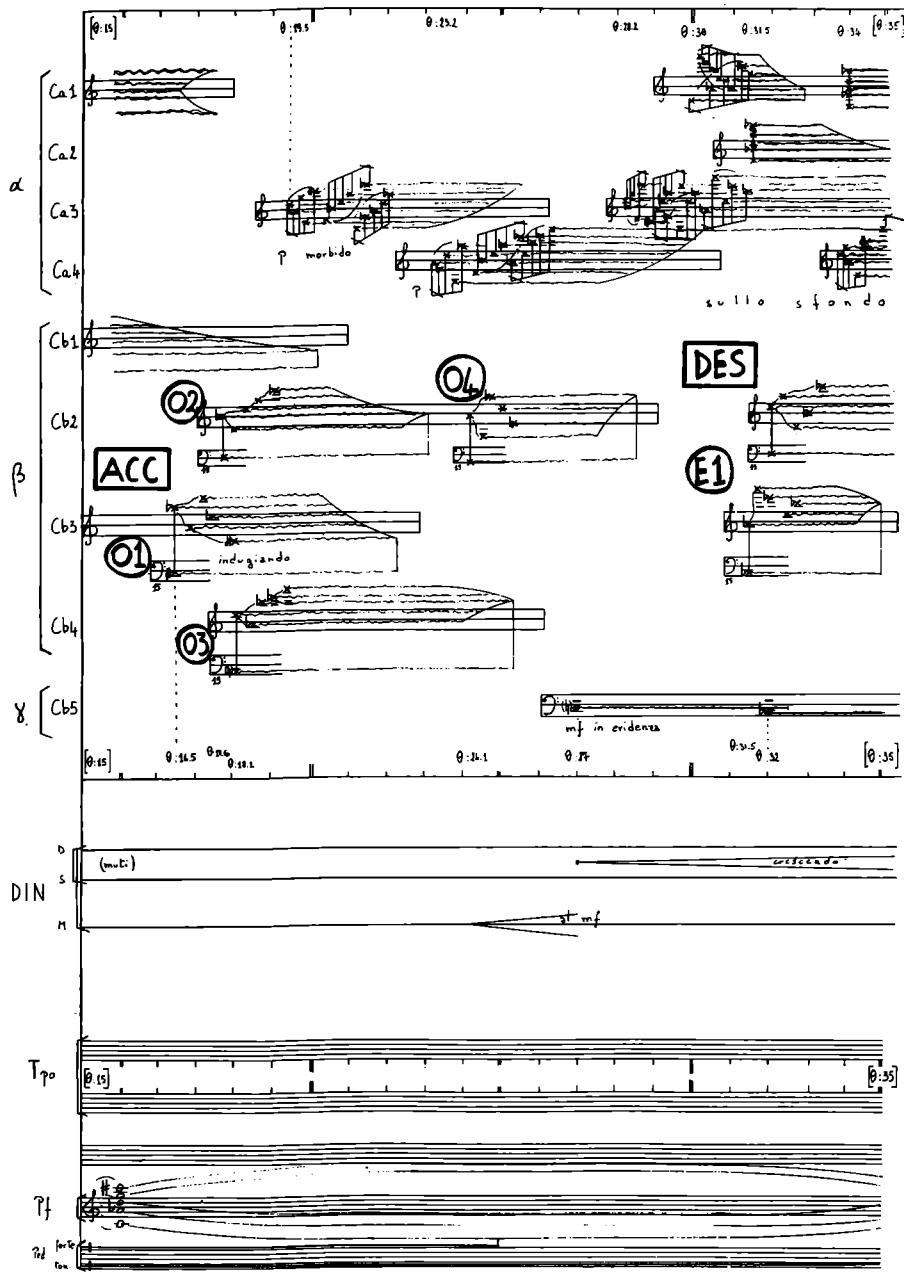
Le recours à ces codes permet de mettre en place un autre niveau d'organisation des divers éléments sonores et dégage une nouvelle perspective — et, partant, un pouvoir d'expression de beaucoup supérieur. Dans TD, l'emploi de ces codes, quoique suffisant au regard de la relative complexité du matériau mis en jeu, est encore sporadique. Comme on le verra plus loin, le développement complet de leur potentialité est l'une des extensions les plus significatives de cette notation, que la transcription des autres pièces du cycle rend indispensable.

## V. Un peu d'analyse

Même si je voulais n'examiner que les principes qui fondent la composition du son de TD sans m'attarder aux rapports que ces principes entretiennent avec la structure globale de la pièce, je m'éloignerais passablement des objectifs que je me suis fixés pour cet article. Je me limiterai donc à analyser quatre cas isolés, que je considérerai principalement sous l'angle de la notation et de ses possibilités, la notation étant prise ici comme base indispensable au développement d'une technique d'écriture.



**Figure 14.** Ordinateur solo, première minute complète, © G. Ricordi & Co. Reproduit avec l'aimable autorisation de l'éditeur.



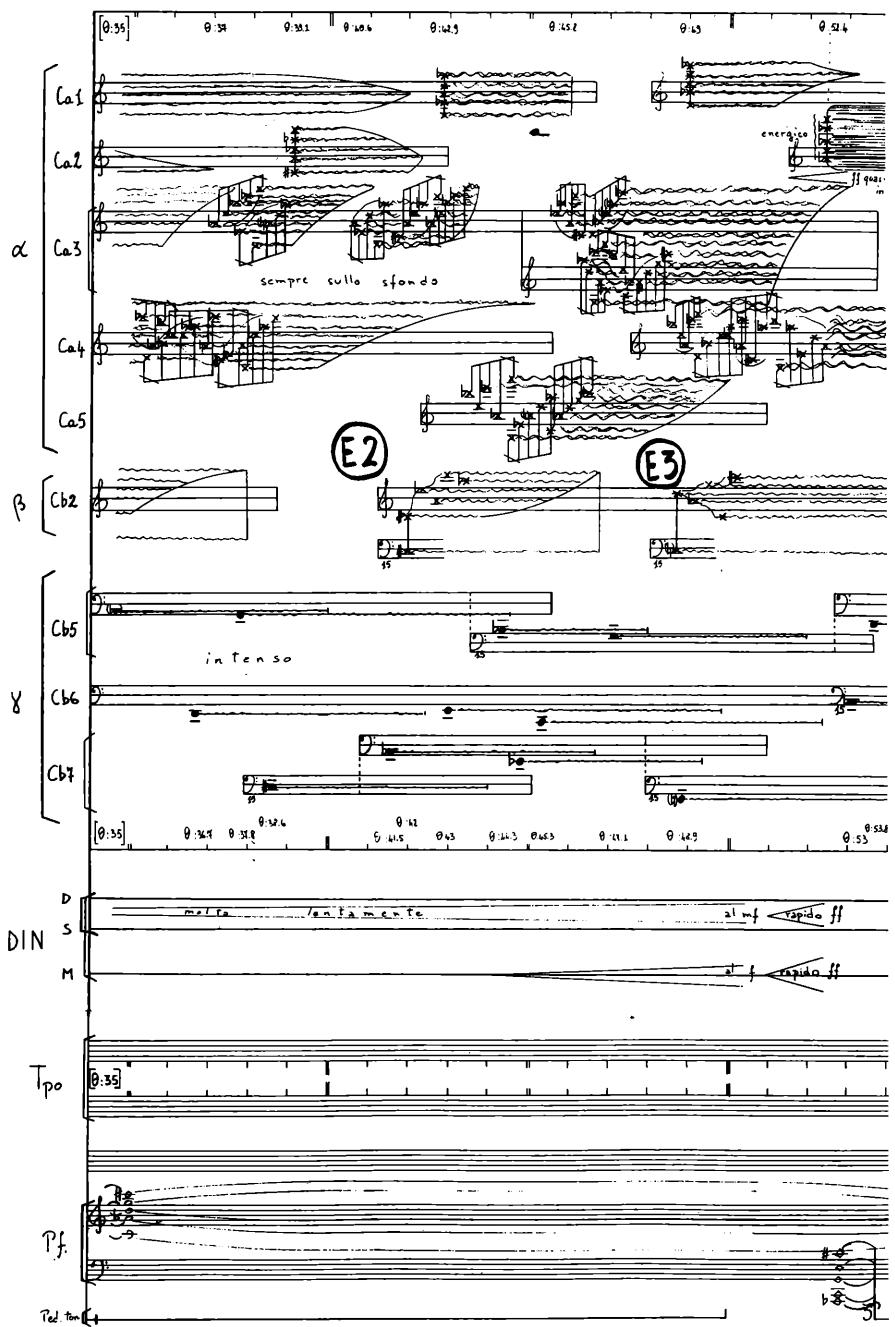


Figure 14 (suite).

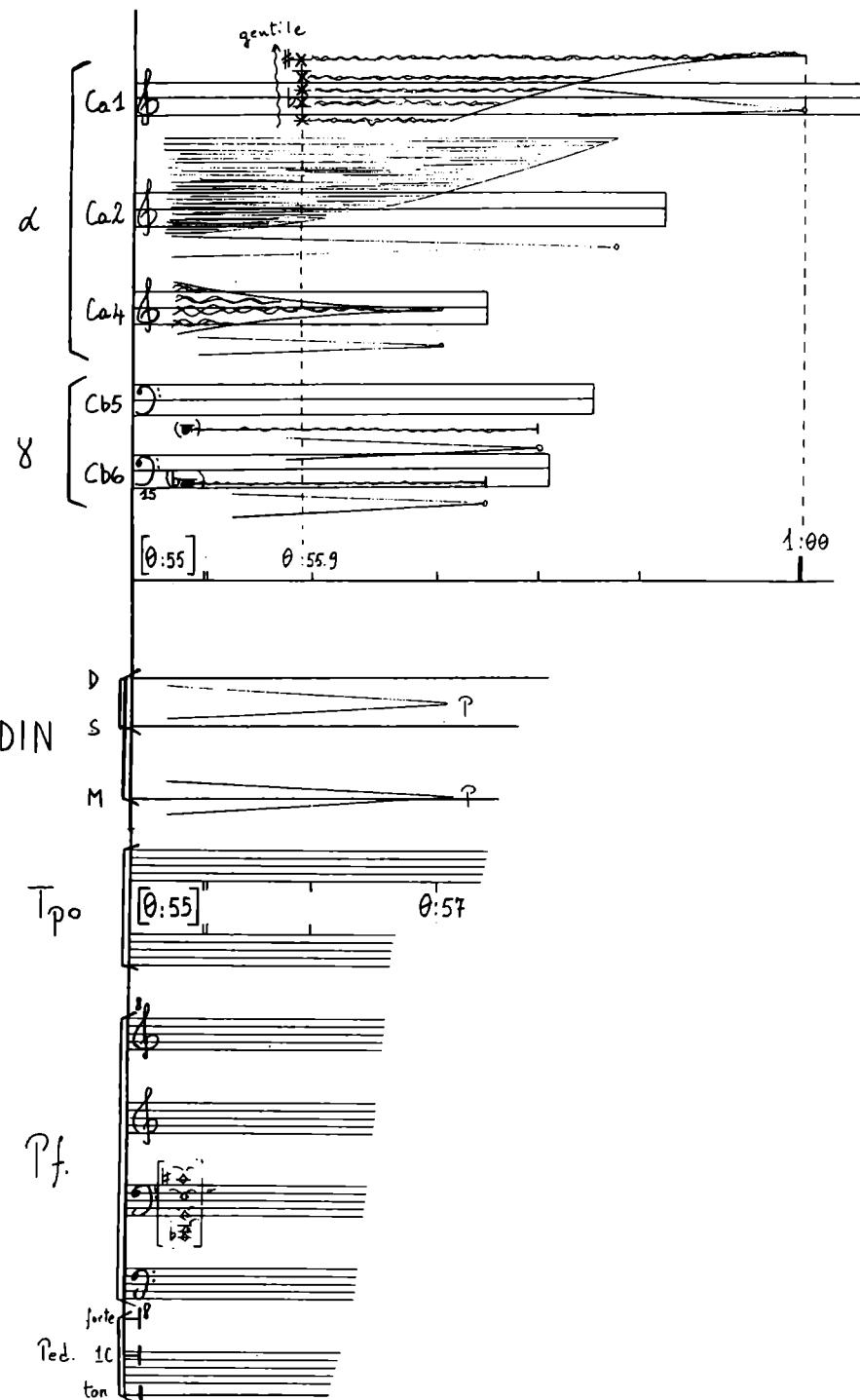


Figure 14 (suite).

Au premier regard, la pièce suit une forme tri-partite :

1. Piano solo : proposition ;
2. Ordinateur solo : réponse ;
3. Piano et ordinateur : dialogue.

La troisième partie peut être subdivisée en trois sections légèrement superposées. La première des trois sections (0:57-2:17) fait alterner antiphoniquement trois fois de suite un épisode formé de sons percussifs — soutenus dès la seconde reprise par certains sons graves du groupe Cb — et un glissando lui-même toujours plus percussif. La seconde (1:57-2:57) utilise trois structures rythmiques fixes pour travailler le spectre de certaines notes graves du piano, et de façon à chaque fois plus complexe. Enfin, la troisième section combine certains éléments des deux premières — sont percussifs, couches sonores, glissandi, rythmes pulsés au piano plutôt qu'à l'ordinateur, etc. —, auxquels viennent s'ajouter deux points culminants, le premier à 3:18.5 — suivi d'une désinence longue et complexe — et le second à la fin, après une préparation élaborée qui commence dès 3:32.

### *1. Ordinateur solo : première minute (Fig. 14)*

Il serait difficile de commencer cette analyse par un autre fragment que celui qui, certainement, est l'un des plus significatifs : l'entrée des sons synthétiques, qui se dissolvent imperceptiblement dans la résonance du piano. Prenant la résonance du piano pour ainsi dire «par la main», les sons synthétiques la soutiennent d'abord et la portent finalement à la découverte d'un univers inconnu. Cette sorte de «point de chute» de l'introduction pianistique est l'un des moments cruciaux de la pièce : c'est dans cette introduction, en effet, que chacun des cinq sons qui forment le complexe de base de TD se révèle peu à peu, d'abord note après note, puis par notes superposées. Sans même prétendre dresser le catalogue de toutes les possibilités que lui offre son instrument, le pianiste atteint très vite les limites de contrôle de celui-ci et doit céder la place à l'ordinateur, lequel développe alors principalement la densité de l'accord, transformé peu à peu en un vaste timbre inharmonique<sup>17</sup>. Le fondu n'est pas inscrit dans la bande magnétique elle-même ; sa réussite dépend donc absolument de l'habileté dont fera preuve l'exécutant qui se trouve aux commandes de la table de mixage. Ce passage est l'un de ceux qui, d'une exécution à l'autre, doivent être répétés avec le plus de soins.

La structure de cet exemple est assez complexe, mais son trajet est immédiatement perceptible : partant d'une couche sonore délicate qui ne contient que les notes de la résonance du piano, il aboutit au cluster de 0:52.4, lequel enveloppe tout et atténue l'élan du développement. Le matériau fréquentiel de référence dérive exclusivement des cinq sons de base (Fig. 15, A) et des quatre transpositions (Fig. 15, B-E) que ceux-ci fournissent. Il est employé à l'intérieur d'une version «d'accords» ou «de timbres», suivant le degré de fusion du résultat perçu.

---

17. Le passage de la perception d'un accord à celle d'un timbre dépend de la quantité et de la cohérence des informations contenues dans le complexe sonore. Toute tentative d'explication est extérieure aux objectifs que je me suis fixés. L'idée m'en a été inspirée par l'exemple N° 550 du catalogue de Jean-Claude Risset, où ce dernier transforme un arpège en une sorte de gong (cf. Risset 1969).

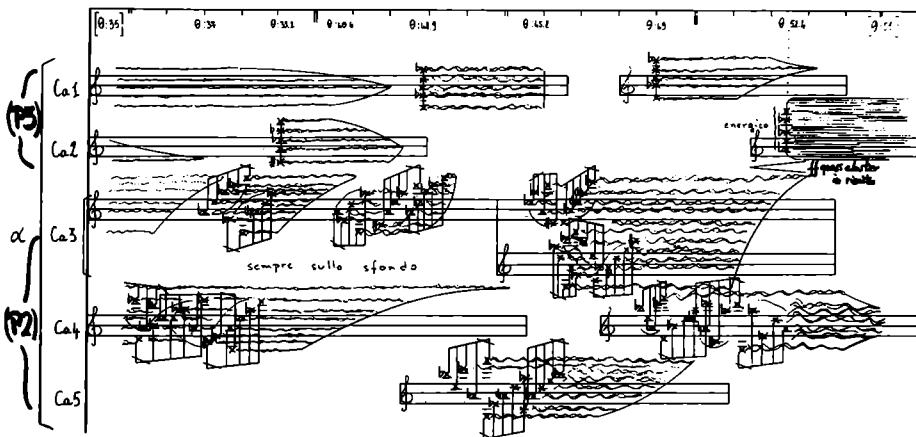
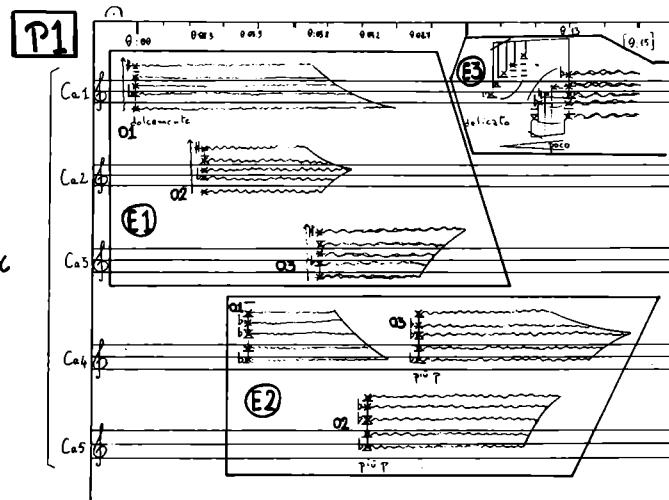


Figure 15. Matériau fréquentiel de base (A : original; B-E : transpositions).

Les codes alpha ( $\alpha$ ), bêta ( $\beta$ ) et gamma ( $\gamma$ ) désignent chacun des trois types de comportement sonore — appartenant tous au groupe C — qui composent les couches de ce crescendo progressif. Le « volume spatial », d'abord seulement localisé sous le piano de manière à interférer physiquement avec l'instrument acoustique, se déploie peu à peu et se projette vers l'extérieur, jusqu'à envelopper totalement le public. Chacun de ces trois codes suit sa propre « trajectoire » perceptive : alpha, qui se trouve d'abord en relief, glisse ensuite vers le fond, libérant ainsi l'espace aux autres éléments, pour finalement revenir à l'improviste au premier plan avec le cluster de 0:52.4; bêta reste toujours discret, ni trop en évidence, ni trop caché; gamma suit un profil proche de celui d'alpha, mais déplacé dans le temps, puisqu'il n'occupe que la seconde moitié de l'exemple.

Je voudrais, avant d'aborder l'analyse détaillée de ce passage, définir les mots-clés que je serai amené à utiliser : une « section » complexe — voire même la composition tout entière — est subdivisée en plusieurs « flux auditifs » (cf. McAdams 1984 b) cohérents, lesquels peuvent avoir une certaine importance perceptive et/ou compositionnelle. Lorsqu'il est formé de différents éléments distincts les uns des autres, ce flux est — dans TD — toujours associé à un code. Il exprime donc une idée musicale singulière, en rapport avec les autres idées présentes. Dans la musique instrumentale, ce flux correspondrait, par exemple, à l'une des parties réelles d'une œuvre contrapuntique, à la surface d'une texture, à une mélodie, ou encore à la *Hauptstimme* schoenbergienne. Un flux peut se subdiviser en fragments plus courts dont la durée correspond à celle d'une « phrase ». Chaque phrase se compose d'« événements » distincts, de dimensions très variables, définis comme étant chacun « la plus petite entité<sup>18</sup> musicale unitaire et autonome », perçue comme telle en fonction du contexte. Si je voulais poursuivre la comparaison que j'ai commencée de faire entre musique informatique et musique instrumentale, je dirai maintenant qu'un événement peut correspondre à n'importe quelle figure, une note aussi bien qu'un accent, ou qu'un accord, ou encore qu'un arpège, et ainsi de suite. Par définition, un événement doit donc être identifiable perceptivement parlant. Il est formé d'un ou de plusieurs « objets sonores » qui ne sont pas forcément faciles à isoler, mais qui concourent à en former l'identité. Chaque objet est finalement constitué d'un ou de plusieurs « sons isolés ». Dans un contexte orchestral, un événement-accord peut par exemple se composer de plusieurs notes-objets formées à leur tour de plusieurs timbres-sons différents. L'activité du compositeur se limite donc à organiser des sons isolés en différents objets sonores et événements musicaux. La réalisation matérielle de chaque son est, quant à elle, du ressort de l'interprète.

18. « Chunk ». Cf. Miller 1956.



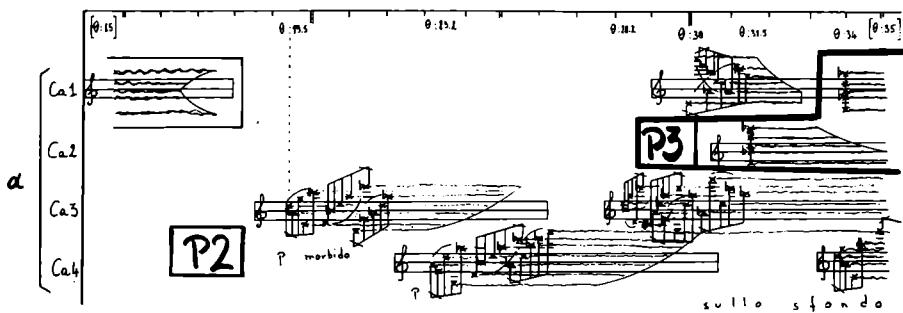
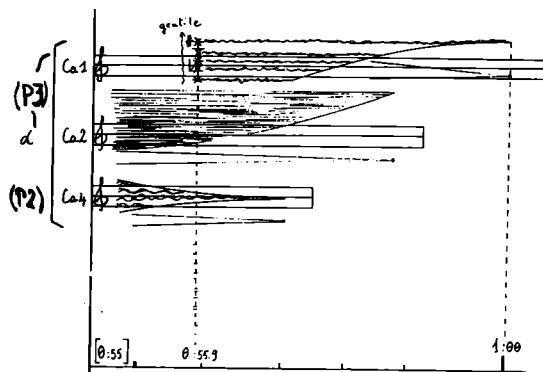


Figure 16. Ordinateur solo, première minute, code a, © G. Ricordi & Co. (Reproduit avec l'aimable autorisation de l'éditeur.)



L'évolution de chaque code suit sa propre structure originale : Alpha, formé de sons type Ca, est subdivisé en 3 parties (P1, P2, P3 — fig. 16):

P1 (0:00 — 0:18): accords-timbre

P2 (0:19.5 — 0:57): arpèges timbriques complexes

P3 (0:31.5 — 1:00): accords-timbres plaqués, à densité moyenne-forte.

La première partie se dissocie des deux autres ; elle se compose de trois éléments musicaux (E1, E2, E3), les deux premiers étant formés de trois objets sonores (O1, O2, O3) et le dernier d'un seul.

Le premier événement expose simplement le matériau A dans sa version timbrique. Les paramètres variés en sont, d'une part, le vibrato — lequel s'amplifie progressivement, jusqu'à donner l'effet d'une couche sonore toujours plus expressive — et, d'autre part, la forme de la chute de l'enveloppe d'amplitude, qui s'achève à chaque fois dans la région grave, médium ou aiguë de l'objet.

Le second événement se comporte de façon tout à fait identique au premier. Quoique formé du matériau B, il commence sans arpège, il diminue légèrement de densité et expose les trois formes de désinences que nous avons examinées, qu'il fait se succéder diversement. Si le fondu-enchaîné entre la résonance du piano et l'entrée de l'ordinateur est correctement exécuté, c'est alors cet événement-là qu'on perçoit le plus souvent en premier, en raison de la différence de fréquences qu'il contient.

Le troisième événement anticipe par une figuration arpégée le développement de la seconde partie. Il introduit également une nouvelle transposition (D) du matériau de base — disposée symétriquement par rapport à B —, ainsi qu'une nouvelle forme «en fourche» de la chute, avec un «trou» caractéristique dans le registre central, parfaitement complémentaire de la forme que l'objet avait prise à 0:02.3.

La seconde partie (P2) utilise toutes les fréquences disponibles, qu'elle combine ensemble par des arpèges relativement lents et toujours plus touffus. Pour chaque nouvel objet, la succession des cinq sons de base, sans cesse variée, engendre un complexe homogène toujours mouvant dans les détails, dont la perception se perd peu à peu, jusqu'à finalement constituer un simple fond d'un coloris unique.

Fortement superposée à la seconde, la troisième partie (P3) est signalée par le retour de l'articulation non arpégée du matériau. Une amplification de densité graduelle amène au cluster de 0:52.4, lequel porte à nouveau «énergiquement» le code alpha au premier plan et annonce la fin de la section. Comme un ultime et «gentil» souvenir, le premier objet est répété une nouvelle fois (0:55.9), un peu plus agité : c'est le dernier événement intervenant avant que la nouvelle section ne commence.

Le code bêta se compose de sons de type Cb basés sur une fondamentale faiblement perceptible et résonant dans les fréquences de base. Il va sans dire que plus la fondamentale est grave et plus les résonances perçues correspondent à celles qui sont indiquées, de même qu'à l'inverse, plus la fondamentale sera aiguë, plus les résonances seront approximatives<sup>19</sup>. Ce code se compose d'une

19. Dès lors que la fréquence de la fondamentale est directement proportionnelle à la distance qui sépare deux lignes spectrales adjacentes, et dès lors qu'on suppose que les résonances indiquées sont bien des formants, une fréquence grave correspond à une distance entre les lignes mineures et, par conséquent, à une densité plus grande et à une meilleure approximation des formants eux-mêmes dans l'enveloppe spectrale.

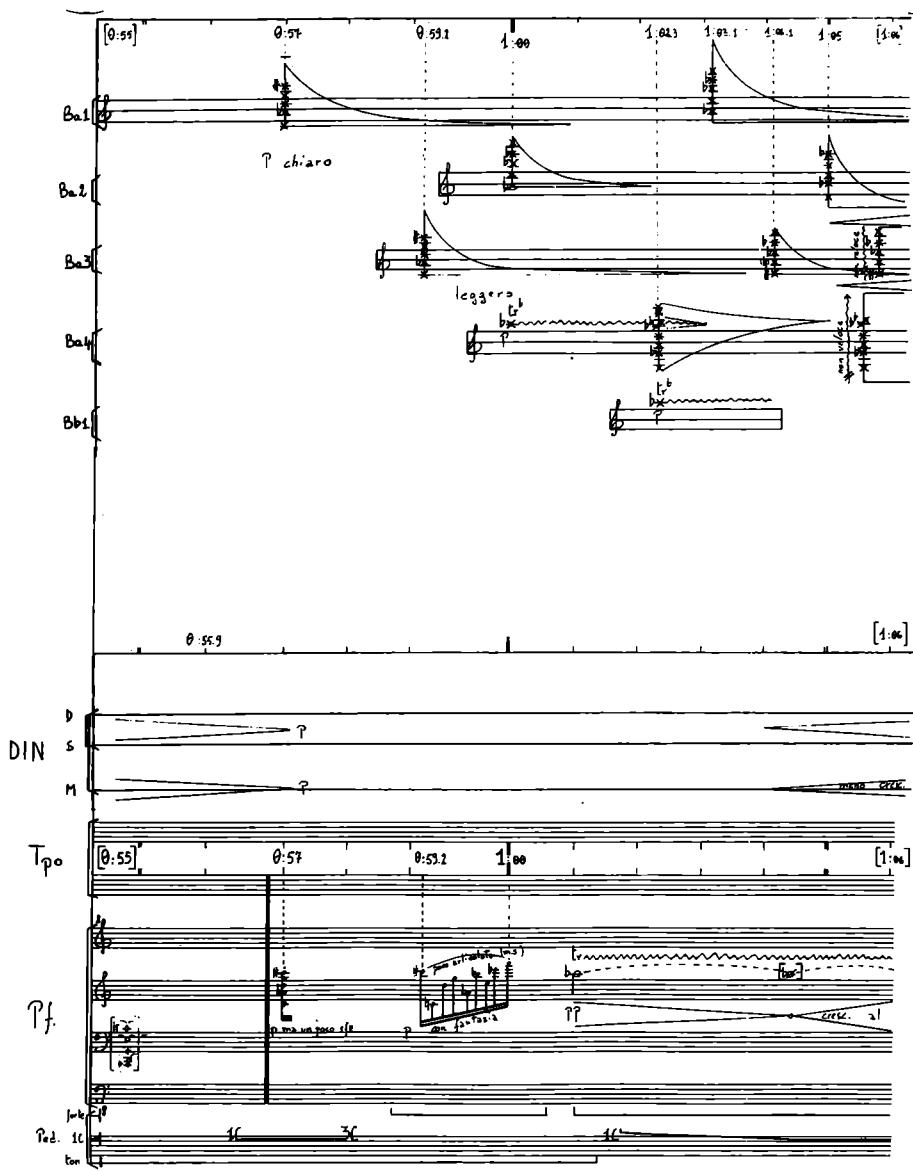
seule et unique phrase, articulée de façon classique (Fig. 14): une anachrouse résonne sur l'accord de base (A), avec sa fondamentale à la basse (0:13), et prépare un accent qui se compose de quatre objets sonores superposés, avec une densité maximale de trois objets. Les résonances sont délicatement arpégées, tandis que les fréquences fondamentales proposent les notes du matériau A — en partant du *do* dièse qui, par rapport aux composants centraux, est la hauteur la plus évidente —, ainsi que la note la plus aiguë de la transposition B. Il existe deux formes principales de chutes, avec leurs compléments symétriques. Lorsqu'elle est séparée de l'accent, la désinence se compose de trois événements isolés, le premier constitué de deux objets et les deux autres d'un seul. Comme c'était déjà le cas pour le code alpha, le dernier de ces objets renvoie au premier, même si la fréquence fondamentale sonne une octave plus haut et entraîne une perception plus floue des notes de la résonance.

Enfin, le code gamma utilise lui aussi certains sons du groupe Cb, dans le registre médium-grave, sans indication des régions de résonance et avec des hauteurs toujours parfaitement définies (Fig. 14). Le profil global est identique à celui des autres codes: la densité des superpositions croît d'abord et diminue ensuite. Le matériau fréquentiel est également le même: en tête, l'accord de base, exposé de la note la plus grave à la note la plus aiguë — mais dans le sens descendant —, auquel certaines de ses transpositions viennent lui succéder. La perception d'une note ou d'un accord est cependant beaucoup plus claire avec le code gamma qu'elle ne l'est avec bête.

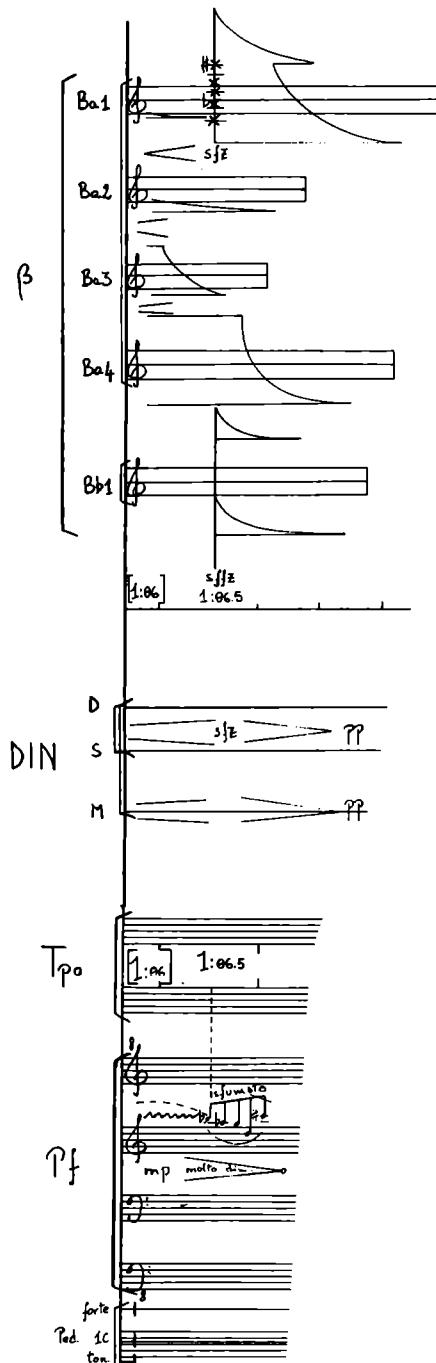
Dans l'ensemble, c'est la modulation de certains paramètres de contrôle du son (densité, centrage d'une éventuelle note fondamentale, morphologie de l'enveloppe d'amplitude, etc.) qui importe avant tout pour ce fragment et qui impose une certaine ligne d'écoute. A l'inverse, les dimensions davantage classiques sont délibérément congelées, témoins immobiles d'un développement qui n'arrivera qu'en dehors de leur champ d'action.

Pour se faire une idée de la complexité réelle de ce passage du stade compositionnel global aux différents détails de l'interprétation, il suffit de considérer la quantité de données que chaque niveau réclame. Dans cette analyse, je me suis arrêté à l'objet sonore lui-même et à sa décomposition en sons isolés. Pourtant, chacun de ces sons est constitué à son tour de plusieurs «composants élémentaires», réalisés par divers «oscillateurs sinusoïdaux» gérant la densité de chacun d'entre eux, le degré de mobilité interne, la forme de l'enveloppe d'amplitude, etc. Habituellement, ces oscillateurs sont en nombre réduit (moins de dix); ils peuvent cependant, dans certaines conditions particulières, toucher à plusieurs centaines. Dans l'environnement de synthèse que j'ai développé, chaque oscillateur demande dix-sept «paramètres de contrôle» indépendants. D'une section d'une minute aux phénomènes sonores les plus microscopiques, comme du geste compositionnel global aux finesse les plus ténues de l'interprétation, le parcours, quoique toujours plus complexe, est continu.

En réalité, ce qui, synthétiquement, est perçu comme un événement est déjà le résultat de l'action de différents niveaux de composition et d'interprétation étroitement corrélés, définis chacun avec un soin tout artisanal et adapté au type de son particulier que je désirais mettre au point. Au-delà du seul cas que représente TD, la double perspective de la composition et de l'interprétation, et la multiplication des niveaux de contrôle comptent parmi les tout nouveaux facteurs du travail utilisant l'ordinateur. Savoir gérer chacun de ces niveaux simultanément, conserver présent à l'esprit l'événement sonore global



**Figure 17.** Partition complète de 0:57 à 1:06.5. (© G. Ricordi & Co. Reproduit avec l'aimable autorisation de l'éditeur.)



tout en travaillant à l'un de ses infimes détails, entrevoir quelles solutions microstructurales sont réellement envisageables tout en projetant une section entière... Telles sont les dons à la fois nouveaux et indispensables qui mettent au défi le compositeur d'aujourd'hui.

Leur maîtrise demande des années d'expérience : elle ouvre aussi sur des perspectives inattendues et merveilleuses.

## 2. De 0:57 à 1:06.5 (Fig. 17)

Ce bref épisode est construit sur des fréquences de base identiques à celles de l'exemple précédent, mais « habillées » par les sons percussifs du groupe B. Le choix d'un code différent entraîne un changement important : la force de cohésion de l'enveloppe d'amplitude est à ce point forte qu'elle annule pratiquement toute possibilité de distinction des composants internes. Chaque objet sonore constitue un événement isolé qui évoque une sorte de « cloche » synthétique. A la différence du fragment initial, ce n'est pas la densité qui est développée ici, mais l'« extension » de l'objet vers des registres à la fois plus aigus et plus graves que ne le sont les données de départ.

Chaque objet est susceptible de trois dispositions différentes :

1. disposition serrée — forme de référence élémentaire (1:04.1)
2. disposition moyenne (0:57 et 0:59.2)
3. disposition ample (1:06.5)

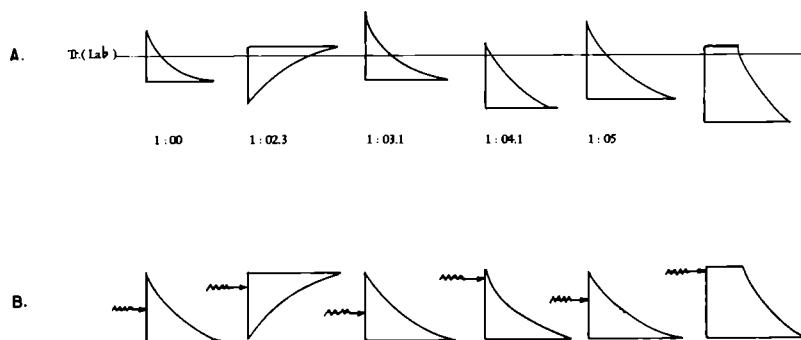


Figure 18. Effet de deux normalisations différentes (a: trille normalisé; b: objet sonores normalisés).

Le procédé ajoute à l'objet en question une couleur sonore plus sombre ou plus brillante, sans malgré tout en modifier substantiellement la nature intrinsèque.

Tous les objets, même les plus étendus et les plus éloignés du modèle d'origine, sont « maintenus ensemble » par un trille continu qui agit comme un « attracteur » perceptif et met en lumière toute une région spécifique (Fig. 18). Centré sur le *la* bémol, ce trille apparaît d'abord à l'ordinateur, avant d'être récupéré par le piano qui l'estompe en une arabesque rapide et délicate. Il est d'abord préparé au piano lui-même, lequel égrène en un arpège les principaux composants des deux objets de 0:59.2 et de 1:00, autre

manière de renforcer le rapport — ambigu, mais inexorable — qui existe entre timbre et harmonie, autrement dit entre les « entrailles » du son et le langage du compositeur.

Lorsque le trille demeure, les objets, de la base au registre le plus aigu, semblent s'y « agripper » en plusieurs endroits (Fig. 18a). Mais lorsque ceux-ci se trouvent à l'inverse normalisés, une nouvelle perspective survient : c'est alors le trille qui se déplace, pointant à chaque fois sur la région particulière du spectre qui se trouve en relief (Fig. 18b).

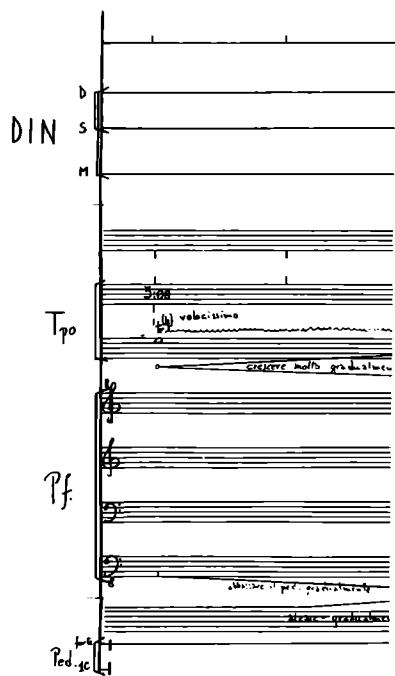
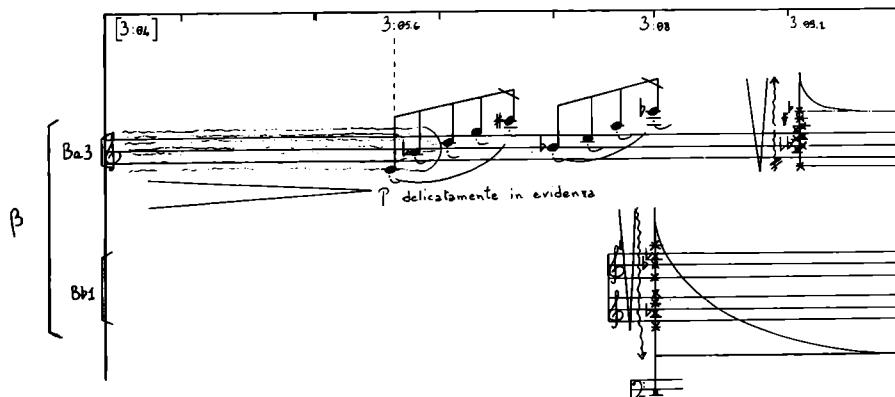
### 3. Code gamma, de 1:57 à 2:37 (Fig. 19)

Ce fragment, extrait d'un contexte musical sensiblement plus riche, témoigne de la capacité que la notation possède à exprimer le passage d'une note centrée à un bruit, en passant par une étape intermédiaire. Un complexe rythmique imperturbablement invariable sert de support concret à cette transition.

Afin de donner une idée de la distance parcourue, le piano présente à chaque fois la (ou les) note(s) de départ — d'abord une seule, puis deux, et enfin trois. En raison du registre, deux ou trois notes jouées simultanément semblent déjà beaucoup moins centrées et sont de ce fait moins faciles à distinguer avec précision. Toutes sont issues de certaines des notes graves qui, dans l'introduction, étaient isolées.

The figure consists of three vertically aligned musical staves, labeled A, B, and C from top to bottom. Each staff has a tempo marking of  $(J=68)$ . Staff A has dynamic markings *f capo*. Staff B has dynamic markings *s.c.*, *piano*, and *poco meno capo*. Staff C has dynamic markings *meno capo*, *poco a poco più chiaro*. The staves show various rhythmic patterns and note heads, primarily consisting of eighth and sixteenth notes.

Figure 19. Modulation du centrage d'une note.



[3:10] 3:105 3:11 3:115 3:125 3:135 3:145 3:155 [3:20]

A1 *sff* *moltissimo* *con immensa tensione*

Ba1 *sff*

d Ba2 *mf*

Ba3 *molto* *sffe*

Bb1

Bb2 *molto*

Ca1

Ca2

Ca3

Cb1 *mp vuendo gradatamente dal crescendo*

g Ch2 *molto* *molto intenso*

[3:10] 3:115 3:125 3:135 3:145 3:155 [3:20]

DIN *sffe* *molto intenso* *sffe*

S *sffe* *molto intenso* *sffe*

M *sffe*

Tpo [3:10] 3:105 3:115 3:125 3:135 3:145 3:155 [3:20]

Pf. *gr. falso* *tempo marcato* *tempo marcato*  
*attacca forte* *attacca forte* *attacca forte*  
*tempo marcato* *tempo marcato* *tempo marcato*

Figure 20. Partition complète de 3:08 à 3:20. (© G. Ricordi. Reproduit avec l'aimable autorisation de l'éditeur.)

#### 4. De 3:08 à 3:20 (Fig. 20)

Imaginons-nous arrêtés à un passage à niveau, simplement occupés à regarder passer un train. Si le train roule rapidement, de l'autre côté de la voie ferrée, le paysage demeurera tel quel, un peu brouillé peut-être, mais de façon régulière; si, à l'inverse, le train roule plus lentement, la paroi de chaque wagon en interrompra brièvement l'image, même si nous savons par expérience que le paysage ne changera pas et qu'il réapparaîtra tel quel à chaque fois, à intervalle régulier. Supposons maintenant que, sans aucune raison, il devienne subitement différent après l'une de ces interruptions. Ne nous en trouverions-nous pas particulièrement étonnés? N'aurions-nous pas le sentiment de vivre en pleine hallucination, projetés dans un monde soudainement artificiel?

Cette métaphore illustre parfaitement le type d'images auxquelles la composition de cet exemple est redéivable. Identifions chaque élément: le «paysage naturel», c'est le trille sur le *mi* aigu du piano, qui croît graduellement; la «paroi du wagon», c'est-à-dire l'instant d'interruption de l'image — il n'y en a qu'un —, c'est l'impact pianistique de 3:10.5 (la densité de l'accord et la superposition des registres masquent totalement la figure du trille); le «paysage artificiel», c'est encore la même figure, jouée cette fois-ci par l'ordinateur et *simulée* au tout début — de façon à se confondre astucieusement avec la figure du piano —, puis soudain compliquée, agrandie et plus dense: figure souvent statique, le trille se fond ici dans une série de glissandi conduisant à un grand accent percussif élargi à un registre très étendu, d'où, comme un vestige, sort à nouveau la figure du trille, présentée désormais au piano et bientôt liquéfiée en une arabesque volubile.

Ce fragment illustre bien quelle application on peut faire des techniques classiques de l'orchestration jusqu'au niveau de la composition interne du son. Schématiquement, l'effet est celui d'un crescendo «explosif», chargé d'une forte tension émotive. La réalisation concrète ressortit aux techniques d'écriture élémentaires; mouvement contraire des parties extrêmes et remplissage progressif des «trous» laissés au milieu par l'expansion du registre (code gamma, plus une partie de bêta et de delta)<sup>20</sup>. Le recours aux codes facilite l'analyse des éléments musicaux mis en jeu:

- α: élaboration percussive du trille précédée d'un léger accent initial, version timbrique de l'accord simultané du piano et, plus encore, appui final décidé;
- β: remplissages percussifs de type Bb, avec crescendo et élargissement du registre — la fréquence fondamentale anticipe sans trop de force celle de l'accent qui conclut le glissando;
- γ: remplissages non percussifs de type Cb, dans un registre médium;
- δ: basses par mouvement contraire.

De même que pour le fondu du piano et de l'ordinateur du premier exemple, l'efficacité de ce passage dépend beaucoup de l'interprète qui tient la table de mixage. Un rapide coup d'œil laisse aisément apercevoir quels rapports

20. En composant cet épisode, j'avais à l'esprit le début du *Don Juan* de Strauss, où l'ouverture progressive par mouvement contraire des parties extrêmes est peu à peu «remplie» par les instruments intermédiaires.

existent entre les fréquences, les figures et les procédés de composition de cet exemple, et ceux des exemples déjà analysés<sup>21</sup>.

D'un stade à l'autre de la structure architectonique de *Traiettoria*, diverses références entrecroisées et diverses perspectives timbriques composées d'un matériau harmonique similaire sont utilisées à plusieurs reprises pour générer un réseau très dense de relations plus ou moins enchevêtrées. Ces relations assurent la cohérence du développement et suscitent des images souvent inconscientes, mais familières.

Le matériau de base est toujours étudié de façon à posséder une capacité spontanée d'autoréférence multiple. Soucieux d'éviter à la fois tout extrémisme de citations trop évidentes et trop prévisibles et toute magie de processus secrets au point d'en devenir inanalysables, il me paraît beaucoup plus intéressant de marcher sur un fil de rasoir, en jouant sur les limites ambiguës de la perception.

Une représentation telle que celle qui vient d'être définie permet donc d'observer chacun des procédés employés par le compositeur, mais aussi d'étudier les rapports qui peuvent exister entre les sons joués par le piano et ceux que l'ordinateur génère, et d'en examiner les interférences cachées. Dans le cas présent, l'analyse peut aller jusqu'à un niveau de détail aussi fin que celui que la composition de *Traiettoria... deviata* a elle-même nécessité. Projet de composition, potentialité d'une représentation, possibilité d'analyse : ces trois points appartiennent au même plan. Les exigences des chapitres précédents sont donc satisfaites.

Dans la notation, rien, ou presque, ne transparaît des choix d'interprétation qu'il est pourtant nécessaire de faire au moment de la synthèse des sons et à celui de l'exécution. La scission qui existe entre les idées de la composition et leur interprétation est bien l'un des buts convenus, mais elle comporte également un certain nombre de questions d'interférence qui seront examinées au cours du chapitre suivant.

Dans ces exemples, j'ai insisté sur la nature de mes intentions de départ et sur l'effort qu'il était nécessaire de déployer pour parvenir à les transcrire sur la partition. Pourtant, ce n'est pas toujours perceptible en concert. Comme j'ai déjà eu l'occasion de l'indiquer à propos de la dynamique, tout dépend avant tout de l'état technologique des concerts actuels : aujourd'hui encore, une diffusion sonore utilisant plusieurs haut-parleurs de bonne qualité et d'un contrôle facile demeure utopique. Il est bien souvent difficile d'obtenir plus de quatre malheureux haut-parleurs disposés de part et d'autre d'une salle ! Qui plus est, l'emploi d'une bande magnétique stéréo provoque une compression dynamique excessive et artificielle qui annule le relief sonore des différentes sources. Aucune solution immédiate n'est encore venue solutionner le premier problème ; quant au second, il pourrait être partiellement résolu par l'adjonction d'un magnétophone multipistes, si cet appareil encombrant et peu maniable n'était pas encore plus difficile à obtenir qu'un orchestre symphonique !

La qualité peu satisfaisante des sons synthétiques et de leur diffusion complique davantage encore la tâche de l'interprète qui pilote la table de

21. On peut par exemple comparer les fréquences des différents remplissages timbriques avec le matériau de base, les notes des basses avec celles du troisième exemple et avec l'introduction, la figure trillée qui passe du piano à l'ordinateur avec le passage analogue du second exemple, le procédé de développement par augmentation de densité ou de registre, avec celui des deux premiers exemples, et ainsi de suite.

mixage. Assis à une place parfois déplorable acoustiquement, aux prises avec un matériau à valeur douteuse et trop peu souvent conscient de son rôle de musicien — qu'il a plutôt tendance à concevoir comme une tâche de technicien du son —, il se retrouve de ce fait bien souvent incapable de contrôler l'équilibre sonore avec l'efficacité qu'il faudrait — ce qui est d'autant plus dommage lorsque celui-ci possède une importance compositionnelle cruciale.

Enfin, il est évident que, pour un enregistrement, traduire en trois dimensions une image spatiale efficace et recréer un volume sonore palpitant n'est pas aussi simple qu'on pourrait le penser. Il ne peut même s'agir d'ajouter ça et là quelques effets sonores du type de ceux dont la musique commerciale s'accorde : le type de sons que TD met autant en jeu ne le permettrait pas plus que leur signification musicale. Combien de fois me suis-je senti insatisfait à l'écoute d'un enregistrement ou d'une exécution de *Traiettoria* ! L'impression me restait que les deux instruments mis en jeu étaient d'une qualité de fabrication bien trop différente pour pouvoir véritablement sonner ensemble : un piano magnifique, certes, mais doublé d'une technologie de diffusion inadéquate.

L'impression la plus claire et la plus immédiate qui ressort de l'étude de la partition de TD, c'est la découverte d'un monde nouveau et la possibilité de le composer à volonté. On croirait être en possession d'une machine de la puissance d'une Ferrari. Pourtant, lorsqu'on en prend les commandes, on se rappelle avec tristesse que la carrosserie est encore celle d'une vieille 2 Chevaux !

## VI. Développements futurs

Conçue principalement pour répondre à certains besoins d'expression et de communication, une notation telle que celle qui vient d'être définie constitue un simple point de départ qui, pour pouvoir s'adapter à l'évolution de la pensée et de l'écriture informatique, doit naturellement être étendue. Je puis cependant affirmer sans crainte que cette notation répond de façon satisfaisante aux exigences de TD. Je voudrais maintenant m'attacher à quelques-uns de ses aspects que la transcription des sons synthétiques de *Dialoghi* et de *Contrasti* m'engagera sans doute à modifier.

A la simple écoute, ces deux dernières pièces laissent apparaître un travail timbrique et polyphonique beaucoup plus complexe qu'il ne l'est dans TD. Il n'était donc pas possible de conserver les règles précédemment décrites sans aboutir à une partition énorme, d'une lecture difficile et n'entretenant que peu de relations avec la structure perceptive. De toute évidence, il fallait trouver un autre niveau d'abstraction et imaginer une manière pour réduire davantage encore les données.

Plus spécifiquement, trois aspects me semblaient n'être encore développés que de façon bien peu satisfaisante : la synchronisation du piano et de l'ordinateur — c'est-à-dire la portée du temps —, la gestion de l'espace et la notation des timbres.

### 1. La portée du temps

Le système actuel permet un type de synchronisation binaire assez élémentaire : en effet, les instruments sont soit ensemble, soit indépendants. Cela va pour le mieux tant qu'il s'agit de synchroniser des événements distincts : deux événements ne pouvant être en effet que simultanés ou successifs, il n'y a donc aucune possibilité d'erreur. Mais lorsque les deux instruments ont un

rôle complémentaire, c'est-à-dire lorsqu'ils mettent en lumière deux perspectives différentes d'un même objet et que le résultat sonore doit être perçu comme unique et indissociable, ce système de synchronisation se révèle subitement sommaire.

Une sorte de mélange hybride des sons du piano et des sons synthétiques doit en effet être obtenu, ce qui suppose une adaptation réciproque des deux instruments qui n'est souvent possible qu'au moment du concert, lorsque tous les paramètres acoustiques sont définis. Il arrive parfois que quelques petites approximations et une légère a-synchronie parviennent non seulement à simplifier la tâche du pianiste, mais aussi à produire un résultat beaucoup plus efficace. Tant que la quantité d'approximation reste en deçà d'un seuil acceptable, l'utilisation d'un symbole spécial n'est pas nécessaire; mais si elle prend des proportions plus significatives, un nouveau système doit alors être inventé.

La figure 21 donne un exemple concret de cette question: un groupe rythmique accentué est suivi d'une désinence complexe, qui en parachève l'ultime partie en la multipliant comme une sorte d'écho actif. La désinence est conçue de façon à pouvoir coller à plusieurs points de l'accent (Fig. 21c) et donc à disposer de multiples solutions parmi lesquelles l'interprète pourra choisir la sienne. Tel qu'il est conçu, le système de synchronisation de TD ne permet pas de répondre de façon élégante et synthétique à une exigence aussi simple.

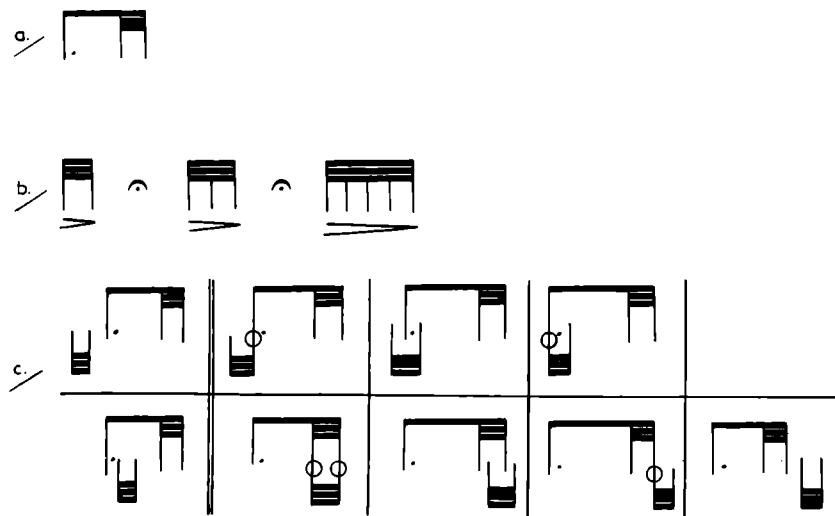


Figure 21. Désinence à synchronisation variable (a: accent; b: echo-désinence; c: quelques possibilités de synchronisation).

## *2. Espace*

Des progrès technologiques non négligeables nous permettront bientôt de faire du contrôle de l'espace une dimension plus ductile et plus riche. Comment est-il possible de représenter une telle dimension sur la partition? Comment noter, par exemple, une diffusion multi-haut-parleurs? Un « instrument spatial » digne de ce nom existera-t-il jamais, ou faudra-t-il toujours s'adapter à une réalité sans cesse changeante, différente? Jusqu'à quel point cette réalité pourra-t-elle être stabilisée? Ce qui se passe pour la registration des orgues, où des résultats sonores très variables et parfois imprévisibles se cachent sous un même nom, peut très bien se renouveler. A l'intérieur du cycle *Traiettoria* complet, le problème n'est abordé à aucun moment: la notation spatiale utilise toujours la portée à trois lignes pour gérer les deux volumes opposés. Mais il ne fait pas de doute que des travaux futurs réclameront des solutions moins économiques.

La véritable question est cependant tout autre: en prenant le mot dans son sens le plus large, l'espace restera-t-il encore un paramètre de pure interprétation, simple projection tridimensionnelle d'un procédé compositionnel préétabli et stricte mise en scène seulement liée au concert? Mais peut-être n'est-il pas possible que l'espace devienne jamais un paramètre compositionnel susceptible d'être noté par une écriture plus ou moins rigoureuse?

Dans TD, les deux hypothèses, quoique à peine ébauchées, existent bel et bien. Chaque événement est doté de sa propre trajectoire spatiale soigneusement définie, ce qui le rend plus clair et lui donne davantage d'autonomie par rapport aux autres événements, surtout si le contexte est riche. Dans TD, la disposition et le mouvement d'un objet sonore sont donc des paramètres compositionnels. Pourtant, j'ai préféré m'abstenir de les noter, à la fois pour ne pas surcharger une notation déjà suffisamment complexe et parce qu'une analyse aussi détaillée ne me paraît pas nécessaire à la compréhension de l'essence musicale de la pièce.

## *3. Qualité sonore*

Le développement d'une représentation qui soit à la fois synthétique, plus puissante, plus expressive et qui, avec la précision nécessaire, puisse rendre compte d'un certain nombre de finesse encore plus microscopiques mais essentielles d'un objet sonore, est jusqu'ici l'obstacle le plus sérieux que j'ai rencontré lorsque j'ai voulu transcrire les sons synthétiques des autres pièces du cycle. Il est en effet primordial de pouvoir gérer des variations un peu plus subtiles, de guider la résolution analytique de l'auditeur et d'approfondir sa capacité de distinction à l'intérieur d'un même groupe sonore. Quoique amplement suffisantes pour TD, les distinctions qui séparent les sons percussifs isolés des couches sonores et des glissandi seront très vite accusées de schématisation excessive. Il existe en effet un nombre infini de sons percussifs isolés susceptibles d'être combinés pour donner une origine aux objets les plus variés, appartenant à des sources qualitativement distinctes et à des codes différents.

L'extension sémantique du concept de code abstrait me paraît être incontournable. Ce concept doit être indissociablement lié, et de façon permanente, à une source sonore unique, de façon à pouvoir correspondre à l'un de ces instruments synthétiques que le compositeur crée et détruit à volonté.

Formé de différents types de sons élémentaires articulés d'une certaine façon, un code peut donc être défini comme un objet sonore composé, plus ou moins complexe et doté de ses propres caractéristiques morphologiques, à la fois distinctes et perceptibles, dont l'interaction confère à l'objet même une identité spécifique. Dans quelque contexte musical où elle se trouve, cette identité doit pouvoir, dans certaines limites, être à la fois apprise, reconnue et isolée. Elle naît principalement d'un comportement sonore précis établi arbitrairement par le compositeur — et donc modifiable à volonté. La perception d'un code déterminé n'exclut donc pas qu'il puisse se transformer à l'intérieur d'un objet beaucoup plus ambigu.

Reste à le définir. Le concept d'*« instrument »* — qui, dans la tradition musicale, lui est le plus proche — constitue une donnée bel et bien acquise : dans la très grande majorité des cas, son choix impliquerait automatiquement un répertoire identique de sons et d'articulations. Pour un musicien, leur apprentissage est des plus aisés. Il est évident que, dans la pratique courante, un instrument ne se définit pas. A l'inverse, avec un code, sauf s'il s'agit d'une vulgaire imitation, ce n'est pas l'instrument physique qui doit être décrit — celui-ci n'existant même pas —, mais l'instrument en soi, c'est-à-dire le comportement sonore de l'instrument en question, ainsi que l'effet qu'il produit sur l'auditeur. Étant donné la difficulté de l'entreprise, il est hautement nécessaire d'employer des niveaux de détails multiples qui soient en rapport avec les symboles de la notation.

Au niveau le plus abstrait et le plus proche de l'écoute, le langage privilégie forcément les aspects qualitatifs du comportement. Pareille description peut toucher aux sommets de la métaphore la plus sublime : elle n'en risque pas moins d'être malgré tout bien trop sommaire encore. Le problème n'est d'ailleurs pas plus simple dans le monde des instruments traditionnels : comment décrire à qui n'en aurait aucune idée ce qui différencie un piano d'un clavecin, un violon d'un alto, ou une trompette d'une trompette bouchée, si l'on n'accepte pas de recourir à la description du mode de production sonore, des dimensions de l'instrument ou de n'importe quel autre paramètre physico-acoustique ? Une description de ce type devra être nécessairement complétée de quelques exemples sonores. La capacité de reconnaissance d'un code s'en trouvera ainsi indubitablement facilitée, mais sa connaissance intrinsèque n'y gagnera pas grand-chose.

Il est donc nécessaire qu'il y ait pour la composition du son un second degré de description plus technique, qui puisse mettre en lumière l'évolution des différents paramètres et de leurs enveloppes de contrôle, et qui utilise un langage virtuel suffisamment détaché des algorithmes ou des programmes de synthèse utilisés. Les connaissances acquises en ce domaine le permettent aisément.

Enfin, un dernier degré de description peut déjà en référer également aux différents choix interprétatifs — du choix d'un algorithme de synthèse précis à celui des valeurs des paramètres de contrôle utilisés. Soutenu tout à la fois par un langage virtuel et par l'idée métaphorique et les exemples sonores dont j'ai parlé plus haut, ce dernier degré, très spécialisé, pourra alors être uniformément intégré à une perspective unitaire. Mais le véritable but reste de parvenir à définir un vocabulaire sonore nouveau et à proprement parler « inoui » — et un vocabulaire qui puisse être appris. La reconnaissance de n'importe quel mot d'un tel vocabulaire implique nécessairement que les phonèmes qui le constituent soient perceptibles. C'est après cela seulement, qu'on pourra enfin songer à une nouvelle syntaxe des sons.

De même qu'il n'y a plus aujourd'hui un langage musical unique et commun à tous les compositeurs, mais autant de langages qu'il y a de compositeurs, il est essentiel de bien comprendre qu'en musique informatique, le concept de « timbre » — ou d'« articulation sonore » — ne saurait être défini une fois pour toutes, qu'il n'existe plus en tant que dimension invariable ni comme attribut à jamais acquis et immuable. La fonction d'un code est de stimuler chez l'auditeur un procédé créatif: celui d'imaginer, de générer, de reconnaître, de combiner et de modifier le matériau sonore propre à chaque compositeur et à chaque œuvre. Avec l'emploi de techniques de synthèse sophistiquées, cette attitude, si génératrice par rapport au timbre, est poussée jusqu'à des conséquences extrêmes. Pourtant, elle ne peut être pleinement développée que si ce qui doit être entendu, appris et identifié, est représenté. L'oreille est bien trop incertaine et bien trop variable d'une personne à une autre pour qu'on puisse la considérer comme le seul point de référence infaillible. Une sémiotique chargée du contrôle interne du son constitue un phénomène tout nouveau, inconnu de la culture instrumentale occidentale<sup>22</sup>. En ce sens, rien de surprenant à ce qu'un symbolisme adéquat fasse totalement défaut dans la notation traditionnelle, si ce n'est pour quelques indications expressives, d'ailleurs sommaires et souvent ambiguës. Au bout du compte, c'est à l'interprète lui-même de s'en charger.

Le fait que certains contrôles traditionnellement pertinents pour l'interprète fassent aujourd'hui partie du matériau dont les compositeurs disposent, rend encore plus tenu et plus délicat le rapport qui existe en musique informatique entre interprétation et composition.

Des interférences peu négligeables apparaissent lorsqu'un même procédé sonore appartient légitimement à l'une ou l'autre activité. Pour des raisons de clarté explicative, j'ai volontairement exagéré dans cet article cette séparation qui, en réalité, est beaucoup plus complexe et beaucoup plus ambiguë.

Au jour d'aujourd'hui, il est normal qu'aucune solution générale n'existe plus et que les idées d'un compositeur pèsent sur chacun de ses choix. Mais, au-delà des idiosyncrasies de chacun, le but final reste commun: il s'agit toujours de fournir au plus grand nombre les instruments qui lui permettront d'apprécier avec toutes ses capacités — mentales et sensorielles — le bouleversement que la composition du son porte à tous les niveaux de la pensée musicale — des techniques d'écriture aux procédés compositionnels, des dimensions esthétiques à l'écoute concrète — et de savourer quel plaisir et quelle passion cette recherche nous procure.

## VII. Appendice

Six niveaux différents témoignent du passage des données opérationnelles liées au type de machine et de programme utilisés, à la partition que cet article se propose d'étudier. Ces six niveaux peuvent être regroupés de la façon suivante:

---

22. On a tenté à plusieurs reprises d'appliquer des procédés développés dans le cadre de la musique électronique à des œuvres composées pour des instruments traditionnels. Or, soit l'influence touche au langage compositionnel plutôt qu'à la composition même du son, soit d'inévitables approximations — ordonnées par les limites des instruments eux-mêmes — réduisent ces tentatives à de simples « trouvailles », c'est-à-dire à des objets souvent ingénieux et agréables à l'oreille, mais qu'il serait difficile de rattacher à un procédé d'écriture digne de ce nom. Tous sonnent en effet très bien, mais leur organisation architectonique paraît encore bien primitive.

*A*: données pour la machine, idées compositionnelles + interprétation personnelle.

Chaque fichier de données («data file») règle la synthèse d'un seul objet sonore, sans s'occuper de la relation que celui-ci entretient avec le contexte musical. La disposition polyphonique générale, l'ordre temporel des différents objets et leur équilibre réciproque sont contrôlés par une partition spéciale servant au mixage et subdivisée à son tour en plusieurs stades.

*A1*: données opérationnelles succédant à l'exécution des programmes que j'ai expressément écrits pour *Traiettoria* (PLF10, PLF20, PLF23, PLF33, PLF40, PLF41), produites par l'ordinateur et envoyées directement au passe 2 du programme MUSIC V.

*A2*: données opérationnelles précédant l'exécution des programmes PLF, rentrées par moi-même dans l'ordinateur et interprétées par le passe 1 du programme MUSIC V.

*A3*: esquisses d'interprétation, écrites sur un carnet personnel. Les références concernant les valeurs qu'il faut donner au niveau A2 sont directes, quoiqu'elles ne respectent pas la syntaxe correcte qu'exige MUSIC V. D'une façon plus ou moins explicite, ce carnet contient toutes les informations nécessaires pour l'interprétation.

#### *B*: Transition entre A et C

Partition-ébauche personnelle. Les références concernant le niveau A2 sont déjà beaucoup plus indirectes. Une réduction considérable des données permet de n'exprimer que les valeurs les plus significatives. La disposition polyphonique et temporelle commence à être plus claire, même si, dans le détail, elle manque encore de précision.

#### *C*: Partition pour l'interprète. Idées musicales seules

*C1*: Partition interface pour l'interprète. Les références à termes ou valeurs opérationnelles sont rares et peu importantes. La notation est très similaire à celle de la partition définitive; seules quelques retouches sont encore nécessaires. La disposition polyphonique et temporelle est claire et sans équivoque. Les codes sont à peine précisés et ne sont pas encore clairement exprimés.

*C2*: Partition définitive pour le pianiste, l'analyste ou l'auditeur. Aucune référence technique n'existe plus. Son utilisation ne demande aucune connaissance explicite de la machine ou des techniques de synthèse adoptées. Les codes sont complètement exprimés. Les idées musicales sont enfin totalement séparées de leurs solutions d'interprétation.

Afin qu'on puisse se faire une idée plus concrète de tout ceci, je prendrai en exemple deux objets sonores précis, que je suivrai, du stade de leur composition à celui de leur réalisation finale. Dans le cadre informatique à l'intérieur duquel le travail se développe, chaque objet est représenté par un fichier de données indépendant, dont le nom commence toujours par «MS\$14». Le programme de synthèse MUSIC V prévoit l'ajout de divers sous-programmes personnels; l'instruction par laquelle on les appelle commence par «PLF,0,», suivi du numéro du programme désiré et des paramètres qu'il exige. Deux de ces programmes (PLF N° 40 et N° 41) servent à introduire les données d'une façon structurée. Les trois autres activent directement les deux algorithmes de synthèse que j'ai choisis pour l'interprétation: synthèse par formants

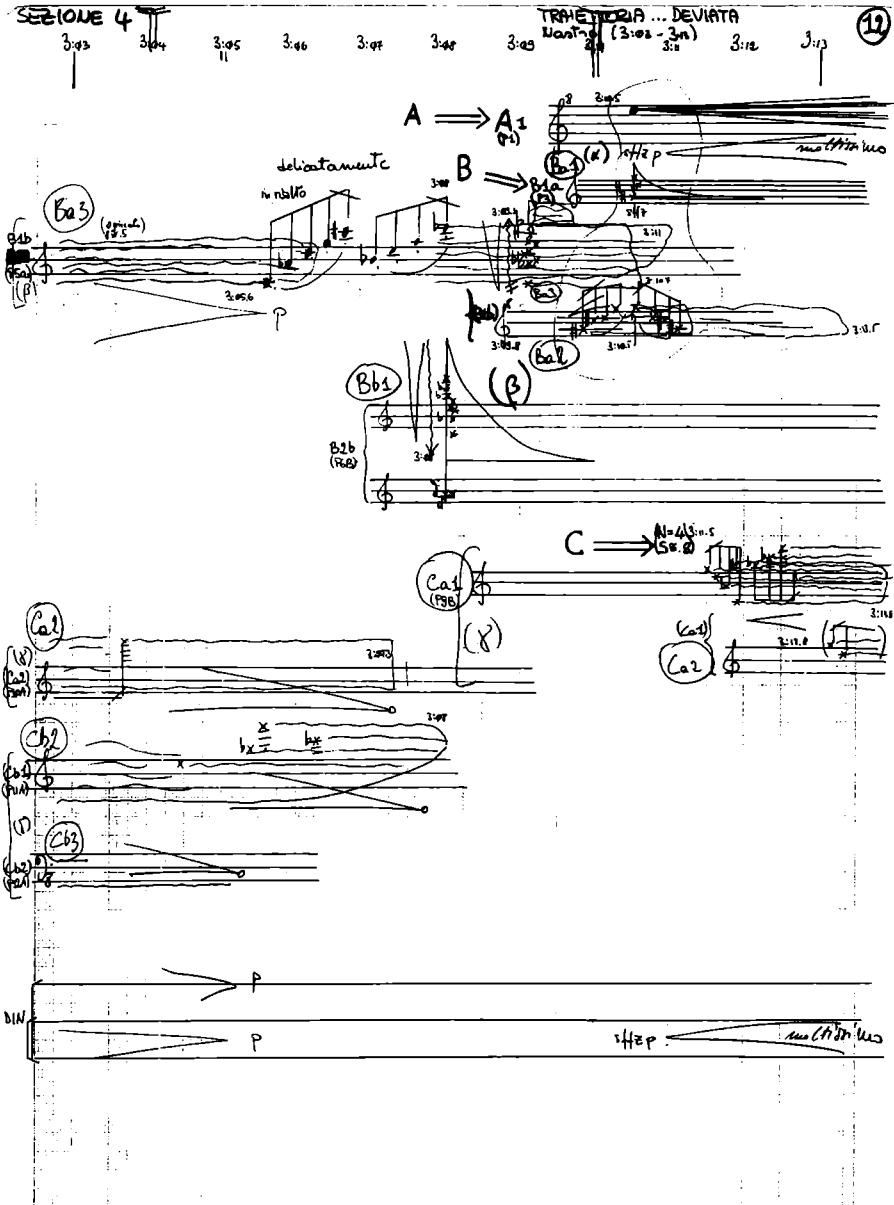


Figure 22. Partition interface, niveau C1 (a: objet sonore P1; b: objet sonore P3; c: paramètres quantitatifs).



en modulation de fréquences (PLF N° 33) et synthèse additive (PLF N° 10 et N° 21).

Les deux objets examinés ici sont, d'une part, l'expansion du trille du piano de 3:10.5 et, d'autre part, l'un et l'autre des deux accents qui l'encadrent. A l'intérieur du système, leurs noms respectifs sont « MS\$14P1 » (P1) et « MS\$14P3 » (P3)<sup>23</sup>. Au niveau C1 (Fig. 22), le rapport que ces deux objets entretiennent avec le contexte général est sans équivoque. D'une part, parce que la succession temporelle est explicite et, d'autre part, parce que la notion est très proche de celle de la version finale. Toutefois, quelques indices, qu'ils soient présents ou qu'ils soient absents, laissent déjà entrevoir certains choix d'interprétation : la référence au nom du système (P1, P3, Fig. 22 a,b); quelques rares apparitions de valeurs quantitatives (Fig. 22 c)<sup>24</sup>; quant aux codes — qui, dans la version finale, sont tellement importants —, ils ne sont qu'esquissés et n'influent guère sur la disposition verticale de la partition ; les traits horizontaux ne sont eux-mêmes qu'à peine ébauchés, quand ils ne manquent pas tout à fait.

Au niveau B, le type de représentation change de façon significative (Fig. 23). Et même s'il reste encore une certaine vision d'ensemble des différents éléments mis en jeu, les paramètres quantitatifs l'emportent de plus en plus. C'est à ce niveau que l'algorithme de synthèse et son programme de contrôle « PLF » ont été choisis. L'agrandissement de la seconde moitié inférieure de la figure permet de découvrir des détails encore plus infimes (P1 : fig. 23a, P3 : fig. 23b).

A un niveau en dessous (A3), la structure interne des programmes « PLF » et celle de l'algorithme de synthèse sont totalement explicites. Toute référence au contexte globale a disparu, tandis que chaque fichier ne contrôle plus qu'un seul objet sonore (P1 ; fig. 24, P3 : fig. 25). Une connaissance des « règles du jeu » — action des « PLF » et structure des données — est indispensable à qui voudrait « déchiffrer » une partition écrite à ce niveau. Avec MUSIC V, l'exécution d'un fichier de données produit un objet sonore unique.

Pourtant, pour reconstituer le résultat final, il faut encore décrire l'ordre temporel dans lequel les différents objets sont disposés et il faut également équilibrer leur présence — ou leur « poids » — en fonction du contexte. Cela dépend en général de façon complexe de l'algorithme utilisé, ainsi que de l'interaction de beaucoup d'autres paramètres de contrôle, tant physiques que psychologiques. Que ce soit en se servant d'algorithmes de contrôle automatiques, ou en se fiant à sa propre expérience, il est extrêmement difficile, pour ne pas dire impossible, d'essayer de prévoir ce poids. Il est beaucoup plus efficace de le centrer à l'oreille au moment du mixage. Étant donné la complexité du contexte, la partition de mixage (Fig. 26) suit différentes étapes. Ainsi P1 et P3 sont tout d'abord équilibrés ensemble individuellement, pour produire l'objet composé — ou plutôt l'événement — dénommé P31M (Fig. 26a). Il est donc ajouté au résultat d'un autre mixage, générant l'événement — encore plus complexe — appelé P3142M (Fig. 26b). Ces événements sont ensuite superposés dans la succession temporelle correcte

23. Dans cette version, tous les tempi sont en avance de douze secondes (3:10.5 correspond donc à 2:58.5). Le changement a été rendu indispensable au cours du mixage final.

24.  $N = 4$ ; c'est-à-dire nombre d'oscillateurs par note, indiquant la densité de l'objet sonore, laquelle se trouve enfin exprimée par l'épaisseur des ondulations du trait horizontal qui prolonge la note.  $S^- = 8$ : facteur multiplicatif de l'« écart » de chaque oscillateur par rapport à la valeur de référence, indiquant les limites d'extension de la distribution en fréquence, laquelle se trouve enfin exprimée par l'amplitude des ondulations du même trait horizontal.

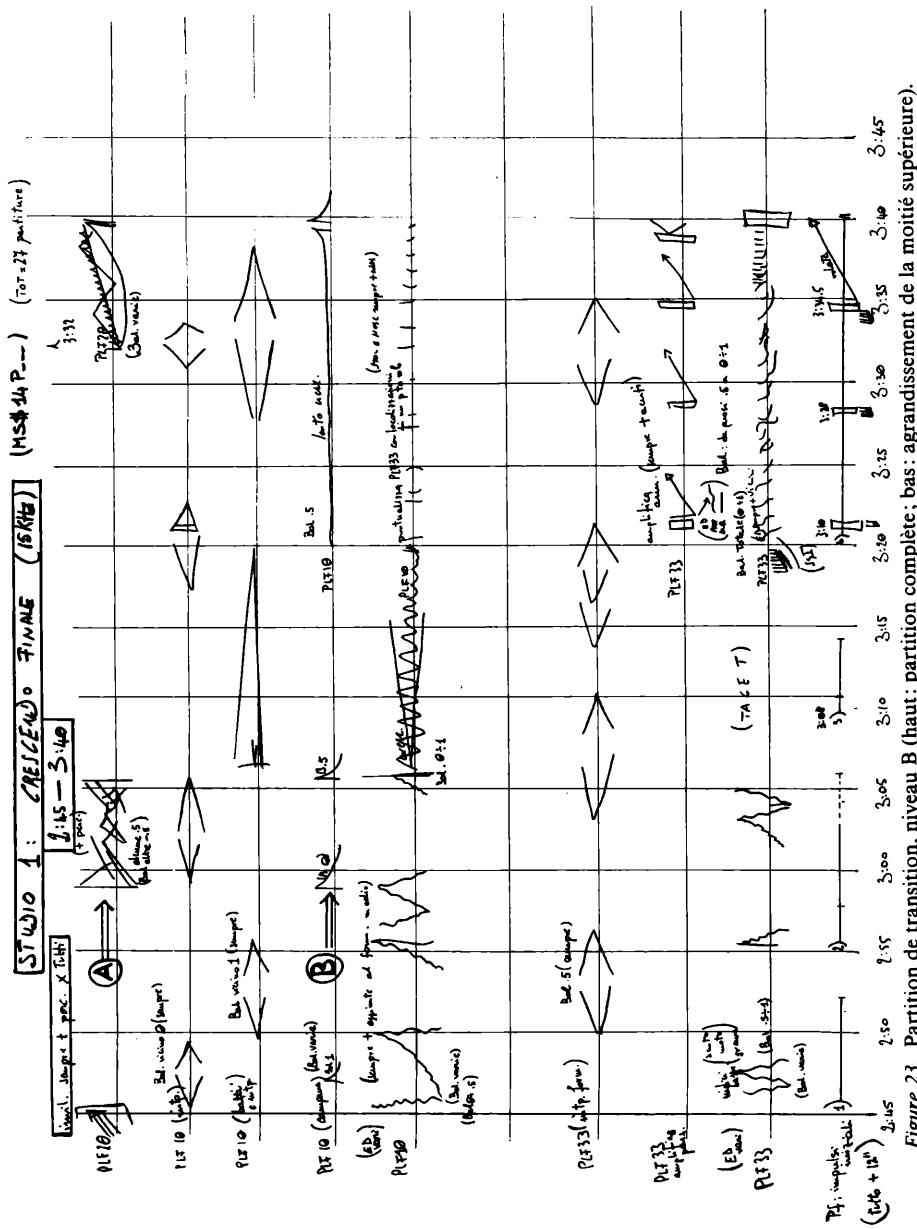
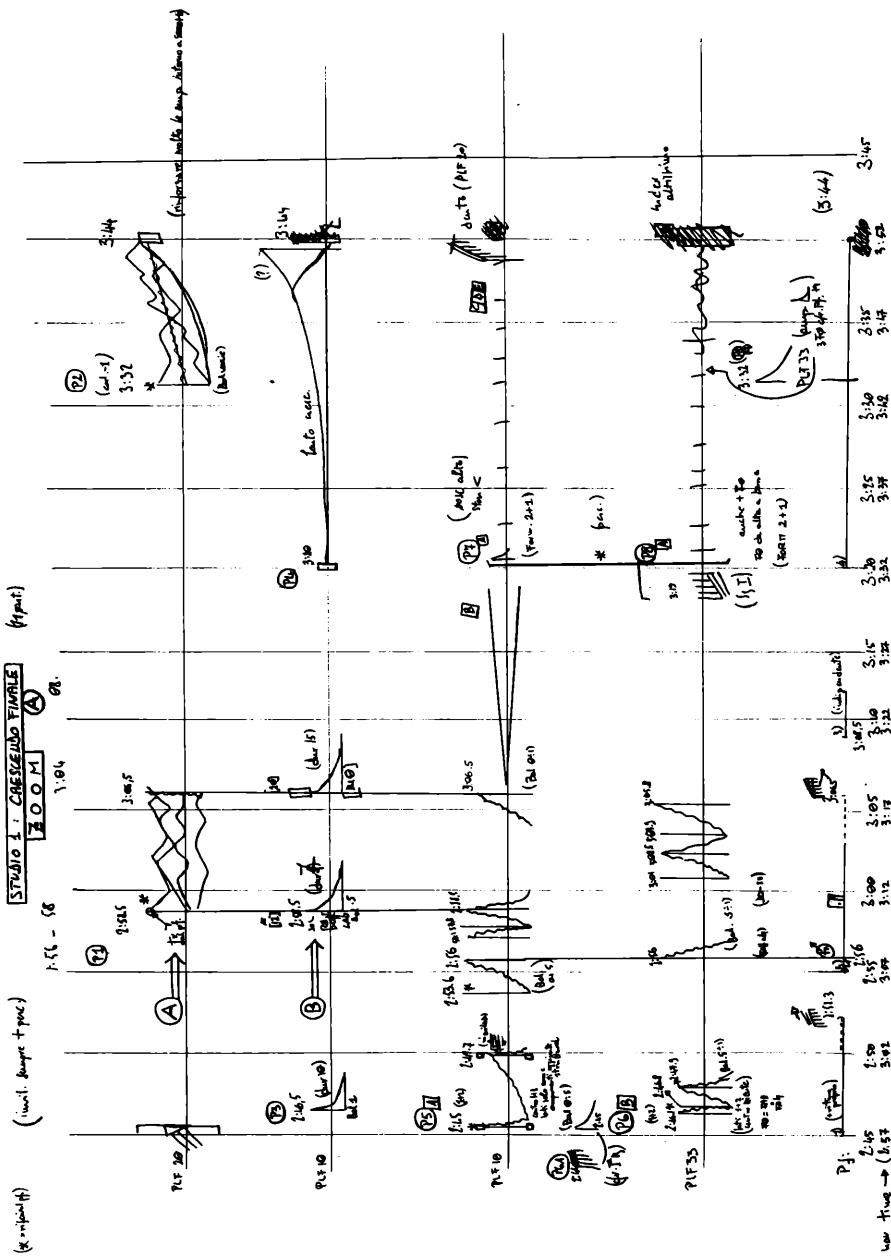


Figure 23. Partition de transition, niveau B (haut: partition complète; bas: agrandissement de la moitié supérieure).



*Figure 23* (suite).

**SEZIONE 4**

[CTL, 0, 4, 15000;]

(2:44 → 3:46)

**A**

MS\$14P...

trasmissione con : filtri a 7.5 !!  
FIL(1)  
FC(15)

$$D(i) = 4000$$

**P1**

PLF 20 → AT = 2:58.5

END = 3:06.5

8 (8voci)

7

6

5

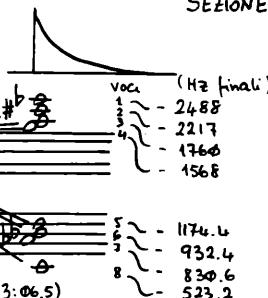
4

3

2

1

0



durata gliss = 8" + 5" per l'accordo → TOT. 13"

VOC1: 1 → PLF, 0, 20, 0, 13, 1318, 2488, 1021, 2021, .02, -.5, 14, 13, 12;  
 2 → 2217, 1021, 2021, .03, -.5, 14, 13, 12;  
 3 → 1760, 1031, 2031, .04, -.5, 14, 13, 12;  
 4 → 1568, 1041, 2041, .03, -.5, 14, 13, 12;  
 5 → 1174, 1051, 2051, .04, -.5, 14, 13, 12;  
 6 → 932.4, 1061, 2061, .05, -.5, 14, 13, 12;  
 7 → 830.6, 1071, 2071, .06, -.5, 14, 13, 12;  
 8 → 523.2, 1081, 2081, 0, -.5, 14, 13, 12;

- ΔLoc Entry Delay :  $\Delta(\text{1011}) \div \Delta(\text{1081})$

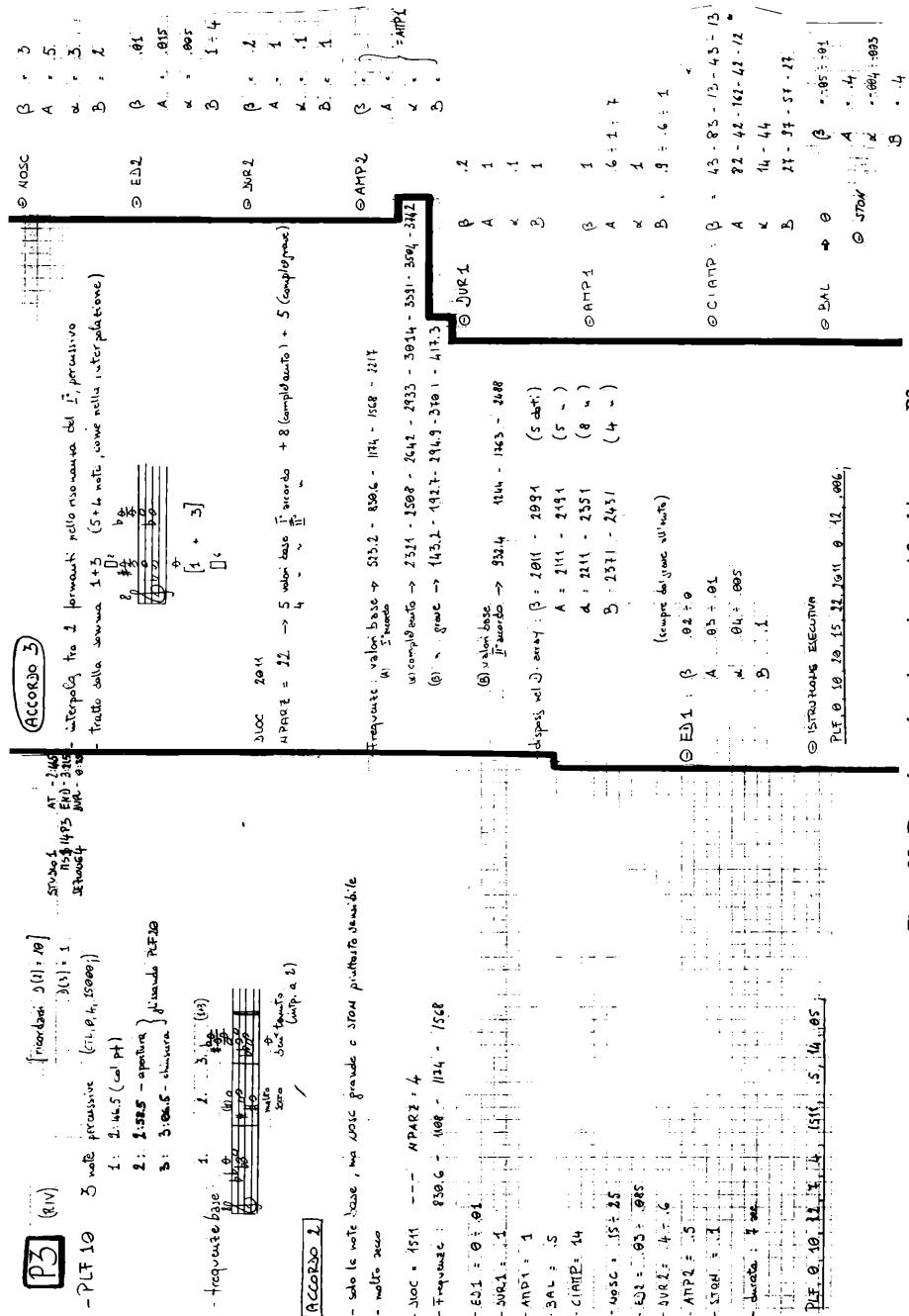
u Durate :  $\Delta(\text{2011}) \div \Delta(\text{2081})$

- Durate : valori intorno a .5 (.3-.5), quasi costanti  
 : durult = 5

- Entry Delay : valori molto vari intorno a .1

- ΔAT1 : MS\$1NS10 + MS\$14F1 + MS\$10D + MS\$14P1

Figure 24. Données opératoires, niveau A3, objet sonore P1.



*Figure 25.* Données opératoires, niveau A3, objet sonore P3.

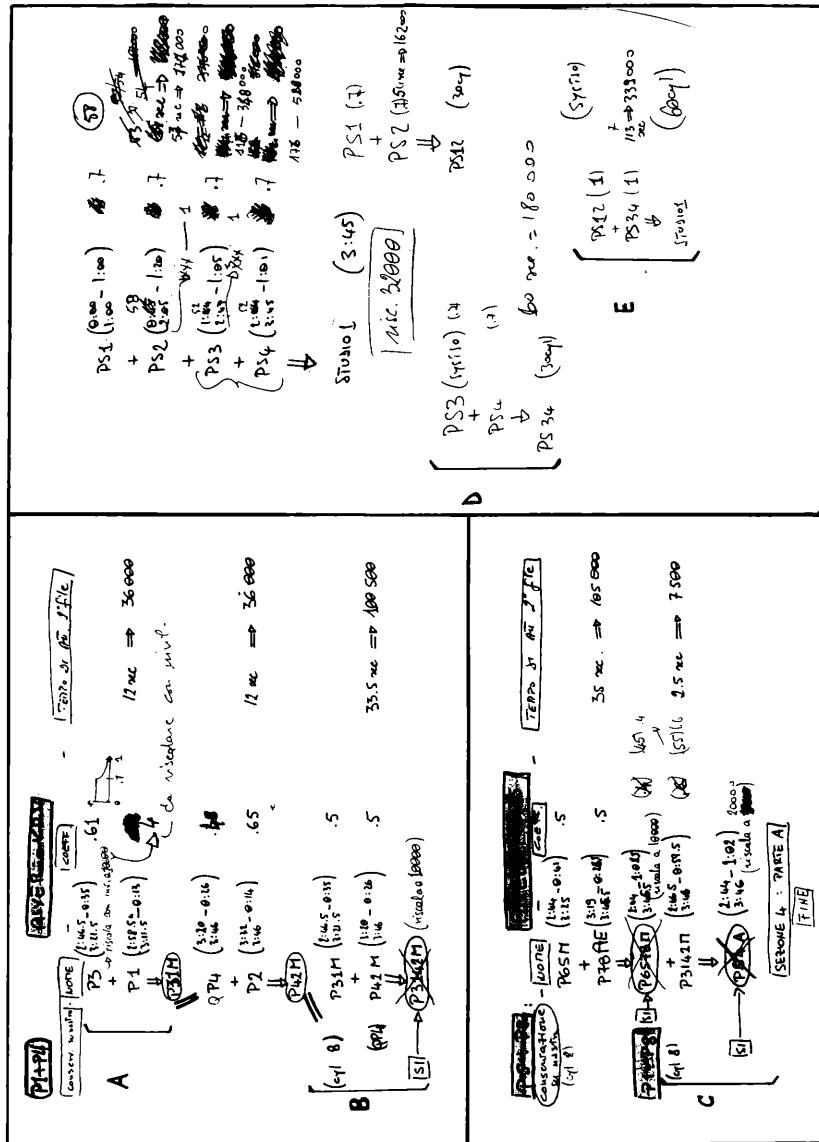


Figure 26. Partition de mixage (a : phase initiale, mixage de P1 et P2 ; b : phase intermédiaire; c-e : phase finale).

(Fig. 26 c-d) pour former la structure sonore tout entière. Des coefficients spécifiques règlent à chaque phase du mixage le poids des différents composants.

C'est un travail de concertation, pour ne pas dire de chef d'orchestre : un clavier alpha-numérique doublé d'un écran représentent la baguette de ce *chef d'orchestre*, un espace imaginaire lui sert de podium, d'où il dirige l'entité synthétique présente et active qui lui tient lieu d'orchestre et qui réclame la sensibilité d'un chef pour acquérir sa propre identité musicale.

## COMME POUR CONCLURE



## **Le timbre et l'écriture Le timbre et le langage\***

par Pierre BOULEZ

Le sujet annoncé de ma conférence, est, en quelque sorte, la fonction du timbre dans la musique instrumentale du xx<sup>e</sup> siècle. En fait, je préférerais m'attacher au rapport du timbre et de l'écriture, ou, plus généralement, du timbre et du langage. Selon les buts poursuivis, il existe deux manières de considérer le timbre.

D'une part, une façon objective, scientifique, hors du langage, sans critère d'esthétique à proprement parler; d'où une extrême difficulté à remonter du quantitatif au qualitatif. On décrit, avec graphiques à l'appui, nombre de phénomènes acoustiques; quant à la qualité d'intégration du son et du timbre dans l'ordre de la composition, elle est absente de ces mesures. Même lorsqu'on se préoccupe de la perception du phénomène sonore et de la qualité de cette perception, il s'agit d'une perception isolée, déliée d'un contexte quelconque. Dans cette approche, la valeur proprement artistique du timbre me semble fondamentalement oubliée.

D'un autre côté, s'impose la façon subjective, artistique, d'aborder le timbre comme composante du langage avec les critères esthétiques et formels qui s'y rapportent: d'où la difficulté inverse, voire l'impossibilité de relier le sentiment instinctif du qualitatif à une estimation plus raisonnée du quantitatif. Cette difficulté est évidente quand des compositeurs pourvus d'une éducation traditionnelle appuyée sur les connaissances instrumentales sont confrontés avec la synthèse du son. Ils se sentent fortement dépayrés parce que la notion de quantité essentielle pour organiser un son synthétique leur reste étrangère; ils n'ont plus affaire à des catégories établies.

Le musicien, globalement parlant, ne s'intéresse pas à la mesure, à l'analyse objective; ce qui lui importe, c'est la fonction du timbre par rapport à la composition, et, encore plus, l'affectivité que crée la perception du timbre dans le contexte de l'œuvre. On peut objecter que le timbre d'un instrument est

---

\* Cet article est la transcription de la conférence donnée par Pierre Boulez lors de la séance de clôture du Séminaire sur le Timbre organisé à l'I.R.C.A.M., en avril 1985.

défini par le constructeur en dehors de toute préoccupation stylistique. Sans cela, beaucoup de nos instruments n'auraient pas survécu à une immense évolution des styles; si le violon n'avait été que le signe de la musique baroque, il n'aurait évidemment pas survécu. Il recelait infiniment plus de possibilités stylistiques que n'ont pu en rêver ses constructeurs d'autan. Un fabricant de clarinette ne se pose pas de questions sur l'utilisation de son instrument. Il produit un objet, pouvant servir aussi bien à l'orphéon de campagne qu'à l'interprétation d'une partition extrêmement élaborée. Le fabricant d'instruments est, en principe, neutre; toutefois, il ne l'est pas absolument: les instruments fabriqués le sont en fonction d'un système précis et d'une standardisation passablement rigide; lorsqu'on veut sortir des utilisations-types, on se heurte à la hiérarchie inscrite dans l'instrument et l'on court le risque de tomber dans des effets marginaux et anecdotiques. L'accord du violon est basé sur la quinte, intervalle essentiel dans le système tonal, sans plus de privilège dans le système de douze sons. Les positions du violon sont fonction d'une certaine conception de l'univers des intervalles, de leur hiérarchie des intervalles; plus on s'en écarte, plus la manipulation de l'instrument sera difficile. De même, si l'on refuse la primauté du demi-ton sur une clarinette, on se heurtera à des difficultés: on devra éviter les solutions orthodoxes, utiliser des doigtés exceptionnels, se servir autrement des possibilités de l'embouchure. Même circonscrit par la standardisation, un instrument échappe à l'emprise du système par les emplois « périphériques ».

Pour se rendre compte à quel point timbre, composition et affectivité sont liés dans l'esprit du compositeur, il n'y a qu'à se référer à l'éducation qu'on lui transmet et qu'il transmet. Ce n'est certainement pas par une étude systématique du timbre qu'on apprend l'instrumentation, mais en relevant ça et là les échantillons particulièrement réussis, choisis comme modèles. On prend tout le temps nécessaire, et même plus, à étudier les lois de l'harmonie, leur évolution; de même, on apprend longuement le contrepoint, en s'attachant d'une façon très détaillée à ses divers aspects. On enseigne également une forme, la fugue, par exemple, groupe formel très cohérent, très fort, où se développe une technique d'écriture étudiée d'après des modèles historiques, obéissant à des règles beaucoup plus strictes que ce que l'on trouve en général dans les modèles. Mais pour l'instrumentation, de quoi se contente-t-on? De descriptions pratiques et de modes d'emploi plus ou moins dérivés d'exemples détachés de leur contexte. Descriptions pratiques: il est évident qu'en ouvrant un traité d'instrumentation, vous êtes en mesure de consulter la liste des instruments un par un, la description de leur registre en fonction de leur utilisation, les ressources de dynamique, d'articulation, de vitesse, de longueur de souffle, etc. Outre cela, on vous donne quelques recettes puisées dans les œuvres du répertoire, recettes très disparates, sans cohérence, auxquelles se mêle une certaine affectivité liée directement aux modèles proposés. Le traité de Berlioz reste le modèle du genre parce qu'il est le plus intelligemment fait, astucieux, mordant, reflétant tout à fait son point de vue sur la fonction instrumentale, qui a prévalu encore longtemps après lui. On y trouve un intime mélange de sens pratique, d'affectivité et de symbolique, caractéristique de l'attitude du musicien. Pour Berlioz le cor c'est essentiellement Weber, Oberon, le timbre de l'enchantement. Il vous dit, certes, que le timbre de la clarinette est « creux » dans le registre grave, mais il s'empresse d'ajouter: angoisse, sentiments sombres; des clarinettes dans le médium et le médium aigu, il signale la brillance, puis il passe à l'analogie des voix de femmes encourageant les

guerriers. Ce type de vocabulaire peut nous faire sourire aujourd’hui; il n’en porte pas moins témoignage d’une attitude liée essentiellement à l’affективité et au symbolisme. Une telle interprétation ne reste d’ailleurs pas limitée au timbre; elle s’applique aussi bien aux différentes tonalités: *mi bémol héroïque, fa pastoral*. L’ombre de Beethoven plane sur ces correspondances trop précises, directement dérivées des modèles aimés et sélectionnés en vue de ce catalogue des tonalités. Quand le langage s’est détaché de hiérarchies aussi typées, les connotations précises ont plus ou moins disparu; il serait très difficile maintenant d’adhérer à un point de vue tellement lié aux chefs-d’œuvre d’une période donnée.

Mais ce n’est pas la seule caractéristique de notre évolution que le timbre ait perdu cette valeur exclusive de « repère d’affection ». Je voudrais insister sur le fait que le langage était alors basé sur l’identité, et l’identification, de ses éléments constitutifs. Il n’est pas surprenant de constater que l’orchestre s’est développé dans le sens de la standardisation, ordonnant des moyens de production sonore, de même que la grammaire ordonne les éléments du langage. Au plus fort de la musique tonale, l’identité est fondamentale: un *ré* est, avant tout, un *ré*; qu’il soit joué par un violon, une clarinette, ou une trompette, il doit être reconnaissable en tant que *ré*. C’est ainsi que nos instruments ont été construits pour conforter, pour corroborer cette hiérarchie. La standardisation a appauvri, dans un certain sens, la famille des timbres, mais elle leur a permis de communiquer entre eux. On a vu, au contraire, dans d’autres civilisations, chaque instrument, voire chaque élément d’un instrument, doté d’un pouvoir séparateur: chaque son, luttant contre la standardisation, est affecté d’une hauteur, en même temps que d’un timbre, ou de certains adjutants au timbre qui font de ce son une entité profondément individuelle. Autant notre civilisation dans un certain sens a favorisé la neutralité des éléments inclus dans une hiérarchie générale, autant d’autres civilisations ont donné la priorité à l’individualité des éléments. Aujourd’hui, étant donné qu’il n’y a plus de langage harmonique, basé sur une hiérarchie générale, un *ré* n’est que ce qu’il est, la composante d’un accord: son identité n’a rien d’essentiel. Au contraire, plus l’objet *ré* sera malléable, plus il pourra participer à différents types d’organisation, plus il nous donnera satisfaction. Cette transformation va se refléter dans le timbre, qui ne sera plus considéré comme un principe l’identification mais comme un principe de transition, sinon de confusion.

Dans la musique baroque (Cantates, Passions ou Brandebourgeois), le groupe instrumental est restreint, très perceptible en tant que somme d’individualités. De plus, il est déterminé pour telle pièce, ou tel ensemble de pièces. Il ne s’agit pas encore d’un orchestre au sens où nous comprenons cette notion: il n’y a ni la neutralité, ni la généralité de l’orchestre; grâce à un corpus instrumental donné, le timbre aide à percevoir la totalité de la pièce ainsi inscrite. Aria avec deux cors anglais, viole de gambe, flûte, ou violon solo, la caractérisation va demeurer pour l’ensemble de la pièce, consacrée ainsi par un timbre absolument identifiable. Il y a stabilité et unifonctionnalité du timbre instrumental; il définit un monde qui renvoie à lui, et à lui seul: identification totale de la forme avec le timbre. Plus on ira vers la définition de l’orchestre comme nous l’entendons, plus l’entité instrumentale sera diffuse, plus d’identification instrumentale sera mobile et temporaire, moins l’affection fixe dévolue à un instrument sera évidente.

On convient de dire que l’orchestre moderne est né avec le xixe siècle; il est né, en effet, de cet emploi mobile de l’instrument: le timbre va se modeler

suivant les différents aspects de la forme. Au fur et à mesure que l'orchestre s'agrandit, que le rôle de l'instrument devient, je ne dirais pas flou, mais ductile, multiple, les formes, elles aussi, s'amplifient. Même dans les grandes œuvres de la musique baroque, on constate une accumulation de formes relativement courtes. Dans l'ère du développement, de Beethoven à Mahler, les formes sont de plus en plus longues, basées sur la transition et la multiplicité ; de même, dans le domaine du timbre, il y aura multiplicité d'emplois et de caractéristiques instrumentales. Dans certains passages, plus ou moins brefs, l'instrument sera mis en valeur comme soliste, immédiatement identifiable à une expression donnée. A d'autres moments, au contraire, la collectivité l'emportera, ensemble des bois, des cuivres, ou, plus encore, mélanges entre groupes, qui seront seulement des composantes passagères ; dès lors, ils entrent dans une certaine neutralité, leur rôle va évoluer de l'identifiable au méconnaissable à cause de la complexité ou de la brièveté des mélanges. C'est dire si le principe d'identification est remis en question ! En dehors de ses qualités individuelles, propres, l'instrument est recherché pour ses possibilités de fusion, de neutralité, de perte d'une identité excessive qui, évidemment, empêcherait les phénomènes de fusion.

A partir de Schoenberg, en particulier, l'instrument sera de plus en plus considéré comme partie d'une texture, une composante partielle de textures variées, à saisir chaque fois dans un contexte différent. Je citerai comme exemple typique de cette attitude la pièce-symbole, manifeste, la troisième des pièces opus 16, intitulée *Farben*, qui utilise des composantes extrêmement réduites au point de vue rythmique, motivique et harmonique. C'est le timbre aux identités multiples qui assume la cohésion entre les différents éléments.

L'identité du son et de la donnée sonore n'étant plus la fondamentale du langage, mais l'identité étant créée au fur et à mesure des besoins du langage, par ces besoins eux-mêmes, le monde instrumental a pu admettre, de plus en plus, des instruments qui ne font pas partie d'une hiérarchie acceptée comme dominante, qui y sont même foncièrement étrangers. On a introduit, principalement, des instruments importés ou adoptés d'autres civilisations et on a cru qu'ils allaient aisément s'intégrer.

Je donnerai l'exemple de la percussion, transformation récente la plus visible du corps orchestral : la percussion d'abord admise comme un élément sporadique, pittoresque, restreint à quelques instruments, s'est agrandie à un nombre extensif d'objets culturels étrangers à l'orchestre « classique ». Progressivement, elle est devenue un élément constituant important du corpus sonore ; mais, ces objets n'obéissant pas à la hiérarchie des autres instruments, il faut en avoir un certain nombre à sa disposition pour créer un autre type de hiérarchie, basée essentiellement sur le timbre. On a oublié, toutefois, que certains de ces instruments importés appartiennent à des hiérarchies bien précises ; s'ils ne sont pas abstraits du contexte de la civilisation dont ils viennent, ils vont amener des disparates de culture qui rendront problématique l'homogénéité de l'œuvre. Cela enrichit le corps sonore, mais comme une adjonction « exotique ». De même, l'utilisation marginale des instruments traditionnels brise la hiérarchie selon laquelle ils sont constitués sans, toutefois, apporter autre chose que des ajouts périphériques. A l'intérieur du monde instrumental, on peut constater la volonté de créer à partir des instruments traditionnels des objets sonores qui soient liés par une hiérarchie autre que celle qui a présidé à la construction de ces instruments, et, parallèlement, observer l'intrusion, dans le monde orchestral, de phénomènes adjacents qui remettent

en question, par leur existence même, la hiérarchie à laquelle on les fait participer.

L'évolution du corps sonore employé par le musicien — très lente, il faut bien le reconnaître, car elle se heurte à beaucoup d'acquis importants — est certainement due à l'évolution de la pensée des musiciens par rapport aux hiérarchies d'organisation devenues de plus en plus liées à l'œuvre elle-même, à l'instant de l'œuvre, réduite à des états temporaires et provisoires. L'effort, que ce soit, d'ailleurs, dans le domaine vocal ou instrumental, est allé dans le sens d'une confrontation avec la hiérarchie, du rejet d'un ordre standardisé.

Je voudrais, à ce point, ouvrir une parenthèse sur le domaine vocal. Si l'on note une importante évolution au XIX<sup>e</sup> siècle de ce qu'on appelle justement l'orchestre moderne, dans le domaine vocal, on constate, au contraire, une immobilité presque totale. Évolution dans le style, oui; dans les intervalles employés, oui; dans le vocabulaire harmonique, oui; mais l'écriture vocale, jusqu'à nos jours, ne change pratiquement pas. Les diversifications du mode d'émission vocale sont un phénomène très récent. Dans les œuvres les plus novatrices, l'écriture vocale reste traditionnelle. Schoenberg, dans *Die glückliche Hand*, dans *Moïse et Aaron*, en particulier, a mêlé différents types d'émission, le parler et le chanter — dans des proportions qui troublent la hiérarchie parce que le problème n'est probablement pas posé de façon suffisamment évidente. Les structures rythmiques, par exemple, sont les mêmes pour le chanter ou pour le parler; quand les voix se superposent, il se produit une espèce de boule harmonique, parce que dans l'émission chantée, les hauteurs sont choisies, limitées, circonscrites, tandis que dans l'émission parlée, les hauteurs sont anarchiques, hors de tout contrôle: le résultat en est un environnement sale, pour ainsi dire, autour du phénomène chanté qui, lui, est très pur. La difficulté de cohésion vient de ce que le parlé trouble le chanté sans que le chanté oriente le parlé. Le problème est incomplètement abordé, mais il est abordé. Il l'est même plus dans ce cas que dans le *Sprechgesang* où la conception se développe à partir d'une analyse à mon sens erronée. Le *Pierrot Lunaire* n'a pas encore trouvé de solution vraiment satisfaisante après trois quarts de siècle; on ne peut donner que des solutions boîteuses, se référant à telle coordonnée plutôt qu'à telle autre, privilégiant tel mode d'émission plutôt que tel autre. Je referme cette parenthèse en constatant que l'évolution dans l'emploi du timbre vocal a été beaucoup plus tardive que l'évolution dans le domaine du timbre instrumental. Je ne saurais donner une explication rationnelle, mais je pense que, pour de multiples raisons, certaines d'entre elles non musicales, la culture vocale a été plus importante que la culture instrumentale dans l'évolution de la musique jusqu'à un certain point de son histoire, qu'elle est restée enracinée dans la tradition vocale qui préexistait à la tradition instrumentale et lui a survécu un certain temps.

Si j'en reviens à la notion de timbre, instrumental ou vocal, le timbre existe esthétiquement lorsqu'il est directement relié à la constitution proprement dite de l'objet musical. Le timbre en soi n'est rien, comme un son n'est rien. Un son possède, certes, une identité; cette identité n'est pas encore un phénomène esthétique. L'identité esthétique ne pourra venir que s'il y a emploi, écriture, langage. Tant qu'on n'est pas arrivé à ce stade, les objets existent par eux-mêmes, disponibles, dans la vacuité du sens. De même, une tache de couleur est définissable en tant que bleu, que rouge, mais elle ne nous induit aucunement à l'idée d'un univers pictural.

L'écriture peut se situer à l'intérieur des objets, pour les construire, ou à

l'extérieur, pour les organiser : ce sont deux types, ou deux stades, d'écriture. L'écriture interne constitue l'objet lui-même au moyen de différentes composantes dont le timbre ; l'écriture externe met en relation ces différents objets dans un contexte formel, dans une perspective d'évolution. Les critères extérieurs peuvent agir sur les critères intérieurs et modifier les objets pour les mettre en relation les uns avec les autres de façon à ce que l'évolution soit cohérente et puisse s'adapter à un cadre formel. Ou bien les objets sont relativement neutres, organisés très simplement de l'intérieur, voire réduits à une seule composante ; c'est alors l'écriture de mise en relation qui devient la plus importante, la plus complexe. Ou bien vous organisez de l'intérieur des objets complexes, mais vous ne pouvez les manipuler que d'une façon relativement simple. La complexité d'organisation, d'écriture, peut passer de l'intérieur à l'extérieur, elle ne peut pas, à mon sens, se situer au même niveau dans les deux cas. De plus, il faut considérer que, dans le domaine de la synthèse, comme dans le domaine purement instrumental, les objets complexes ont tendance à ne pas être neutres par rapport à un contexte formel. Une certaine complexité de l'objet lui confère une force centrifuge, capable d'entrer en conflit avec les contextes pour lui garder son identité. Sa forte identité tend à l'autonomie vis-à-vis du contexte et peut aller jusqu'à l'annihiler. Un objet simple, ductile, pourra, au contraire, modifier son identité au fur et à mesure qu'il participera à tel ou tel événement. Le principe d'identité, d'identification, lorsqu'il est trop expressément conforté de l'intérieur n'est guère plus utilisable à l'extérieur, et vice versa. Tous les modes d'utilisation sont légitimes, à condition de tenir compte de leur spécificité.

Je voudrais prendre d'abord modèle sur le monde instrumental car il a beaucoup d'exemples à nous fournir, étant donné les années d'expérience qu'il propose. On peut ensuite projeter des conclusions sur le futur en extrapolant. Le monde de la musique instrumentale est pratiquement divisé en deux ; cette division subsiste en dépit des nombreuses franges intermédiaires. Je les appellerai le monde du petit nombre, soit la musique de chambre et le monde du grand nombre, c'est-à-dire la musique d'orchestre. Chacun de ces mondes ouvre, surtout à son extrême, un certain nombre de possibilités qui sont exclusives les unes des autres, en dépit de certaines interférences.

Le petit nombre utilise, avant tout, l'analyse du discours par le timbre, créant l'intérêt par le raffinement et par la division, tandis que le grand nombre utilise avant tout la multiplication, la superposition, l'accumulation, créant l'illusion, ce qu'Adorno appelait, à un autre propos, la fantasmagorie. Le grand nombre, l'orchestre, est le type même de l'instrument d'illusion, de fantasmagorie, tandis que le petit nombre est le monde de la réalité directe, de l'analyse. Le petit nombre est, de préférence, le monde de l'articulation, tandis que le grand nombre est essentiellement le monde de la fusion. Articulation et fusion, ce sont les deux pôles extrêmes de l'emploi du timbre dans le monde instrumental.

Un exemple caractéristique du petit nombre est la *Klangfarbenmelodie* comme on la trouve dans les pièces *op. 10* de Webern. Dans la première pièce, en particulier, la ligne mélodique est analysée par le timbre, chaque membre de phrase étant dévolu à une couleur instrumentale, chaque articulation soulignée par un changement de timbre. Le problème de la compréhension mélodique à travers le timbre est fascinant. Jouée par un seul instrument, la ligne mélodique vous laisse percevoir immédiatement sa continuité ; mais vous aurez à concevoir vous-même l'articulation : votre compréhension, votre participation, ou simple-

ment votre habitude font que, avec l'aide de l'instrumentiste qui la joue en donnant du relief au phrasé, cette ligne mélodique vous apparaît d'abord dans sa continuité, ensuite dans son articulation. Si je veux démontrer cette articulation par le timbre, j'agis, comme Webern, par une distribution des timbres accordée à l'articulation de la phrase. Mais j'ai introduit un élément de diversion, la différence de timbre, qui rompt la continuité si évidente de la phrase au timbre unique; j'ai fait surgir en même temps une difficulté de perception. Plus on veut apporter de clarté, plus on risque d'aboutir à l'obscurité; à un moment donné, les choses se retournent: plus vous expliquez par le timbre la construction fondamentale d'une phrase, plus vous l'avez rendue difficile à percevoir dans sa tonalité, car vous avez mixé des catégories différentes, qui ont tendance à prendre leur autonomie et à déchiqueter la continuité que vous avez voulu, au contraire, préserver en la surexpliquant. Partant de cela, on peut jouer sur la multiplicité du timbre par rapport, entre autres, à l'unicité de la ligne, c'est-à-dire jouer sur l'identification ou l'impossibilité d'identification. Je donnerai à ce propos un exemple tiré de la *Symphonie* opus 21 de Webern. L'exposition du premier mouvement est un double canon: le canon principal est identifiable grâce à une répartition des timbres lisible — membres de phrases suffisamment longs et explicites, changement de timbre assez régulier; le canon secondaire est plus discontinu dans le phrasé comme dans la distribution des timbres, il est difficilement identifiable comme tel. On constate la volonté d'opposer une phrase moins analysée et plus lisible à une phrase plus analysée et moins lisible: d'où les deux plans nettement différenciés de ce double canon.

Vous pouvez également utiliser la brièveté de l'objet sonore ou sa longue durée pour orienter ou désorienter la perception du timbre.

Dans mon œuvre *Éclat*, certains accords sont joués simultanément par des instruments résonants. Les différents timbres composant cet accord seront reconnus si je laisse à chaque instrument son temps individuel de résonance, à la courbe plus ou moins longue. Si tous les instruments jouent l'accord staccato, je supprime ce moyen naturel d'analyse, et la perception ne peut plus discerner, à l'intérieur du bloc sonore, de quelle combinaison il s'agit. L'identification dépend, dans ce cas, de la présence ou de l'absence des éléments essentiels pour la perception.

La technique du grand nombre est bien différente. Mon premier exemple concerne l'illusion de timbre que peut créer l'harmonie: en dessous d'un certain seuil de perception, c'est-à-dire au-delà d'une certaine vitesse, une succession d'accords sera perçue comme un mélange de timbres plus que comme une superposition de hauteurs. Ces accords n'obéissent pas, en effet, à des fonctions harmoniques codifiées et la perception est incapable d'analyser des phénomènes de hauteurs aussi fugitifs. Les relations d'intervalles, verticales, sont là pour constituer un objet sonore et non pour établir des rapports fonctionnels; si un tel accord est attaché à une ligne horizontale, sans modification interne, son identité est absorbée par notre perception: la ligne est épaisse par l'accord en tant qu'objet-timbre. Si vous diversifiez l'articulation, les rapports d'intervalles, ou si vous croisez les différentes composantes instrumentales avec la structure de l'accord-objet, l'illusion d'un timbre créé, en constante évolution, est évidemment beaucoup plus forte, la perception étant attirée à forces égales dans plusieurs directions. On aura suscité l'opposition entre une constante latente et une variété apparente. Je citerai comme exemple-prototype de ce jeu entre mélodie, harmonie et timbre le début de la pièce *Eine blasse Wäscherin* dans

*Pierrot Lunaire*: trois instruments seulement, violon, clarinette et flûte qui se succèdent sur la note supérieure d'accords de trois sons pour former une mélodie de timbres surgie de l'harmonie. Il s'agit là de ce que j'ai appelé le petit nombre, mais la technique employée est bien celle de l'illusion. Typique du grand nombre est la technique de l'accumulation: on la trouve en particulier dans le dernier Debussy, mais déjà dans Wagner. Le même univers sonore est transcrit par des timbres différents en des figurations et des rythmes légèrement divergents; trémolos de clarinettes doublés par des pizzicatos de cordes, par exemple: une même réalité vue à travers deux prismes non exactement concordants. La superposition de deux ou plusieurs de ces prismes va créer l'illusion d'un timbre complexe: coagulation, fusion, qui surgit grâce à l'écriture. C'est bien ce qui importe: le timbre ne fonctionne pas uniquement par lui-même, mais l'illusion acoustique du timbre est suscitée par la mise en œuvre de l'écriture. J'en déduis deux notions de timbre utilisées dans la musique instrumentale: timbre brut et timbre organisé. Dans le premier cas, l'écriture agit à l'extérieur, dans l'autre cas, à l'intérieur de l'objet. L'identité peut être révélée dans son absolu, ou, au contraire, dans un réseau d'ambiguités qui le dérobe ou le manifeste. Le timbre correspond alors, en tant que partie prenante, à l'évolution du langage et contribue à son enrichissement. Je n'oublie pas que les facteurs très réalistes du temps et de l'espace — temps de jonction, d'émission, espace réel séparant les instruments les uns des autres — peuvent présenter de sérieux obstacles à l'accomplissement de telles illusions. C'est pourquoi l'emplacement des instruments, le dispositif scénique et acoustique sont si importants à concevoir, dans le temps même de l'écriture, puisque écriture et timbre seront essentiellement corroborés par l'adéquation du dispositif. Nous allons ainsi contre la standardisation à laquelle le début du xx<sup>e</sup> siècle avait abouti: timbre, écriture, dispositif doivent être désormais reliés par une même nécessité, individuelle à l'œuvre.

L'identification du timbre brut ou organisé se trouve dans un champ compris entre les extrêmes de la perception immédiate et de la perception évasive, avec l'unique possibilité de jouer sur la mémoire: mémoire d'un événement, d'un objet que vous avez enregistré sans avoir eu le temps de l'analyser. Vous rappelez partiellement, par exemple, grâce à une seule composante, un événement marquant; vous donnez ainsi à votre mémoire la possibilité d'analyser ou de percevoir rétroactivement cette composante dans l'objet entendu: mémoire virtuelle de l'objet sonore qui constitue un des phénomènes les plus importants, les plus intéressants de la composition dès qu'il peut s'intégrer dans l'évolution de la forme, de la thématique. Ces allers-retours de la mémoire du présent vers le passé, ses possibles projections vers le futur, donnent à l'œuvre un jeu de perspectives selon lesquelles elle acquiert en vous un enracinement autrement impossible.

La fonctionnalité du timbre ne me semble valide que s'il est lié au langage et à l'articulation du discours par des relations structurelles: le timbre, à la fois, explique et masque. Il n'est rien sans le discours; et il peut aussi être tout le discours.

Je me suis beaucoup attardé sur l'écriture orchestrale, car je crois qu'on peut en tirer beaucoup d'enseignements. Je déplore, à vrai dire, le très grand hiatus qui subsiste entre les musiciens qui ont appris cette écriture orchestrale et savent s'en servir, et les créateurs qui se servent exclusivement des nouveaux moyens électroacoustiques. Je suis sûr que ces derniers s'épargneraient un certain nombre de tâtonnements et de déconvenues si, toute cette technique

accumulée dans le domaine instrumental, ils savaient la transposer dans les autres domaines, s'ils savaient discerner les principes qui ont guidé l'évolution du timbre orchestral et pouvaient aborder l'emploi du timbre synthétique en s'appuyant sur l'enrichissement apporté par cette évolution, dont l'aboutissement — provisoire — est infiniment différencié, extrêmement riche. Ce qui me gêne souvent quand j'entends des œuvres basées sur la synthèse, c'est soit la confusion des plans d'invention, soit l'extrême attention apportée à des objets et le peu d'intérêt accordé à leur interrelation : on crée des objets quelquefois très beaux, très fouillés, mais ils sont doués d'une très vigoureuse force centrifuge et ils ont la plus grande difficulté à s'intégrer dans un discours véritable, ayant tendance à s'agréger dans un collage ni très subtil, ni très solide. Différenciation des plans de perception, variation dans l'utilisation du temps quant à la densité ou la spécificité, telles peuvent être, entre autres, les fonctions du timbre dans l'articulation des formes.

On parle souvent, à propos des timbres inventés, de continuité : cela semble une préoccupation majeure. Je pense, sans paradoxe, que la notion de coupure est beaucoup plus importante — dans le domaine du timbre, comme dans celui des hauteurs. Elle permet justement les transitions, et cette fameuse continuité, autant que les séparations abruptes, les disjonctions. En bref, et pour en revenir à cette notion, la coupure suscite l'écriture et sa multidimensionnalité.

Il y aurait à repenser et à réévaluer, du reste, dans un monde différent, les notions de polyphonie et d'hétérophonie : polyphonie véritable, où des structures se déduisent les unes des autres, dans une responsabilité assumée par des lois plus ou moins strictes ; hétérophonie, où des univers basés sur les mêmes principes divergent dans l'apparence. De telles notions restent fondamentales ; elles demandent à être repensées en fonction d'un univers nouveau qui suppose des moyens d'investigation plus *quantifiés* qu'auparavant. Enfin, pour conclure cet aperçu sur le timbre, j'émettrai un vœu : qu'on se mette très sérieusement à l'étude des moyens de diffusion et qu'on s'attache, en ce domaine, à une rénovation radicale. Le haut-parleur actuel est un grand broyeur anonyme que je ne trouve pas à la hauteur des moyens développés en vue d'inventer un monde sonore. Dans un orchestre, la diffusion des instruments est infiniment variée, d'après leur forme, leur puissance, leur pouvoir de radiation. Le haut-parleur déverse le son par sa bouche d'ombre aseptisée : s'il a l'avantage de la *délocalisation* à volonté, il présente le grave inconvénient de la *réduction*. Lors d'un spectacle vu à Londres, les acteurs, dans la première partie, parlaient sans amplification ; dans la seconde partie, ils étaient tous amplifiés. Autant il était aisément de reconnaître leurs voix « naturelles », autant les voix amplifiées se perdaient dans le brouillard de l'anonymat. Ce n'était pas la qualité de la transmission qui était en cause, mais le registre compressé de ces voix auxquelles le haut-parleur imposait une redoutable uniformité. Le haut-parleur est encore pour le moment moins un moyen polyvalent qu'un équipement non valent, si je puis dire ; tant qu'on n'aura pas soigneusement étudié le rapport timbre-diffusion, la projection du son restera problématique. Le timbre et sa diffusion sont des caractéristiques que je juge inséparables l'une de l'autre.

Pour m'exprimer en une brève conclusion provisoire, j'affirmerai que le timbre doit, grâce à l'écriture, s'intégrer absolument au langage dans un univers multidimensionnel où sa spécificité sera le gage de son importance.

## Bibliographie

- ABROMONT, C., 1986: «A propos de Farben: invention et figuration dans la pensée de Schoenberg», *Analyse Musicale*, n° 3, avril 1986.
- ADORNO, T.W., 1962: *Philosophie de la nouvelle musique*, trad. franç. de H. Hildebrand, A. Lindenberg, Paris, Gallimard.
- 1963: *Quasi una Fantasia*, trad. franç. de J.J. Leleu, Paris, Gallimard, 1982.
- ADRIEN, J.M., CAUSSE, R., DUCASSE, E., 1988: «Sound synthesis by physical models, application to strings», *Journal of the Acoustical Society of America*.
- ALLEN, J.B., RABINER, L.R., 1977: «A unified approach to short-time Fourier analysis and synthesis», *Proceedings of 1977 I.E.E.E.*, vol. 65.
- ALLES, H.G., DI GIUGNO, G., 1977: «A one-card 64-channel digital synthesiser», *Computer Music Journal*, vol. I, n° 4.
- AMERICAN STANDARD ASSOCIATION, 1960: American Standard Acoustical Terminology, New York.
- AMIOT, E., ASSAYAG, G., MALHERBE, C., RIOTTE, A., 1986: «Duration structure generation and recognition in musical writing», *Proceedings of the International Computer Music Conference*, La Haye.
- APPLETON, J.H., PERERA, R.C., édit., 1975: *The development and practice of electronic music*, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- ARFIB, D., 1979: «Digital synthesis of complex spectra by means of multiplication of non-linear distorted sine waves», *Journal of the Audio Engineering Society*, n° 27.
- ARTAUD, P.-Y., GEAY, G., 1980: *Flûtes au présent*, Paris, Jobert.
- ATLAN, H., 1979: «Entre le cristal et la fumée», Paris, Seuil.
- ASSAYAG, G., CASTELLENGO, M., MALHERBE, C., 1985: «Functional integration of complex instrumental sounds in musical writing», *Proceedings of the International Computer Music Conference*, Vancouver.
- BABBITT, M., 1965a: «The use of computers in musicological research», *Perspectives of new music*, vol. III, n° 2.
- 1965b: «The structure and function of musical theory», *College Music Symposium*, n° 5, Réedit. in Boretz et Cone éd. *Perspectives of Contemporary Music Theory*, New York, Norton, 1972.
- 1984: «The more than the sounds of music», in *Theory Only*, vol. 8, n° 3.
- BACHELARD, G., 1940: *La philosophie du non*, Paris, Presses Universitaires de France.
- 1947: *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin.
- 1949: *Le rationalisme appliqué*, Paris, Presses Universitaires de France.
- BACKHAUS, W., 1932: «Einschwingvorgänge», *Zeitschrift für technische Physik*, n° 13.
- BACKUS, J., 1969: *The acoustical foundations of music*, New York, Norton.

- 1974: « Input impedance curves for the reed woodwind instruments », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 56.
  - 1978: « Multiphonic tones in the woodwind instruments », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 63.
  - 1985: « The effect of the player's vocal tract on woodwind instrument tone », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 78.
- BACKUS, J., HUNDLEY, J.C., 1971: « Harmonic generation in the trumpet », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 49.
- BACON, F., 1627: *Nouvelle Atlantide*, trad. franç., Paris, Vrin, 1981.
- BAILLY, F., 1984: « Sujet/objet (ici et ailleurs) », in *Le sujet et l'objet: confrontations*, ouvrage collectif du Séminaire d'interrogations sur le savoir et les sciences (1980-1981).
- BAINES, A., 1957: *Woodwind instruments and their history*, Londres, Faber.
- BAISNÉE, P.F., 1985: *CHANT manual*, Paris, I.R.C.A.M.
- BAISNÉE, P.F., BARRIÈRE, J.B., DALBAVIE, M.A., DUTHEN, J., LINDBERG, M., POTARD, Y., SAARIAHO, K., 1988: « Esquisse: a compositional environment », à paraître in *Proceedings of 1988 International Computer Music Conference*, Köln, Berkeley, Computer Music Association.
- BAISNÉE, P.-F., BARRIÈRE, J.-B., KOECHLIN, O., PUCKETTE, M., ROWE, R., 1986: « Real-time interaction between musicians and computer: performance utilization of the 4X », *Proceedings of 1986 International Computer Music Conference*, La Haye, Berkeley, Computer Music Association.
- BALABAN, M., 1985: « Foundation for artificial intelligence research of western tonal music », *Proceedings of 1985 International Computer Music Conference*.
- BALZANO, G.J., 1982: « The pitch set as a level of description for studying musical pitch perception » in M. Clynes éd., *Music, Mind and Brain: The Neuropsychology of Music*, New York, Plenum.
- BARRIÈRE, J.-B., 1984: « Chréode I: Chemin vers une nouvelle musique avec l'ordinateur », in *L'I.R.C.A.M.: Une pensée musicale*, Tod Machover éd., Paris-Montreux, Édition des archives contemporaines.
- 1985: « Élaboration des structures évolutives pour les interactions matériau/organisation », Texte introductif au Séminaire sur le Timbre, Paris, I.R.C.A.M., 16 avril 1985.
- BARRIÈRE, J.-B., POTARD, Y., BAISNÉE, P.F., 1985: « Models of continuity between synthesis and processing for the elaboration and control of timbre structure », *Proceedings of 1985 International Computer Music Conference*.
- BASTIAANS, M.J., 1980: « Gabor's expansion of a signal into Gaussian elementary signals », *Proceedings of the I.E.E.E.*, n° 68.
- BATESON, G., 1980: *Mind and nature*, Londres, Fontana.
- BAYLE, F., 1972: « Musique et expérience », *Musique en jeu*, n° 8.
- 1977: « Support-Espace », in *Cahiers Recherche Musique*, n° 5: *Le concert, pourquoi, comment?*, Paris, Institut National de l'Audiovisuel.
  - 1980: *Introduction à la 1<sup>e</sup> audition d'Erosphère*, 21 janvier.
  - 1982: « Voyage au centre de la tête-Son-Vitesse-Lumière III », in *Hommage à Pierre Schaeffer*, 23 avril 1982, Paris, G.R.M.
  - 1985: « La musique acousmatique ou l'art des sons projetés » (*Encyclopédia Universalis*, *Universalis*).
- BAYLE, F., MALEC, I., REIBEL, G., 1975: « Du studio des machines au studio des instrumentistes », in *Programme-Bulletin du G.R.M.*, n° 14.
- BEAUCHAMP, J.W., 1975: « Analysis and synthesis of cornet tones using non linear interharmonic relationships », *Journal of the Audio Engineering Society*, n° 23.
- BEBEY, F., 1975: *African Music*, Londres, Harrap.
- BECKER, J., BECKER, A., 1979: « A grammar of the musical genre Srepegan », *Journal of Music Theory*, vol. 23, n° 1.
- BENADEF, A.H., 1976: *Fundamental of musical acoustics*, New York, Oxford University Press.

- 1985: « From instrument to ear in a room: direct or via recording », *Journal of the Audio Engineering Society*, n° 33.
- 1986: « Woodwinds: the evolutionary path since 1700 ». *12<sup>e</sup> Congrès International d'Acoustique*, K6.3., Toronto.
- BENADEF, A.H., KOUZOUPI, S.N., 1988: « The clarinet spectrum: theory and experiment », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 83.
- BENADEF, A.H., LARSON, C.O., 1985: « Requirements and techniques for measuring the musical spectrum of the clarinet », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 73.
- BENADEF, A.H., LUTGEN, S.J., 1988: « The saxophone spectrum », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 83.
- BENADEF, A.H., RICHARDS, B.W., 1983: « Oboe normal mode adjustment via reed and staple proportioning », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 78.
- BENNETT, G., 1981: « Singing synthesis in electronic music », *Research Aspects of Singing*, Stockholm, Académie Royale de Musique de Suède.
- BERGÉ, P., POMEAU, Y., VIDAL, C., 1985: *L'ordre dans le chaos; vers une approche déterministe de la turbulence*, Paris, Hermann.
- BERGER, K.W., 1964: « Some factors in the recognition of timbre », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 36.
- BERIO, L., 1966: « Façon de parler », *Preuves*, n° 180.
- Von BERTALANFFY, L., 1973: *Théorie générale des systèmes*, Paris, Dunod.
- BHARUCHA, J.J., 1984a: « Anchoring effects in music: the resolution of dissonance », *Cognitive Psychology*, n° 16.
- 1984b: « Event hierarchies, tonal hierarchies, and assimilation: A reply to Deutsch and Dowling », *Journal of Experimental Psychology: General*, vol. 113, n° 3.
- BISMARCK, G. von, 1974: « Sharpness as an attribute of the timbre of steady sounds », *Acustica*, n° 30, pp. 159-172.
- BLACKMAN, R.B., 1958: *The measurement of power spectra from the point of view of communications engineering*, New York, Dover.
- BLAKE, W., 1971: « The marriage of heaven and hell », in *The poems of William Blake*, Londres, Longman.
- BLAUERT, J., 1983: *Spatial hearing*, Cambridge M.I.T. Press.
- BOETHIUS, *De intuitione musica*, Livre I, section 2, trad. angl. par O. Strunk in *Source Reading in Music History*, New York, Norton, 1950.
- BOLT, R.H., COOPER, F.S., DAVID, Jr., DENES, P.B., PICKETT, J.M., STEVENS, K.N., 1969: « Identification of the speaker by speech spectrogram », *Science*, n° 166.
- 1978: *On the theory and practice of voice identification*, Washington, National Research Council.
- BONNET, A., 1987: « L'Offrande musicale », *Entretemps*, n° 3.
- 1988: « Écriture et perception », in *Harmoniques*, n° 3.
- BOOMSLITER, P.C., CREEL, W., 1970: « Hearing with ears instead of instruments », *Journal of the Audio Engineering Society*, n° 18.
- BOUASSE, H., 1986: *Instruments à vent* (2 vol.), rééd. , Paris, Librairie A. Blanchard.
- BOULEZ, P. 1951: « Éventuellement », in *Relevés d'apprenti*, Paris, Seuil, 1966.
- 1954: « Auprès et au loin », in *Relevés d'apprentis*, Paris, Seuil, 1966.
- 1958a: Article « Musique concrète », *Encyclopédie de la Musique*, Paris, Fasquelle.
- 1958b: « A la limite du pays fertile... », in *Relevés d'apprenti*, Paris, Seuil, 1986.
- 1958c: « A propos de Poésie pour pouvoir », in *Points de repère*, Paris, Christian Bourgois éditeur.
- 1963: *Penser la musique aujourd'hui*, Genève, Gonthier.
- 1966: *Relevés d'apprenti*, Paris, Seuil.
- 1975a: *La musique en projet*, Paris, Gallimard.
- 1975b: *Par volonté et par hasard*, Paris, Seuil.
- 1981: « L'infini et l'instant », Paris, I.R.C.A.M. ; repris in *Jalons (pour une décennie)*, Paris, Christian Bourgois éditeur, 1989.

- BREGMAN, A.S., 1978: «The formation of auditory streams», in J. Requin éd., *Attention and Performance VII*, Hillsdale, Lawrence Erlbaum.
- BREGMAN, A.S., CAMPBELL, J., 1971: «Primary auditory stream segregation and perception of order in rapid sequences of tones», *Journal of Experimental Psychology*, n° 89.
- BREGMAN, A.S., PINKER, S., 1978: «Auditory streaming and the building of timbre», *Canadian Journal of Psychology*, n° 32.
- BURNS, E.M., WARD, W.D., 1982: «Intervals, scales and tuning», in D. Deutsch éd. *The psychology of Music*, New York, Academic Press.
- BUXTON, W., 1977: «A composer's introduction to computer music», *Interface*, n° 6.
- CABOT, R.C., MINO, M.G., DORANS, D.A. TACKEL, I.S., BREED, H.E., 1976: Detection of phase shifts in harmonically related tones», *Journal of the Audio Engineering Society*, n° 24.
- CADOZ, C., 1979: *Système sonore par simulation de mécanismes vibratoires. Application aux sons musicaux*. Thèse de Doctorat, université de Grenoble.
- CADOZ, C., FLORENS, J.L., 1978: «Fondements d'une démarche de recherche informatique/musique», *Revue d'Acoustique*, n° 45.
- CADOZ, C., LUCIANI, A., FLORENS, S.L., 1981: «Synthèse musicale par simulation des mécanismes instrumentaux et transducteurs gestuels rétroactifs pour l'étude du geste instrumental», *Revue d'Acoustique*, n° 59.
- 1984: «Responsive input devices and sound synthesis by simulation of instrumental mechanisms: The cordis system», *Computer Music Journal*, vol. 8, n° 3.
- CAGE, J., 1939: «But: musique nouvelle, danse nouvelle», in *Dance Observer*, rééd. in *Silence*, trad. franç. par M. Fong, Paris, Denoël, 1970.
- 1949: «Précurseurs de la modernité», in *Silence*, trad. franç. M. Fong, Paris, Denoël, 1970.
- CAGE, J., 1976: *Pour les oiseaux*, Entretien avec Daniel Charles, Paris, Belfond.
- CAMPANELLA, S.J., ROBINSON, G.S., 1971: «A composition of orthogonal transformations for digital speech processing», *IEEE Transactions on Communication Technology, COM-19*.
- CARTERETTE, E.C., FRIEDMAN, M.P., 1978: *Handbook of perception*, vol. IV: «Hearing», Academic Press.
- CASTELLANO, M.A., BHARUCHA, J.J., KRUMHANSL, C., 1984: «Tonal hierarchies in the music of North India», *Journal of Experimental Psychology: General*, vol. 113, n° 3.
- CASTELLENGO, M., 1982: «Sons multiphoniques aux instruments à vent», *Rapport I.R.C.A.M. 34/82*, Paris.
- CAUSSE, R., SLUCHIN, B., 1989: «Sourdines de Cuivres», 2<sup>e</sup> partie, à paraître in *Brass Bulletin*.
- CHARBONNEAU, G., 1979: «Effets perceptifs de la réduction des données dans la perception du timbre», *C.R. de l'Académie des Sciences*, Paris, 289 B.
- CHION, M., 1983: *Guide des objets musicaux*, Paris, Buchet-Chastel.
- CHOWNING, J., 1973: «The synthesis of complex audio spectra by means of frequency modulation», *Journal of the Audio Engineering Society*, n° 21.
- 1980: «The synthesis of the singing voice», in *Sound generation in winds, strings, computers*, Stockholm, Académie Royale de Musique de Suède.
- CHOWNING, J., BRISTOW, D., 1986: *FM theory and application*, Tokyo, Yamaha Music Foundation.
- CLARK, M., ROBERTSON, P., LUCE, P., 1964: «A preliminary experiment on the perceptual basis for musical instrument families», *Journal of the Audio Engineering Society*, n° 12.
- CLINCH, P.G., TROUP, G.J., HARRIS, L., 1982: «The importance of vocal tract resonance in clarinet and saxophone performance. A preliminary account», *Acustica*, n° 50.
- COGAN, R., 1985: *New images of musical sound*, Cambridge, Harvard University Press.

- COGAN, R., ESCOT, 1976: *Sonic design: the nature of sound and music*, Englewood Cliffs, Prentice Hall.
- COINTE, P. RODET, X., 1984: «FORMES: composition et ordonnancement de processus», *Rapport I.R.C.A.M.*, n° 36, Paris.
- Concise Oxford Dictionary of Music*, 1969, éd. Scholes, Oxford University Press, article sur le timbre.
- COMBES, J.M., GROSSMAN, A., TCHAMITCHIAN éd., 1989: *Wavelets*, Berlin, Springer Verlag.
- COSTÈRE, E, 1962: *Mort et transfiguration de l'harmonie*, Paris, Presses Universitaires de France.
- COTT, J., 1974: *Stockhausen: conversation with the composer*, Londres, Robson.
- CROZIER, W.A., CHAPMAN, A.J., éd., 1984: *Cognitive processes in the perception of art*, Elsevier, North-Holland.
- CULVER, C.A., 1956: *Musical Acoustics*, New York, Mc Graw Hill.
- CUTTING, J.E., ROSNER, B.S., 1974: «Categories and boundaries in speech and music», *Perception and Psychophysics*, n° 16.
- DAHLHAUS, C., 1972: «Ueber einige theoretische Voraussetzen der musikalischen Analyse», in *Bericht über dem 1. Internationalen Kongress für Musiktheorie*, Stuttgart 1971, Ichtys Verlag.
- DAMISCH, H., 1987: *L'origine de la perspective*, Paris, Flammarion.
- DASHOW, J., 1978: «Three methods for the digital synthesis of chordal structures with non harmonic partials», *Interface*, n° 7.
- DELIÈGE, C., 1984: *Les fondements de la musique tonale*, Paris, Lattès.  
— 1987: «La fin du romantisme», *Entretemps*, n° 4, juin.
- DERRIDA, J., 1967: *L'écriture et la différence*, Paris, Seuil.
- DERRIDA, J., LYOTARD, J.F., 1984: «Plaidoyer pour la métaphysique», *Le Monde Aujourd'hui*, 28-29 octobre.
- DEUTSCH, D., 1975: «Musical illusions», *Scientific American*, n° 233.  
— 1982a: «Grouping mechanisms in music», in Deutsch éd., *The Psychology of Music*, New York, Academic Press.  
— 1982b: «The processing of pitch combinations», in Deutsch éd., *The Psychology of Music*, New York, Academic Press.
- DEUTSCH, D., FEROE, J., 1981: «The internal representation of pitch sequences in tonal music», *Psychological Review*, n° 88.
- DIAMOND, T., MASTERSON, B., 1978: «Hearing: Central Neural Mechanisms», in *Handbook of Perception*, Carterette et Friedman éd., New York, Academic Press.
- DIJKSTERHUIS, P.R., VERHEY, T., 1969: «An electronic piano», *Journal of the Audio Engineering Society*, n° 17.
- DODGE, C., JERSE, T.A., 1985: *Computer music: synthesis, composition and performance*, New York, Schirmer Books.
- DOLSON, M., 1985: «Recent advance in Music concrete at CARL» (Computer Audio Research Laboratory, University of California, San Diego) in *Proceedings of the International Computer Music Conference 1985*.  
— 1986: «The Phase Vocoder: A Tutorial», *Computer Music Journal*, vol. 10, n° 14.
- DOWLING, W.J., 1972: «Recognition of melodic transformations: inversion, retrograde and retrograde-inversion», *Perception and Psychophysics*, n° 12.
- DUCHEZ, M.E., 1979: «La représentation spatio-verticale du caractère musical grave-aigu et l'élaboration de la notion de hauteur de son dans la conscience musicale occidentale», *Acta Musicologica*, LI.
- 1981: «Description grammaticale et description arithmétique des phénomènes musicaux: le tournant du ix<sup>e</sup> siècle», in *Sprache und Erkenntnis im Mittelalter, Miscellanea Mediavalia* (Veröffentlichungen des Thomas-Instituts der Universität zu Köln), vol. 13.
- 1983: «Des neumes à la portée: élaboration et organisation de la discontinuité musicale et de sa représentation graphique, de la formule mélodique à l'échelle monocordale», *Revue de musique des universités canadiennes*, n° 4.

- 1985: « L'émergence acoustico-musicale du terme *sonus* dans les commentaires carolingiens de Martianus Capella », *Documents pour l'histoire du vocabulaire scientifique*, n° 7.
- 1986: « Valeur épistémologique de la théorie de la basse fondamentale de Jean-Philippe Rameau » (3<sup>e</sup> partie), in *Studies on Voltaire and the Eighteen Century*.
- *Imago mundi: Naissance de la théorie musicale occidentale dans les commentaires carolingiens de Martianus Capella*, à paraître.
- DUFOURT, H., 1977: « L'artifice d'écriture dans la musique occidentale », *Revue Critique*, n° 287.
- 1980: « Logique du matériau », notice écrite pour le cycle d'ateliers de l'I.R.C.A.M.: *Le compositeur et l'instrument*, Paris.
- 1981: « Les difficultés d'une prise de conscience théorique », *Le compositeur et l'ordinateur*, Paris, I.R.C.A.M.
- 1985a: « L'ordre du sensible », in *Quoi? Quand? Comment? La recherche musicale*, Paris, Bourgois-I.R.C.A.M.
- 1985b: « De Schoenberg à Boulez », *Esprit*.
- EAGLESON, H.W., EAGLESON, O.W., 1947: « Identification of musical instruments when heard directly and over a public address system », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 19.
- ECO, U., 1971: « Pensée structurale et pensée sérielle », *Musique en jeu*, n° 5.
- EHRESMAN, D., WESSEL, D., 1978: « Perception of timbral analogies », *Rapport IRCAM*, n° 13.
- EIMAS, P., 1985: « The perception of speech in early infancy », *Scientific American*, vol. 252, n° 1.
- EKELAND, I., 1984: *Le calcul, l'imprévu*, Paris, Seuil.
- Electronic music, 1958, *Die Reihe*, n° spécial, Universal Edition.
- ELLUL, J., 1954: *La technique enjeu du siècle*, Paris, Vrin.
- ERICKSON, R., 1975: *Sound structure in music*, Berkeley, University of California Press.
- 1982: Loops: An informal experiment (Center for musical experiment, University of California, San Diego), cité par Erickson: « New music and Psychology », in D. Deutsch éd., *The Psychology of Music*, New York, Academic Press.
- FANT, G., 1960: *Acoustic theory of speech production*, Gravenhage, Mouton.
- 1973: *Speech sound and features*, Cambridge, Mass., M.I.T. Press.
- FEYNMAN, R.B., LEIGHTON, R.B., SANDS, M., 1963: *The Feynman lectures on physics*, Reading, Addison-Wesley.
- FLANAGAN, J.L., 1972: *Speech analysis and perception*, New York, Academic Press.
- FLETCHER, H., 1969: « The ear as measuring instrument », *Journal of the Audio Engineering Society*, n° 17.
- FLETCHER, H., BLACK, E.D., STRATTON, R., 1962: « Quality of organ », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 35.
- FLETCHER, H., BLACK, E.D., CHRISTENSEN, D.A., 1963: « Quality of organ tones », *Journal of the Acoustical Society of America* n° 35.
- FLETCHER, H., SANDERS, L.C., 1967: « Quality of violin vibrato tones », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 41.
- FLETCHER, H., BASSETT, I.G., 1978 « Some experiments with the bass drum », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 64.
- FOUCAULT, M., 1963: « Préface à la transgression », *Critique* n° 195-196.
- FRANCES, R., 1956/1972: *La perception de la musique*, Paris, Vrin.
- FREEDMAN, M.D., 1967: « Analysis of musical instrument tones », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 41, pp. 793-806.
- FUJITA, T., 1986: « Kuchishôga: the vocal rendition of instrument expression in the oral and literate tradition of Japanese music with emphasis on the nôkan », in Tokumaru et Yamaguti éd., 1986.
- FULLER, B., 1965: « Conceptuality of fundamental structures », in *Structure in Art and Science*, éd. G. Kepes, Londres, Studio Vista.

- GABOR, D., 1947: « Acoustical quanta and the nature of hearing », *Nature*, vol. 159, n° 4.
- GEORGE, W.H., 1954: « A sound reversal technique applied to the study of tone quality », *Acustica*, n° 4.
- GILBERT, J., 1986: *Étude acoustique du saxophone*, Rapport de stage de D.E.A. d'acoustique appliquée, Le Mans, Université du Maine.
- GOETHE, 1810: *Théorie des couleurs*, Paris, Triades, 1983.
- GREY, J.M., 1975: *An exploration of musical timbre*, Thèse, Stanford University.
- 1977: « Multidimensional perceptual scaling of musical timbres », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 61.
  - 1978: « Timbre discrimination in musical patterns », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 64.
- GREY, J.M., GORDON, J.W., 1978: « Perceptual effect on spectral modifications in musical timbres », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 63.
- GREY, J.M., MOORER, J.A., 1977: « Perceptual evaluation of synthesized musical instrument tones », *Journal of the Acoustical Society of American*, n° 72.
- GRISEY, G., 1987: « Tempus ex Machina: A composer's reflections on the musical time », *Contemporary Music Review*, vol. 2, part 1.
- GROSSMAN, A., KRONLAND, R., MORLET, J., 1987: « Analysis of sound patterns through wavelet tranforms », *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol. 1, n° 2.
- GUNJI, S., 1986: « Indication of timbre in orally transmitted music », in Tokumaru et Yamaguti éd. 1986.
- HALL, H.H., 1937: « Sound analysis », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 8.
- HARMUTH, H., 1972: *Transmission in information by orthogonal functions*, New York, Springer.
- HARRIS, F.J., 1978: « On the use of windows for harmonic analysis with discret Fourier transform », *Proceeding of the I.E.E.E.*, n° 66.
- HARVEY, J., 1981: « Mortuos Plango, Vivos Voco: A realization at I.R.C.A.M. », *Contemporary Music Journal*, vol. 5., n° 4.
- HARVEY, J., LORRAIN, D., BARRIÈRE, J.-B., HAYNES, S., 1984: « Notes on the realization of Bhakti », *Contemporary Music Review*, vol. 8, n° 3.
- HAYNES, S., 1979: *The musician-machine interface in the computer music*, Doctoral Dissertation, University of Southampton.
- HEIDEGGER, M., 1971: « Building Dwelling Thinking », in *Poetry, Language, Thought*, New York, Harper-Row.
- HEINRICH, J.M., 1986: *Recherche du mécanisme régulateur de la qualité musicale de l'ancre double confectionnée en canne de Provence*, Thèse de doctorat, Université de Paris VI.
- HEINRICH, J.M., KERGOMARD, J., 1976: « Le basson », *Bulletin du Groupe d'Acoustique Musicale*, n° 82-83, Université de Paris VI.
- HELMHOLTZ, H. von, 1877: *Sensation of Tone*, trad. angl. avec notes et appendice de E.J. Ellis, New York, Dover, 1954.
- HILLER, L., RUIZ, P., 1971: « Synthesizing musical sounds by solving the wave equation for vibrating objects », Part I, *Journal of the Audio Engineering Society*, n° 19.
- HUGGINS, W.H., 1952: « A phase principle for complex frequency analysis and its application in auditory theory », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 24.
- HUTCHINSON, W., KNOPOFF, L., 1978: « The acoustical components of Western consonance », *Interface*, n° 7.
- ISIDORE DE SÉVILLE (xixe s.), 1911: *Etymologiarum sive originum libri XX*, 2 vol., E.M. Lindsay éd., Oxford.
- JACKENDOFF, R., 1983: *Semantics and cognition*, Cambridge, M.I.T. Press.
- JAKOBSON, R., 1932: « Musikwissenschaft und Linguistik », *Prager Presse XII.7*, in

- Selected Writings*, 1971, La Haye, Mouton, trad. franç. « Musicologie et Linguistique » in *Musique en jeu*, n° 5, 1975.
- 1976-1978: *Six lectures on sound and meaning*, Cambridge, M.I.T. Press, 1978, trad. franç. par J. Mepham, 1978, Paris, Minuit.
- JANSSON, E., SUNDBERG, J., 1975-1976: « Long-term average spectra applied to analysis of music », *Acustica*, n° 34.
- JENKINS, G.M., WATTS, D.G., 1968: *Spectral analysis and its applications*, San Francisco, Holden-Day.
- KAMISANGO, Y., 1986: « Oral and literal aspects of tradition transmission in Japanese music: with emphasis on *syôga* and *hakase* », in Tokumaru et Yamamuti, éd., 1986.
- KANDINSKY, V., 1969: *Du spirituel dans l'art*, Paris, Denoël.
- 1970: « Point-Ligne-Plan », in *Écrits Complets : la forme*, Paris, Denoël.
- KATSUMURA, J., 1986: « Some innovations in musical instruments of Japan during the 1920's », *Yearbook for traditional music*, n° 18.
- KEELER, J.S., 1972: « Piecewise-periodic analysis of almost-periodic sounds and musical transients », *I.E.E.E. Transactions on Audio and Electronics*, AU-ZO.
- KERGOMARD, J., 1981a: *Champ interne et champ externe des instruments à vent*, Thèse de Doctorat ès Sciences Physiques, Université de Paris VI.
- 1981b: « Ondes quasi stationnaires dans les pavillons avec pertes visco-thermiques aux parois: calcul de l'impédance », *Acustica*, n° 48.
  - 1989: « Acoustique des tuyaux sonores », *Journées Pédagogiques d'Acoustique Musicale*, Paris, C.E.N.A.M.
- KIRCHER, A., 1650-1970: *Musurgia Universalis*, Olms, New York.
- KOBLYAKOV, L., 1986: « Notes préliminaires au sujet de la musique nouvelle », *Dissonance*, n° 7, février.
- KOENIG, W., DUNN, H.K., LACEY, L.Y., 1946: « The sound spectrograph », *Journal of the American Society of America*, n° 18.
- KOFFKA, K., 1935: *Principles of Gestalt Psychology*, New York, Harcourt, Brace and World.
- KÖHLER, W., 1910/1911/1915: « Akustische Untersuchungen », *Zeitschrift für Psychologie*, n° 54-58-72.
- KOHUT, J., MATHEWS, M.V., 1971: « Studies of motion of a bowed string », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 49.
- KOMPARU, S., MASUDA, S., éd., 1973: *Nôgaku hayasi taikei* (Traité des ensembles instrumentaux du nô), avec 6 disques, Tokyo, Victor (SJL 64-69)
- KRONLAND-MARTINET R., 1988: « The use of the wavelet transform for the analysis, synthesis and processing of speech and music sounds », *Computer Music Journal*, vol. 12, n° 4.
- KRUMHANSL, C. L., 1983: « Perceptual structures for tonal music », *Music Perception*, n° 1.
- KRUMHANSL, C. L., KESSLER, E., 1982: « Tracing the dynamic changes in perceived tonal organization in a spatial representation of musical key », *Psychological Review*, n° 89.
- LASHLEY, K.S., 1942: « An examination of the “continuity theory” as applied to discriminative learning », *Journal of General Psychology*, n° 26.
- LE BRUN, M., 1979: « Digital waveshaping synthesis », *Journal of the Audio Engineering Society*, n° 27.
- LEIPP, E., 1971: *Acoustique et musique*, Paris, Masson.
- 1973: « Réflexions et expériences sur la clarinette », *Bulletin du Groupe d'Acoustique Musicale*, n° 71, Université de Paris VI.
- LERDAHL, F., JACKENDOFF, R., 1983: *A Generative Theory of Tonal Music*, Cambridge, M.I.T. Press.
- LIBERMAN, A.M., COOPER, F.S., SHANKWEILER, D.P., STUDDERT-KENNEY, M., 1972: « Perception of the speech code », in David et Denes éd., *Human communication : a unified view*, New York, McGraw-Hill.
- LIGETI, G., 1965: « Metamorphosis of musical form », *Die Reihe*, n° 7.

- 1985: *A cura di Enzo Restagno*, E.D.T. Edizioni di Torino.
- LINDSAY, P.H., NORMAN, D.A., 1977: *Human information processing: an introduction to psychology*, 2<sup>e</sup> éd., New York, Academic Press.
- LONGUET-HIGGINS, H.C., 1962a: « Letter to a musical friend », *Music Review*, n° 23.
- 1962b: « Second Letter to a musical friend », *Music Review*, n° 23.
- LORRAIN, D., 1980: « Analyse de la bande d'*Inharmonique* », *Rapport I.R.C.A.M.* n° 26, Paris.
- LUCE, D., CLARK, M. Jr., 1967: « Physical correlates of brass-instrument tones », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 42.
- LUDIN, R.W., 1967: *An objective psychology of music*, New York, Ronald Press.
- LURTON, X., 1981; « Étude analytique de l'impédance d'entrée des instruments à embouchure », *Acustica*, n° 49.
- McADAMS, S., 1982: « Spectral fusion and the creation of auditory images », in Clynes éd., *Music, Mind and Brain: The Neuropsychology of Music*, New York, Plenum.
- 1984a: *Spectral fusion, spectral parsing, and the formation of auditory images*, Thèse de doctorat, Stanford University.
- 1984b: « The auditory image: A metaphor for musical and psychological research on auditory organization », in W.H. Crozier et A.J. Chapman, éd., *Cognitive Processes in the Perception of Art*, North-Holland, Amsterdam, pp. 289-323.
- 1988: « Perception et intuition: calculs tacites », *Inharmoniques* n° 3, Paris, I.R.C.A.M.-Bourgois.
- 1989: « Contraintes psychologiques sur les dimensions porteuses de formes en musique », in S. McAdams et I. Deliège éd., *La musique et les sciences cognitives*, Bruxelles, Éditions Pierre Mardaga.
- McADAMS, S., BREGMAN, A., 1979: « Hearing musical streams », *Computer Music Journal*, vol. 3, n° 4.
- McADAMS, S., GLADKOFF, S., KELLER, J.P., 1985: « AISE: A prototype laboratory for musical research and the development of conceptual tools », *Proceedings of 1984 International Computer Music Conference*.
- McADAMS, S., SAARIAHO, K., 1985: « Qualities and Functions of musical Timbre », *Proceedings of 1985 International Computer music conference*.
- MACHE, F.B., 1983a; « L'œil du cyclone », *Le Monde Aujourd'hui*, 25-26 décembre 1983.
- 1983b: *Musique, mythe, nature*, Paris, Klincksieck.
- MACHOVER, T., 1981: *Le Compositeur et l'ordinateur*, publication I.R.C.A.M.
- 1984: « Musique informatique avec ou sans instruments », in *L'I.R.C.A.M.: une pensée musicale*, T. Machover éd., Paris-Montreux, Édition des archives contemporaines.
- MALHERBE, C., ASSAYAG, G., CASTELLENGO, M., 1984: *Nouvelles techniques instrumentales; Composition et formulation*, I.R.C.A.M., Paris.
- 1985: « Functional integration of complex instrumental sounds in musical writing », in *Proceedings of the International Computer Music Conference 1985*.
- MANOURY, P., 1984: « La part consciente », in *L'I.R.C.A.M.: une pensée musicale*, T. Machover éd., Paris-Montreux, Édition des archives contemporaines.
- MARTIN, D.W., 1947: « Decay rates of piano tones », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 19.
- MATHES, R.C., MILLER, R.L., 1947: « Phase effects in monaural perception », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 19.
- MATHEWS, M.V., 1963; « The digital computer as a musical instrument », *Science*, n° 142.
- 1969: *The technology of computer music*, Cambridge, M.I.T. Press.
- MATHEWS, M.V., KOHUT, J., 1973: « Electronic simulation of violin resonances », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 53.
- MATHEWS, M.V., MILLER, J.E., DAVID, E.E. Jr., 1961; « Pitch synchronous analysis of voiced sounds », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 33.
- MATHEWS, M.V., MILLER, J.E., PIERCE, J.R., TENNEY, J., 1965: *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 38.

- 1966: *Computer study of violin tones*, Murray Hill, Bell Laboratories.
- MATHEWS, M.V., MOORE, F.R., 1970: «Groove — a program to compose, store and edit functions of time», *Communications of the A.C.M.*, n° 13.
- MATHEWS, M.V., MOORE, F.R., RISSET, J.C., 1974: «Computer and future music», *Science*, n° 183.
- MATHEWS, M.V., PIERCE, J.R., 1980: «Harmony and nonharmonic partials», *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 68.
- MATHEWS, M.V., ABBOTT, C., 1980: «The sequential drum», *Computer Music Journal*, vol. 4, n° 4.
- MERRIAM, A.P., 1953: *The Anthropology of Music*, Evanston.
- MESSIAEN, O., 1944: *Technique de mon langage musical*, Paris, Leduc.
- 1960: *Chronochromie*, Paris, Leduc.
- MEYER, E., BUCHMANN, G., 1931: *Die Klangspektren der Musikinstrumente*, Berlin.
- MEYNIAL, X., 1987: *Systèmes micro-intervalles pour les instruments à trous latéraux, oscillation d'une anche simple couplée à un résonateur de diverses formes*, thèse de docteur d'ingénieur, Le Mans, Université du Maine.
- MILLER, D.C., 1926: *The science of musical sounds*, New York, MacMillan.
- MILLER, G.A., 1956: «The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information», *Psychological Review*, n° 63, pp. 81-97.
- MILLER, G.A., GALANTER, E., PRIBRAM, K., 1960: *Plans and the Structure of Behavior*, New York, Holt.
- MINSKY, M., 1985: «Musique, Sens et Pensée», in *Quoi? Quand? Comment? La recherche musicale*, Paris, Christian Bourgois éditeur — I.R.C.A.M.
- MION, M., NATTIEZ, J.-J., THOMAS, J.-C., 1982: *L'envers d'une œuvre: Le «De natura sonorum» de Bernard Parmegiani*, Paris, Buchet-Chastel.
- MOORE, B., 1982: *An introduction to the psychology of hearing*, Londres, Academic Press.
- MOORE, F.R., 1983: «A general model for spatial processing of sounds», *Computer Music Journal*, vol. 7, n° 3, automne 1983.
- MOORER, J.A., 1977: «Signal processing aspects of computer music: a survey», *Proceedings of the I.E.E.E.*, n° 65.
- 1978: «The use of the phase vocoder in computer music applications» *Journal of the Audio Engineering Society*, n° 26.
- MOORER, J.A., GREY, J., 1977a: «Lexicon of analysed tones, Part I: a violin tone», *Computer Music Journal*, vol. 1, n° 2.
- 1977b: «Lexicon of analysed tones, Part II: clarinet and oboe tones», *Computer Music Journal*, n° 3.
- 1978: «Lexicon of analysed tones; Part III: the trumpet», *Computer Music Journal*, vol. 2, n° 2.
- MORRILL, D., 1977: «Trumpet algorithms for music composition», *Computer Music Journal*, vol. 1, n° 1.
- MURAIL, T., 1984: «Spectres et lutins» in *L'I.R.C.A.M.: une pensée musicale*, T. Machover éd., Paris-Montreux, Édition des archives contemporaines.
- «Music and Technology»: UNESCO, *Revue Musicale*, Paris, 1971.
- Music Perception*, 1984, vol. 1, n° 3.
- «Musique contemporaine, comment l'entendre», 1985, *Esprit*, n° spécial.
- NARMOUR, E., 1983-1984: «The concept of hierarchy in the analysis of tonal music», *Music Perception*, n° 2, hiver 1983.
- NATTIEZ, J.J., 1975: *Fondements d'une sémiologie de la musique*, Paris, Union générale d'Édition.
- NEISSER, U., 1967: *Cognitive psychology*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- NICOLAS, F., 1986: «Visages du Temps», *Entretemps*, n° 1, avril.
- NICOLIS, G., 1982: *Thermodynamique de l'évolution*, Université libre de Bruxelles.
- OLSON, C., 1950: «Projective Verse», rééd. in Allen et Tallman éd., 1973, *The Poetics of the New American Poetry*, New York, Grove.
- OLSON, H.F., 1967: *Music, physics and engineering*, New York, Dover.

- PANTER, P.F., 1965: *Modulation, noise and spectral analysis*, New York, McGraw Hill.
- PAULUS, J., 1969: *La fonction symbolique et le langage*, Bruxelles, Ch. Dessart.
- PIAGET, J., 1961: *Les mécanismes perceptifs*, Paris, Presses Universitaires de France.
- 1967: « Les deux problèmes principaux de l'épistémologie des sciences de l'homme », in *Logique et connaissance scientifique*, éd. Piaget, Paris, Gallimard, Encyclopédie de la Pléiade.
- PIERCE, J.R., 1966: « Attaining consonance in arbitrary scales », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 40.
- 1984: « Le son musical », *Pour la Science*.
- PLOMP, R., 1964: « The ears as a frequency analyzer » *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 36.
- 1966: « Timbre as a multidimensional attribute of complex tones », in Plomp et Smoorenburg éd., *Frequency analysis and periodicity detection in hearing*, Leiden, Smithoff.
  - 1976: *Aspects of tone sensation*, New York, Academic Press.
- PLOMP, R., LEVELT, W.J.M., 1965: « Tonal consonance and critical bandwidth », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 38.
- PLOMP, R., STEENEKEN, J.M., 1969; « Effect of phase on the timbre of complex tones », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 46.
- 1971: « Pitch versus Timbre », *Proceedings of the 7th International Congress of Acoustics*, Budapest, n° 3.
- POMERANTZ, J.R., KUBOVY, M., éd., 1981: *Perceptual organization*, Erlbaum, Hillsdale.
- POTARD, Y., BAISNÉE, P. F., BARRIÈRE, J.B., 1986: « Experimenting with models of resonance produced by a new technic of the analysis of impulsive sounds », *Proceedings of 1986 International Computer Music Conference*, La Haye, Berkeley, Computer Music Association.
- POTARD, Y., VANDENHEEDE, J., 1984: « Implantation d'un synthétiseur CHANT sur un processeur vectoriel FPS 100 », Paris, *Rapport de recherche I.R.C.A.M.*
- POUSSEUR, H., 1970: *Fragments théoriques I sur la musique expérimentale*, Éditions de l'Université libre de Bruxelles.
- 1983: « Périodicité et synthèse sonore analogique (Propositions) », in *communication présentée au colloque: Le concept de recherche en musique*, I.R.C.A.M., Paris, février 1983.
- PRIGOGINE, I., STENGERS, I., 1979: *La nouvelle alliance*, Paris, Gallimard.
- RAMEAU, J.P., 1737: *La génération harmonique*, Paris.
- RANDALL, J.K., 1967: « Three lectures to scientists », *Perspectives of new Music*, vol. 5, n° 2.
- REICH, O., 1938: « Was ist das Material der Musik? », *Acta musicologica*, vol. X, N° 3.
- REISER, E., 1930: « Mathematics and emergent evolution », in *Monist*.
- REMI D'AUXERRE, (ix-x<sup>e</sup> s.), 1965: *Commentum in Martianum Cappella*, C.E. Lutz éd., Leiden, Brill, 1965.
- REYNOLDS, R., 1986: « Musical Production and the Related Issues at CARL », *Minutes de la Conférence Internationale d'Informatique Musicale*.
- 1987a: « A perspective on form and experience », *The Contemporary Music Review*, n° 3.
  - 1987b: « A searcher's path: a composer's way », *Institute for Studies in American Music*, Brooklyn, New York.
- RICHARDSON, E.G., 1954: « The transient tones of wind instruments », *Journal of the Acoustical society of America*, n° 26.
- RICHER, J.L., 1979: *MUSIC V: manuel de référence*, Paris, I.R.C.A.M.
- RIOTTE, A., 1984: « Un modèle informatique pour la transformation continue des sons harmoniques », *Proceedings of the International Computer Music Conference*, Paris.
- RISSET, J.C., 1965: *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 38.
- 1966: *Computer study of trumpet tones*, Murray Hill, Bell Laboratories.

- 1969/70: *An introductory catalog of computer-synthesized Sounds*, Murray Hill, Bell Laboratories.
- 1971/78b: « Paradoxes de hauteur », *Proceedings of the 7th International Congress of Acoustics*, Budapest, rééd. in *Rapport de Recherche I.R.C.A.M.* n° 10, Paris, 1978 (avec exemples sonores).
- 1977/1978c: « Hauteur et timbre », *Revue d'Acoustique*, n° 42, rééd. *Rapport de recherche I.R.C.A.M.* n° 11, Paris (avec exemples sonores).
- 1978a: « Musical acoustics », in Carterette et Friedman, *Handbook of perception*, vol. IV: *Hearing*, New York, Academic press.
- 1978d: « The development of digital techniques: A turning Point for Electronic Music », *Rapport de recherche I.R.C.A.M.*, Paris.
- 1985: *Quoi? Quand? Comment? La recherche musicale*, Paris, Christian Bourgois éditeur-I.R.C.A.M.
- 1985a: « Le compositeur et ses machines », in *Esprit*.
- 1985c: « Digital techniques and sound structure in music » in *Roads*.
- 1986: « Son musical et perception auditive », *Pour la Science*, n° 109.
- RISSET, J.-C., MATHEWS, M.V., 1969: « Analysis of instrument tones », *Physics Today*, vol 22, n° 2, pp. 23-40.
- ROADS, C., 1978: « Automated granular synthesis of sound », *Computer Music Journal*, Vol. 2, n° 2, pp. 61-62.
- 1980: « Artificial intelligence in Music », *ibid*.
- (éd.) 1985: *Composers and the Computer*, W. Kaufman, Los Altos.
- ROADS, C., STRAWN, J., éd., 1985: *Foundations of computer music*, Cambridge, M.I.T. Press.
- RODET, X., 1979/1984: « Time-domain formant-wave-function synthesis », *Proceedings of the NATO-ASI Meeting Bonas*, rééd. *Computer Music Journal*, vol. 8, n° 3.
- 1983: « Le projet CHANT », présenté au colloque: Le concept de recherche en musique, I.R.C.A.M., Paris, février 1983.
- 1985a: « FORMES beginner's guide », éd. I.R.C.A.M., *Conférences des Journées d'Études du Festival du son*, Paris.
- 1985b: Communication au Séminaire sur le Timbre, I.R.C.A.M., Paris.
- RODET, X., COINTE, P., 1984/1985: « FORMES: composition and scheduling of processes », *Computer Music Journal*, vol. VIII, n° 3, trad. franç. in *Rapport I.R.C.A.M.* n° 36.
- RODET, X., DEPALLE, P., 1985: « High quality synthesis by rule of consonants », *Proceedings of 1985 International Computer Music Conference*, Vancouver, Berkeley, Computer Music Association.
- RODET, X., POTARD, Y., BARRIÈRE, J.B., 1984/1985: « The CHANT project: from synthesis of the singing voice to Synthesis in General », *Computer Music Journal*, vol. VIII, n° 3; trad. franç. in *Rapport de recherche I.R.C.A.M.*, n° 36.
- RODET, X., BENNETT, G., 1980: « Synthèse de la voix chantée par ordinateur », *Conférences des Journées d'Études du Festival*, Paris.
- ROEDERER, J.-C., 1974/1975: *Introduction to the physics and psychophysics of music*, Londres, The English University Press.
- RUMMENHOLLER, P., 1967: *Musiktheoretisches Denken im 19. Jahrhundert*, Regensburg, Gustav Basse Verlag.
- ROSCH, E., 1975: « Cognitive reference points », *Cognitive Psychology*, n° 7.
- ROSCH, E. MERVIS, C.B., 1975: « Families resemblances; studies in the internal structure of category », *Cognitive Psychology*, n° 7.
- ROSENBLATT, M., éd., 1963: *Time series analysis*, New York, Wiley.
- RUSSCOL, H.B., 1972: *The liberation of sound*, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- SAARIAHO, K., 1985: « Shaping a compositional network with computer », *Proceedings of 1984 International Computer Music Conference*.
- SALDANHA, E. L., CORSO, J.F., 1964: « Timbre cues and the identification of musical instruments », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 36.
- SAUSSURE, F. de, 1922: *Cours de linguistique générale*, Paris, Payot.

- SCHAEFFER, P., 1957: « Vers une musique expérimentale », *Revue Musicale*, n° 236.
- 1959: *A la recherche d'une musique concrète*, Paris, Seuil.
- 1966: *Traité des objets musicaux*, Paris, Seuil.
- 1972: *Machines à communiquer. I. Genèse des simulacres*, Paris, Seuil.
- 1975: « A la recherche de la musique même », *Revue Musicale Suisse*, n° 115.
- SCHAEFFNER, A., 1930: *Origine des instruments de musique*, Paris, Payot.
- SCHAFFER, R.W., RABINER, L.R., 1975: « Digital representations of speech signals », *Proceedings of the I.E.E.E.*, n° 63.
- SCHERCHEN, H., 1953: *La direction d'orchestre*, Schott, Mainz; trad. franç. d'A. Artaud, Actes Sud, 1986.
- SCHOENBERG, A., 1911: *Harmonielehre*, Universal, Leipzig/Vienne; trad. franç., 1983, Paris, Lattès.
- SCHOTTSTAEDT, W. 1977: « The simulation of natural instrument tones using frequency modulation with a complex modulation wave », *Computer Music Journal*, vol. 1, n° 4.
- 1983: « Pla: a composer's idea of a language », *Computer Music Journal*, vol. 7, n° 1.
- SCHROEDER, M.R., 1966: « Complementarity of sound build up and decay », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 40.
- 1975: « Models of hearing », *Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers*, n° 63.
- SCHUMACHER, R.T., 1981: « Ab initio calculations of the oscillations of a clarinet », *Acustica*, n° 48.
- SERRES, M., 1980: *Le passage du Nord-Ouest*, Hermès V, Paris, Éditions de Minuit.
- 1985: *Les cinq sens*, Paris, Grasset.
- SHEPARD, R.N., 1964: « Circularity of relative pitch », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 36.
- 1972: « Psychological representation of speech sounds », in *Human Communication*; E.E. Davis et T.B. Denes, McGraw Hill, New York.
- 1982a: « Geometrical approximations to the structure of musical pitch », *Psychological Review*, n° 89.
- 1982b: « Structural Representations of Musical Pitch », in D. Deutsch éd., *The Psychology of Music*, New York Academic Press.
- SHEPARD, R.N., COOPER, L.-A., 1982: *Mental images and their transformations*, Cambridge, M.I.T. Press.
- SHIMIZU, M., NAOI, T., IDOGAWA, T., 1989: « Vibrations of the reed and the air column in the bassoon », *Journal of the Acoustical Society of Japan*, n° 10.
- SIMON, H.A., 1962: « The architecture of complexity », *Proceedings of the American Philosophical Society*, n° 166, rééd. in H.A. Simon, *The sciences of the artificial*, Cambridge, M.I.T. Press, 1969.
- SINGH, S., WOODS, D.R., 1971: « Perceptual structure of 12 American English vowels », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 49.
- SLAWSON, A.W., 1968: « Vowel quality and musical timbre as functions of spectrum envelope and fundamental frequency », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 43.
- SLAWSON, W., 1985: « Operations on timbre-perspectives and problems », *Proceedings of 1984 International Computer Music Conference*.
- SLUCHIN, B., CAUSSE, R., 1987: « Sourdines des cuivres », 1<sup>re</sup> partie, *Brass Bulletin*, n° 57.
- SOURIS, A., 1976: *Conditions de la musique et autres écrits*, Éditions universitaires de Bruxelles-C.N.R.S.
- STRAVINSKY, I., 1970: *Poetics of Music*, Cambridge, Harvard University Press.
- STRAWN, J., 1982: « Research on timbre and musical context at C.C.R.M.A. », *The International Computer Music Conference*, Venise.
- STRONG, W., CLARK, M. Jr., 1967a: « Synthesis of wind-instrument tones », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 41.

- 1967b: « Perturbations of synthetic orchestral wind-instrument tones », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 41.
- STROPPA, M., 1984: « Sur l'analyse de la musique électronique », in *L'I.R.C.A.M. : une pensée musicale*, T. Machover éd., Paris, Édition des archives contemporaines.
- 1988: « Musical information organisms : an approach to composition », à paraître in *Proceedings of the Symposium on Psychology and Music, Contemporary Music Revue*, Londres, Gordon and Breach.
- 1990: « Les organismes d'information musicale : une approche de la composition », in S. McAdams et I. Deliège éd., *La musique et les sciences cognitives*, Bruxelles, Pierre Mardaga éditeur.
- STUMPF, C., 1883/1890: *Tonpsychologie*, Leipzig, Hinzel.
- 1926: *Die Sprachlaute*, Berlin/New York, Springer Verlag.
- SUNDBERG, J., 1977: « The acoustics of the singing voice », *Scientific American*, n° 236.
- 1978: « Synthesis of singing », *Swedish Journal of Musicology*, n° 60.
- TENNEY, J.-C., 1965: « The physical correlated of timbre », *Gravesaner Blätter*, VII, 26.
- TERHARDT, E., 1974: « Pitch, consonance and harmony », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 55.
- 1978: « Psychoacoustics evaluation of musical sounds », *Perception and Psychophysics*, n° 23.
- THOMSON, S.C., 1979: « The effect of the reed resonance on the woodwind tone production », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 66.
- TOKUMARU, Y., 1986: « The interaction of orality and literacy in structuring syamisen music », in Tokumaru et Yamaguti éd. 1986.
- 1987: « Syamisen and sawari », *Contemporary Music review*, vol. 1, n° 2.
- TOKUMARU, Y., YAMAGUTI, O., éd., 1986: *The oral and the literate in music*, Tokyo, Academia Music.
- VANDENHEEDE, J., HARVEY, J., 1985: « Identity and ambiguity : the construction and use of timbral transitions and hybrids », *Proceedings of the 1985 International Music Conference*, San Francisco, Computer Music Association.
- VAN NOORDEN, L., 1975: *Temporal coherence in the perception of tones sequences*, Eindhoven, Instituut voor Perceptie Onderzoek.
- VARESE, E., 1983: *Écrits*, Paris, Bourgois.
- WALLON, H., 1938: *De l'acte à la pensée*, Paris, Flammarion.
- WATKINSON, P.S., BOWSHER, J.M., 1982: « Vibration Characteristics of brass instrument bells », *Journal of Sound Vibration*, n° 85.
- WEBERN, A.V., 1980: *Chemins vers la nouvelle musique (1932-1933)*, Paris, Lattès.
- WEINREICH, G., 1962/1977/1979: « Coupled piano strings », *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 62, n° 2, repris in « Physics and piano strings », *Scientific American*, 1979, n° 240.
- WENTE, E.-C., 1935: « Characteristics of sound transmission in rooms », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 17.
- WESSEL, D.L., 1973: « Psychoacoustics and music: A report from Michigan State University », *Bulletin of the Computer Arts Society*, n° 30.
- 1978: « Low dimensional control of musical timbre », *Rapport de Recherche I.R.C.A.M.*, n° 12 (avec cassettes d'exemples musicaux).
- 1979: « Timbre space as a musical control structure », *Computer Music Journal*, vol. 3, n° 2.
- 1983: « Le concept de recherche en musique », I.R.C.A.M., Paris, Communication au colloque, fév. 1983.
- WESSEL, D.L., RISSET, J.-C., 1979: « Les illusions auditives », *Universalia (Encyclopédia Universalis)*.
- WINCKEL, F., 1967: *Music, sound and sensation*, New York, Dover.
- WORMAN, W.-E., 1971: *Self-sustained non-linear oscillations of medium amplitude in clarinet like systems*, Ph. D. Thesis, Cleveland, Case Western Reserve University.

- WRIGHT, J.K., 1986: *Auditory object perception in a new context*, Master's thesis, Faculty of Music, McGill University.
- WRIGHT, J.K., BREGMAN, A.S., 1987: « Auditory stream segregation and the control of dissonance in polyphonic music », *Contemporary Music Review*, vol. 2, part 1.
- XENAKIS, I., 1954: « Note sur un geste électronique », in *Musique et Architecture*, Paris, Casterman, 1971.
- 1956: « Les trois paraboles », in *Musique et Architecture*, Paris, Casterman, 1971.
- 1971: *Formalized music*, Bloomington, Indiana University Press.
- 1972: « Entretien III: Du bon usage de l'ordinateur », *L'Arc*, n° 51, rééd. in *Musique et Architecture*, Paris, Casterman, 1976.
- 1983: « Musiques Formelles », *Revue Musicale*.
- YOKOMICHI, M., GAMO, S., éd., 1978: Kuchisyôga taikei (« Solmization of Japanese instruments »), avec cinq disques, Tokyo, CBS, Sony (00AG 457-461).
- YOUNG, R.-W, 1952: « Modes, Nodes and antinodes », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 24.
- ZATORRE, R.-J., 1984: « Musical perception and cerebral function », *Music Perception*, vol. 2, n° 2.
- ZWICKER, E., 1961: « Subdivision of the audible frequency range into critical bands », *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 33.
- ZWICKER, E., FELDTKELLER, R., 1981: *Psychoacoustique*, Paris, Masson.
- ZWICKER, E., SCHAFER, B., 1965: « A model of loudness summation », *Psychological Review*, n° 72.

## COLLECTION MUSIQUE/PASSÉ/PRÉSENT

La collection « Musique/Passé/Présent » se propose de combler une lacune dans l'édition musicographique française: faire le lien entre la musique d'hier et celle d'aujourd'hui; dresser des bilans pour réparer l'avenir. Principalement en donnant la parole aux compositeurs du xx<sup>e</sup> siècle, en rassemblant des écrits dispersés et introuvables, en traduisant des ouvrages étrangers fondamentaux.

Dans cette perspective, la collection qui s'est ouverte avec Pierre Boulez et Steve Reich, a accueilli Varèse, Kagel et Berg; elle se continuera avec Ligeti, Schnabel et d'autres. Du côté de l'essai, les ouvrages de Nattiez, Deliège, Despins, Hanslick et Ingarden seront suivis de ceux de Dahlhaus et Adorno. L'entreprise entend ainsi favoriser une réflexion sur la musique, sérieuse mais exempte d'ésotérisme.

La collection est dirigée par Pierre Boulez, compositeur, chef d'orchestre, directeur de l'I.R.C.A.M. et professeur au Collège de France, et par Jean-Jacques Nattiez, professeur de musicologie à la Faculté de musique de l'université de Montréal.



**Photocomposition et Photogravure  
GRAPHIC HAINAUT  
59690 Vieux-Condé**

**Achevé d'imprimer en décembre 1990  
sur les presses de l'Imprimerie Carlo Descamps  
59163 Condé-sur-l'Escaut**