

ENS Louis-Lumière  
Section son  
**Mémoire de fin d'études**

Juin 2009

# La fiction sonore en multicanal

Contraintes et potentiels du dispositif 5.1

---

Étienne HAUG

Directrice externe : Johanna GAMPE  
Directeur interne : Claude GAZEAU  
Rapporteur : Christian CANONVILLE

# Un grand merci à ...

Johanna Gampe, Claude Gazeau, Arianne Herbay, Jean Larriaga, Christian Canonville, Pierre Gorse, Alexis Baskind, Jérôme Daniel, Jean-Marc Lyzwa, Bergame Periaux, Philippe Simonet, Carine Lacroix, Alice Carel, Slimane Yefsah, Niels Barletta, Marguerite Gateau, Claude Niort, Bernard Lagnel, Guy Senaux, Aurélie Zbos, Jean Szymczak, Julien Breval, mes parents, Gaia, Marine, Belebek, Renaud, Rémi, Marie, Vincent et tous les autres

Pour leurs conseils, leur collaboration, leur soutien moral et logistique.

# Résumé

Ce travail de mémoire de fin d'études traite de l'évolution de la fiction sonore vers le multicanal grâce au dispositif 5.1, et plus précisément des problèmes techniques auxquels est confronté l'ingénieur du son lors du mixage. Le 5.1 a en effet été conçu pour soutenir une image frontale et n'est donc pas immédiatement adapté à une manipulation complexe du champ sonore à 360°, ce que l'on pourrait souhaiter dans le cas de la fiction sonore.

Cinquante ans après les innovations de la stéréophonie classique, le son multicanal offre en effet des possibilités de création inédites et très excitantes dans ce domaine, malheureusement sous-exploitées en partie à cause desdites inadaptations techniques.

Nous allons donc proposer un état des lieux de la fiction sonore et du multicanal pour constater que le moment est propice à une investigation approfondie du sujet. Une étude détaillée du dispositif nous permettra ensuite de mettre clairement en évidence les problèmes se posant à l'ingénieur du son. Ceci nous mènera à proposer des solutions sous forme de recommandations d'une part et d'outils d'optimisation de la spatialisation comme le transaural mixte ou le High Order Ambisonic (HOA) d'autre part. Enfin, nous développerons une réflexion sur la conception des installations de mixage menant à de nouvelles approches ayant pour but d'aborder plus sereinement la spatialisation.

Nous concluerons que loin d'être une impasse, la fiction sonore en multicanal est un vaste champ d'expérimentations qui n'attend qu'à être exploré par des créateurs audacieux.

**Mots clés** : fiction sonore, dramatique radiophonique, Hörspiel, création radiophonique, son multicanal, 5.1, outils de panoramique, transaural, ambisonic, HOA, réverbération multicanal, programmation modulaire, ergonomie.

# Abstract

## Surround sound for radio drama

### Restrictions and potentials of the 5.1 setup

This master's thesis deals with the transition of radio drama to surround sound through the 5.1 multichannel setup, and is aimed more precisely at understanding the technical problems encountered by the sound engineer in his work. From its dedication to front image support, 5.1 is effectively not supposed to bring the opportunity of complex soundfield work all around the 360° azimuth, which one could need in a radio drama work.

Fifty years after the classical stereophony improvements, multichannel sound brings along exciting and unexplored creation opportunities in the radio drama field, which are sadly under-considered partly because of the former mentioned technical problems.

We will first try to analyse nowadays's situation of radio drama and multichannel sound to realize that there is a combination of parameters making this work appropriate to do right now. A detailed description of the 5.1 setup is then necessary to bring us keypoints to understand the sound engineer's problematic. So will we be able to bring some solutions, such as recommendations for the mixing work or through the use of new technical tools using transaural or High Order Ambisonic (HOA) processing to improve spatializing for 5.1 systems. Finally, we will develop an analysis of the mixing tools' design and try to imagine new approaches making spatialization something more comfortable to achieve.

All this leads to think that far from being in a dead-end, radio drama discovers thanks to surround sound a brand new field of experimentations waiting for curious and ambitious creators to explore it.

**Keywords** : radio drama, Hörspiel, radio art, multichannel sound, 5.1 setup, panoramic tools, transaural, HOA, multichannel reverberation, object-oriented programming, ergonomics.

# Note concernant la version électronique du document

Des liens hypertextes sont utilisés dans ce document.

Un texte encadré en rouge renvoie à un lien interne au document.

Un texte encadré en vert renvoie à une référence bibliographique en fin de document.

Un texte encadré en bleu renvoie vers un site web si une connexion internet est disponible.

Les références bibliographiques se trouvent sous la forme suivante : [Dan01, 39], où les trois premiers caractères sont ceux du nom de l'auteur, les deux chiffres suivants correspondent à l'année de publication et, le cas échéant, les nombres suivants se réfèrent aux pages concernées de l'ouvrage.

Enfin, les références [ex.audio n°xx] renvoient à l'annexe 1 fournissant les indications nécessaires pour pouvoir écouter les illustrations sonores accompagnant le propos du document.

# Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>1 Un contexte pour la fiction sonore en multicanal</b>	<b>3</b>
1.1 Historique et potentiels de la fiction sonore . . . . .	4
1.1.1 Définition du domaine . . . . .	4
1.1.2 Petit historique d'un point de vue français . . . . .	5
1.1.3 L'avenir . . . . .	6
1.2 L'arrivée du multicanal en diffusion radiophonique . . . . .	9
1.2.1 Le dispositif 5.1 : des racines à la démocratisation . .	9
1.2.2 La diffusion multicanal en radio numérique terrestre .	11
1.3 Une forme de création inédite : la fiction sonore spatialisée .	17
1.3.1 Différents angles d'approche . . . . .	17
1.3.2 Nécessité d'un travail d'investigation collectif . . . . .	20
1.3.3 De nombreux vecteurs de diffusion . . . . .	21
1.3.4 L'écoute domestique . . . . .	23
1.3.5 Compatibilités . . . . .	25
<b>2 Comment contourner les faiblesses du dispositif 5.1</b>	<b>27</b>
2.1 Étude perceptive du dispositif de diffusion . . . . .	28
2.1.1 Paramètres psychoacoustiques de l'écoute spatiale . .	28
2.1.2 La recommandation ITU-R BS.775 pour le 5.1 . . . .	34
2.1.3 Problématiques principales du dispositif . . . . .	37
2.2 Vers une implication accrue du mixeur dans la création . . .	41
2.2.1 La prise de son multicanal . . . . .	41
2.2.2 Les fonctions du mixage . . . . .	44
2.2.3 Le rapport entre immersion et enveloppement . . . .	45
2.2.4 Les panoramiques surround . . . . .	47
2.2.5 La création en multicanal, combinaison de techniques	50
2.2.6 Les conditions d'écoute . . . . .	52
2.3 Des outils pour pallier les défauts du dispositif . . . . .	54
2.3.1 Le transaural mixte . . . . .	55

2.3.2	Le HOA . . . . .	59
2.3.3	Les réverbérations et processeurs d'effets multicanal .	65
2.4	Application aux problèmes de réalisation en fiction sonore .	67
2.4.1	L'apport théorique de la spatialisation . . . . .	68
2.4.2	L'installation de test . . . . .	70
2.4.3	La gestion de la divergence du signal . . . . .	72
2.4.4	L'éloignement des sources . . . . .	74
2.4.5	Stabilisation de sources dans des positions critiques .	75
2.4.6	Le mouvement . . . . .	79
<b>3</b>	<b>Une nouvelle approche du mixage</b>	<b>82</b>
3.1	La méthode historique . . . . .	84
3.1.1	Le mixage dédié à un dispositif . . . . .	84
3.1.2	Avantages et inconvénients . . . . .	85
3.2	Un espace « absolu » au coeur du mixage . . . . .	87
3.2.1	Une approche ouverte des outils de traitement du son	87
3.2.2	Intégration au mixage audiovisuel . . . . .	90
3.2.3	Avantages et inconvénients . . . . .	93
3.3	Proposition d'un prototype . . . . .	94
3.3.1	Un dispositif expérimental grâce au logiciel libre . . .	95
3.3.2	Méthodologie de mixage . . . . .	97
	<b>Conclusion</b>	<b>101</b>
	<b>Table des figures</b>	<b>103</b>
	<b>Auteurs des figures</b>	<b>104</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>105</b>
	<b>Annexe 1 : Index des exemples audio ([ex.audio n°xx])</b>	<b>107</b>
	<b>Annexe 2 : 23 Juin 1958 : expérience radiophonique</b>	<b>110</b>
	<b>Annexe 3 : Réalisation d'une fiction sonore en 5.1</b>	<b>112</b>
	<b>Annexe 4 : <i>La cabane</i>, texte intégral</b>	<b>117</b>

# Introduction

À l'ère du tout-image où même la radio se voit dotée d'écrans, un art autre que la musique consacré uniquement au son ne semble plus avoir sa place. Mais il doit bien lui rester quelque chose d'attrayant pour que des résistants passionnés parviennent par le biais d'internet à séduire un public de plus en plus large. Peut-être que la place qu'il occupe, entre le livre, le rêve et le film n'a pas d'équivalent par ailleurs, ou qu'être bercé par le son offre pour des raisons probablement très profondes quelque chose de magique.

La fiction sonore est la forme de création en faisant l'usage le plus explicite, utilisant l'imaginaire de l'auditeur pour l'immerger dans un univers issu de son inconscient. Le récit prend alors une forme onirique où le déroulement temporel emporte ce dernier contre son gré dans un flux de sensations, de réflexions, d'images et d'actions évoquées uniquement par un contenu acoustique. Il n'y a en effet pas besoin de grand-chose pour apporter de quoi nourrir une imagination sans limites, le moindre contenu sonore déclenchant immédiatement une foule d'associations sémantiques. Mais si l'on ajoute à ceci une diffusion plus sophistiquée du contenu, le champ d'action s'élargit soudain à de nouvelles perspectives permettant d'explorer encore plus loin le rêve.

Ce fut l'apport de la stéréophonie il y a cinquante ans, et c'est aujourd'hui celui du multicanal. Des dispositifs proposant une diffusion de sons localisés tout autour de l'auditeur ont déjà existé, mais c'est le monde du cinéma qui a réussi à faire adopter plus généralement ce que l'on connaît sous les nom de « 5.1 ». La connaissance de la perception auditive spatiale permet d'imaginer sans difficultés la portée d'une telle innovation dans le domaine de l'art sonore. Malheureusement, certaines difficultés techniques ont peut être une part de responsabilité dans l'hésitation actuelle à se lancer franchement dans l'exploration de ces nouveaux potentiels. C'est en partant de ces considérations que nous souhaitons par ce travail apporter une description précise des mécanismes de création à maîtriser au niveau du mixage afin d'être en mesure de comprendre et contourner les obstacles existants.



Nous commencerons par constater que la conjoncture actuelle, réunissant une arrivée immédiate de la diffusion en radio du 5.1 et un regain d'intérêt pour l'art sonore paraît tout à fait propice à un approfondissement de ces travaux. Nous analyserons ensuite les causes des problèmes rencontrés par les techniciens du son à l'approche de ce dispositif singulier, en se basant sur ses principes de fonctionnement autant que sur son histoire. Cela nous permettra de proposer des solutions sous la forme de recommandations d'une part et d'améliorations par l'utilisation d'innovations technologiques appropriées d'autre part. La mise en oeuvre de ces dernières nous amènera finalement à nous interroger sur la structure même du dispositif de mixage et à imaginer de nouvelles approches peut-être plus adaptées à ce domaine de création inédit.

Toute cette réflexion mène à croire qu'il y a là un champ d'action fantastique à la fois pour les créateurs et pour les techniciens, et qu'il serait dommage de l'ignorer plus longtemps.

# Chapitre 1

## Un contexte pour la fiction sonore en multicanal

Il y a un petit côté anachronique à vouloir mettre en oeuvre des techniques récentes pour une forme de création appartenant selon beaucoup à un autre temps, ce qui risquerait de faire passer cette démarche pour une curiosité. Différentes facettes du sujet prouvent pourtant qu'au côté inédit et passionnant de l'expérience s'ajoute un réel potentiel de renouveau de la création sonore, offrant un contexte propice à un prolongement de ces travaux.

Après un point sur l'état des lieux actuel de la fiction sonore ainsi que sur ses perspectives d'évolution en France et ailleurs, nous étudierons les avancées de la diffusion spatialisée du son au sein du grand public, toujours en progression grâce notamment à l'adoption du standard 5.1 pour la radio numérique. Cela nous conduira à proposer un point de départ à une réflexion sur la fiction sonore spatialisée avant de plonger au coeur des problématiques techniques concernant le travail du mixeur avec la deuxième partie de notre travail .

## 1.1 Historique et potentiels de la fiction sonore

Avant l'arrivée de la télévision, le règne de la radio a connu pendant des décennies une histoire passionnante mais souvent reléguée aux archives, car moins prestigieuse que celle de sa consœur cinématographique. La fiction sonore, aux contours fantomatiques, occupe une place de choix dans cette saga et en a même écrit certains chapitres. La dictature de la télévision a depuis pris le dessus tout en restant largement contestée, ce qui laisse augurer de meilleurs lendemains pour le media sonore par excellence.

### 1.1.1 Définition du domaine

Ce travail concerne la production de fictions à l'aide du seul matériau sonore, domaine de création multiple et non borné. Dès les premières heures de la radio on a parlé d'un art radiophonique au sein duquel le rôle de la fiction était prédominant [Deh26]. Même si l'art sonore non musical n'est pas une exclusivité du monde radiophonique, son histoire a néanmoins été écrite en majeure partie au cœur des grandes institutions de radiodiffusion. Elle y a connu de nombreux développements conséquents à des bouleversements technologiques et culturels successifs : évolution des matériels de production et de diffusion, influence du cinéma parlant, concurrence de la télévision, des radios privées, arrivée de l'audio numérique et d'internet...

Au cours de ces évolutions, les influences réciproques entre cultures nationales n'ont pas été aussi déterminantes que pour le cinéma à cause de la barrière du langage, la radio étant un media strictement oral. Les évolutions esthétiques ont donc abouti parallèlement à de nombreuses spécificités culturelles, richesse indéniable. Dans le domaine de la fiction, il en résulte une multiplicité de termes au sens variant, recouvrant un très large éventail de types de production : fiction, drame, dramatique ou pièce radiophonique en France, Hörspiel en Allemagne, radio drama, radio play et feature en Angleterre, etc. Ces appellations ne désignent pas toutes exactement la même chose et révèlent, lorsque l'on cherche à en catégoriser les différences, une multiplicité des formes de création.

De plus, ces dénominations sont pour la plupart très directement référencées au monde radiophonique pour les raisons que nous avons vues plus haut. Or à l'heure des nouvelles possibilités de création, en home studio par exemple, et de diffusion par de nouveaux biais comme internet, la création sonore se libère de plus en plus de son héritage radiophonique. Dans ce travail, nous ne voulons pas nous limiter à une approche uniquement cultu-

relle ou historique du domaine. Les frontières entre genres n'étant jamais bien définies, nous souhaitons travailler sur l'acception la plus large possible de la fiction en son seul qui pourra très bien se rapprocher de la création électroacoustique ou du documentaire. Nous utiliserons donc par la suite le terme de *fiction sonore* pour désigner ce domaine de création, en lui laissant toute la liberté dont il a besoin.

### 1.1.2 Petit historique d'un point de vue français

#### Les origines

Au début des années 20, l'arrivée de la radio comme premier media de masse a bouleversé les manières de penser et d'appréhender la réalité. La dramaturgie s'en est très vite servie, découvrant les nouveautés et s'adaptant aux limitations techniques de l'époque. Bien que rudimentaire, la fiction à la radio émerveille et effraie avec trois fois rien : bien avant *La Guerre des mondes*, la diffusion en 1921 de *Maremoto* de Gabriel Germinet a involontairement fait croire aux auditeurs<sup>1</sup> qu'un réel naufrage avait lieu. Dans les studios, tout est joué et bruité en direct, diffusé avec une bande fréquentielle et un rapport signal sur bruit extrêmement limités. Mais malgré ces possibilités réduites, des théoriciens se penchent déjà sur la question d'une écriture spécifique et fustigent la tradition théâtrale et littéraire qui briderait le potentiel magique du son.

Pourquoi, dans ce nouveau domaine, et pour un public nouveau, n'a-t-on pas cherché des moyens d'expression nouveaux ? Nous sommes convaincus qu'il existe dans les cerveaux d'aujourd'hui un besoin d'imagination, de transformation lyrique, qui n'est satisfait ni par les formes classiques, ni même par les formes nouvelles de l'art, et que la radiophonie peut contenter.

s'interroge Paul Deharme en 1926 [Deh26]. Cette lutte pour une reconnaissance a perduré jusqu'à aujourd'hui et n'a jamais réellement abouti, l'art sonore restant au second plan par rapport au reste de la création académique. Au *Studio d'essai* de la radio française<sup>2</sup>, à partir de 1942, des techniciens, metteurs en onde et artistes passionnés dont Pierre Schaeffer parmi les premiers travaillent à une utilisation différente du son en fiction sonore, à travers la liberté de placement des voix et des micros et l'introduction des plans sonores, ouvrant ainsi une réflexion nouvelle sur la signification et l'écriture du son[Cay03].

---

1. Y compris les autorités !  
2. Renommé *Club d'essai* en 1946.

## La maturité

Ces travaux seront suivis de près par une révolution technique. Déjà en 1933, l'arrivée du disque souple permettra de rejouer au cours d'une interprétation des sons ou des ambiances durant jusqu'à trois minutes et trente secondes. Mais il faudra attendre le début des années cinquante pour avoir accès à un support d'enregistrement polyvalent, la bande magnétique. Son arrivée donnera une première impulsion au travail moderne du son. Les concepts d'enregistrement, de montage et de mixage en radio se développent alors très vite, posant les bases des méthodes actuelles de travail du son. Ces progrès seront accompagnés par le développement du transistor et de l'électronique, l'apparition de tables de mixage à tirettes, la généralisation de micros et d'écoutes de qualité, l'enregistrement portable et la diffusion FM.

Tous ces facteurs apparus en l'espace de dix ans amènent une redécouverte du monde sonore à la radio. C'est un âge d'or pour la création, couronnée en 1963 par l'inauguration de studios modernes dédiés aux fictions au sein de la nouvelle Maison de la Radio. À toutes ces évolutions succède immédiatement l'arrivée de la stéréo, offrant de nouvelles possibilités d'écriture grâce à une plus grande complexité de la représentation sonore dans un espace à la largeur et à la profondeur accrues. Les nombreuses problématiques posées par cette nouvelle conception du son ont fait le bonheur de toute une génération de passionnés qui ont exploré le monde sonore aussi longtemps qu'on leur en a donné les moyens. *L'étrange procès de M. Ménard*, exercice radiophonique auquel ont pris part plusieurs pays correspond peut être en 1978 à l'aboutissement et la fin de cette époque.

Les années 80 marquent le début d'un déclin inévitable de la production de fictions face à la concurrence de la télévision et des radios privées. Depuis, la seule innovation qui a eu lieu ressemble plus à une métamorphose : le passage au numérique n'est en effet qu'un transfert et une optimisation des méthodes existantes sur un nouveau support. Malgré un cheminement balisé de productions très intéressantes et atypiques, la fiction perd son audience et se retranche souvent dans des sphères littéraires et théâtrales rebutant le grand public qui, en l'an 2000 en France, ne se souvient que rarement de ce qu'est une dramatique radiophonique.

### 1.1.3 L'avenir

#### Différences culturelles

La situation actuelle n'offre à première vue que peu d'espoir à un regain d'intérêt. En France, la centralisation des media publics a rendu tout un

pan de la culture du son dépendant de Radio France, la fiction sonore en étant l'un des éléments les plus fragiles. C'était pour le meilleur lors des années 60 à 80 où la reconnaissance de l'art sonore a permis une émulation créatrice sans précédent, et pour le pire depuis, lorsque l'incompréhension des décideurs renie petit à petit les apports du passé. Le compresseur installé sur l'antenne de France Culture en 2001, servant à augmenter le niveau moyen des émissions mais détériorant le travail de mixage dès qu'il s'agit de création sonore en est un exemple parfait. En 2009, l'évolution de la production vers plus de lectures de textes et d'enregistrements de pièces de théâtre au détriment de véritables créations sonores menace le métier historique de bruiteur. Les défenseurs de cette culture continuent bon gré mal gré à faire de leur mieux dans de telles conditions, mais ont eu assez de vingt ans pour que la désillusion soit complète. Et l'évolution actuelle de la politique concernant l'audiovisuel public laisse peu d'espoir pour ce qui est du futur proche.

Heureusement, il suffit de lever un peu la tête pour constater que la marginalisation de la fiction sonore est loin d'être une fatalité due à l'évolution actuelle des media. Dans les pays germanophones et principalement en Allemagne, le Hörspiel<sup>3</sup> s'est très bien porté au cours des années 2000. Malgré un déclin dans les années 90, tout relatif en comparaison du cas français, il a trouvé une nouvelle jeunesse grâce à une création enthousiaste et décomplexée, de nouveaux modes de diffusion et une utilisation audacieuse des innovations techniques disponibles. Les Hörspiele sont diffusés à la radio à des heures de grande écoute, certaines productions se vendent en CD à plusieurs dizaines de milliers d'exemplaires, il existe de nombreux festivals d'écoute<sup>4</sup> de Hörspiel et certains cinémas proposent même régulièrement des séances. Le genre est donc bien connu du public ce qui entraîne une dynamique de création non négligeable. Des passionnés peuvent expérimenter en tant qu'amateurs et diffuser leurs oeuvres lors d'événements dédiés à la création indépendante<sup>5</sup>, ou plus simplement sur internet.

### Un nouveau vecteur de diffusion

Et si la radio française décide d'abandonner la fiction sonore, c'est bien grâce à la diffusion en ligne que cette dernière pourrait être sauvée. Les premiers à l'avoir compris ont été les utilisateurs les plus aventureux de la toile : les jeunes. La série *Le donjon de Naheulbeuk*, parodie de l'univers

---

3. « pièce à entendre », terme désignant à quelques spécificités culturelles près ce que nous avons nommé *fiction sonore*.

4. Par exemple le Hörspielsommer : <http://hoerspielsommer.tamotua-red.de/>.

5. Un autre festival : <http://www.berliner-hoerspielfestival.de/>.



FIGURE 1.1: *Public du festival Hörspielsommer, Leipzig, Allemagne, 2006.*

Héroïc-Fantasy des amateurs de jeu de rôle a été un véritable phénomène dans les lycées depuis son apparition en 2001. À ce jour, plus de huit millions d'épisodes téléchargés ont permis à la série d'être diffusée sur des radios associatives et le succès a fait des émules sous forme de petites communautés en ligne souhaitant s'y essayer, en diffusant au passage leurs productions à plusieurs centaines de milliers de téléchargements. Le propos et la forme restent la plupart du temps très simplistes mais cette initiation permet à un très grand nombre de redécouvrir le monde de la fiction et de la création sonore.

Dans un tout autre registre, des sites francophones défendant cette forme de création comme ARTE radio, Silence Radio ou Ousopo proposent d'accéder facilement à ce qui n'a plus toujours sa place sur les ondes. Cette démarche engagée laisse espérer un juste retour des choses comme le démontre l'initiative exceptionnelle d'ARTE radio de coproduire sa première grande fiction sonore avec la BBC en 2008. Le résultat, *Déjà vu*<sup>6</sup>, une fiction sonore de 45 minutes aux moyens de production conséquents laisse augurer du meilleur pour la suite. Téléchargement, podcast et bouche à oreille font donc tranquillement mais sûrement avancer une création indépendante. Cet outil permettrait également à Radio France de valoriser ses productions ce qui permettrait au genre de regagner une certaine confiance en lui, même sous sa forme historique. Les bouleversements dus à l'arrivée de la radio numérique iront sûrement dans ce sens, accompagnés par l'évolution possible de la diffusion vers le multicanal en 5.1.

---

6. À écouter ou télécharger gratuitement sur <http://www.arteradio.com/son.html?334014>.

## 1.2 L'arrivée du multicanal en diffusion radiophonique

Si aujourd'hui tout le monde a déjà écouté du son en multicanal dans une salle de cinéma ou parfois à la maison, peu sont ceux qui ont une conscience réelle de l'utilisation de ces hauts-parleurs à l'arrière. Pourtant, ce sont des expériences sur le très long terme qui ont mené à l'installation de tels systèmes dans les cinémas puis chez les particuliers. Après avoir exploré ses propres pistes, la radio se rallie finalement à ce dispositif et a le pouvoir de lui donner un second souffle, à condition que la transition technologique se passe dans de bonnes conditions.

### 1.2.1 Le dispositif 5.1 : des racines à la démocratisation

#### Les origines cinématographiques

L'utilisation de plusieurs canaux pour créer un contenu sonore est une problématique accompagnant les techniques du son depuis ses débuts et soulevant de nombreuses questions, certaines intemporelles et d'autres évoluant avec la technologie. De nombreux essais ont jalonné cette histoire dont nous retiendrons entre bien d'autres le système Fantasound de Walt Disney, accompagnant le film *Fantasia* (1940), et la quadriphonie domestique qui a échoué à remplacer la stéréo dans les années 70. Mais c'est la diffusion des quatre canaux LCRS<sup>7</sup> matricés sur les deux pistes optiques du Dolby Stereo qui a permis de généraliser un son « entourant<sup>8</sup> » le spectateur dans les salles de cinéma, à partir des années 70. Une stratégie marketing efficace alliée à de premières productions l'utilisant de manière spectaculaire<sup>9</sup> ont permis à Dolby d'imposer petit à petit ce standard sur les traditionnelles copies 35mm.

Simultanément, les « super » copies haut de gamme 70mm proposaient l'enregistrement de six pistes magnétiques. On a commencé par y mettre les quatre pistes du LCRS sans matricage, puis on a utilisé la cinquième piste pour un canal d'effet de basses, inauguré avec encore une fois *Star Wars* et *Rencontre du troisième type*. Enfin, on a utilisé le dernier canal disponible pour « stéréophoniser » la diffusion à l'arrière en la divisant en deux canaux, arrière gauche et arrière droit. Les films *Superman* (1978) et

---

7. Left-Centre-Right-Surround, soit gauche-centre-droite-arrière.

8. Traduction littérale du mot anglais *surround*.

9. Les premières étaient *Star Wars* (1977) et *Rencontre du troisième type* (1977).



*Apocalypse Now* (1979) seront les premiers à utiliser cette technique ; c'est ainsi Superman qui signera l'acte de naissance de la répartition des canaux en 5.1 telle que nous la connaissons aujourd'hui. Après dix ans de pratique, c'est naturellement ce format qui est retenu en 1987 comme norme pour le passage au numérique du son au cinéma. Deux formats principaux restent aujourd'hui en concurrence : le Dolby Digital et le DTS.

### L'arrivée dans les foyers grâce au home-cinema

Ce sont ces deux formats présents sur le DVD-Video qui ont permis de répandre la diffusion en multicanal chez les particuliers. Les décodeurs Dolby Stereo à destination du grand public, nommés successivement Dolby Surround puis Dolby Pro Logic 1 et 2, étaient déjà disponibles depuis les années 80 pour pouvoir écouter en surround n'importe quel flux bipiste encodé en Dolby Stereo sur VHS, bande stéréo, radio ou télévision. Mais c'est le succès commercial du DVD apparu en 1997 qui a permis la vente massive de dispositifs de diffusion multicanal aux particuliers. Le DVD d'un film incluant généralement les flux Dolby Digital et DTS offrait à tout un chacun la possibilité de profiter du même son qu'au cinéma, à condition de s'équiper d'un dispositif adapté. L'Union Internationale des Télécommunications (ITU) ayant défini une recommandation pour la disposition domestique d'un système 5.1 (voir 2.1.2 p.34), les constructeurs ne se sont pas fait prier pour inonder le marché de systèmes de diffusion.

Cette offensive commerciale a porté ses fruits : en dix ans, le taux d'équipement en France dépasse les 10% de foyers et la moyenne européenne atteint les 16%, à comparer avec la quantité d'équipements quadraphoniques vendus dans les années 70. Le SIMAVELEC (Syndicat des Industries de Matériels Audiovisuels Électroniques) place en 2009 la catégorie du « Home Cinéma » comme « *segment à fort potentiel [commercial]immédiat* »<sup>10</sup>. En effet, malgré l'échec commercial du SACD et du DVD-Audio qui n'ont pas su trouver leur public, ce sont récemment les secteurs du jeu vidéo avec les consoles Xbox, Xbox360 et Playstation3 puis de la télévision avec l'arrivée de la diffusion en TNT-HD qui se sont emparés du 5.1. Tout laisse à penser que ce dispositif a atteint une phase de démocratisation relative. Le transfert de la diffusion radiophonique vers le numérique se doit donc de prendre en considération ce nouveau mode de diffusion.

---

10. Sources : dossiers de presse sur <http://www.simavelec.fr/>.

### 1.2.2 La diffusion multicanal en radio numérique terrestre

#### Un attrait évident pour le multicanal

Très tôt, le monde de la radio a fait preuve d'intérêt pour le son spatialisé. Au cours des années 70 et 80 ont eu lieu au sein de Radio France et de l'INA des essais de production et de diffusion de son en quadriphonie, hexaphonie ou octophonie, restés au stade expérimental faute de moyens techniques de diffusion. Puis l'arrivée du multicanal chez les particuliers au milieu des années 90 a déclenché un engouement nouveau chez certains artisans du son. *Le cataclysme sonore* (1996), *Le singe soleil* (1997), *Les sonnets de Shakespeare* (2002) et *Bonobo* (2002) ont tous été produits en multicanal et diffusés en Dolby Surround sur les antennes de Radio France, sous la direction technique de Guy Senaux. On anticipe à l'époque une arrivée imminente de possibilités de diffusion, comme en témoigne la conclusion d'un rapport technique interne datant de 1999 et rédigé par Jean-Marie Porchet, technicien son [Por99, 5] :

La technologie existe déjà. Les possibilités du DAB et du DVB n'attendent qu'un choix stratégique pour être rapidement étendues à la diffusion multicanal de haute qualité. [...] Une hypothèse de chaîne multicanal d'ici une dizaine d'années au maximum semble largement raisonnable. Or, si dans dix ans, l'entreprise ne dispose pas de dix ans d'archives en son multicanal, Radio France ne sera plus elle même.

Qu'a t-il pu arriver pour que cet enthousiasme et ce volontarisme aboutissent à presque rien ? Les déboires du passage à la radio numérique terrestre (RNT) sont sûrement la première cause du retour en arrière auquel on a pu assister. Pour comprendre ce qu'il s'est passé, il est nécessaire de présenter rapidement les différents standards de la radio numérique, le DAB, le DAB+ et le T-DMB.

#### Les débuts de la radio numérique

À la fin des années 80, le groupe technique européen Eurêka 147 s'est attelé à un programme de recherche et développement pour mettre au point le futur standard européen de radiodiffusion numérique, en collaboration avec les principaux acteurs européens en télécommunications. Le projet a abouti à la fin des années 90 à la conception du Digital Audio Broadcasting (DAB). Il s'agit d'une diffusion hertziennne numérique où les programmes, compressés selon un algorithme similaire au MP3, sont empaquetés dans

un bouquet de 9 canaux stéréophonique représentant une seule modulation numérique. Le son multicanal est théoriquement possible, nécessitant alors le volume de trois programmes stéréophoniques ainsi qu'un récepteur adapté. Malgré des diffusions de test opérationnelles, la politique française n'a jamais été en mesure d'imposer le DAB, le marché des récepteurs et la demande du public étant au départ insignifiants. Il aurait simplement suffi d'un peu plus de patience puisqu'en 2007-2008, près de 10 millions de récepteurs ont été vendus au Royaume-Uni et plus de 33% de la population danoise écoute aujourd'hui la radio en RNT<sup>11</sup>. Et les retombées sont très positives pour le monde de la radio : le nombre de stations disponibles ainsi que l'audience moyenne sont en augmentation constante dans ces pays.

### Nouveaux codecs et nouveaux standards...

Seulement, le projet Eurêka 147 n'avait pas anticipé l'évolution sensible des codecs audio qui a eu lieu entre temps. Les laboratoires Fraunhofer, à l'origine du MP3, ont successivement développé les codecs AAC, HE-AAC puis HE-AACv2. Ils fonctionnent tous selon le même principe mais apportent des innovations permettant une réduction sensible du débit à qualité égale. Parallèlement est apparue la compression MPEG Surround, permettant d'encoder un flux 5.1 en un flux bipeste accompagné de métadonnées de très faible volume. Ce codage permet de diffuser le flux multicanal à travers un codec classique et d'avoir une compatibilité complète à la réception. Un récepteur normal décodera le downmix bicanal à l'aide du codec de base alors qu'un récepteur compatible MPEG Surround pourra reconstituer le flux 5.1 [fig1.2]. La combinaison des deux innovations permet au final la transmission d'un flux multicanal de qualité acceptable à un débit de 64kbps et avec une souplesse de mise en oeuvre accrue. Reste une incertitude : la performance du codec MPEG Surround paraît tellement incroyable qu'il est difficile de croire à un rendu correct de signaux complexes à bas débit. Des tests d'écoute ont eu lieu récemment à Radio France et les résultats semblaient concluants, mais des essais approfondis seraient nécessaires pour connaître son comportement exact face à différents contenus, surtout en fiction sonore où la corrélation entre canaux est parfois très faible.

Le DAB+ est mis au point en 2007 pour intégrer cette évolution majeure, faisant passer le nombre de programmes par bouquet de 9 à 27 et permettant une diffusion simultanée du 5.1 et de sa réduction stéréo sur un même canal. Le seul problème, et de taille, est que les anciens récepteurs DAB ne peuvent pas décoder de flux DAB+. Une transition en douceur

---

11. Statistiques mises à jour régulièrement sur le site <http://www.worlddab.org>.

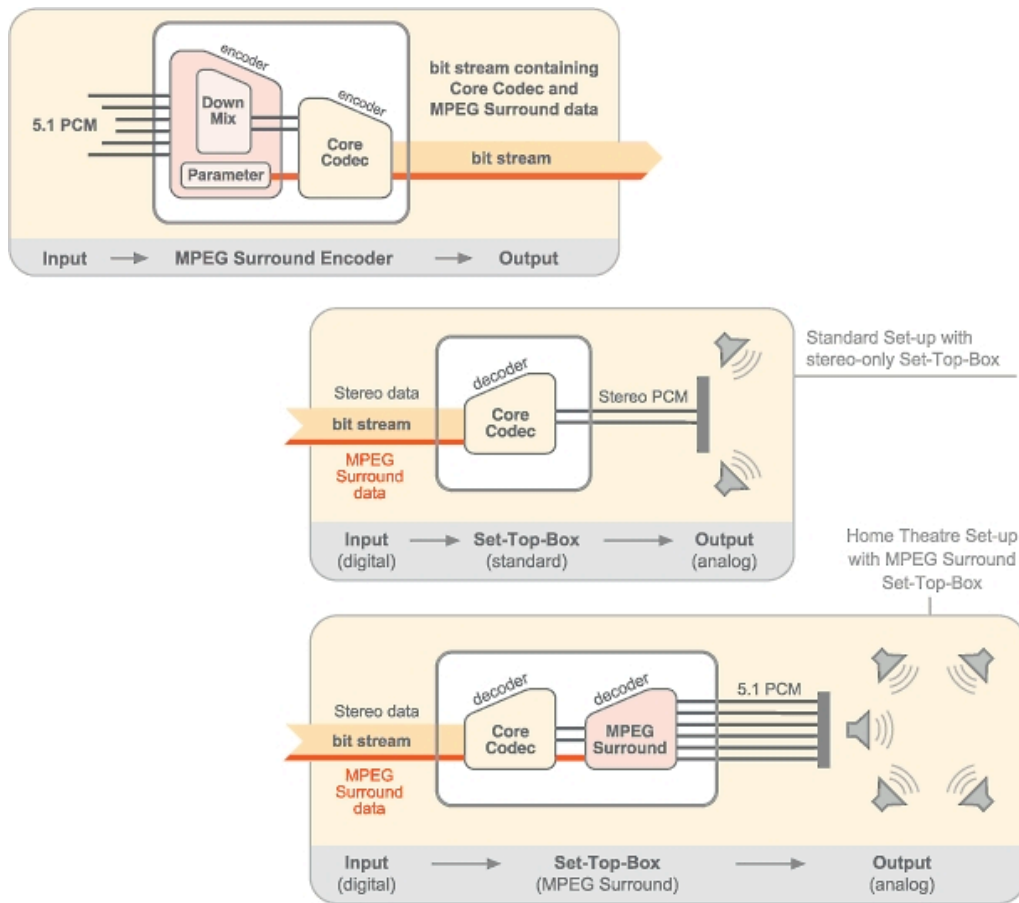


FIGURE 1.2: Schéma de principe de la diffusion en MPEG Surround.

est néanmoins prévue pour les pays ayant déjà instauré le DAB : un bouquet peut en effet être mixte et partager son volume de données entre programmes DAB et programmes DAB+.

Mais la saga ne s'arrête pas là. La Corée, friande de nouvelles technologies, a développé et lancé en 2005 le Terrestrial-Digital Media Broadcasting (T-DMB). Ce nouveau standard utilise la base DAB européenne pour diffuser un flux multimédia MPEG4 complexe composé de vidéo (codec h264), d'audio (codec HE-AACv2) et de données multimédia et descriptives annexes. Le but avoué est de diffuser la télévision sur téléphones mobiles. Mais qui peut le plus peut le moins et il est donc possible de diffuser un contenu presque équivalent au DAB+ sur un réseau T-DMB. La polyvalence de ce format a amené l'Europe à adopter le T-DMB comme futur standard de diffusion télévisuelle mobile.

**...pour plus de problèmes !**

Ainsi, les pays où le DAB ne s'est pas massivement imposé ont le choix entre un lancement DAB+ ou une adaptation du T-DMB pour la radio numérique. Mais le forum WorldDMB, ONG dédiée à la coordination mondiale de la transition au numérique de la radio fait néanmoins remarquer que [Pro07, 8] :

Le DMB est un standard audio/video, à la différence d'un standard « radio avec données multimedia », et est donc optimisé dans ce but. Certaines fonctionnalités importantes pour les services de diffusion radio ne sont pas disponibles avec le service DMB. Le DMB est conçu pour la télévision mobile, et n'est pas recommandé pour une utilisation radio.<sup>12</sup>

C'est ce qui a poussé la Suède, l'Allemagne et l'Australie à choisir le DAB+ pour leur passage au numérique. Contrairement au gouvernement français qui pour d'obscures raisons est le seul au monde à avoir opté pour le T-DMB, en 2007 [fig 1.3]. Décision controversée car en plus d'un manque évident d'optimisation, les frais de transfert technologique et de diffusion seront beaucoup plus importants qu'avec le DAB+. Au pays des radios associatives et indépendantes dont le budget est de plus en plus serré, la réaction est plutôt vive car c'est leur survie qui est en jeu<sup>13</sup>.

Reste aussi le problème épineux des récepteurs à destination des consommateurs. Le choix de la France pose un gros problème de coordination pour les fabricants. Alors que ces derniers ont réussi à proposer au fil des années une offre complète et largement distribuée de récepteurs DAB (des centaines de modèles vendus à des millions d'exemplaires) et commencent à proposer des récepteurs DAB+, la France choisit un standard pour lequel aucun matériel dédié à la radio n'est prévu pour l'instant ! Heureusement, l'Union Européenne de Radiodiffusion (UER) ayant vu le problème se profiler avant les autorités françaises a publié à l'automne 2008 une recommandation destinée aux constructeurs : tous les récepteurs radio devront désormais être compatibles DAB/DAB+/T-DMB, et tous les nouveaux produits seront donc théoriquement universellement compatibles pour la radio numérique. Les premiers circuits intégrés de ce type sortent des usines depuis début 2009 et la disponibilité des produits devrait coïncider avec l'arrivée de la RNT à la fin de l'année<sup>14</sup>.

---

12. Traduction E.H.

13. Plus d'informations sur <http://radiosenlutte.free.fr/>.

14. À condition que les multinationales de l'équipement estiment que 24 millions de foyers français aient un poids suffisant face au reste de la planète pour mériter des équipements conçus spécialement pour eux... Mais évitons d'être pessimistes.

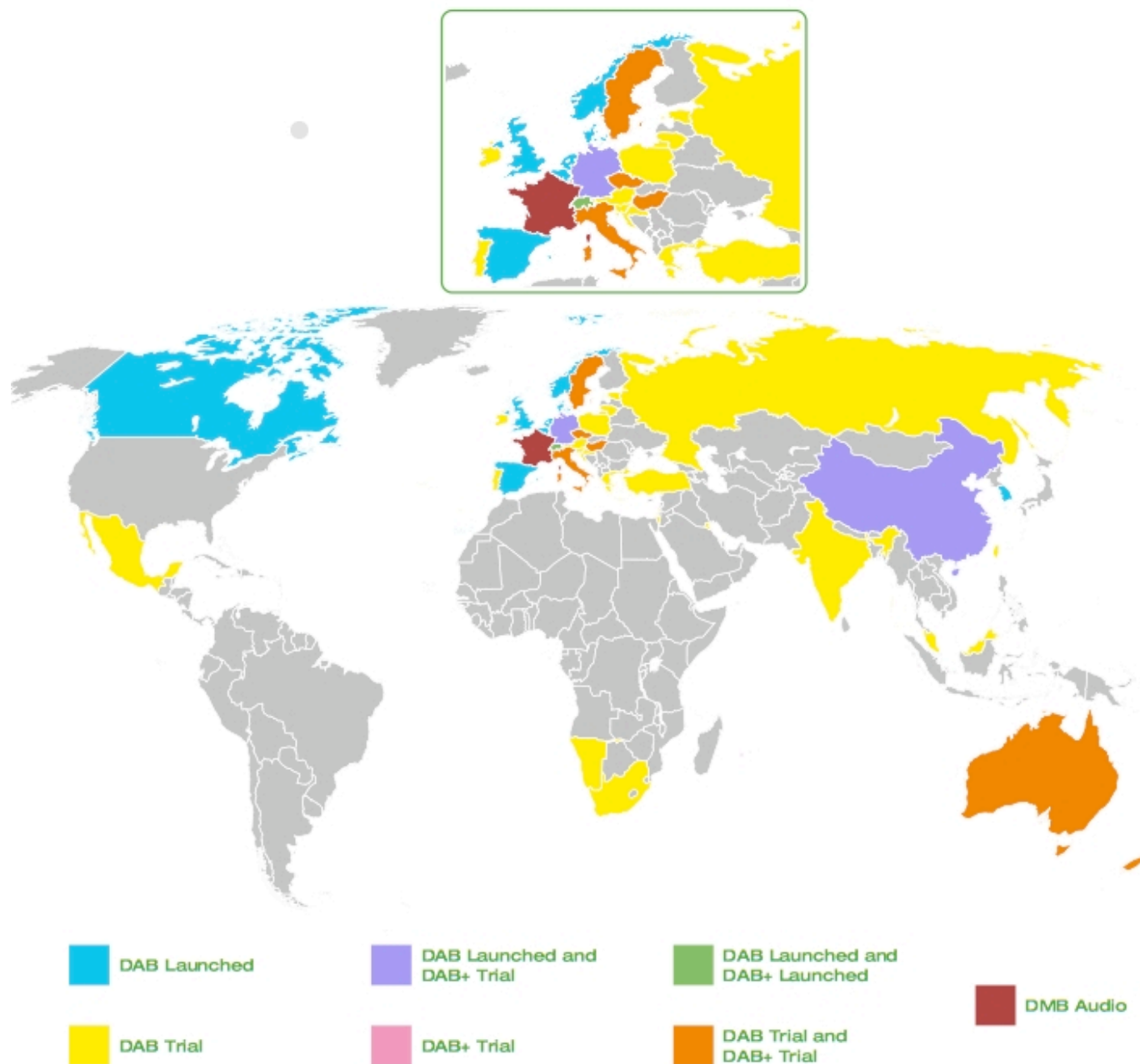


FIGURE 1.3: Carte du monde de la diffusion RNT en Mai 2009; l'exception française.

Finalement, tout semble enfin réglé au printemps 2009 puisqu'un plan de diffusion similaire à celui de la TNT a été mis en place, et la composition des bouquets de programmes T-DMB devrait être rendue publique par le CSA au cours du mois de juin pour une diffusion à la fin de l'année sur les premières zones de couverture. Comme pour la TNT, l'évolution vers la RNT est désormais enterrinée et inexorable, la bande FM devant à long terme être libérée pour d'autres usages.

### La nécessité d'un contenu

Techniquement, le problème de la compatibilité multicanal à la radio est donc en phase finale de résolution. Mais cela ne suffit pas à faire apparaître comme par magie une nouvelle forme de diffusion, encore faut-il qu'il y ait un contenu. Les recommandations aux constructeurs de récepteurs proposent l'intégration de la réception et de la diffusion en multicanal, mais rien ne dit qu'ils prendront le risque de concevoir de tels équipements s'il n'y a pas de programmes attractifs en amont, et donc de marché potentiel. Il n'y a donc plus qu'à explorer ce nouveau monde, sans réticence aucune, pour lancer une réaction en chaîne qui pourrait faire du son multicanal une réalité à la radio.

Certaines radios ont anticipé cette arrivée généralisée du 5.1. C'est le cas par exemple de la West Deutsche Rundfunk (WDR) en Allemagne qui diffuse très régulièrement des programmes variés en multicanal<sup>15</sup> depuis plus de dix ans et développe ainsi des méthodes et idées de production en musique, fiction sonore ou documentaire. En Suède, c'est le par le biais du téléchargement que la Sveriges Radio propose de nombreux programmes depuis presque aussi longtemps. Malheureusement, la situation en France n'a pas été aussi favorable : aucun vecteur de diffusion n'a été envisagé avant l'arrivée de la RNT et le travail sur le multicanal n'a eu lieu que pour des productions non radiophoniques, presque exclusivement musicales. Le domaine de la création sonore a été totalement délaissé voire méprisé alors que c'est celui qui offre le plus d'arguments au passage au multicanal. Nous espérons donc que le barrage d'idées et d'envies retenu pendant plus de dix ans puisse maintenant se déverser et offrir quelque chose de nouveau à la radio et au son. Et nous ne pourrions conclure ce paragraphe resté confiné à des problèmes techniques sans citer Jacques Chardonner, ancien responsable de la prise de son à Radio France qui avait sûrement une idée précise en tête en 1996 en affirmant que [Cha97, 198]

---

15. La technologie utilisée en attendant le DAB+ est le DVB-S, une diffusion du flux par satellite selon le même principe que la télévision par satellite.

[...] les ressources de l'expression radiophonique n'ont pas été épuisées. Et l'imagination des auteurs, qu'ils soient écrivains, réalisateurs ou techniciens, a encore d'énormes possibilités pour étonner et émouvoir les auditeurs grâce ou malgré des techniques toujours en évolution.

## 1.3 Une forme de création inédite : la fiction sonore spatialisée

Dans ce contexte de regain d'intérêt pour la fiction sonore et de terrain favorable à une émergence du multicanal, il nous a paru pertinent d'effectuer un travail approfondi sur les spécificités techniques de telles productions. En effet, le rapport du dixième Forum International du Son Multicanal (FISM) précise bien que « l'apport pour la fiction sonore est énorme » dans le domaine de la radio [Mau07]. Mais avant de développer les aspects théoriques et pratiques d'un mixage en 5.1, il est utile d'aborder quelques problématiques générales concernant cette forme nouvelle de création, de la pré-production à la diffusion.

### 1.3.1 Différents angles d'approche

#### Le fond et la forme

D'après Mayron Merson, réalisateur de fictions sonores à France Culture, « *le passage de la stéréo au multicanal est une évolution du même ordre que celle de la mono à la stéréo* ». Cette affirmation contient un double sens qui met en évidence la problématique principale de la sophistication des techniques de diffusion du son. La stéréo a beau apporter mille choses nouvelles à l'expression et à la création sonore, il n'en reste pas moins que c'est le message acoustique de base, le contenu sémantique brut faisant abstraction de la forme qui reste l'élément premier de ce que nous percevons.

Mais est-ce pour autant une raison de se priver des moyens d'expression offerts par la technologie ? Doit-on limiter les préoccupations principales à un contenu sémantique indépendant de la forme de diffusion, ou considérer la technologie comme l'un des fondements de la création ? La discussion reste ouverte et c'est la multiplicité des réponses qui donne tout son intérêt à la diversité des processus de création. Le débat de fond à propos du multicanal est donc récurrent, posant les mêmes questions que lors du passage de la mono à la stéréo. Dans ce travail, nous prendrons parti pour une uti-



lisation assumée des techniques au sein de la démarche créative, mais cela ne nous amène pas pour autant à dénigrer d'autres approches.

Ce choix fait, les fantasmes sur les possibilités du son spatialisé nous sont enfin autorisés : le son n'a dans ces conditions plus de caractère frontal et scénique mais est immersif, plaçant l'auditeur en plein milieu de la création. Notre projection cognitive dans l'image sonore n'est plus régie par les mêmes règles, les paramètres à l'origine de cette projection étant changés par de nouvelles conditions perceptives.

### Un terrain fertile

Pourtant, même si le dispositif multicanal est maintenant monnaie courante grâce au cinéma et à l'image en général, l'utilisation aboutie du son spatialisé n'est pas encore bien connue du grand public. Toutes les applications à l'image soumettent en effet le son à la frontalité. On joue certes sur l'immersion, mais dans la plus grande prudence et le plus grand respect de l'attention du spectateur qui doit impérativement rester frontale, sous peine de briser son immersion dans le film [Vin97]. Le son spatialisé doit être inconsciemment ressenti et on interdit généralement toute utilisation sonore du hors champ pouvant éveiller une attention particulière du spectateur, qui risque alors de se retourner et de se souvenir qu'il est assis à côté d'un mangeur de popcorn<sup>16</sup>. Beau paradoxe pour un système qui se vante commercialement d'être « *autour* ».

Pour se détacher de cette contrainte, il reste donc le domaine du son seul que nous pourrions diviser en trois catégories principales : la musique, l'univers sonore interactif et la création sonore. En musique, la plupart des productions multicanal commerciales restent attachées à une optique frontale par respect pour la tradition de la scène et de l'écoute domestique. Ce n'est qu'avec des créations originales, pour la plupart issues du monde de la musique contemporaine et électroacoustique, que l'on rencontre une utilisation assumée du son spatial. Ce domaine présente une continuité avec celui des installations artistiques, mettant parfois en scène l'espace sonore sans limitations techniques ou esthétiques. L'intégration de paramètres interactifs peut mener à des explorations approfondies de la perception spatiale du son. Le côté ludique de ces installations fait alors le lien avec le monde du jeu vidéo, où l'on vise selon les cas une spatialisation *d'effets* ou une spatialisation de *réalité virtuelle*. Un programme immergeant le joueur dans un monde virtuel par l'intermédiaire d'un avatar peut alors aussi proposer le point de vue sonore subjectif de cet avatar. L'environnement sonore dif-

---

16. Et non dans un labo photo avec Penélope Cruz, Javier Bardem et Scarlett Johansson...

fusé autour du joueur est alors interactif et explorable au même titre que l'univers visuel du jeu.

### **Pour une exploitation riche**

Toutes ces utilisations amènent à s'interroger sur le sens qu'apporte la perception spatiale du son pour l'auditeur. Cette problématique du sens est au cœur de la création et de la fiction sonore dont l'élément central est la narration. Johanna Gampe a mené en 2005 une étude approfondie des aspects perceptifs, sémantiques et esthétiques de la fiction sonore spatialisée [Gam05]. Pour ce faire, elle s'est basée sur l'expérience pratique longue de cinq années et fournie d'une vingtaine de créations en multicanal par les réalisateurs et techniciens des studios de Hörspiel de la WDR à Cologne. Après une étude poussée sur la perception de l'espace sonore et sur la signification de la sphère arrière, l'auteur a quantifié l'apport du multicanal en définissant des valeurs ajoutées qui sont autant de nouvelles possibilités de création (voir 2.4.1 p.68).

Mais il apparaît déjà que tant de possibilités ne pourront être bridées que par l'imagination des créateurs. La rencontre de certains d'entre eux, particulièrement intéressés par le sujet, nous a montré qu'il existe autant de réponses que d'individualités. Certains voient le multicanal comme un moyen de plonger l'auditeur dans le son, de l'amener à son intériorité lorsque d'autres au contraire souhaitent s'en servir pour proposer une scène sonore « extérieure » à 360° ou encore essayer de s'orienter vers une illusion de réalisme. Nous en concluons que la multiplication des possibilités de création est une richesse qui peut mener à des résultats très différents, et que plus il y aura de diversité d'approches plus le multicanal en général y gagnera en intérêt. Chaque créateur pourra défendre et explorer son point de vue, mais il serait réducteur de vouloir en imposer un ou croire détenir la seule façon de faire.

Le seul piège à éviter serait de se diriger sans recul vers une optique « réaliste » de la représentation de l'espace sonore. On peut bien entendu essayer de jouer de cette utilisation du dispositif, mais cela ne doit pas devenir un carcan d'autant plus étroit que comme nous le verrons par la suite (voir 2.1.3 p.37), certaines imperfections techniques posent beaucoup de problèmes à une restitution réaliste d'un environnement sonore. Toutes les technologies complexes que nous allons utiliser ont a priori pour but de pallier ces défauts, mais il est indispensable de garder en tête que la reproduction sonore est une illusion, et que vouloir atteindre le réalisme est une chimère. Ces outils devraient plutôt être vus comme des moyens de manipuler l'illusion avec autant de liberté qu'on peut le souhaiter, dans

un but créatif, et cette intention est perdue si l'on s'emprisonne à vouloir recréer le réel. Et nous n'aborderons pas ici les problèmes métaphysiques de la notion de réalisme qui sont sans doute à la base de ces questions. Reste qu'il faudra beaucoup d'efforts pour apprivoiser cette nouveauté et cette complexité, et un cadre favorable est nécessaire si l'on souhaite se lancer dans l'aventure.

### **1.3.2 Nécessité d'un travail d'investigation collectif**

#### **Apprivoiser la nouveauté, ...**

Toutes les évolutions majeures dans le domaine du son ont demandé un temps conséquent d'expérimentation et d'adaptation pour aboutir à quelque chose de cohérent. On peut penser à l'arrivée de la stéréo qui a cristallisé une importante énergie de création et d'expérimentation, ou au son multicanal au cinéma. Il n'y a donc pas de raisons pour que la transition vers le 5.1 soit plus évidente dans le domaine de la création radiophonique. Mais l'état actuel de la production dans ce domaine permet déjà de tirer quelques conclusions quant aux conditions nécessaires à une expérimentation intéressante et efficace. Il est tout d'abord important de maximiser les chances de succès lors des premières tentatives, quitte à limiter par la suite les moyens quand une meilleure expérience du domaine sera acquise. Des essais timides ne conduiront en effet qu'à une utilisation réduite et inintéressante du procédé, ce qui sera un bon argument pour ne pas aller plus loin. La reconnaissance du statut expérimental est primordiale, et il faut par conséquent accepter que de nombreuses heures de travail ne se traduiront pas immédiatement en résultats à la production. Le passage à la stéréo s'est fait après des années d'expérimentations par de nombreux techniciens et il n'y a pas de raisons qu'il en soit autrement pour le multicanal. Mais la logique productiviste dominante aujourd'hui est malheureusement antinomique avec l'expérimentation et l'innovation libre qui existaient à une autre époque.

Mise à part la phase expérimentale, il est tout aussi évident qu'une production aboutie en multicanal demande un volume de travail plus conséquent qu'une production stéréo, par la complexité des dispositifs de prise de son, l'espace sonore disponible au moins deux fois plus important et la technicité accrue du mixage et du montage. Et bien sûr l'importance de moyens requis est aussi matérielle car des installations adaptées sont indispensables à un travail efficace. Si tous ces points ne sont pas sérieusement pris en compte, vouloir produire une fiction en multicanal risque de n'être qu'un gâchis d'énergie, de moyens et de motivation.

**... un travail de groupe.**

Ces points sont à prendre en compte à tous les niveaux de la création, de l'écriture au mixage. L'auteur joue en premier un rôle déterminant. Tout texte ne se prête pas facilement à une réalisation en multicanal mais il n'est pas non plus possible de catégoriser ce qui est adaptable et ce qui ne l'est pas, ce jugement dépendant surtout de la sensibilité du réalisateur. Ce dernier aura alors un engagement déterminant sur la production selon ses idées d'interprétation pour le multicanal. Les opérateurs du son devront avoir une maîtrise avancée du dispositif et des procédés, pour mettre ensuite en oeuvre de manière pertinente et efficace les intentions de réalisation. Toutes les personnes impliquées dans la création se doivent donc de très bien connaître le dispositif et ses possibilités. Mais plus encore, c'est la collaboration et la dynamique qui existent entre eux qui est indispensable : encore plus qu'en stéréo, la création et le questionnement doivent être collectifs pour aborder cette nouveauté dans une optique d'entraide et de partage des acquis.

On pourrait comparer cette approche avec les méthodes de production en audiovisuel. De la petite série-télé au film à gros budget, en passant par le téléfilm et le court-métrage d'auteur, l'équipe ne travaille pas de la même manière. La fiction sonore en multicanal se situerait dans la catégorie « film d'auteur ayant quelques moyens » car il faut réunir simultanément une émulation artistique collective, que l'on ne trouve pas sur les grosses productions, ainsi que les moyens en temps et en matériel requis par un dispositif complexe.

Il est inutile de préciser qu'actuellement, la politique de production de Radio France va plutôt à l'opposé de tout ceci par une réduction des moyens et de l'importance accordée à la création, ainsi qu'une marge de manoeuvre pour expérimenter toujours plus réduite. C'est d'autant plus dommage que la Maison de la Radio a été et pourrait toujours être un lieu idéal d'innovation grâce à des moyens conséquents et une émulation interne sans équivalent par ailleurs. Nous avons d'ailleurs constaté que toute cette volonté est bien présente, mais bridée par l'orientation actuelle des directives de production. Mais nous gardons espoir que ce qui est aujourd'hui à l'état de regret puisse un jour redevenir réalité.

**1.3.3 De nombreux vecteurs de diffusion**

Supposons à présent que nous ayons réussi à nous approcher de ces conditions, et que nous ayons produit une fiction sonore en 5.1. Quels moyens s'offrent à nous pour atteindre et intéresser des auditeurs ? À l'ère de l'ultra-diffusion multimédia, il serait curieux d'être limité à ce niveau. Nous

allons par ailleurs nous permettre pour chaque media abordé d'envisager une optique commerciale et une optique « libre » de la diffusion.

Nous avons déjà vu qu'à partir de la fin de l'année 2009, toute personne ayant acheté un récepteur RNT doté de l'option multicanal pourra recevoir sans autre effort un programme en 5.1 à son domicile : il n'y aura qu'à brancher le tuner radio sur un système d'enceintes 5.1. Et l'accessibilité à cette technologie sera la même pour les radios commerciales et pour les radios indépendantes<sup>17</sup>, aux moyens souvent réduits, étant donné que le canal nécessaire est le même que celui d'une diffusion standard en stéréo.

Les séances d'écoutes et festivals de création radio qui suscitent actuellement un regain d'intérêt notable représentent une première alternative à la radiodiffusion classique. À l'image par exemple des goûters d'écoute organisés par ARTE-radio au Point Éphémère, toujours complets, ou du jeune festival *Les Radiophonies*. Il faudra alors disposer d'une installation sonore en 5.1 dans la salle d'écoute ce qui est loin d'être insurmontable. Les salles de cinéma en offrent déjà un nombre conséquent, bien que nous constaterons par la suite la nécessité de prendre quelques précautions (voir 3.3.2 p.97).

Vient ensuite la diffusion en ligne. Internet, nous l'avons déjà vu, est un formidable vecteur de diffusion. Pour ce qui est du téléchargement, un flux en 5.1 peut maintenant être empaqueté de nombreuses manières (DTS, AC3, HE-AACv2...). Il suffira de donner à l'utilisateur les consignes nécessaires pour pouvoir le relire, en général sur un simple lecteur DVD raccordé à une diffusion 5.1. Sinon, si l'ordinateur est lui-même connecté à un système multicanal, des solutions d'écoute en ligne sont opérationnelles à l'heure actuelle<sup>18</sup>. Cette diffusion par internet pourra se faire dans une optique commerciale, avec téléchargement payant comme sur le tout nouveau site allemand Hoerspielpark.de, ou dans une optique libre dans le même esprit qu'ARTE radio. La diffusion libre n'est par ailleurs pas incompatible avec la protection des droits d'auteur grâce à la licence Creative Commons issue de la philosophie du logiciel libre<sup>19</sup>.

On peut aussi envisager une diffusion sur support physique comme c'est le cas pour les audiobooks. Le support le plus adapté pour une œuvre en multicanal est le DVD-Video au vu du taux d'équipement des foyers. Il existe aussi le DVD-Audio et le SACD, mais ces derniers sont restés très marginaux. Ce type de diffusion connaît une implantation commerciale tout

---

17. Une fois effectué de manière équitable le transfert à la technologie numérique, lui vivement contesté.

18. Par exemple le logiciel libre VLC media player, qui lira en général un flux streaming empaqueté en Mpeg4 ou Mkv.

19. Plus d'informations, en français, sur le site <http://fr.creativecommons.org/>.

à fait viable en Allemagne et est accessible autant aux circuits commerciaux classiques qu'aux indépendants.

Enfin, on peut aller jusqu'à pactiser avec l'ennemi juré de la radio. En effet, la télévision numérique propose maintenant une diffusion du son en 5.1. Rien n'empêche a priori d'y diffuser des oeuvres radiophoniques sur des canaux détournés, surtout en considérant les centaines de canaux disponibles en diffusion TV par l'ADSL.

Tous ces vecteurs offrent déjà un nombre important de possibilités, mais c'est sans compter l'approche binaurale du multicanal que nous aborderons dans la troisième partie de ce travail. En effet, il est possible de simuler de manière très performante un espace sonore sur un simple casque stéréo, à l'aide de filtres HRTF (voir 3.2.2 p.90). On peut donc reprendre tous les vecteurs de diffusion cités ci dessus et proposer une version « casque » que tout le monde pourra écouter, à la maison ou sur baladeur comme cela se fait déjà.

La combinaison de tous ces moyens offre a priori un panel de vecteurs de diffusion permettant d'échapper à une confidentialité tant redoutée. Reste à savoir si l'auditeur en bout de chaîne aura les moyens de profiter de la création dans des conditions acceptables.

### 1.3.4 L'écoute domestique

La problématique des conditions d'écoute est un autre frein au développement des productions en multicanal. L'écart qu'il peut y avoir entre le produit « tel qu'il devrait être », c'est à dire écouté lors du mixage, et celui qu'entendent les auditeurs chez eux a d'autant plus de risques d'être important que le dispositif est complexe. Cet écart est le fondement même du travail du mixeur. Mixer un produit sonore, s'est s'assurer qu'il sera recevable dans les conditions d'écoute les plus larges possibles. Mais il faut garder une certaine mesure quant à la diversité supposée des dispositifs chez les auditeurs. Il est évident qu'on leur fera un minimum confiance pour se placer dans des conditions à peu près normales. En stéréo par exemple, on ne va pas s'interdire la latéralisation sous prétexte que 50% des auditeurs ont une installation aberrante. La situation pour le multicanal est la même, alors pourquoi en faire grand cas ici et pas en stéréo ? De plus, une petite étude menée en 2003 par Antoine Delhorme dans le cadre de son mémoire de fin d'études va à l'encontre des idées reçues. 57% des 40 personnes non professionnelles sondées<sup>20</sup> affirment porter une attention particulière au bon placement de leur système d'écoute, et 10 des 11 personnes possédant une

20. À la sortie d'un vidéoclub et d'une médiathèque.

écoute multicanal ont pris le soin de suivre la recommandation de placement ITU [Del03, 8]. Et même dans le cas où les auditeurs n'accorderaient pas d'attention aux conditions d'écoute, ne serait-ce pas le rôle des artisans du son d'essayer d'éveiller une certaine sensibilité à ce niveau là ? On ne s'en privait pas à une certaine époque, et les expérimentations semblaient être menées sans aucun complexe [voir Annexe 2 p.110]. Il en va de même pour la qualité de reproduction des systèmes. Doit-on renoncer à produire en multicanal parce que beaucoup de systèmes vendus au grand public sont médiocres ou inhomogènes ? Ce problème n'a pourtant jamais empêché de produire en stéréo, ni en mono d'ailleurs.

Supposons ensuite que l'auditeur ait un dispositif bien installé et bien réglé. Il y a en théorie un point d'écoute optimal pour une restitution fidèle des intentions du mixeur, le « sweet point », défini par la norme comme étant le point central du dispositif. Dès que l'on s'éloigne de ce point, l'image sonore perçue est une distorsion de l'image idéale, distorsion progressive jusqu'à une perception aberrante de l'espace lorsque l'auditeur est trop mal placé. Tant que la distorsion reste modérée, notre perception s'y adapte en s'habituant à ce référentiel légèrement différent tout comme on peut « comprendre » le reflet d'une image dans un miroir déformant. On définit donc une zone d'écoute située autour du sweet point. Dans le cas de la fiction sonore, on peut raisonnablement poser comme contrainte qu'il n'y ait pas d'aberration dans une zone permettant d'accueillir cinq personnes, l'équivalent d'un canapé de salon. Ce sera donc au mixeur de s'assurer que l'image sonore soit toujours compréhensible dans toute la zone d'écoute, en procédant par exemple à une écoute du mixage dans les positions limites qui seront retenues. Et de même pour une diffusion de groupe dans une salle plus grande, il faudra assigner les places des spectateurs aux zones ne causant pas d'aberrations de perception. Nous reviendrons en détail sur ce problème dans la deuxième partie de ce travail grâce à des outils qui permettent l'élargissement de la zone d'écoute.

Enfin, la fiction sonore s'écoute en premier lieu dans un contexte radiophonique. Or le temps où l'on s'asseyait en famille devant le poste de TSF pour écouter la radio est révolu. Désormais l'écoute est souvent simultanée à d'autres actions, et l'on ne s'installe que trop rarement pour écouter. Sauf qu'il est question ici de fiction sonore et non d'un flux radiophonique quelconque servant à meubler l'espace. Il n'est tout simplement pas concevable d'écouter une fiction en faisant autre chose : une réplique loupée, un manque d'attention et l'on peut être perdu jusqu'à la fin. Quand on regarde la télévision, on laisse peut être des émissions de variété, d'information ou de divertissement en fond tout en s'activant à des tâches domestiques mais quand on regarde un film, on a plutôt tendance à s'installer dans une at-

titude exclusive pour s'immerger dans la fiction. Il en est exactement de même pour la radio. La question de l'écoute en mouvement ne se pose donc pas en fiction sonore, contrairement à d'autres types d'émissions.

### 1.3.5 Compatibilités

La compatibilité vers une écoute stéréophonique ou monophonique est probablement l'obstacle majeur au développement des productions complexes en multicanal. C'est en effet un critère indispensable dans le cas d'une diffusion radiophonique classique car il est interdit de proposer un programme qui ne soit pas recevable sur des systèmes standards. Dans le cas d'une distribution alternative de type internet ou DVD, elle n'est pas nécessaire tout en restant fortement souhaitable afin d'éviter un élitisme technologique. Mais la question en général nécessiterait un travail d'étude complet pour développer les facettes esthétiques et techniques de la problématique, ce que nous ne pouvons faire ici. Nous nous contenterons donc d'exprimer quelques considérations concernant le cas particulier de la fiction sonore et de présenter notre position dans le cadre de ce travail.

Si la compatibilité technique ne pose pas de problème particulier, c'est au niveau de la compréhension du programme que se trouve l'écueil. Dans le cas de la fiction sonore spatialisée comme nous l'envisageons dans ce travail, il serait impossible de procéder à une compatibilité automatisée consistant à effectuer une sommation pondérée des signaux sur les canaux gauche et droit. Les contraintes au niveau de la création seraient si importantes pour éviter les ambiguïtés de compréhension qu'il ne serait même plus intéressant de faire du multicanal. La logique d'utilisation du son spatial que nous défendons va donc exactement à l'opposé d'une possibilité de compatibilité automatique. La seule solution est de mixer une autre version en stéréo ; on parlera alors même de réadaptation car plus que d'un mixage secondaire, il s'agira d'une écriture sonore différente adaptée à un format secondaire. Mises à part les contraintes de production encore plus lourdes, il faudra faire attention à obtenir deux mixages de durée rigoureusement exactes, ce qui n'est pas si évident car une même oeuvre a tendance à être plus longue en multicanal qu'en stéréo, l'évolution rythmique globale n'étant pas perçue de la même manière. Par contre, Marguerite Gateau, réalisatrice à Radio France et ayant une expérience du multicanal par d'autres biais nous fait remarquer que le mixage stéréo alors obtenu présente un intérêt tout particulier car issu d'une écriture accordant plus de place à la dimension spatiale du son.

Mais se pose alors un problème majeur : la diffusion en RNT, comme nous l'avons précédemment exposé, prévoit avec la technologie MPEG Sur-



round un procédé de compatibilité automatique en contradiction avec notre raisonnement. La seule solution est alors de proposer deux programmes simultanés, l'un avec le mixage stéréo et l'autre avec le mixage multicanal. Une contrainte considérable s'ajoute alors : la nécessité d'utiliser deux canaux de diffusion entiers pour un seul programme<sup>21</sup>. Mais la situation reste pour l'instant ouverte à ce niveau.

## Conclusion du premier chapitre

Un survol de la situation actuelle laisse croire qu'il existe une possibilité intéressante de proposer à un public curieux la découverte de la fiction sonore en multicanal. L'histoire et l'observation d'autres cultures montrent qu'une forme de création ne meurt pas aussi facilement et que le bouleversement actuel des modes de diffusion est propice à une réappropriation de certains mouvements créatifs par le grand public. Mais les problématiques nouvelles sont nombreuses et nécessitent une investigation approfondie dans un cadre adapté. C'est ce que nous nous proposons de faire dans la suite de ce travail en étudiant les faiblesses du dispositif 5.1 et en essayant d'y pallier par l'utilisation de nouveaux outils.

---

21. Bien que le nombre de canaux disponibles ne semble pas être un vrai problème, quand on sait que le groupe TF1 a déposé trois dossiers d'attribution de fréquence.

## Chapitre 2

# Comment contourner les faiblesses du dispositif 5.1

La majeure partie des problématiques de mixage est due à l'étendue des possibilités offertes par le dispositif de diffusion choisi ainsi qu'aux imperfections qui lui sont propres. La recommandation 5.1 est en ce sens très complexe à utiliser en son seul car elle n'a pas été conçue dans ce but. En user de manière détournée alors qu'elle a été choisie pour soutenir une image frontale amène nombre de problèmes sérieux qui pourraient rapidement décourager le créateur sonore.

Après avoir étudié en détail le dispositif en se basant sur les paramètres psychoacoustiques de la perception spatiale, nous développerons les nouveaux aspects du travail de mixage avant d'introduire des outils de traitement sonore visant à pallier les faiblesses du dispositif. Nous pourrons alors étudier en détail les problèmes de mixage et tenter d'y apporter quelques solutions. Le 5.1 en création multicanal pourra finalement être abordé comme un vaste champ de possibilités plutôt que comme une contrainte pesante.

## 2.1 Étude perceptive du dispositif de diffusion

Il est important dans un premier lieu de définir les principes de perception spatiale qui justifient l'intérêt de la diffusion en multicanal, puis de détailler les caractéristiques du système que nous avons choisi d'étudier pour extraire les causes principales des problèmes que nous allons rencontrer. Nous pourrons ainsi aborder par la suite les nouvelles composantes du travail du mixeur et suggérer des recommandations d'utilisation permettant de tirer le meilleur profit possible de cette technique en fiction sonore.

### 2.1.1 Paramètres psychoacoustiques de l'écoute spatiale

La localisation de sources sonores est en premier lieu fonctionnelle et vitale pour l'homme. Elle lui permet entre autres d'identifier dans son environnement des événements dangereux ou importants qui ne seraient pas présents dans son champ visuel. Ce caractère sélectif a entraîné un perfectionnement évolutif biologique complexe des mécanismes auditifs de perception spatiale.

Trois éléments principaux se combinent pour donner un maximum d'indices de localisation : les différences interaurales de temps (ITD, pour Interaural Time Differences), les différences interaurales de niveau (ILD, pour Interaural Level Differences), et le filtrage fréquentiel par les fonctions de transfert dues à la géométrie de la tête (HRTF, pour Head Related Transfer Functions). À ces trois mécanismes s'ajoute la capacité cognitive différentielle de ces paramètres dans le temps : ce sont les mouvements et micromouvements de la tête qui servent à préciser la localisation en analysant des positions relatives par déplacement de ce référentiel. La combinaison de tous ces indices permet généralement une localisation peu ambiguë des sources sonores dans tout l'espace nous entourant. Nous nous appuyerons par la suite sur une étude approfondie de la perception spatiale du son menée à la fin des années 70 par Jens Blauert [Bla72].

### L'effet d'antériorité comme discriminateur d'informations

Lors du mécanisme de localisation, la perception auditive commence par extraire les indices acoustiques les plus pertinents afin d'identifier l'incidence exacte d'une source. C'est ce qu'on appelle la loi du premier front d'onde, basée sur le mécanisme perceptif décrit par l'effet Haas aussi appelé effet

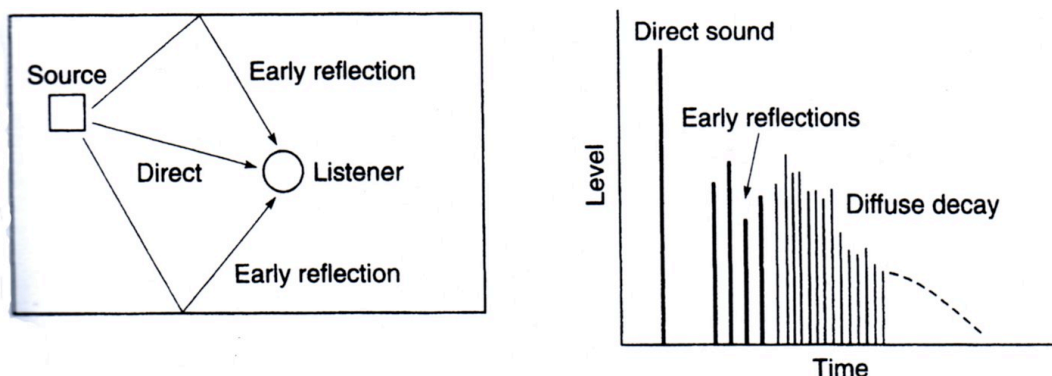


FIGURE 2.1: Arrivée des réflexions dans un milieu réverbérant.

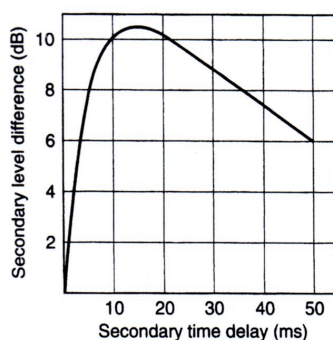


FIGURE 2.2: Le niveau d'inhibition d'une première réflexion en fonction de son délai d'arrivée.

d'antériorité : l'oreille sépare le signal acoustique original des premières réflexions causées par l'environnement en inhibant les incidences sonores successives au premier front d'onde [fig 2.1]. Cette inhibition du niveau acoustique perçu décroît sur une durée approximative d'une cinquantaine de millisecondes, durant lesquelles la perception auditive n'arrive pas à séparer temporellement l'énergie sonore des réflexions de l'onde initiale [fig 2.2]. Ce mécanisme permet donc de mettre en valeur l'incidence du premier front d'onde et d'en déduire des indices de position spatiale par les mécanismes d'ILT et d'ILD.

Le rapport entre la taille du corps humain et les longueurs d'onde acoustique du domaine fréquentiel audible fournit une explication immédiate à la nécessité de deux indices de localisation différents. En effet, les longueurs d'onde acoustique vont de 17m pour une fréquence de 20Hz à 1,7cm pour une fréquence de 20 000Hz alors que la taille moyenne du corps humain est

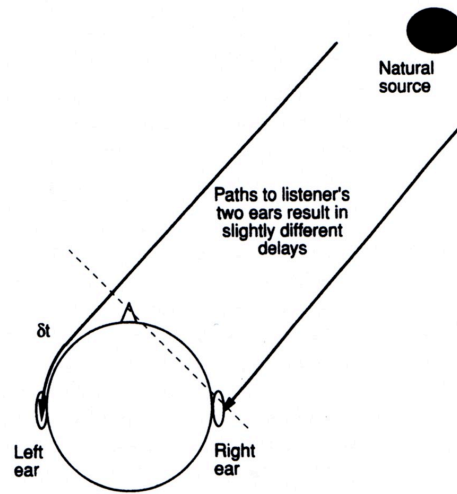


FIGURE 2.3: *Différence de parcours due à l'incidence de la source.*

de 170cm, équivalent à la longueur d'onde d'une fréquence de 200Hz. Et de manière plus significative pour notre travail la distance interaurale humaine est d'à peu près 21cm, équivalent à une longueur d'onde de 1600Hz. Pour connaître le comportement ondulatoire acoustique au voisinage de la tête, il faut comparer les ordres de grandeur : pour une longueur d'onde d'ordre de grandeur inférieur à la taille de la tête interviennent d'importants phénomènes de diffraction, et pour une longueur d'onde d'ordre de grandeur supérieur, la tête joue un rôle d'écran acoustique [Hol08, 179]. On parle alors de domaine basse-fréquence en dessous de 1500 à 2000Hz et haute-fréquence au dessus. L'ITD est l'indice de localisation principal pour le domaine basse-fréquence, et l'ILD l'indice principal en hautes fréquences pour les raisons que nous allons voir.

## L'ITD

L'incidence d'une source par rapport à la tête entraîne des différences de chemin de propagation pour le signal acoustique [fig2.3]. S'ensuit un délai interaural d'arrivée du signal, croissant de 0 à 630 microsecondes lorsque l'incidence de la source évolue de  $0^\circ$  à  $90^\circ$ . Ce délai est à l'origine d'une différence de phase entre les signaux analysés par chacune des oreilles, interprétée par la perception comme un indice de localisation.

Cet indice n'est pertinent que pour des fréquences inférieures à 1600Hz, et performant pour des fréquences en dessous de 800Hz. Pour les fréquences comprises entre 800Hz et 1600Hz, il y a une ambiguïté due au déphasage alors

compris entre  $180^\circ$  et  $360^\circ$  et pour des fréquences supérieures, la longueur d'onde est trop petite et l'on retrouve le signal original par périodicité. Néanmoins, il semble que pour un contenu spectral haute-fréquence, l'ITD soit effectif au niveau des variations de l'enveloppe énergétique du signal, comme si un filtrage passe-bas était appliqué de manière à récupérer des indices de domaine basse-fréquence [Dan01, 39]. Le mécanisme ITD a un poids prépondérant dans les phénomènes de localisation auditive.

## L'ILD

Lorsque l'on passe en domaine haute-fréquence, l'ordre de grandeur de la longueur d'onde par rapport à la taille de la tête pose problème pour l'interprétation de l'ITD mais devient un avantage pour le mécanisme d'ILD. En effet, le phénomène de diffraction permet au champ acoustique de contourner la tête en basse-fréquence et l'intensité sonore est alors égale au niveau de chaque oreille. Au contraire la tête devient un obstacle acoustique en haute-fréquence, créant une différence d'intensité croissante selon l'angle d'incidence de la source. À nouveau, la perception interprète cette différence d'intensité haute-fréquence comme un indice de localisation. Le domaine de transition entre les deux phénomènes se situe à peu près entre 1000 et 2000Hz, et ITD et ILD se combinent alors de manière imparfaite. Il est aisément compréhensible que l'efficacité des indices d'ITD et d'ILD est maximale au voisinage de l'axe avant/arrière de la tête car les variables associées y évoluent rapidement, et quasi nulle au voisinage de l'axe latéral car le déplacement de source aura alors une influence très réduite sur ces mêmes variables. Cette faiblesse est compensée par une dernière information spatiale : le contenu spectral du signal.

## La localisation HRTF

La géométrie du buste, de la tête, du pavillon et du conduit auditif de l'homme crée un filtrage acoustique complexe du signal sur tout le domaine fréquentiel audible. Ce filtrage est très dépendant de l'incidence de la source et n'a pas la même amplitude selon les fréquences. Plus la fréquence est élevée, plus les effets sont importants à cause des nombreuses irrégularités de petite dimension de l'oreille externe. On considère généralement que ce filtrage est perceptivement prépondérant à partir de 4 KHz [fig2.4].

En plus d'apporter d'importants indices de perception latérale, ces contenus spectraux permettent de lever les ambiguïtés sur la position de la source dans le plan médiateur à l'axe passant par les deux oreilles, là où les indices d'ILD et d'ITD sont invariables. Il est ainsi possible de percevoir une

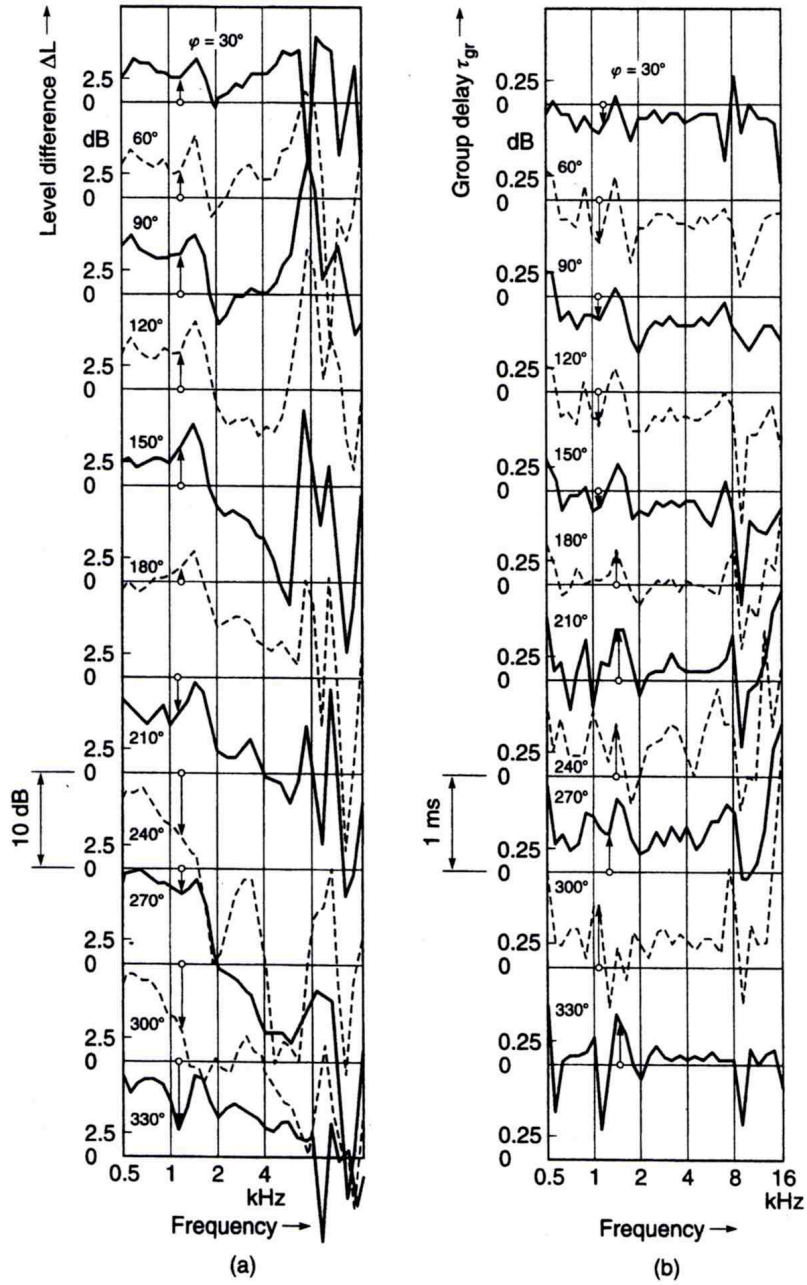


FIGURE 2.4: Fonctions de transfert en amplitude et phase selon différents angles pour l'oreille gauche (HRTFs).

différence de position entre une source située à l'avant, à l'arrière, en haut ou en bas. Il est par contre important de relever qu'un contenu spectral n'a d'intérêt qu'en valeur relative contrairement aux différences de temps ou d'intensité qui ont un caractère absolu. C'est soit par la connaissance préliminaire du contenu spectral de la source, soit par mouvement créant des modifications spectrales dues aux HRTF que l'on peut réellement avoir des indices concernant la position de l'évènement sonore. Il s'agit principalement d'une question d'éducation et de conditionnement de l'audition alors que la perception des ILD et ITD a un caractère plus « réflexe ». Notons que l'indice d'ILD découle directement des courbes de HRTF pour des incidences modérées et un domaine spectral ciblé, bien que ce ne soit pas exactement la même donnée perceptive qui soit en jeu<sup>1</sup>.

### Interactions entre les différents indices

La combinaison de ces mécanismes est extrêmement complexe et non rigoureuse. Les indices l'ILD et d'ITD ont un rôle prépondérant en localisation frontale et arrière alors que les indices HRTF sont primordiaux pour des incidences latérales. Cela se comprend facilement en étudiant leur variabilité : très forte pour la zone frontale et nulle pour la zone latérale pour ce qui est de l'ILD et de l'ITD, négligeable pour la zone frontale et très importante pour la zone latérale pour ce qui est des indices HRTF. Mais ils se compensent les uns les autres de manière non linéaire et les isoler ne permet pas de tirer des conclusions formelles quant à la manière de spatialiser un son artificiellement.

C'est donc toujours un point de vue subjectif qui doit être adopté face à des choix de mixage, la théorie n'offrant que des indices pour comprendre comment nous arrivons à discriminer spatialement des sources sonores. Néanmoins, des tests perceptifs permettent d'évaluer et de valider certains procédés sur de larges panels de sujets. On a par exemple essayé d'évaluer la précision de discrimination spatiale en écoute naturelle. Ces données ont un intérêt particulier car elles permettent de conclure quant à l'efficacité globale des différents mécanismes de localisation. On trouve dans l'ouvrage de Jens Blauert que le pouvoir de discrimination est de  $3,6^\circ$  à l'avant, de  $5,5^\circ$  à l'arrière et de  $9,2$  à  $10^\circ$  sur les côtés, ce qui n'est pas une surprise au vu de l'orientation du pavillon de l'oreille et des mécanismes mis en jeu selon les incidences de sources [Bla72, 41].

Les mécanismes de perception spatiale étant maintenant explicités, nous allons pouvoir étudier le dispositif 5.1 et questionner sa pertinence pour

---

1. L'ILD concerne plutôt le niveau moyen perçu alors que l'analyse des HRTF se réfère à l'interprétation spectrale du son.



travailler en son seul spatialisé.

### 2.1.2 La recommandation ITU-R BS.775 pour le 5.1

Comme nous l'avons précisé au début de ce travail, le dispositif sur lequel nous travaillons a été conçu dans un but précis et l'on doit procéder avec prudence si l'on souhaite en détourner son utilisation. C'est au début des années 90, avec l'arrivée du son numérique et des possibilités de l'amener jusque dans les foyers grâce au futur DVD que les industriels de l'audiovisuel ont développé le concept du Home Cinema. Le seul objectif était de transposer l'expérience sonore du cinéma multicanal à la maison grâce à un dispositif adapté. La recommandation ITU-R BS.775 datant de 1993 avait pour but de définir un dispositif qui soit efficace et viable commercialement. Ce fut un réel succès, avec le revers de la médaille qu'on lui connaît aujourd'hui pour le son non rattaché à l'image.

#### Le 5.1 au cinéma

Il est nécessaire ici d'apporter quelques précisions sur le dispositif de diffusion « surround » des salles de cinéma car le 5.1 domestique en est directement issu et les problèmes que nous allons rencontrer prennent source ici. Une salle de cinéma en 5.1 comprend six canaux de diffusion qui alimentent des hauts-parleurs aux fonctions diverses [fig2.5].

La bande sonore d'un film est bâtie autour du canal central, présent physiquement sous la forme d'un haut-parleur situé exactement au centre derrière l'écran. Les dialogues et la majorité des informations sonores importantes y sont diffusées. Toujours derrière l'écran, on ajoute une diffusion stéréo<sup>2</sup> classique utilisée pour élargir l'univers sonore à l'aide d'ambiances et de musiques stéréophoniques, ainsi que pour réaliser avec parcimonie quelques effets de mouvement ou de latéralisation. Deux rampes de hauts-parleurs à l'arrière servent à diffuser les deux canaux arrière droit et arrière gauche de manière enveloppante et floue. On n'en use généralement que pour élargir l'immersion sonore à l'aide d'ambiances ou de champs réverbérés additionnels. Lorsque la situation le permet, on peut y ajouter des effets immersifs comme nous le décrit Gary Rydstrom pour le mixage de *Il faut sauver le soldat Ryan* (1998) de Steven Spielberg [Hol08, 195]. Enfin, un caisson de basses à la puissance acoustique adaptée sert à diffuser le canal LFE (Low Frequency Effects, effets basses fréquences) destiné à renforcer

---

2. Le terme stéréophonie en général se rapporte à une reproduction spatialisée du son. Nous parlerons de stéréo ou de stéréophonie classique pour désigner l'utilisation de deux hauts-parleurs, et nous préciserons par un adjectif approprié les autres cas.

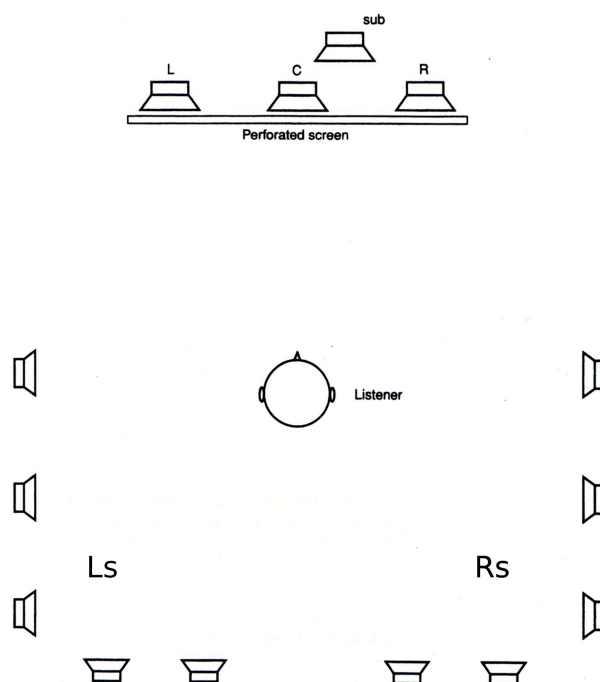


FIGURE 2.5: *Disposition typique de la diffusion sonore dans une salle de cinéma équipée en 5.1.*

certains effets spectaculaires dans l'extrême bas du spectre, par exemple des explosions, chocs ou moteurs de véhicules.

Cette approche du son multicanal s'est construite au fur et à mesure des expériences et des exigences du monde du cinéma et n'a absolument rien à voir avec une intention technique ou esthétique de reproduire un champ acoustique panoramique, ce qui serait par ailleurs tout à fait inadapté à l'écoute d'un film.

### L'adaptation aux contraintes domestiques

Lorsque l'on a défini le standard ITU-775 pour le home cinéma, la seule intention était de pouvoir reproduire la structure d'une bande son cinéma le plus fidèlement possible chez le consommateur. Une première contrainte a été de garder les mêmes canaux audio que pour le mixage destiné aux salles de projection, ce qui permet de le reproduire sur un DVD sans intervention et donc sans frais supplémentaires<sup>3</sup>. On a donc conservé un haut-parleur

3. On se contente en général d'un traitement automatisé de réduction de la dynamique, pour éviter les problèmes de voisinage.

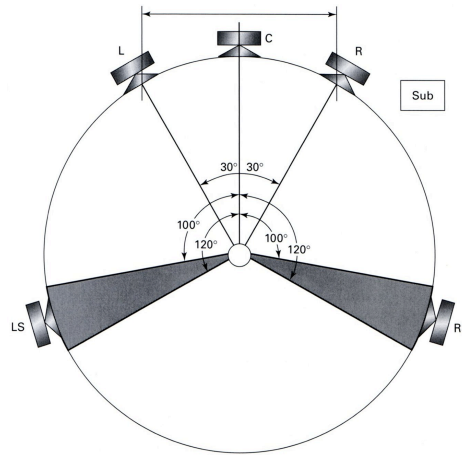


FIGURE 2.6: *Représentation schématisée de la recommandation de placement ITU-775.*

central pour diffuser le canal central originel, ce qui a l'avantage de clarifier l'image sonore frontale correspondant au champ visuel. En toute logique, l'extension stéréo a été rendue parfaitement compatible avec une diffusion stéréophonique classique. Enfin, la position des hauts-parleurs arrière a été déterminée pour apporter la meilleure sensation d'immersion diffuse dans un lieu domestique, finalement plus proche d'une orientation latérale que d'une orientation arrière. Ces quelques contraintes ont donc mené aux recommandations de disposition résumées en un schéma aujourd'hui bien connu [fig2.6].

Sans en développer les conséquences, nous pouvons immédiatement émettre quelques remarques. Le déséquilibre de répartition des sources entre l'avant et l'arrière est flagrant : les angles entre hauts-parleurs sont de  $85^\circ$  sur les cadrants latéraux et de  $130^\circ$  à l'arrière alors qu'ils sont de  $30^\circ$  à l'avant. C'est la raison pour laquelle on préfère parfois parler de stéréophonie 3/2 plutôt que de stéréophonie multicanal ou de stéréophonie 5.1. Cette désignation met en valeur le fait que la disposition oppose deux sous systèmes utilisés en général pour deux fonctions différentes : mise en place de l'image sonore pour la moitié 3 de l'approche 3/2 (L-C-R), et extension spatiale de cette image grâce à la moitié 2 (Ls-Rs). C'est l'approche naturelle de ce système, en opposition à l'approche détournée visant à construire une véritable image sonore à  $360^\circ$  [Hol08, 115]. Nous utiliserons par la suite le terme d'*approche 3/2* du 5.1 pour qualifier cette utilisation classique et éprouvée.

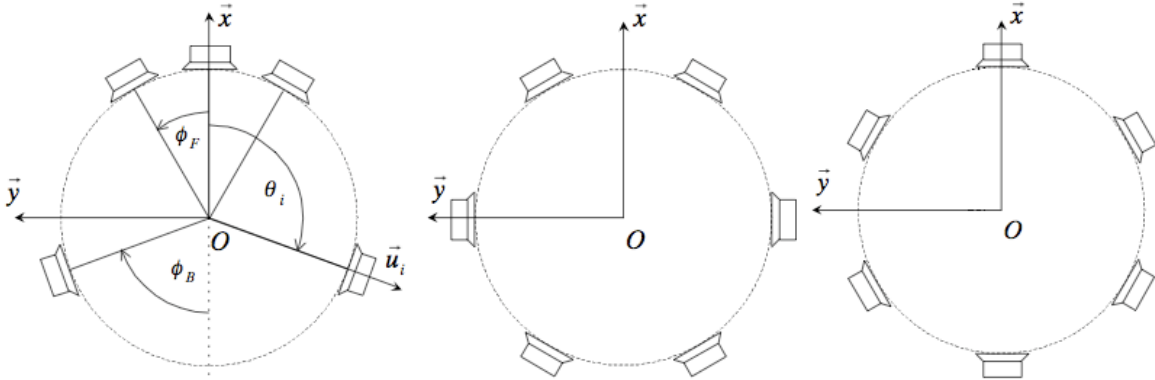


FIGURE 2.7: Propositions de placement en hexaphonie régulière.

### Un compromis

Si l'on souhaite atteindre une efficacité optimale dans la recreation d'un environnement sonore, les travaux de l'INA au début des années 80 proposaient une solution bien plus adaptée inspirée des recherches de l'époque sur le son spatial. Un hexagone régulier permet d'obtenir une répartition homogène des sources selon l'écartement optimal de  $60^\circ$  approuvé par la stéréophonie classique, avec la même charge matérielle qu'en 5.1 mais en remplaçant le canal LFE par un sixième canal et un sixième haut-parleur [fig2.7].

Mais l'échec de la quadriphonie a bien montré que seul un poids lourd commercial et marketing était capable d'imposer une évolution réelle des systèmes de diffusion. Le monde de la radio manque cruellement de carrure pour faire acheter six hauts-parleurs par salon au grand public, alors qu'Hollywood a fait valoir des arguments de poids. L'évolution des possibilités de création en radio est en tout cas bien réelle et il serait dommage de refuser l'invitation sous prétexte que le spectacle n'est pas parfait. Il est possible que l'univers radiophonique ait accepté le 5.1 à contrecœur lors du passage au numérique mais les dés étant jetés, il s'agit maintenant de prendre acte de cet état de fait et de s'attaquer au dispositif pour en comprendre les forces et les faiblesses.

### 2.1.3 Problématiques principales du dispositif

Beaucoup de ceux qui ont tenté d'utiliser le système 5.1 pour un travail plus complexe que de la stéréophonie 3/2 ont été rapidement découragés

par les obstacles majeurs auxquels l'on se heurte rapidement. Par la suite, nous allons proposer des outils permettant dans une certaine mesure de les contourner, mais il nous faut d'abord les identifier clairement.

### Une utilisation se basant sur les principes de la stéréophonie classique

Pour construire un véritable environnement sonore, il faut tout d'abord être capable de répartir des sources où l'on le souhaite, en l'occurrence sur tout le cercle azimutal. Pour ce faire, on raisonne en général selon une extension de la stéréophonie classique, en étendant le quadrant de latéralisation de 60 à 360 degrés grâce aux différentes paires de hauts-parleurs. Les principes de base de la latéralisation classique sont regroupés sous la notion de *localisation par sommation*, ou encore stéréophonie de Blumlein<sup>4</sup>, car on utilise la sommation de deux sources acoustiques séparées pour donner l'illusion d'une seule source généralement appelée source fantôme. Les principes perceptifs entrant en jeu sont une recreation artificielle d'indices d'ILD et/ou d'ITD, interprétés par l'oreille comme de réelles informations de localisation [Bru99, 57]. Il faut bien souligner ici que même si ces principes sont aujourd'hui très largement assimilés et appliqués grâce à plus de cinquante années de pratique approfondie, ils ne sont rien d'autre qu'une illusion perceptive dont on a longuement étudié les paramètres<sup>5</sup> et qui a concrètement fait ses preuves.

Et même en conditions d'écoute optimales, la situation reste relativement éloignée d'une perception naturelle de localisation sonore [ex.audio n°1]. D'une part les indices de localisation ne sont que partiellement restitués, l'utilisation classique de l'ILD ne tenant par exemple pas compte de la courbe de réponse des HRTF due au placement des hauts-parleurs à 30°. Et d'autre part les trajets acoustiques croisés, c'est à dire le fait que chaque oreille soit stimulée par les deux hauts-parleurs à la fois sont à l'origine d'artefacts de perception difficile à appréhender même théoriquement. Ceci étant dit, la consigne de placement des hauts-parleurs à 30° en stéréophonie classique résulte d'une optimisation tout à fait satisfaisante de l'illusion. Mais c'est lors d'une extension de ces principes à d'autres incidences que cette dernière est mise en défaut parfois de manière très gênante, ce qui pose l'un des problèmes majeurs rencontrés à l'utilisation du 5.1.

Pour ce qui est du front de trois hauts-parleurs, on ne peut que constater une amélioration par rapport à la stéréophonie classique. En effet, l'ajout du haut-parleur central permet d'augmenter la résolution de l'illusion percep-

---

4. D'après le brevet de Blumlein publié en 1941.

5. La littérature concernant les principes de stéréophonie classique abonde.

tive en augmentant le nombre de sources réelles mises en jeu, et donne toute la souplesse d'utilisation possible entre la stéréophonie classique et l'adjonction du centre. Il faut néanmoins procéder en connaissance de cause car la perception sur une stéréophonie L-C ou C-R présente des particularités par rapport à une stéréophonie L-R. On se sert en effet d'une disposition asymétrique par rapport à l'auditeur et les principes de base de Blumlein ne sont plus valables de la même manière. Mais les problèmes majeurs du 5.1 apparaissent lors de l'utilisation des stéréophonies latérales et arrière.

### Localisation sur les côtés et à l'arrière

L'angle de diffusion stéréophonique arrière est de  $140^\circ$ . Lorsque l'on sait qu'un angle de  $60^\circ$  est optimal et qu'un angle de  $90^\circ$  pose déjà des problèmes de précision et de stabilité<sup>6</sup>, on peut se faire une idée de l'ampleur du problème avec un angle de  $120^\circ$  ou  $140^\circ$ . De plus, l'influence de la localisation par analyse du filtrage HRTF est beaucoup plus importante à l'arrière qu'à l'avant [fig2.4 p.32]. L'absence de compensation à la diffusion sera alors perceptivement plus conséquente, altérant l'illusion d'une source fantôme plausible. L'efficacité en localisation est donc extrêmement faible sur une zone où la perception naturelle a déjà des limites et des particularités.

Pour ce qui est des couples de latéraux, les mécanismes entrant en jeu sont encore plus complexes et les conséquences plus singulières. L'ouverture angulaire d'un couple latéral (par exemple L-Ls) est de  $80^\circ$ , orientée légèrement vers l'avant. Cet écartement n'étant pas excessif, il serait possible d'envisager une localisation par sommation efficace sur les cadrants latéraux.

Mais nous avons vu que l'indice prépondérant de localisation latérale est le filtrage HRTF. Or la localisation classique par sommation ignore ce paramètre et se base uniquement sur les indices d'ITD et d'ILD, presque insignifiants pour des incidences latérales. L'oreille gauche perçoit alors deux filtrages HRTF contradictoires provenant de chacun des hauts-parleurs. La sommation de ces deux filtrages donne un résultat incohérent car ne correspondant à aucune position réelle de source : les courbes de filtrage évoluent en effet de manière totalement non linéaire selon l'angle d'incidence [fig2.4 p.32]. On perçoit finalement une incidence différente pour chaque bande fréquentielle du signal, ce qui donne l'effet d'étalement et d'incohérence de la source habituellement constaté [Bru99, 105]. Cet effet est encore plus flagrant lors de mouvements de sources : les différentes bandes fréquentielles la composant ont alors des comportements indépendants au

---

6. Ce qui fut constaté lors des tentatives en quadriphonie.

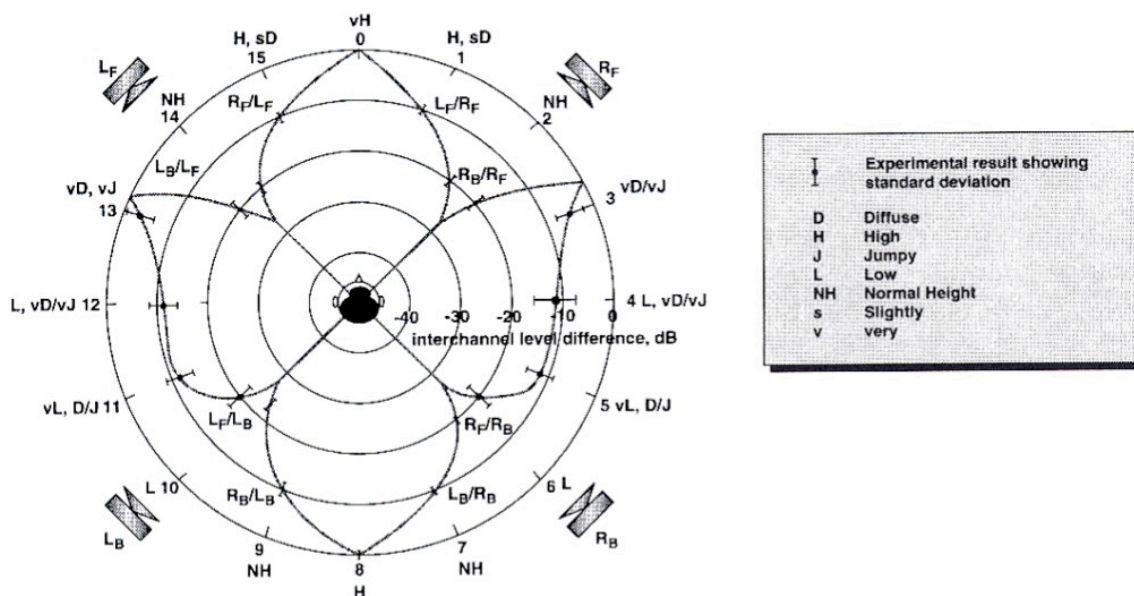


FIGURE 2.8: Évaluation de la qualité de localisation des sources en écoute quadriphonique.

cours du déplacement [Hol08, 89]. On retrouve ces défauts sous les termes de sources latérales *très diffuses* et *très instables*<sup>7</sup> sur le schéma des qualité de perception en quadriphonie réalisé par la BBC en 1975 [fig2.8].

### La fragilité du point d'écoute

De manière plus générale, un autre défaut du dispositif 5.1 est sa sensibilité à la position d'écoute due principalement à l'effet de précedence. Ce défaut existe en stéréo ou pour n'importe quelle autre disposition multicanal, mais l'irrégularité de la disposition 5.1 accentue les effets d'un placement non idéal de l'auditeur. L'image a tendance à se coller dans le haut-parleur le plus proche, ce qui crée d'importantes distorsions de la restitution de l'espace. Ce phénomène est d'autant plus conséquent que la qualité de localisation est faible, ce qui provoque des problèmes d'instabilité très gênants pour les incidences latérales (autour de  $70^\circ$ ) et arrières (autour de  $180^\circ$ ) [ex.audio 2].

Enfin, tous les problèmes cités précédemment sont exacerbés lors de tentatives de déplacements de sources. Effectuer un mouvement circulaire

7. Notés vD et vJ pour *very diffuse* et *very jumpy*.

revient à passer par tous les points sensibles et à cumuler tous les problèmes de perception imaginables en 5.1. Or c'est un des premiers essais que l'on serait tenté de faire en ayant accès à une installation multicanal, d'où une déception fréquente pour qui aurait envie de se lancer dans l'aventure.

Ce tableau serait bien sombre pour aller plus avant s'il n'y avait eu des progrès significatifs dans le domaine des optimisations de spatialisation. Tous ces problèmes sont bien connus des spécialistes du 5.1, et cela fait longtemps que le sujet alimente nombre d'articles de l'Audio Engineering Society et autres travaux d'études. D'après Francis Rumsey [Rum01, 87],

[...] les canaux arrières ont pour seul but de diffuser des ambiances, des effets spéciaux ou des extensions de réverbération. En ce sens, le standard n'est pas directement adapté au concept d'une localisation sonore à 360°, bien qu'il soit possible d'y parvenir à un certain degré grâce à des méthodes de prise de son ou de traitement du signal adaptées.<sup>8</sup>

Ce point étant crucial pour la réalisation de fictions sonores en multicanal, nous allons par la suite étudier la pertinence de certains de ces outils afin de pallier autant que possible tous ces problèmes. Mais avant d'introduire ces techniques qui complexifient le travail de l'ingénieur du son, il faudra définir les nouveaux rôles de ce dernier dans un processus créatif toujours plus complet.

## 2.2 Vers une implication accrue du mixeur dans la création

De par la complexité croissante de l'écriture sonore et des techniques employées, le travail de mixage en fiction sonore spatialisée s'enrichit de facettes jusqu'alors inédites. Le mixeur se trouvera confronté à des problématiques nouvelles lui donnant accès à de nouveaux champs créatifs. Mais cette nouveauté nécessite un temps de formation et d'expérimentation proportionnellement conséquent à la quantité de nouveaux procédés disponibles.

### 2.2.1 La prise de son multicanal

Il est nécessaire pour la suite du travail d'apporter brièvement quelques indications concernant la prise de son pour le 5.1. Nous verrons que c'est en combinant de nombreuses techniques que l'on crée une oeuvre sonore et les prises de son en multicanal peuvent représenter un matériau de base, bien

---

8. Traduction E.H.



que dispensable. Malgré le nombre de critiques du point de vue théorique, il semble nécessaire d'avoir pu expérimenter et entendre quelques bonnes prises de son en multicanal avant de porter un jugement hâtif quant à leur intérêt. Tous types de sons sont enregistrables, avec plus ou moins de bonheur pour les raisons que nous allons exposer. Dans le domaine de la fiction sonore, on peut très grossièrement les classer en trois catégories : les ambiances et fonds d'air, les mises en scène de l'espace sonore et les bruitages et effets. Comme c'est souvent le cas en création, les critères d'appréciation de la qualité d'une prise de son sont très variables selon la catégorie à laquelle elle appartient.

### Le mirage du réalisme

Le premier piège à éviter en abordant cette technique est de vouloir viser la reproduction exacte d'une réalité sonore : c'est une chimère et une impossibilité technique autant en multicanal qu'en stéréo. Guillaume Le Dû conclue ainsi son travail sur la conception de systèmes de prise de son multicanal [Dû99] :

Ni les techniques de reproduction stéréophonique ni les techniques multicanales 5.1 ne peuvent prétendre à une reconstitution acoustique intégrale de l'évènement sonore. On peut espérer au mieux en produire une illusion satisfaisante. [...] Le passage au multicanal va sans doute permettre une plus grande flexibilité du point de vue spatial, mais il serait illusoire de penser que les compromis vont disparaître. Comme en stéréophonie, l'ingénieur du son devra fournir à l'auditeur les indices acoustiques essentiels à une impression subjective d'espace.

En conséquence, l'approche esthétique de la prise de son multicanal ne diffère pas beaucoup de la prise de son stéréophonique. Les principes mis en oeuvre (jeu sur les différences de temps et d'intensité, sur la corrélation des canaux) sont les mêmes, ainsi que les techniques microphoniques (microphones coïncidents, pseudo coïncident ou distants, matricage du signal). Par contre, la complexité et la diversité des dispositifs sont considérables d'où la nécessité d'avoir au préalable une très bonne maîtrise des techniques de stéréophonie classique.

### Une approche des systèmes

On trouve aujourd'hui dans la littérature des dizaines de propositions de systèmes normés, qu'ils soient conçus en tenant compte de relevés complexes de psychoperception ou selon une simple approche empirique. Il est

donc plus intéressant de relever des tendances et des principes généraux plutôt que de débattre de la pertinence théorique de chaque système. Avant de s'intéresser aux dispositifs, on peut déjà relever deux grandes approches esthétiques : la combinaison d'une image frontale et de micros arrières d'ambiance d'une part, et la captation homogène d'une image sonore à 360° d'autre part [Rum01, 190-200].

Une approche de la classification des systèmes se base sur leur degré de coïncidence. Les systèmes à coïncidence pure n'utilisent pas d'indices de différence temporelle pour la localisation (voir 2.1.1 p.28), les semi coïncidents les utilisent combinée à d'autres paramètres, et les dispositifs les plus larges ne comptent que sur la décorrélation entre canaux pour créer une impression d'espace. Sans surprise, on retrouve la même tendance qu'en stéréophonie : la coïncidence aide à la précision spatiale de l'image alors que la décorrélation favorise l'impression d'immersion et d'espace.

Tout est donc question de compromis, exactement comme en stéréophonie, et cette diversité des rendus peut être explorée à loisir en modulant les paramètres des systèmes. Si l'on vise le maximum de précision spatiale, il est toutefois important de remarquer que les défauts inhérents à la disposition 5.1 ne pourront pas être dépassées par une prise de son standard. Par exemple, les soucis de localisation latérale seront un obstacle majeur aux ambitions de captation d'une scénographie de l'espace sonore.

### Quelques exemples

On trouve de nombreuses descriptions des dispositifs dans la littérature, par exemple le travail d'enquête et d'expérimentation de Jean Marc L'Hôtel [L'H07]. Dans un panorama réducteur des systèmes les plus courants, on trouve le plus souvent pour les coïncidents purs le double MS ainsi que les micros Soundfield basés sur la théorie ambisonic, absolu théorique de la coïncidence microphonique (voir 2.3.2 p.59). Parmi les semi coïncidents, nous retiendrons la croix IRT, la méthode MMAD de Mike Williams et Guillaume le Dû, la sphère Schoeps KFM360, l'holophone H2 et la croix Schoeps OCT. Enfin, certains systèmes à grande différence de temps comme le carré Hamasaki, l'arbre Fukada ou l'INA-5 sont référencés. Ce ne sont que des propositions et tout comme il existe une infinité de couples stéréophoniques, il existe une encore plus grande infinité de systèmes de prise de son multicanal. Les résultats sont aussi divers que les dispositifs et il est à chaque fois question de compromis par rapport à une situation donnée : il y a en fait un système différent pour chaque situation et chaque intention différente. Un comparatif et une évaluation des systèmes n'a donc de sens que par rapport à un objectif précis.

Evidemment, cette diversité et complexité demandent une grande expérience de l'ingénieur du son pour en acquérir une réelle maîtrise, et ce bien plus qu'en prise de son stéréophonie. Les pièges et défauts sont tout aussi nombreux que les possibilités, et la notion d'art de la prise de son semble encore plus pertinente qu'en stéréophonie une fois assimilée la technicité envahissante du domaine. Et cette extension du champ d'activité est généralisable à tous les échelons de la création sonore, tout particulièrement au mixage.

### **2.2.2 Les fonctions du mixage, de l'équilibre en niveaux à la manipulation d'un espace sonore**

Dans tous les domaines de la création audiovisuelle, l'évolution des techniques modifie continuellement la définition du travail des différents acteurs de la chaîne de production. Le mixeur, dernier maillon de la chaîne, se doit de prendre en compte la totalité des évolutions qui ont lieu en amont de son travail. C'est probablement la raison pour laquelle ce métier évolue tellement à chaque apport technologique.

#### **La genèse d'un métier**

Historiquement, le mixage a d'abord consisté à mélanger de manière appropriée différentes sources sonores sous forme de signaux électriques à additionner, et à produire un signal électrique convenablement adapté au support de diffusion. Cette approche avait déjà une implication esthétique importante : la simple différence de niveau entre deux sources est perceptivement associée par l'auditeur à une différence de distance entre ces sources. Le mixeur avait alors pour responsabilité de gérer le relief et la profondeur de la production, c'est à dire l'éloignement subjectif des sources mélangées.

Le perfectionnement du traitement analogique du signal a ensuite offert la possibilité de corriger des défauts présents sur les sources : le compresseur pour travailler la dynamique et l'égalisation pour travailler le timbre. Mais c'est grâce à la stéréophonie classique et aux chambres ou processeurs de réverbération que le mixage est devenu une phase de création de première importance. Des possibilités de profondeur et de relief accrues, le travail du champ réverbéré, la latéralisation et un démasquage plus efficace des sources ont donné pour rôle au mixeur de créer une image sonore frontale presque à la manière d'un sculpteur ou d'un peintre. Mais dans une certaine mesure, cette implication créatrice est restée implicite dans le cercle des collaborateurs non initiés aux techniques du son.

### Un pas de plus vers la création

Par contre le passage au son multicanal marque de manière beaucoup plus claire l'implication du mixeur dans la création. Au lieu d'offrir un tableau sonore à contempler à son auditeur, ce dernier construit désormais un environnement complexe dans lequel on est totalement immergé. La quantité de choix à faire et le nombre de paramètres à gérer change d'ordre de grandeur et leur perception est beaucoup plus explicite, y compris pour des auditeurs non experts. Même si la création de l'espace sonore se fait en amont, lors de l'écriture ou du montage, la mise en place de cet espace a lieu au mixage. Etant donné comme nous le verrons le nombre de possibilités et de contraintes de réalisation existant, le rôle du mixeur dans la création de cet espace devient prépondérant. Alors qu'en stéréophonie classique, son implication dans l'écriture sonore pouvait parfois être plus ou moins facultative, elle devient indispensable en stéréophonie multicanal, au moins jusqu'à ce que les réalisateurs aient une connaissance suffisamment approfondie du dispositif.

On constate donc une évolution du travail du mixeur vers un véritable travail de réalisation sonore au fur et à mesure de la complexification des techniques et des dispositifs. Guy Senaux, technicien son à Radio France propose d'ailleurs explicitement que l'ingénieur du son ait le statut de *réalisateur sonore* lors de productions en multicanal. Tout en se cantonnant à son domaine, il réfléchirait à la conception de la création en collaboration et à pied d'égalité avec le *réalisateur artistique* qui pourrait alors s'enquérir des possibilités nouvelles au cours de sa réflexion. Il s'agirait d'une condition nécessaire à la production d'oeuvres tirant réellement profit de cette nouveauté, le réalisateur artistique ne pouvant pas, sauf exception, avoir l'expérience technique nécessaire pour assumer seul l'écriture sonore destinée à ce dispositif complexe et imparfait. Certaines notions importantes sont en effet peu évidentes à aborder intuitivement.

#### 2.2.3 Exemple d'un nouveau paramètre : le rapport entre immersion et enveloppement

En stéréophonie classique, certains paramètres de mixage comme la profondeur, le relief ou la latéralisation sont définis depuis longtemps par les ingénieurs du son. Il est donc logique de les retrouver en stéréophonie multicanal. Mais de nouveaux paramètres sont désormais accessibles, l'extension de la latéralisation à 360 degrés en étant l'un des plus évident. En revanche, le rapport entre immersion et enveloppement défini par Bernard Lagnel, ingénieur du son à Radio France, est moins immédiat.

### Un nouveau type de perception

Pour le comprendre, il faut partir d'une particularité qu'offre le multicanal par rapport à une perception naturelle ou à une diffusion stéréophonique classique. Avec ce dispositif, on dispose de cinq canaux alimentant les cinq hauts-parleurs situés tout autour de l'auditeur. Techniquement, rien n'empêche de diffuser un même signal sur tous les canaux à la fois, disons une source presque ponctuelle telle une voix ou un violon. Ce qui se passe alors est assez étrange pour l'auditeur et totalement inédit en situation d'écoute naturelle : il perçoit une même source provenant de cinq points situés tout autour de lui. C'est comme si une entité sonore normalement ponctuelle était capable d'être partout à la fois. L'effet perceptif est inhabituel : la source a un caractère omniprésent et non localisable, tout en restant distante. C'est ce qu'on pourrait appeler un effet de « voix divine ». L'effet résultant de cette diffusion irréaliste est appelé par Bernard Lagnel *effet d'immersion*, car l'auditeur se retrouve immergé dans un bain sonore. L'autre rapport avec le bain est que l'effet est en général agréable et flatteur.

En opposition, lorsque la source sonore est perçue de manière uniquement périphérique, c'est à dire comme provenant d'un seul haut-parleur ou d'une paire de hauts-parleurs adjacents, Bernard Lagnel parle d'un effet enveloppant car si plusieurs sources sont disposées de la sorte, l'effet perçu est d'être entouré de sources distantes formant une enveloppe autour de soi. Ce type de perception donne un caractère plus réaliste mais plus distant à la production sonore. Il y a donc un continuum de possibilités entre une source à caractère totalement immersif et une source à caractère totalement enveloppant<sup>9</sup>. C'est ce qu'il se passe lorsque l'on fait jouer le paramètre de divergence lors du placement d'une source comme nous le décrirons au paragraphe suivant [fig 2.9 p.48].

Pour Bernard Lagnel, il est fondamental de comprendre et de maîtriser le dosage entre caractère immersif et caractère enveloppant du son lors d'un travail en multicanal : c'est une des clefs pour jouer sur la perception de l'auditeur en créant des effets d'équilibre ou de contraste adaptés au propos de l'oeuvre sonore.

### Une notion générale

Ce dosage est à prendre en considération au mixage, mais le même raisonnement s'applique aisément à la prise de son. Un système de prise

---

9. Une seule source diffusée en périphérie ne pourra évidemment pas envelopper l'auditeur : il en faudra un certain nombre pour que l'origine du terme soit justifiée. Nous utiliserons néanmoins *enveloppant* en opposition à *immersif*.

de son comme l'ambisonic visant la reproduction exacte d'incidence des sources aura un caractère plutôt enveloppant, alors qu'un système de microphones très espacés privilégiant la redondance d'informations entre canaux entraînera un caractère plus immersif.

Enfin, en poussant plus loin le raisonnement, on pourrait avancer que l'effet immersif existe quand même en écoute naturelle. Le champ diffus de la réverbération d'un milieu sonore est lui aussi perçu comme venant de toutes parts, créant ainsi un bain sonore pour le sujet « immergé » dans le lieu. C'est sûrement l'une des raisons pour laquelle l'utilisation simpliste du multicanal qui consiste à ne diffuser que le champ réverbéré dans les hauts-parleurs arrières donne un effet si flatteur : on retrouve le côté immersif si agréable de l'écoute naturelle de la réverbération d'une salle, effet impossible en stéréophonie classique car le champ réverbéré ne provient que de l'avant et nous coupe alors du lieu de l'action sonore. La stéréo nous impose d'écouter la scène à travers une fenêtre sonore ouverte sur un lieu acoustique alors que le multicanal nous transporte au milieu de ce lieu par simple utilisation du champ réverbéré.

### 2.2.4 Les panoramiques surround

L'une des problématiques majeures du mixage sur un système multicanal est la répartition d'une source monophonique entre les différents canaux de ce système. En stéréophonie classique, la solution majoritairement adoptée est relativement simple. Soit on se contente d'assigner le signal à l'un des deux canaux, et l'on est alors dans la situation communément appelée la stéréophonie « ping-pong »<sup>10</sup>, soit l'on utilise une loi de panoramique pour répartir l'énergie sonore entre les deux canaux selon les principes de Blumlein. L'auditeur perçoit alors différentes incidences virtuelles de la source, comprises entre les deux hauts-parleurs et régies selon les courbes de Mertens, qui relèvent l'incidence virtuelle perçue en fonction des différences d'intensité et de temps entre les deux hauts-parleurs. On parle alors généralement de sources fantômes.

#### Les lois de panoramique en multicanal

La première approche de la distribution d'une source monophonique en mixage multicanal est une simple extension des principes de la stéréophonie classique. On se contente de les appliquer par paires de hauts-parleurs adjacents pour parcourir les 360 degrés de latéralisation<sup>11</sup>. Cette technique

10. Ou « Sergeant peppers », c'est selon.

11. C-L puis L-Ls, Ls-Rs, Rs-R et R-C pour un sens antihoraire.

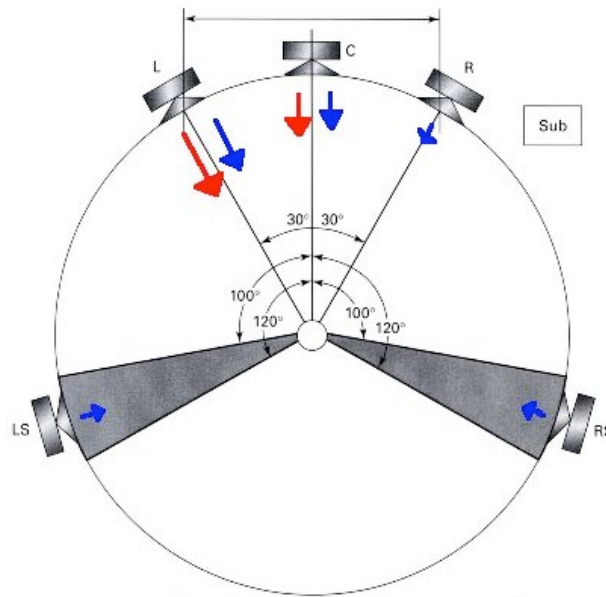


FIGURE 2.9: Répartition de l'énergie selon la divergence pour une source à  $20^\circ$  sur la gauche. En rouge sans divergence et en bleu avec une divergence modérée

est généralement appelée le panoramique Pair-Wise ou, selon une extension formelle mathématique qui permet de l'étendre à des configurations tridimensionnelles, le VBAPan (Vector Based Amplitude Panning) [Dan01, 93]. Il existe quelques variantes peu courantes en pratique visant une optimisation du procédé. Bien que pratique et peu complexe, cette méthode présente de nombreux défauts d'utilisation auxquels nous reviendrons par la suite, notamment une forte instabilité et imprécision des sources latérales et arrières.

Pour y remédier, une première approche consiste à utiliser le paramètre de divergence présent sur presque tous les outils de panoramique multicanal. Bien que la manipulation du paramètre diffère d'un équipement à l'autre, le principe reste le même : en plus de panoramiquer la source en Pair-Wise, on définit un taux de signal qui ira alimenter tous les autres canaux du dispositif. Si ce taux est nul, on travaille en Pair-Wise pur, et si ce taux est maximal, le signal est diffusé au même niveau sur tous les canaux. Une optimisation de ce principe est le paramètre de « focus » parfois disponible, qui est une divergence décroissant progressivement lorsque l'on s'éloigne des hauts-parleurs diffusant le signal Pair-Wise [Hol08, 114].

L'utilisation de ce paramètre provoque un élargissement de la source et

un caractère immersif croissant au sens défini dans le paragraphe précédent, et permet donc une meilleure stabilité de l'image par un effet de « flou de localisation » volontaire.

On peut comprendre la formalisation du panoramique ambisonic comme une extension théorique plus rigoureuse de la divergence : le principe de base définit par Michael Gerzon dans les années 70 consiste en effet à reconstituer une incidence acoustique en utilisant tous les hauts-parleurs selon une décomposition mathématique complexe basée sur les principes de perception psychoacoustique de l'espace. Nous y reviendrons en détail avec l'ambisonic d'ordre supérieur au chapitre suivant. Enfin, Tomlinson Holman et Francis Rumsey mentionnent chacun l'existence de lois de panoramique utilisant les filtres HRTF (Head Related Transfer Functions) pour simuler une incidence réelle de source, notamment sur les modèles haut de gamme de consoles Studer [Hol08, 117][Rum01, 215]. Nous verrons qu'il s'agit du même principe que la technique double transaural que nous approfondirons par la suite.

### Les outils disponibles : utilisation et ergonomie

Toutes ces lois de répartition du signal sont utilisables de différentes manières selon les équipements disponibles. Les premiers essais approfondis de la stéréophonie multicanal avec la quadriphonie des années 70 se faisaient en combinant deux potentiomètres panoramiques stéréophoniques classiques : l'un pour gérer l'équilibre gauche/droite et l'autre pour l'équilibre avant/arrière. Une console stéréophonique classique permet donc toujours de répartir un signal entre plus de deux canaux en réfléchissant à un routing adapté. Une autre approche consistait simplement à gérer le niveau de chaque canal séparément et à positionner ainsi empiriquement la source sonore.

Mais très vite, certains constructeurs ont intégré des panoramiques surround dans leurs consoles que ce soit pour les modèles spécifiquement quadriphoniques des années 70 ou pour les installations 5.1 de mixage cinéma. La première approche proposait plusieurs potentiomètres rotatifs pour gérer les différents paramètres de la mise en espace [Hol08, 110]. Cela représente un nombre de réglages conséquent à contrôler simultanément lorsque l'on souhaite effectuer un mouvement complexe. Une autre approche semble s'être généralisée avec les consoles et les logiciels audionumériques : la représentation visuelle du plan sur un écran et le positionnement de la source dans ce plan à l'aide d'un contrôleur externe de type joystick ou souris <sup>12</sup>.

---

12. Ce qui est le cas entre bien d'autres sur les consoles Sony DMX-R100 ou Yamaha



Malheureusement, ces outils sont souvent mal conçus pour permettre une manipulation confortable des sources à spatialiser. La représentation graphique du plan est presque systématiquement basée sur la loi mathématique de répartition du signal, et non sur la perception de localisation qui en découle. Par exemple un positionnement à  $90^\circ$  à gauche de la représentation graphique entraîne une division égale du signal entre haut-parleur avant et haut-parleur arrière, ce qui mène à une incidence théorique de  $70^\circ$  à la place des  $90^\circ$  voulus. Dans les positions critiques de basculement d'un haut-parleur à l'autre, on se retrouve aussi à gérer des différences angulaires de dizaines de degrés sur un déplacement du curseur de quelques pixels seulement. Et on peut ne sentir aucune différence en déplaçant le curseur de plusieurs centimètres lorsque l'on est « proche » d'un haut-parleur. De plus, le déplacement du curseur dans la zone « intérieure » aux hauts-parleurs de la représentation graphique consiste à ajouter un taux de divergence au signal, alors qu'on aurait tendance à interpréter visuellement ceci par un rapprochement de la source de l'auditeur, ce qui n'est pas la même chose [voir 2.4.4 p.74]. C'est une erreur d'intuition courante lorsque l'on aborde les panoramiques surround pour la première fois.

Heureusement, des outils récents mieux optimisés permettent d'avoir une réelle correspondance angulaire entre la représentation et la perception, comme le module VBAPan de Pure Data (voir 3.2.1 p.87) ou la spatialisation en HOA que nous allons étudier par la suite. Bien que la représentation graphique utilisée soit similaire aux autres outils, le fonctionnement interne n'est pas le même. Nous verrons qu'il s'agit d'un critère déterminant lorsque l'on souhaite comme en fiction sonore avoir une manipulation précise de l'espace, d'autant plus que cette technique ne reste qu'un outil parmi beaucoup d'autres disponibles au mixeur. Son utilisation se doit donc d'être la plus efficace possible.

### 2.2.5 La création en multicanal, une combinaison de techniques

Le passage de la réalisation en stéréo à la réalisation en multicanal décuple les possibilités de manipulations sonores pour l'ingénieur du son, dans un ordre de grandeur au moins égal au passage de la mono à la stéréo. Cette dernière permet d'avoir deux sources acoustiques ponctuelles ainsi que des sources fantômes entre ces deux sources sur une ouverture angulaire de 60 degrés. Imaginer le multicanal comme une simple extension de ce principe sur 360 degrés serait réducteur. On peut commencer par considérer

---

DM2000 et les logiciels Pro Tools et Nuendo, etc.

que l'on dispose de cinq sources acoustiques ponctuelles, permettant l'utilisation de dix paires stéréophoniques aux angles variés et parfois inhabituels, de sources fantômes à 360 degrés, sans oublier un canal d'effets de basses. Ce cadre de travail est déjà bien plus vaste que le cadre stéréophonique, mais c'est en menant une étude approfondie que l'on se rend compte de la multitude de possibilités nouvelles.

### Inventaire

L'utilisation des hauts-parleurs comme sources ponctuelles est déjà quelque chose de non négligeable : il y a en effet une réelle différence entre dédier un haut-parleur à une source et travailler avec une source fantôme [ex.audio n°1]. D'une certaine façon, le multicanal permet grâce au haut-parleur central de renouer avec certains avantages de la monophonie, oubliés en radio depuis l'apparition de la stéréo. La combinaison de paires stéréophoniques offre ensuite une grande latitude dans la création de l'espace sonore. On peut placer ou combiner des scènes sonores enregistrées en stéréo sur les paires frontales, latérales, arrière ou même diagonales si la prise de son y est adaptée<sup>13</sup>. S'ensuit logiquement l'utilisation de prises de son en multicanal, que ce soit pour des ambiances diffuses ou de véritables scènes sonores. La variété des techniques donne à explorer un champ d'expérimentations très large : systèmes classiques, prise de son ambisonic, microphonie inversée [Gam05, 78], etc... (voir 2.2.1 p.41) Cette prise de son peut aussi être détournée dans une optique d'effets sonores acoustiques qui peuvent être très intéressants : Guy Senaux a par exemple mis en oeuvre un dispositif au résultat convaincant pour enregistrer un bruitage de jet de dés en multicanal dans *Les sonnets de Shakespeare*. L'immersion de l'auditeur « dans » ce jet sert alors à mettre en place une écriture sonore particulière.

Vient alors l'utilisation de sources monophoniques à placer dans l'espace multicanal comme nous l'avons développé au paragraphe précédent. Cette monophonie dirigée dans le multicanal permet entre autres des mouvements de sources d'une grande liberté créés artificiellement, à condition que les outils utilisés soient adaptés. On peut aussi se permettre d'utiliser des effets inédits comme l'immersion définie précédemment. Enfin, toutes ces techniques peuvent être utilisées pour manipuler des signaux provenant de processeurs d'effets : des réverbérations, des delays, des traitements divers, parfois selon des algorithmes de calcul utilisant directement l'espace multicanal.

---

13. Bien qu'il s'agira alors probablement plus d'une stéréo d'effet que de scène sonore.

### Une valeur ajoutée par addition

Toutes ces techniques prennent un réel intérêt lorsque l'on envisage une construction sonore qui les combine pour en tirer le meilleur parti. L'objectif premier étant d'atteindre au mieux des intentions d'écriture sonore, il ne faudra rien s'interdire de cette palette de techniques pour y arriver. Pour Gérard Lamps, mixeur cinéma expérimenté, l'intérêt principal du multicanal réside dans l'amplitude des effets de contraste rendus possibles. On dispose effectivement de tous les degrés possibles de remplissage de l'espace sonore, d'un espace enveloppant et envahissant à une monophonie frontale extrêmement ponctuelle. Il s'agit alors de les gérer convenablement afin d'arriver à l'effet voulu, en tenant bien compte du fait que la perception humaine est toujours plus sensible aux contrastes qu'aux situations stationnaires.

À ce niveau, on raisonne toujours en terme de techniques et de spatialisation sur le dispositif. Cependant, il ne faudra pas oublier que le caractère spatialisé du son apporte en premier lieu un renouvellement sémantique de l'écriture sonore. Selon Johanna Gampe [Gam05, 97],

La perception de la sphère arrière se différencie de l'avant par des caractères auditifs, émotionnels et attentionnels. Ces particularités peuvent être constatées dans la vie de tous les jours et donc être mises en scène en conséquence dans des fictions sonores.<sup>14</sup>

Pour l'auditeur, c'est sûrement ce caractère de la perception qui prédominera et non les procédés ou astuces utilisés par l'ingénieur du son pour y arriver. C'est bien ce qui complexifie son travail en multicanal : faire oublier les procédés techniques alors qu'ils sont de plus en plus nombreux et complexes.

### 2.2.6 Les conditions d'écoute

Nous allons ici rapidement revenir sur les conditions de mixage et d'écoute d'une fiction sonore en 5.1 car il y a de nouvelles données à prendre en compte dans le travail de l'ingénieur du son.

#### L'architecture du studio

Il est utile dans un premier temps d'apporter quelques précisions sur l'importance de l'acoustique de la cabine de mixage. Le mixeur est censé pouvoir produire un matériau sonore qui ne soit pas trop dépendant des

---

14. Traduction E.H.

conditions dans lesquelles il a été mixé, pour être ensuite reproductible sur l'éventail le plus large possible de systèmes de diffusion. C'est pourquoi la recherche de la neutralité est un critère de choix principal pour le lieu et le matériel de diffusion qui serviront au mixage. Pour ce qui est des considérations acoustiques, les concepteurs de cabines de mixage stéréo ont souvent opté pour un aménagement polarisé du studio : en effet la diffusion stéréo est directionnelle (de l'avant vers l'arrière), et l'aménagement acoustique est donc lui aussi optimisé selon cette direction. C'est le cas par exemple d'une orientation Live-end/Dead-end : l'extrémité avant de la cabine est très absorbante pour éviter une coloration par premières réflexions du son, et l'extrémité arrière est plutôt diffusante pour créer un champ diffus rendant l'écoute plus agréable et homogène.

Mais le dispositif n'est plus polarisé à l'avant dans le cas d'une écoute multicanal. Le mixage dans une cabine originellement stéréo peut donc poser des problèmes d'homogénéité entre avant et arrière, et le mixeur a intérêt à en prendre conscience dès son arrivée au studio pour éviter de déséquilibrer involontairement son mixage [Rum01, 125]. De même, la présence d'une vitre communiquant avec un studio de prise de son peut poser des problèmes de réflexion directe contre celle-ci du son des hauts-parleurs arrière, déséquilibrant la perception de l'équilibre énergétique. La simple pose d'un matériau absorbant sur la vitre peut constituer une solution de fortune. On ne pourra jamais trouver de conditions idéales, il est simplement important d'être conscient de ces problèmes avant de commencer un mixage sur une installation multicanal.

### **La compatibilité entre systèmes**

Vient ensuite le travail du mixeur à proprement parler. S'assurer de la compréhension du contenu par l'auditeur en bout de chaîne est une de ses missions principales. En stéréo il est difficile d'arriver à une réelle incompréhension d'un contenu à cause de la construction spatiale. Au pire, dans une utilisation vraiment complexe et sémantique de la latéralisation gauche/droite, la situation ne sera plus très évidente à comprendre si l'auditeur ou le système sont vraiment mal placés. Mais on n'aboutira que très rarement à un réel contresens.

En multicanal, la situation est beaucoup plus délicate. Si l'on travaille sur une construction complexe de l'espace, des problèmes de placement de l'auditeur ou du dispositif pourront rapidement mener à des aberrations spatiales et donc des incompréhensions. Comme nous l'avons déjà précisé, si l'on s'éloigne des conditions optimales d'écoute à l'emplacement du sweet spot survient tout d'abord une distorsion de l'espace sonore ne perturbant

pas la compréhension (modification progressive de l'angle d'incidence d'une source par exemple), puis des aberrations qui risquent à partir d'un certain niveau de rendre le contenu incompréhensible (repli de l'arrière à l'avant, basculement de droite à gauche). Une mauvaise disposition du système aura exactement la même influence que le déplacement de l'auditeur dans la zone d'écoute, les conséquences évoluant de manière identique en fonction de l'écart de placement par rapport au cas idéal. Mais d'après Francis Rumsey [Rum01, 190], il serait préférable d'

accepter les limitations des systèmes de reproduction domestique et de produire un contenu qui soit optimal sur une disposition rigoureuse du système, mais qui ne dépende pas à 100% de cet alignement ou d'un point d'écoute unique.<sup>15</sup>

Nous suggérons donc que lors de son travail, le mixeur s'assure de la cohérence sémantique du contenu de son mixage sur une assez large zone d'écoute. Il pourra ainsi tester la résistance du mixage aux divergences d'écoutes, qu'elles soient dues à la position de l'auditeur ou au placement du système. Ce sera ensuite l'accumulation d'expériences qui permettra à l'ingénieur du son de connaître les limites de ce qui est réalisable. Mais heureusement pour lui, l'un des atouts majeurs des outils que nous allons tester par la suite est précisément de rendre le contenu du mixage moins sensible aux variations de conditions d'écoutes lors de procédés sensibles tels des mouvements ou des placements latéraux de sources.

## 2.3 Des outils pour pallier les défauts du dispositif

En audionumérique, l'accessibilité actuelle à des puissances de calcul très importantes a permis une généralisation de l'utilisation de traitements complexes du son, destinés autant à la partie esthétique qu'à la partie technique des problématiques de l'ingénieur du son. Cette capacité de calcul a notamment mené à la mise en pratique de théories acoustiques ou perceptives complexes répondant à certaines problématiques récurrentes.

Dans le domaine des optimisations du dispositif 5.1, nous avons choisi trois outils qui nous paraissent pertinents afin de contourner certains obstacles à la réalisation de fictions sonores. Les deux premiers ont été mis à notre disposition par leurs concepteurs pour toute la durée de notre travail, et nous avons passé une semaine complète à effectuer des tests approfondis dans un studio de mixage multicanal. Avant de rendre compte

---

15. Traduction E.H.

des résultats obtenus dans le chapitre suivant, nous nous contenterons dans celui-ci de présenter brièvement leur principe de fonctionnement ainsi que leur méthodologie de mise en oeuvre.

### 2.3.1 Le transaural mixte

L'utilisation d'un équilibre entre une source monophonique panoramiquée de manière classique et cette même source spatialisée par traitement binaural transauralisé est baptisée technique de *transaural mixte* par son concepteur.

#### Origine

C'est le travail d'Alexis Baskind à l'IRCAM qui a permis de mettre au point cette optimisation de la spatialisation de sources monophoniques dans le multicanal 5.1. Dans le cadre de ses recherches, il a développé un programme de traitement du signal sous Max/MSP<sup>16</sup> dédié à utiliser les techniques de transauralisation d'un signal binaural dans le but de stabiliser des sources monophoniques latérales ou arrières sur un dispositif 5.1. Ce programme n'existe actuellement qu'au stade expérimental, sous forme de plugin multicanal VST ou RTAS grâce à l'hôte Pluggo runtime qui permet d'exécuter un programme Max/MSP sous forme de plugin dans les logiciels audio traditionnels. Le développement final en langage C pour aboutir à une commercialisation est prévu à l'IRCAM pour l'année 2010. Le plugin a néanmoins été utilisé de manière approfondie au Conservatoire National Supérieur de Musique de Paris (CNSMDP) par Jean-Marc Lyzwa pour réaliser des mixages en 5.1 de musique contemporaine spatialisée.

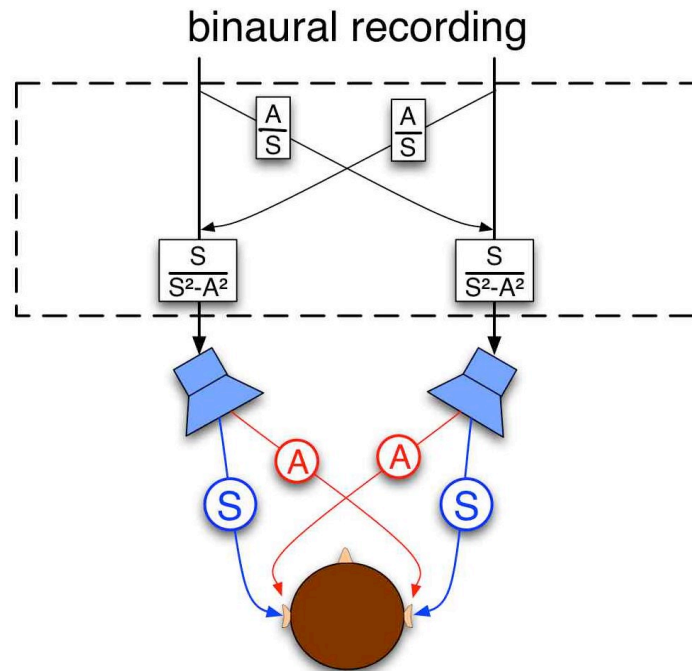
#### Principe de fonctionnement

L'idée principale est d'utiliser un appoint de traitement binaural pour ajouter au signal spatialisé des indices de localisation HRTF. La théorie du signal binaural a pour but de reconstituer le signal acoustique perçu au niveau du tympan et de le diffuser sur un casque extra ou intraauriculaire [Bom08]. Il y a longtemps que l'on pratique la prise de son binaurale, où deux sont étaient placés parfois à l'intérieur même du conduit auditif<sup>17</sup>. Mais grâce au traitement du signal, on peut aujourd'hui synthétiser un signal binaural à partir de sources monophoniques à l'aide de banques de

---

16. Voir par la suite 3.2.1 p.87 pour plus d'informations sur le logiciel.

17. Pour la plupart du temps sur des mannequins...

FIGURE 2.10: *Annulation des trajets croisés par traitement transaural.*

filtres reconstituant le filtrage HRTF correspondant aux différentes positions spatiales d'une source. Pour être efficace, la diffusion nécessite une séparation totale des signaux droite et gauche et à cette fin le casque se révèle être le moyen le plus adapté. Néanmoins, on a cherché à atteindre ce but par diffusion sur hauts-parleurs. Le problème qui se pose est la présence inévitable de trajets croisés du signal vers les oreilles : l'oreille droite entend les hauts-parleurs droit et gauche, idem pour l'oreille gauche. La solution se trouve à nouveau dans le domaine du traitement du signal : il s'agit de diffuser un signal en opposition de phase annulant l'effet de trajet croisé au niveau de chacune des oreilles [fig 2.10].

Par ce procédé, on retrouve le signal binaural au niveau de chacune des oreilles, et ainsi le principe de spatialisation binaurale dont nous avons parlé. Il s'agit en fait de spatialiser une source grâce aux indices de localisation HRTF que nous avons définis précédemment (voir 2.1.1 p.31). Mais la technique a de nombreux inconvénients : des artefacts de timbre apparaissent à cause des multiples étapes de traitement du signal, l'effet ne marche que pour un auditeur dont la tête est bien alignée avec l'axe central, et pour les hautes fréquences, la longueur d'onde associée rend le procédé très sensible aux petits mouvements de tête ce qui se traduit par des effets de phase

gênants.

Mais l'imperfection du procédé le rend complémentaire au signal panoramique de manière classique : si l'auditeur est positionné selon l'axe d'écoute, la perception d'une source latérale positionnée en pair-wise est insatisfaisante en localisation et à peu près satisfaisante en timbre. À l'inverse, un positionnement par panoramique transaural offre dans ces conditions une localisation satisfaisante et un timbre altéré. Et si l'on se tourne face à la paire de hauts-parleurs latéraux, on perd totalement l'effet de localisation HRTF tout en regagnant une localisation de stéréophonie classique frontale. Il y a donc une compensation permanente entre les deux procédés.

L'idée a donc été de trouver un équilibre entre le signal « direct » et le signal transaural de manière à limiter l'altération timbrale de la source et à maximiser les indices de localisation latérale. Il s'agit forcément d'un compromis à trouver entre qualité spectrale et qualité spatiale, qui entraîne une certaine complexité de mise en oeuvre du traitement. Pour aller au bout du raisonnement, il était logique d'appliquer un traitement binaural/transaural sur la paire stéréo avant et un autre sur la paire stéréo arrière du dispositif 5.1. En pratique, il s'agit donc de trouver un équilibre entre le signal direct, le signal transaural avant et le signal transaural arrière pour atteindre le meilleur compromis en fonction du contexte.

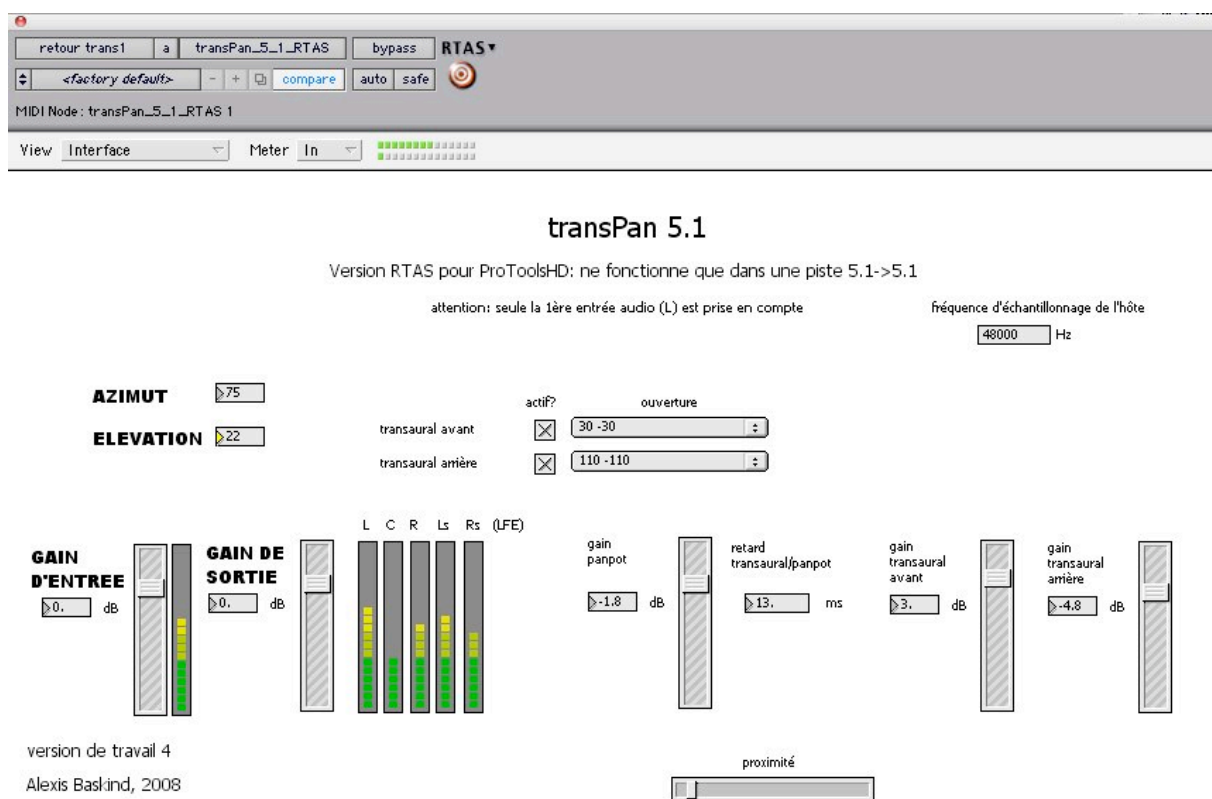
Nous pouvons remarquer par ailleurs que le constructeur Studer a implémenté des optimisations de cet ordre sur les panoramiques multicanal de ses consoles haut de gamme. Mais la documentation officielle donne peu de renseignements sur l'utilisation exacte qui en est faite, l'accent étant surtout mis sur l'utilisation des algorithmes de premières réflexions, et Jean-Marc Lyzwa ayant eu l'occasion d'utiliser les deux procédés nous affirme que le résultat est loin de celui du transaural mixte. Il s'agirait plutôt d'un effet automatique d'impression spatiale comme on en trouve déjà beaucoup.

### Mise en oeuvre

En pratique, le plugin s'insère sur un bus multicanal du logiciel audio utilisé. Pour tester son fonctionnement, il suffit de router une piste monophonique vers ce bus et de l'écouter sur un dispositif de diffusion 5.1. Pour une utilisation en configuration de mixage audiovisuel, il faut intégrer ce fonctionnement au synoptique de l'installation de mixage (voir 2.4.2 p.70).

En plus de faders pour doser la quantité de signal « traité », le mixeur dispose de réglages concernant la disposition des hauts-parleurs, d'interrupteurs d'activation du traitement et d'une option de délai ajustable pour le signal traité [fig 2.11]. Ce délai sert à faire passer l'adjonction de signal transaural pour des premières réflexions acoustiques donnant des indices



FIGURE 2.11: *L'intégration du plugin dans Pro Tools 7.*

de localisation. Jean Marc Lyzwa s'en sert systématiquement dans son travail. En trouvant la valeur de délai adaptée à l'acoustique du lieu créé au mixage, il est ainsi possible de minimiser les effets secondaires du traitement transaural.

Tous ces détails requièrent un temps de prise en main conséquent, d'autant plus qu'il s'agit encore d'une version d'essai où tous les paramètres ne sont pas forcément intégrés de manière optimale. Une méthodologie de mixage simplifiée basée sur la version actuelle de l'outil serait la suivante. Après avoir placé la source selon l'angle désiré avec le son « direct » (le transaural étant désactivé), on cherche à obtenir un placement identique en trouvant un équilibre entre transaural avant et transaural arrière (le son direct étant désactivé). On équilibre alors le signal transaural de manière exagérée pour trouver un délai cohérent avec l'acoustique du lieu. Enfin, on recherche selon le contexte l'équilibre entre « son direct » et transaural offrant le meilleur compromis entre qualité spatiale et timbre. Il apparaît donc

que pour l'instant, l'utilisation de cette optimisation se fait vraiment au cas par cas avec un réglage optimal différent selon chaque source et chaque situation. Comme l'outil est basé sur des indices spectraux, les apports autant que les défauts seront très dépendants de la composition fréquentielle du signal et le filtrage sera un outil de choix pour optimiser le traitement.

### Améliorations prévues

L'outil n'étant pas encore définitif, quelques problèmes se posent encore et des améliorations sont prévues. Un bug de compatibilité de Pluggo empêche pour l'instant toute utilisation dynamique avec Protools et nous n'avons donc pas pu le tester avec des mouvements de sources. C'est d'autant plus dommage que comme nous l'avons vu précédemment, les indices de localisation HRTF sont censés être très efficace par différenciation, c'est à dire lors de changements de position. Il est possible d'effectuer ces essais sur un autre logiciel que Protools mais nous manquons de temps pour mettre une autre installation en place. D'après son concepteur, il serait aussi possible d'apporter des améliorations notables quant à la qualité du traitement du signal, par de meilleurs algorithmes de calcul ainsi qu'une optimisation du découpage en bande de fréquences lors du traitement HRTF. Il serait ainsi également possible d'améliorer les effets de perception zénithale ou de proximité déjà disponibles. Pour ce faire, de nombreux tests perceptifs ayant pour but de dégager des critères d'optimisation seraient nécessaire. Enfin, il serait tout à fait imaginable d'avoir une version simplifiée de l'outil proposant quelques préréglages considérés comme efficaces.

Cet outil répond donc à la problématique bien précise de la localisation latérale des sources en 5.1 dont nous évoquions les particularités au chapitre précédent.

### 2.3.2 Le HOA

Le HOA (High Order Ambisonic, pour ambisonic d'ordre supérieur) est une généralisation de la théorie ambisonic<sup>18</sup> de représentation du champ acoustique initiée par Michael Gerzon dans les années 70. Il s'agit de prolonger mathématiquement le concept à des ordres de résolution supérieurs : le matériel audionumérique disponible actuellement permet de monter en pratique au moins jusqu'à l'ordre quatre alors que l'ambisonic classique est considéré comme étant du premier ordre.

---

18. Nous utiliserons ambisonic en tant qu'anglicisme assumé, il restera donc invariable.

## Origine

L'engouement suscité par l'ambisonic à la fin des années 70 est assez vite retombé pour des raisons de difficultés techniques de mise en oeuvre. Mais depuis la fin des années 90, l'avènement de l'audio numérique a entraîné un regain d'intérêt certain. On a alors cherché à étendre les fondements de la théorie, d'où l'apparition du HOA qui est actuellement l'objet de nombreux travaux théoriques et pratiques, notamment à l'IEM de Graz<sup>19</sup> et à Orange Labs, centre de recherche et développement de France Télécom. À la suite d'une thèse abordant en profondeur la théorie HOA ([Dan01]), Jérôme Daniel y poursuit ses travaux sur les applications pratiques possibles. Il y a développé une suite de plugins VST multipistes permettant une manipulation aisée et intuitive des outils HOA. Ce sont encore des programmes internes à Orange Labs, indisponibles au public, mais l'état fonctionnel actuel permettrait une commercialisation rapide si un marché s'ouvrait dans ce domaine.

## Principe de fonctionnement

L'ambisonic repose sur une théorie de l'encodage du champ acoustique en un point de l'espace, et sa restitution à l'aide d'un dispositif de diffusion adapté. En prise de son, l'encodage au premier ordre consiste à prendre quatre mesures physiques en un point : la pression acoustique ainsi que le gradient de pression selon les trois axes de l'espace. On a ainsi une description complète du champ acoustique en ce point appelée encodage au format B. Un décodage adapté des quatre signaux permet alors de reconstituer ce champ acoustique sur un dispositif de hauts-parleurs. La généralisation HOA a pour but de décomposer le champ ondulatoire selon des composantes d'ordre croissant, sous forme d'un développement en série de Fourier-Bessel sphérique [fig 2.12]. En augmentant l'ordre de la décomposition, on affine la résolution de la description spatiale du champ tout en augmentant le nombre de canaux nécessaires à véhiculer le signal<sup>20</sup>. L'approche ambisonic traditionnelle est alors le cas particulier au premier ordre de la théorie HOA. L'intérêt principal de l'augmentation de l'ordre et de la résolution est d'avoir accès à des informations de directivité d'ordre supérieur à la traditionnelle cardioïde d'ordre 1 : on pourra d'une part simuler des captations par cardioïdes d'ordre 2, 3, 4 voire plus pour isoler des composantes

---

19. Institut für Elektronische Musik und Akustik (institut de musique électronique et d'acoustique), centre de recherche menant et centralisant des travaux sur l'ambisonic : <http://ambisonics.iem.at/>.

20. 9 à l'ordre 2, 16 à l'ordre 3 et 25 à l'ordre 4.

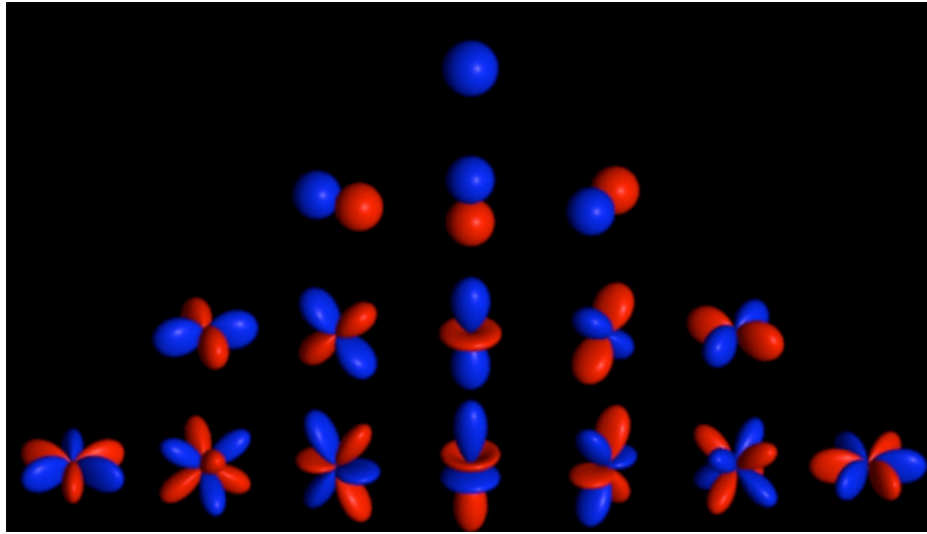


FIGURE 2.12: *Les premières séries d'harmoniques sphériques, ordres de 0 à 3 sur les lignes de haut en bas.*

du champ acoustique, et d'autre part optimiser le décodage à l'aide d'un formalisme mathématique.

La théorie ambisonic est issue de la prise de son et son application dans ce domaine s'étend avec l'apparition de micros HOA. Mais il est aussi possible d'effectuer un encodage virtuel à partir de sources monophoniques, ce qui nous amène au concept de panoramique ambisonic dont l'intérêt se situe au niveau du décodage du champ acoustique. Une fois le champ encodé, on utilise des décodeurs basés sur les principes perceptifs d'ITD et d'ILD énoncés au chapitre précédent, et d'après Jérôme Daniel et Michael Gerzon [Dan01, 105],

le décodage doit avoir pour but d'exploiter le mieux possible les informations directionnelles contenues dans le format B afin de produire lors de la restitution le meilleur effet subjectif de localisation pour chaque source sonore originale. C'est en ce sens que la théorie du décodage ambisonique développée par Gerzon [...] mérite le qualificatif de "psychoacoustique".

L'optimisation du décodage est donc le point critique de l'intérêt de l'ambisonic utilisé comme panoramique. Au premier ordre, il y avait déjà une optimisation entre perception du domaine basse fréquence et perception du domaine haute fréquence selon la théorie de Gerzon, avec une fréquence de transition vers les 700Hz [Dan01, 106]. Mais l'application du décodage au premier ordre ne pouvait être optimisée que pour des systèmes de diffusion

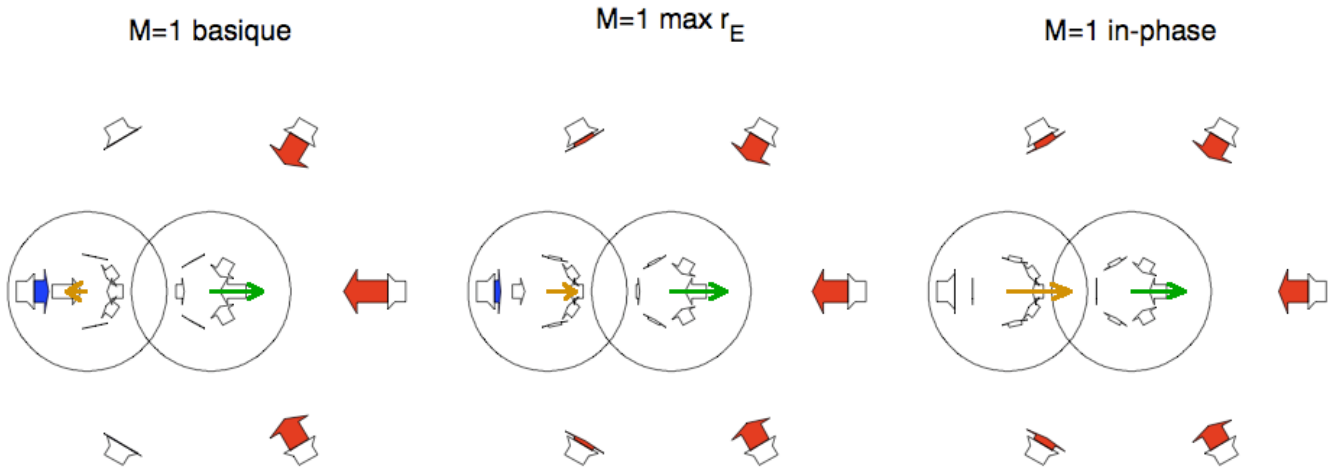


FIGURE 2.13: Trois méthodes de décodage, et leur effet sur deux positions d'écoute, l'une centrée et l'autre non. La contribution énergétique totale est représentée en vert pour l'auditeur centré et en orange pour celui sur la gauche.

réguliers et le décodage pour des systèmes non réguliers, bien qu'existant, n'était pas aussi convaincant. C'est sûrement la raison pour laquelle Francis Rumsey mentionne dans son ouvrage l'existence de panoramiques ambisonic bien qu'il soit difficile d'en trouver des exemples d'applications commerciales [Rum01, 89].

Le passage à l'ordre supérieur permet par contre beaucoup plus de souplesse dans le décodage, notamment des optimisations pour systèmes non réguliers tels que le 5.1 grâce à l'utilisation des directivités d'ordre supérieur [Dan01, 191]. Il est aussi possible d'envisager différentes optimisations en fonction des critères de placement des auditeurs ou de précision spatiale requise [Dan01, 158]. Grossièrement, nous pourrions expliciter ces fonctionnements comme un paramètre de divergence optimisé selon des critères perceptifs, car le signal est effectivement divergé sur tous les haut-parleurs lors du décodage afin d'uniformiser de manière optimale la perception des incidences sonores [fig 2.13].

Néanmoins, une évaluation perceptive de ces différents paramètres serait nécessaire car en nous contentant de travailler sur le décodeur optimal proposé par défaut (ordre 4 optimisé 5.1), nous avons privilégié l'apport de l'ambisonic par rapport au panoramique traditionnel plutôt que l'influence de l'accroissement de l'ordre d'encodage. Nous pouvons néanmoins citer Jérôme Daniel quant à l'amélioration qualitative [Dan01, 220] :

Que ce soit au casque ou sur haut-parleurs, une franche amélioration de la précision et – le cas échéant – de la latéralisation des images est remarquée dans les cas suivants :

- Au premier ordre : entre l’application pleine-bande de la solution basique et l’application des décodages basique et max rE dans leur sous-bande respective (basse- et haute-fréquence), c’est-à-dire le décodage optimisé selon Gerzon.
- Entre une restitution d’ordre 1, même optimisée, et une restitution d’ordre 2 (par exemple avec un décodage basique pleine-bande).

Un autre apport de l’encodage HOA est une compatibilité et une optimisation plus conséquente pour des systèmes de diffusion autres que le 5.1 (hexaphonie, 7.1, portage binaural), mais nous y reviendrons en troisième partie de ce travail.

### Mise en oeuvre

Le programme en question se présente sous la forme d’une suite de plugins VST qui ont la particularité d’avoir un nombre d’entrées/sorties dépendant de l’ordre d’encodage HOA. À l’ordre 1, les plugins peuvent facilement être intégrés à des logiciels d’édition audio traditionnels, s’intégrant sous forme de plugin multicanal sur un bus au nombre de canaux adapté (en l’occurrence quatre). Aux ordres supérieurs, le nombre de canaux augmente très rapidement pour atteindre 16 canaux à l’ordre 3 et 25 canaux à l’ordre 4. Il est donc difficile d’envisager une utilisation classique et c’est le logiciel de programmation modulaire PlogueBidule<sup>21</sup> qui s’avère le plus adapté pour mettre en place une configuration de plugins HOA [fig 2.14]. On fournit alors des sources sonores sous forme de flux, à l’aide d’un lecteur de fichiers ou d’une entrée audio physique, et l’on ressort le signal multicanal sur les sorties audio de l’interface son connectée à l’ordinateur. L’inconvénient majeur de Plogue est la difficulté de mettre en place une automatisation de paramètres, ce qui le rend utile pour des tests mais imparfait dans une configuration de mixage.

La suite de plugins intègre différents outils de travail du flux HOA que l’on peut facilement connecter en cascade sous Plogue : un encodeur HOA de captations microphoniques multicapteurs, un utilitaire de manipulation du champ HOA (rotations trois axes), un encodeur de sources monophoniques en HOA et un décodeur avec choix du système de diffusion. Seuls les deux derniers modules nous intéressent pour réaliser un outil de panoramique

---

21. Inspiré des célèbres Max et PD

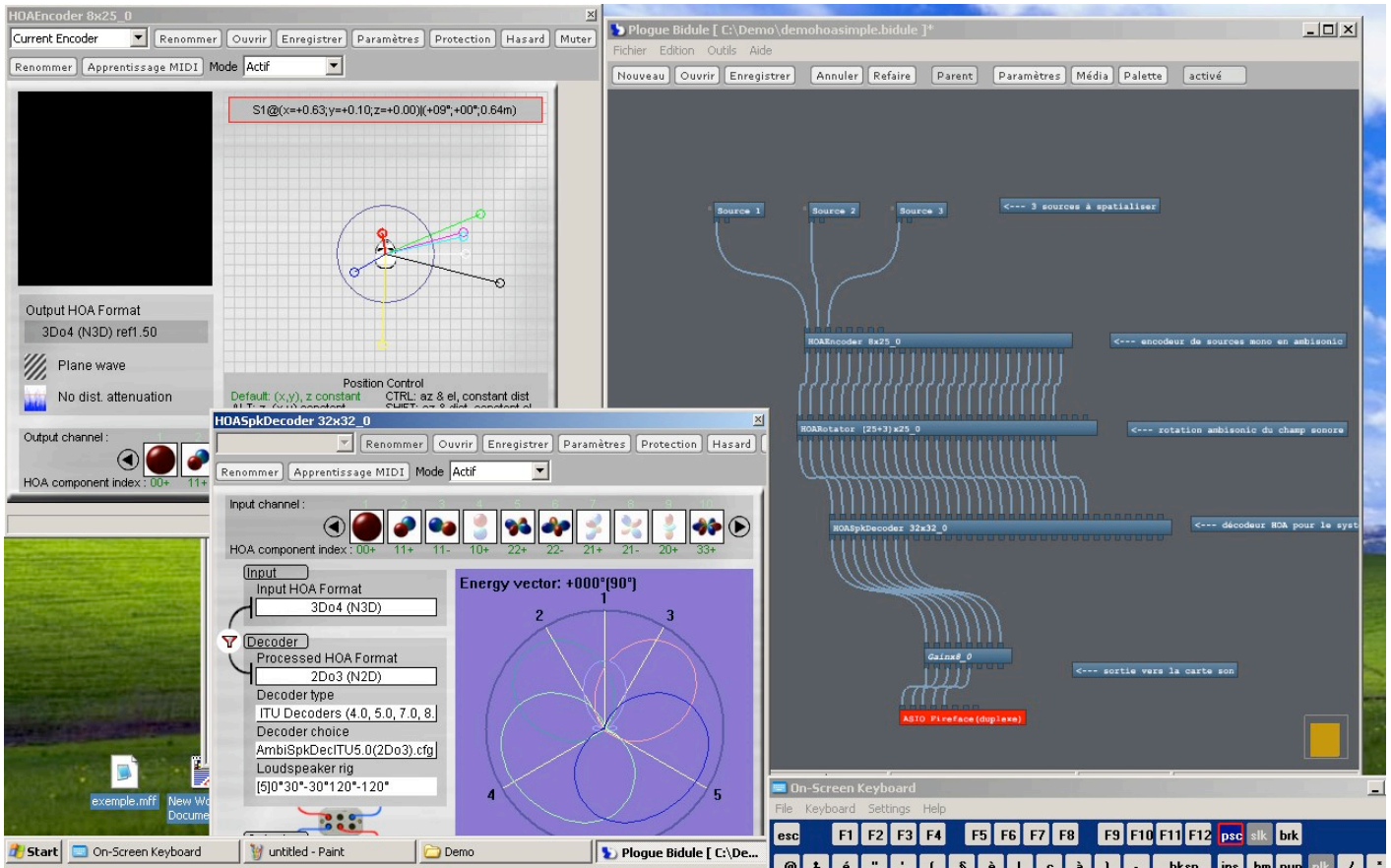


FIGURE 2.14: Implantation des plugins HOA dans Plogue.

HOA. Il suffit alors de les sélectionner à l'ordre souhaité, de les connecter en cascade puis de relier les entrées à des sources monophoniques et les sorties aux sorties physiques de diffusion du signal [fig 2.14].

La manipulation est alors très aisée : il suffit de sélectionner un décodeur adapté pour le plugin de décodage et de déplacer dans le plugin d'encodage les sources représentées par des cercles de couleur. C'est donc ce dernier qui sert de contrôle panoramique. Le contrôle visuel ressemble beaucoup à celui d'un panoramique surround classique mais son utilisation diffère avantageusement : le placement angulaire de la source correspond réellement à l'angle perçu, et le rapprochement par rapport au point central se traduit par un rapprochement acoustique en  $1/r^2$  et non par une divergence du signal comme c'est généralement le cas sur les panoramiques classiques. Il s'agit donc d'une représentation visuelle de l'espace de spatialisation, et non de la représentation visuelle d'une loi mathématique qui rend les

panoramiques classiques si laborieux dans la gestion des mouvements.

### Améliorations prévues

Le principe ambisonic offre une grande souplesse dans l'interprétation des données encodées. Il est donc permis d'imaginer des optimisations supplémentaires du décodage en fonction de contraintes précises, comme par exemple la stabilité de la zone d'écoute en fiction sonore spatialisée, ou même d'autres types d'optimisations encore non abordés. Pour ce qui est de l'interface, le module de contrôle des déplacements est déjà très pratique d'utilisation, mais on pourrait imaginer y intégrer d'autres paramètres tels qu'un effet doppler ou une atténuation des aigus pour les grandes distances. Ce facteur d'intégration constitue le point de départ de la réflexion menée en troisième parti de ce travail. Enfin, l'adaptation à des logiciels classiques permettrait une diffusion immédiate du produit : un plugin de panoramique HOA à une entrée et cinq sorties, fonctionnant en interne à l'ordre 4, trouverait assurément un marché.

### 2.3.3 Les réverbérations et processeurs d'effets multicanal

Il existe sur le marché un nombre impressionnant de processeurs d'effets multicanal, matériels ou logiciels. Et pour cause, si un effet est défini comme multicanal lorsqu'il a cinq entrées et cinq sorties, il n'est plus très difficile pour les constructeurs d'avoir le tampon marketing magique : au vu des puissances actuelles de calcul, il suffit de dupliquer un algorithme de calcul sur cinq canaux en intégrant parfois quelques variabilités de paramètres. Nous choisissons ici de nous intéresser aux effets de réverbération car nous avons déjà vu que c'est l'un des atouts les plus évidents du son multicanal. Mais particulièrement dans ce domaine, de réels algorithmes tirant avantage des canaux du 5.1 sont rares et sont réservés au haut de gamme malgré l'offre commerciale pléthorique. C'est pourquoi nous n'avons pu tester qu'un seul outil parmi ceux présentés ci après, et probablement le moins utile à notre problématique.

#### Précisions concernant le champ réverbéré

Nous rappelons ici très rapidement le comportement naturel d'un champ réverbéré pour pouvoir ensuite le relier aux indices de perception spatiale. L'émission d'une source sonore dans un milieu réverbérant entraîne une infinité de réflexions successives sur les parois de ce lieu. En un point d'écoute



précis dans un milieu de géométrie classique, on percevra d'abord l'onde acoustique directe, suivie des premières réflexions qui sont les ondes acoustiques ayant subi un rebond unique<sup>22</sup>, puis le champ diffus regroupant toutes les réflexions suivantes s'atténuant en fonction de l'absorption des parois [fig 2.1 p.29].

Lorsqu'elles arrivent moins de quelques dizaines de millisecondes après l'onde directe, les premières réflexions ont la particularité de fusionner perceptivement avec ce dernier et de modifier sa qualité spectrale à cause de l'effet d'antécédence (voir 2.1.1 p.28). Dans le cas contraire, elles sont perçues comme des échos. Dans certaines conditions, les premières réflexions apportent des indices de spatialisation supplémentaires à l'audition en fonction de leur incidence et de leur retard, plaçant la source de manière cohérente dans un espace géométrique. Par contre, le champ diffus n'apporte que des informations relatives à la nature du lieu. Les premières réflexions pourraient donc jouer en multicanal un rôle intéressant dans la perception spatiale des sources.

### Les deux familles de réverbérations

Il faut aujourd'hui distinguer deux types de réverbérations artificielles totalement différents : les réverbérations à modélisation et celles à convolution. Alors que la réverbération à modélisation utilise du traitement du signal et des modèles géométriques pour simuler l'effet acoustique d'une pièce, la réverbération à convolution procède à une recombinaison du son direct avec la réponse impulsionnelle (RI) d'un lieu réel, c'est à dire son empreinte sonore enregistrée au préalable. Ces deux types de procédés proposent des extensions en multicanal qui n'ont pas la même signification.

Pour une réverbération à convolution, l'extension consiste à faire le relevé de la RI à l'aide de quatre micros en quatre positions différentes. Ainsi, chaque canal aura une RI légèrement différente, ce qui améliorera le rendu subjectif du lieu par rapport à une simple combinaison de RI identiques. Mais la différence n'est pas frappante, et l'utilisation de deux RI stéréo sur les couples avant et arrière de hauts-parleurs offre un résultat presque similaire à une vraie RI en quadriphonie [ex.audio n°3].

Par contre, l'extension au multicanal des réverbérations à modélisation permet de concevoir des procédés tirant plus avantageusement profit du dispositif 5.1. En effet, les simples combinaisons de délais encore utilisées dans des réverbérations bas de gamme ont laissé la place à de véritables simulations acoustiques d'architectures pour les algorithmes parfois disponibles

---

22. Elles sont au nombre de six pour un volume tétraédrique vide par exemple.

dans le haut de gamme. Le champ réverbéré y est alors simulé en fonction de la position virtuelle de la source dans l'espace modélisé, et l'incidence des premières réflexions peut être rigoureusement reproduite dans les limites connues du dispositif de diffusion. On se rapproche ainsi d'une conception « tout intégrée » de mise en espace comme nous allons le développer en troisième partie de ce travail. En théorie, l'effet obtenu est un placement plus cohérent de la source dans l'espace perçu, surtout dans les positions critiques que nous avons relevées précédemment [CL99].

Malheureusement, nous n'avons pas eu accès à de tels outils, pour en vérifier la pertinence. À notre connaissance, certains équipements intègrent à différents degrés ce principe de modélisation parmi lesquels les processeurs d'effets haut de gamme TC Electronics M6000 et Lexicon 960L, le plugin Waves S360 Imager ou les consoles Studer Vista7 et M950. Néanmoins, il reste difficile d'avoir une idée précise de ce qui est réellement pratiqué en matière de traitements, les documentations commerciales recouvrant les détails de conception de manière trop vague par un engouement mirifique voire mystique. Il serait sûrement plus intéressant d'aller s'informer dans les milieux scientifiques sur l'avancée actuelle des recherches en acoustique virtuelle.

## 2.4 Application aux problèmes de réalisation en fiction sonore

En fiction, la seule limite aux intentions de spatialisation se situe au niveau de la technique. Dans le cas d'un dispositif performant, on peut espérer utiliser de nombreux procédés d'écriture sonore tirant profit du son spatialisé. Johanna Gampe les a mis en valeur dans son mémoire de recherche sous la dénomination de plus-values du multicanal par rapport à la stéréo [Gam05].

Malheureusement, les imperfections du standard de diffusion 5.1 vont compliquer la mise en pratique de ces plus values par l'ingénieur du son. En nous appuyant sur des expérimentations réalisées sur une installation de test, nous allons tenter de décrire précisément ces difficultés, apporter des recommandations et proposer de améliorations grâce aux outils d'optimisation de spatialisation abordés précédemment. Les exemples auxquels nous ferons référence se trouvent sur le CD accompagnant ce travail et sont indexés en fin de document [Annexe 1].

### 2.4.1 L'apport théorique de la spatialisation pour la réalisation sonore

#### Différents angles d'approche

On peut caractériser les apports du multicanal par rapport à la stéréo de manière différente selon l'optique dans laquelle on effectue cette analyse. Si l'on ne s'intéresse qu'aux paramètres psychoacoustiques du son, une classification ayant pour critères le timbre, la stabilité de sources, la précision de localisation, la transparence, l'enveloppement, etc, serait tout à fait adaptée. Mais l'on peut aussi imaginer une description selon des critères fonctionnels, esthétiques ou dramaturgiques si l'on s'intéresse respectivement à l'interactivité, la musique spatialisée ou la fiction sonore. Dans le travail d'études de Johanna Gampe, les *critères de plus-value du multicanal* approchés par une étude approfondie d'un corpus de « Hörspiele » en 5.1 concernent l'écriture sonore en fiction radiophonique [Gam05, 54-69]. Cette approche ayant pour but de donner des pistes de réflexion aux différents acteurs de la fiction sonore spatialisée, les termes employés s'interprètent différemment selon le domaine concerné. Chaque critère a donc plusieurs niveaux de lecture, d'une approche sémantique et dramatique pour le réalisateur à une vision pragmatique et technique pour l'ingénieur du son.

Cette différence d'interprétation mène à une réflexion plus large sur la création et le rôle que chacun a à jouer dedans. Chaque métier conditionne en effet une interprétation précise de la matière travaillée et le type de diffusion en est une composante majeure. Tout comme lors d'un tournage l'acteur va se concentrer sur son appropriation du rôle, le réalisateur sur le jeu de l'acteur, l'assistant réalisateur sur les problèmes d'élocution et l'ingénieur du son sur la qualité sonore de l'enregistrement<sup>23</sup>, chaque personne impliquée aura une conception différente de la diffusion en 5.1. Et ce sont les liens que l'on pourra tisser entre ces points de vue qui permettront une exploration constructive des moyens de création. C'est dans ce but que Johanna Gampe a mené sa réflexion sur des critères de plus-value, et si nous nous contentons dans le cadre de ce travail de les résumer selon le point de vue du pur technicien son, il ne faudra pas oublier que chaque terme mène à une réflexion englobant des considérations plus larges.

---

23. Heureusement, tout le monde n'est pas strictement cantonné à son domaine, mais c'est une base importante.

### Les critères

L'analyse approfondie de l'interprétation sémantique du son multicanal lui a donc permis de définir onze critères que nous allons ici résumer de manière très réductrice. **Le réalisme** désigne le fait de se rapprocher d'une audition naturelle, permettant ainsi de discriminer une quantité plus grande d'informations sonores qu'avec l'artifice frontal de la stéréophonie classique. On pourra par exemple avoir une approche naturaliste du positionnement de l'auditeur dans une scène sonore, grâce entre autre à la captation d'environnement réels en prise de son multicanal. **L'enveloppement** selon Johanna Gampe se rapproche de la définition donnée plus haut par Bernard Lagnel, mais inclut aussi la sensation d'immersion : il s'agit de l'impression générale d'être au milieu de sources sonores, qu'elles soient distinctes ou non (et alors immersives au sens du paragraphe 2.2.3). On pourra alors apporter de nombreuses indications sur la nature de l'espace perçu en modelant à loisir le positionnement et la nature des sources diffusées. **La profondeur** caractérise la possibilité de placer des sources sonores à toutes les distances imaginables ayant chacune une forte connotation sémantique, de l'extrême lointain à l'intimité. Le positionnement de sources sonores dans la demi-sphère arrière de la perception auditive permettra d'accentuer encore l'effet de ces distances, dans les sens de l'intimité pour un chuchotement par exemple autant que dans celui de l'extrême distance pour un cri au loin. **La perspective** se rapporte à la position de l'auditeur dans le champ acoustique. La possibilité de le placer au coeur d'une perspective selon l'axe arrière/avant permet de créer un effet inexistant en stéréophonie classique. L'auditeur est alors dans une position intermédiaire entre deux contextes, comme dans *Le singe soleil* par exemple lorsque l'on observe une scène à l'avant, en entendant un commentaire discret de ce qu'il se passe depuis l'arrière. **Le mouvement** est le critère le plus évident à concevoir, et il englobe toute la liberté de déplacement possible dans le plan sonore, autant du point de vue des trajectoires que du rythme. Le mouvement pourra être utilisé dans un but sémantique (architecture), esthétique (chorégraphie) ou pour des effets singuliers. **Le parallélisme** prend une nouvelle dimension en multicanal grâce à l'étendue de l'espace sonore disponible. Il peut s'exprimer à l'arrière plan, par des détails du contenu sonore faisant sens par leur évolution simultanée ou à travers la construction même de l'espace sonore, en déroulant simultanément deux actions en deux lieux différents. **La constellation** permet de jouer avec les sources physiques de diffusion, c'est à dire les hauts-parleurs, pour créer un effet de morcellement structurant l'espace sonore. **Les effets de basses** sont en théorie partie intégrante du dispositif, ce qui permet de les utiliser dans l'écriture sonore, chose im-

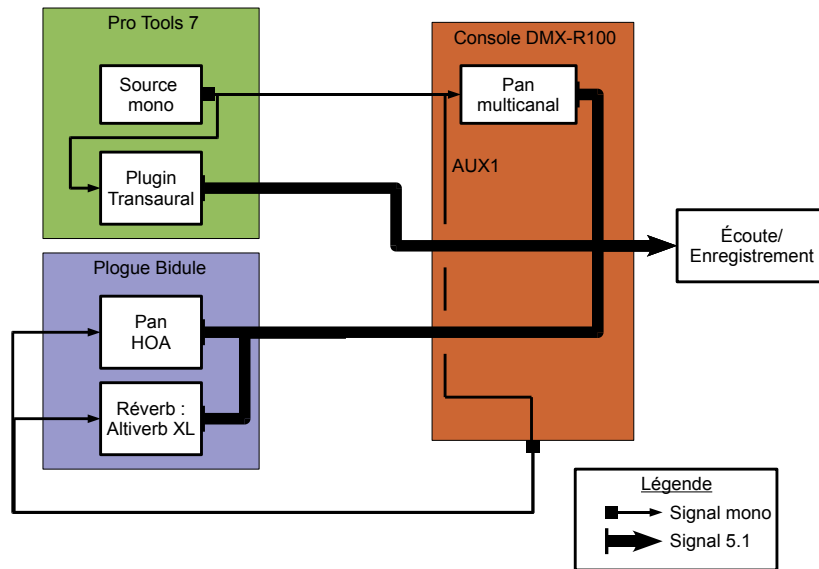
possible en stéréophonie classique car il n'y a aucune garantie quant à la reproduction du signal chez l'auditeur. Ils pourront être utilisés pour des sons concrets spectaculaires tels que des explosions ou des grondements, autant que pour des effets subjectifs ou abstraits. **La dynamique** prend une nouvelle dimension grâce au multicanal, car l'auditeur y est plus sensible dans le cas d'un son spatialisé : il est donc possible d'atteindre des effets de dynamique subjective supérieurs à ceux de la stéréophonie classique, tout en restant dans les normes usuelles de production. Une rafale de vent qui enveloppe l'auditeur aura un impact perceptif bien plus important que la même en stéréophonie frontale à niveau égal. **La musique** spatialisée a été le sujet d'une quantité considérable de travaux artistiques et théoriques et c'est l'intégralité de ce domaine qui est maintenant accessible et intégrable à l'écriture de fictions sonores. Enfin, **l'approche dramatique du montage** peut bénéficier de tous les critères précédents pour imaginer de nouvelles approches de construction sonore.

Bien que dans son travail original l'auteur relève déjà quelques limitations à l'application de ces critères, l'approche est globalement celle d'une restitution quasi idéale de l'espace sonore. La mise en pratique peut se révéler laborieuse dans certains cas à cause des défauts inhérents à la diffusion en 5.1, et ce sera le rôle de l'ingénieur du son d'utiliser sa connaissance et son expérience du dispositif pour atteindre autant que possible les intentions de réalisation sonore, ou au contraire de pointer les impossibilités en amont du travail. Nous allons par la suite étudier les principaux problèmes qui se posent et tenter de proposer quelques améliorations.

### 2.4.2 L'installation de test

Avant de rendre compte des résultats des expérimentations, il est important d'apporter quelques précisions sur l'installation matérielle qui a servi aux tests. La configuration choisie a été mise en place selon des critères d'optimisation des procédures de tests et non dans une optique de mixage audiovisuel. Certaines difficultés techniques nous ont obligé à abandonner des essais initialement prévus, mais la fonctionnalité de l'installation était globalement très bonne.

Nous avons travaillé au studio de mixage musical stéréo de l'école, prévu pour accueillir temporairement une installation multicanal à la norme ITU. Nous souhaitions pouvoir nous servir simultanément du plugin de transaural mixte, de la suite de plugins HOA et de la réverbération à convolution multicanal Altiverb XL. Pour des raisons de compatibilité, il a été nécessaire d'apporter un ordinateur supplémentaire fonctionnant sous windows, le poste principal du studio tournant sous OSX.

FIGURE 2.15: *Synoptique de l'installation de tests.*

L'installation est centrée autour de la console 5.1 Sony DMX-R100 du studio. D'une part, le poste Protools HD sert de lecteur principal et d'enregistreur et permet d'héberger les plug-ins de transaural mixte, d'autre part le poste windows sert de lecteur secondaire, de panoramique HOA et de réverbération multicanal, le tout fonctionnant sur le logiciel Plogue. Ce poste secondaire est intégré à l'installation grâce à une carte son externe, connectée aux départs auxiliaires et aux entrées principales de la console [fig 2.15].

Le caractère expérimental de l'installation a posé quelques problèmes d'utilisation. Tout d'abord, le plugin de transaural n'était pas fonctionnel de manière dynamique et nous n'avons pu l'utiliser que pour des tests statiques. Ensuite, probablement pour des raisons dues au stade de développement, les différents traitements numériques causaient des retards de signaux délicats à gérer au niveau de la console. Nous avons réussi à remettre le traitement transaural en coïncidence exacte avec le signal direct, mais nous ne sommes pas parvenus à trouver le délai approprié pour faire la même chose entre le traitement HOA et le transaural. Il n'a donc pas été possible d'effectuer une combinaison satisfaisante des deux outils, ce qui aurait pu avoir un intérêt non négligeable. Le reste des tests s'est néanmoins déroulé dans des conditions très satisfaisantes.

### 2.4.3 La gestion de la divergence du signal

L'un des nouveaux paramètres à prendre en compte lors du mixage en multicanal est la divergence lors du placement d'une source monophonique. Son utilisation n'est pas anodine et peut avoir une utilité dans de nombreuses situations, par exemple pour jouer un effet immersif non naturel. Il existe de nombreuses façons de la gérer, chaque console ayant des réglages spécifiques en permettant un contrôle plus ou moins fin, et nous nous contenterons ici d'aborder le cas général de la répartition d'un signal monophonique sur cinq canaux. Mais cette nouvelle possibilité est aussi une source de contraintes à connaître et à maîtriser afin d'éviter quelques aléas.

#### Utilisations possibles

Comme nous l'avons vu précédemment, on place généralement une source monophonique selon le principe dit du pair-wise, en travaillant en stéréo sur le quadrant associé à l'angle de placement. Mais il est toujours possible d'ajouter une certaine quantité du signal dans les trois autres hauts-parleurs. On obtient alors un effet non naturel d'immersion, perçu différemment en fonction de l'amplitude de l'effet et du contexte. La principale caractéristique de ce traitement est un élargissement progressif de la source allant de pair avec une imprécision de localisation, pour arriver à une source omniprésente n'ayant aucune caractéristique réelle de localisation lorsque le signal est diffusé à niveau égal sur tous les hauts-parleurs.

Pour une source frontale, on peut ainsi passer d'une monophonie absolue offrant une précision de localisation et de timbre incomparable à une immersion totale très floue et enveloppante [ex.audio n°4]. Des effets de filtrage dus à la sommation du signal selon cinq directions renforcent aussi l'effet irréel. Ce procédé peut être très utile pour donner plus de largeur et de volume à une source, dans une optique artificielle la plupart du temps mais pourquoi pas réaliste dans certains contextes<sup>24</sup>. L'exemple typique est celui d'une voix off omnisciente qui gagne alors en caractère irréaliste, voire divin. Dans un autre but, le « moyennage » de la répartition du signal incite intuitivement à utiliser ce paramètre pour contrer les problèmes de localisation du 5.1 par un effet de flou. Mais nous reviendrons sur ce point avec le HOA dont le fonctionnement se base en partie sur une optimisation de ce principe.

---

24. Imaginons une chute d'eau ou un train dans un tunnel.

### Quelques précautions

Il est néanmoins important de prêter attention à quelques effets secondaires notables. La diffusion du signal sur plusieurs hauts-parleurs pose un problème de localisation en cas de position non idéale de l'auditeur. Si l'on utilise l'effet d'immersion par divergence sur une source ayant une localisation précise, il y a un risque, d'autant plus grand que l'effet est important, qu'un auditeur mal placé perçoive la source comme venant du haut-parleur le plus proche de lui. Par exemple pour une source frontale, si l'effet de divergence est conséquent, un auditeur placé un peu à l'arrière du point d'écoute optimal la percevra comme une source arrière [ex.audio n°4].

Il est donc important de l'utiliser avec parcimonie et contrôle afin d'éviter des contresens pour des position d'écoute non optimale. Si des réglages fins de divergence sont disponibles, il ne faut pas hésiter à s'en servir pour limiter les problèmes ; on peut par exemple la limiter aux trois hauts-parleurs avant si l'on souhaite uniquement donner de la largeur à une source. Il ne faudra pas oublier non plus que l'utilisation appropriée d'un champ réverbéré sur tous les canaux peut permettre des effets du même ordre avec moins de problèmes de repli de localisation. Mais l'effet d'immersion est une nouveauté perceptive très forte et il ne faudra pas hésiter à en user dans une intention créatrice.

### Apports pour la réalisation

La plus-value d'enveloppement/immersion par le son est évidemment celle qui bénéficie le plus du paramètre de divergence, d'autant plus que la perception de l'effet est la plupart du temps inconsciente pour un auditeur non expérimenté, donc plus efficace. Elle pourrait aussi servir pour le parallélisme, de manière à marquer plus ou moins la séparation entre deux univers simultanés. Le concept de constellation peut être étendu sur une nouvelle dimension, entre ponctualité et différents degrés d'immersion. Enfin, la possibilité de souligner des effets de dynamique par un paramètre immersif n'est pas à négliger et subjectivement très efficace. Pour ce qui est de la localisation et du mouvement, une légère amélioration est possible mais laborieuse et risquée à manipuler comme nous le verrons ci-après. Sur-tout, il ne faudra pas prendre la divergence comme outil servant à donner un effet de proximité réaliste car ce n'est pas ce qui est perçu.



### 2.4.4 L'éloignement des sources

D'après l'interface graphique habituelle des panoramiques surround, la présence de hauts-parleurs périphériques semble offrir un plan complet de spatialisation au milieu duquel se situe l'auditeur. Ne peut-on d'ailleurs pas facilement approcher le curseur symbolisant la source de la « tête » de l'auditeur ? Mais ce raisonnement est erroné et peut rapidement mener à des situations confuses.

#### L'utilisation d'une méthode éprouvée

En monophonie ou stéréophonie classique, le placement d'une source à une distance donnée s'est toujours effectué selon les principes de base de l'audition naturelle. La décroissance en niveau en fonction de la distance, l'atténuation des aigus dans l'atmosphère et surtout le rapport entre son direct et son réverbéré ont depuis toujours permis de jouer des éloignements subjectifs, bien que la position des hauts-parleurs soit invariable. Un son lointain est très réverbéré, de niveau relatif faible et spectralement altéré. Un son proche, voire très proche est peu ou pas réverbéré, a un niveau relatif élevé et spectralement intact. La seule limite à ce principe est due à l'acoustique de la salle d'écoute qui va interférer avec le contenu du signal, mais l'audition fait autant que possible abstraction de ce phénomène. Même en monophonie, il est ainsi possible de restituer de manière convaincante un murmure très proche avec d'autant plus de réalisme que la salle est absorbante.

En 5.1, le même principe est bien sûr applicable selon tous les axes autour de l'auditeur, et le résultat très convaincant. Mais beaucoup d'outils incitent aujourd'hui par leur fonctionnement interne à faire l'amalgame entre rapprochement subjectif de l'auditeur et divergence. Pourtant, ce n'est pas du tout la même chose et on se retrouve alors avec des effets de sources immersives artificielles. Et pour cause, une source proche de nous n'a pas pour autant l'air de provenir de toutes les directions, bien au contraire !

On peut effectivement obtenir des effets de proximité très convaincants avec la méthode de placement classique adaptée au multicanal, et par exemple placer une source à 30 cm à l'arrière gauche de l'auditeur. Il suffit de ne pas diverger le signal, c'est à dire de garder une position périphérique sur le panoramique surround, et de trouver le rapport perceptif correspondant à un son perçu à 30 cm. Les outils utilisés habituellement comportent donc un piège en proposant de manipuler un curseur dans le plan, alors qu'il s'agit d'un rapport de divergence et non d'un placement perceptif des sources.

Heureusement, certains outils proposent des interfaces n'induisant pas l'utilisateur en erreur. Le panoramique HOA que nous avons expérimenté propose comme tous les autres un curseur à déplacer dans le plan mais la proximité du curseur par rapport au centre fait intervenir les vrais paramètres de rapprochement : une simple loi de décroissance du niveau en  $r^2$  est parfaitement convaincante lorsqu'elle est couplée à un niveau de réverbération constant [ex.audio n°5]. Le résultat n'est par différent d'une utilisation correcte des outils classiques, mais la conception d'une interface cohérente mérite d'être soulignée.

### Apports pour la réalisation

Bien maîtriser la méthode classique de placement des sources<sup>25</sup> permet d'atteindre facilement l'effet voulu et d'éviter un effet de divergence involontaire. Bien sûr, le critère directement concerné est celui de la profondeur, et nous constatons que les seules limites à un rendu réaliste sont l'acoustique de la pièce d'écoute et les autres défauts du multicanal dont nous allons parler. La problématique de la profondeur va aussi de pair avec celle de la perspective qui s'en sert dans une optique particulière. Pour ce qui est de la constellation, on a ici accès à tous les plans d'éloignement imaginables, une dimension supplémentaire pour l'étendre à de nouvelles sphères. Enfin, le mouvement est directement concerné par la profondeur, ce que nous développerons un peu plus bas.

#### 2.4.5 Stabilisation de sources dans des positions critiques

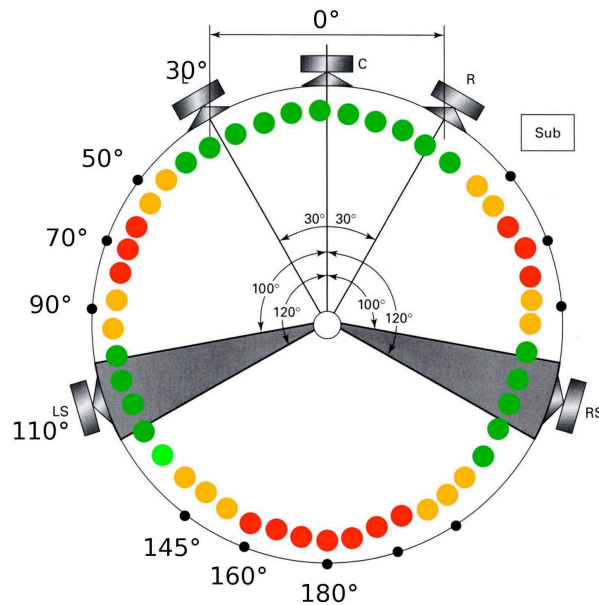
Nous abordons ici le problème le plus directement lié à la disposition 5.1 et en général le plus dissuasif pour les créateurs. Nous avons déjà répété que la disposition inhomogène du 5.1 est à l'origine de problèmes conséquents pour les cadrants latéraux et arrière du système. Nous décrirons ici quelles en sont les conséquences concrètes et essaierons de donner des recommandations et des solutions pour les contourner.

#### Une localisation imparfaite à connaître

Il faut distinguer les problèmes des cadrants latéraux de ceux du cadrant arrière car ce ne sont pas les mêmes mécanismes perceptifs qui sont en jeu. Jean-Baptiste Brunhes conclue son travail sur la localisation de sources monophoniques en 5.1 par la constatation des défauts suivants [Bru99, 119] :

---

25. Que l'on connaît par ailleurs parfaitement en stéréo !

FIGURE 2.16: *Les zones rouges de la latéralisation.*

- Instabilité de sources arrières par rapport à un déplacement latéral, même réduit, de l'auditeur, et instabilité des sources latérales par rapport à un déplacement avant-arrière.
- Forte imprécision des localisations latérales, notamment pour des sources autour du milieu des deux haut-parleurs latéraux.
- Forte influence du spectre du signal sur la localisation.
- Problèmes d'inversion avant-arrière.

Ainsi, il existe des « zones rouges » où la localisation pose des problèmes majeurs, situées entre les hauts-parleurs latéraux et arrières. Plus l'on est proche du milieu de ces zones, plus la situation est critique, le paroxysme étant atteint autour de  $70^\circ$  et  $180^\circ$  [fig 2.16]. En pratique, de petits mouvements de tête suffisent à faire basculer la source de l'avant à l'arrière ou de la gauche à la droite pour les angles respectifs de  $70^\circ$  et  $180^\circ$ .

Pour le mixeur, il s'agira donc d'agir très précautionneusement lors de l'utilisation de ces zones pour positionner des sources ponctuelles, et de ne surtout pas donner une importance sémantique à l'angle précis de localisation de la source entre les deux hauts-parleurs sachant qu'elle sera forcément perçue comme venant de l'un ou de l'autre en fonction de la position de l'auditeur. De plus, l'image latérale sera difficilement perçue comme crédible à cause de l'irrégularité d'étalement spectral. Avoir ces quelques idées en tête permet de contourner le problème en spatialisant les sources

sur les zones stables adjacentes, c'est à dire autour des  $30^\circ$  ou  $110^\circ$  : faire un compromis d'une vingtaine de degrés n'empêchera que rarement de mener une idée de réalisation à terme tout en évitant les problèmes majeurs [ex.audio n°6]. Pour une source à  $180^\circ$  elle sera systématiquement perçue comme venant de l'arrière droite ou de l'arrière gauche, et il faut en être conscient dans l'écriture sonore : soit n'utiliser les arrières que latéralisés, soit assumer une source à  $180^\circ$  qui sera aléatoirement perçue à droite ou à gauche [ex.audio n°7].

### Une solution

Heureusement, les outils d'optimisation de spatialisation prennent ici tout leur intérêt et permettent dans une certaine mesure de dépasser ces problèmes lorsque la situation l'impose. Le transaural mixte a été conçu uniquement dans ce but et donne des résultats très convaincants. Nous préciserons que nous n'avons eu que quelques jours d'essais pour comprendre et prendre l'outil en main, les exemples fournis seront donc loin d'illustrer une utilisation optimale qu'on pourrait en faire avec un peu plus d'expérience.

Le progrès le plus significatif est constaté pour les zones rouges latérale. On arrive d'une part à stabiliser la source, même pour la position critique de  $70^\circ$ . Le basculement avant/arrière a bien sûr toujours lieu mais est nettement moins marqué et plus fluide, ne donnant plus l'impression d'aberration technique. On n'a plus l'impression que le son saute d'un haut-parleur à l'autre, et l'on se rapproche de ce que l'on connaît avec une stéréo avant, c'est à dire une distorsion progressive de la position. De plus, le placement de la source gagne un caractère naturel grâce au filtrage transaural, par atténuation des informations HRTF contradictoires. Grâce à l'effet combiné de la localisation transaural lorsque l'on est bien dans l'axe et de la localisation stéréophonique classique lorsque l'on tourne la tête, la localisation de la source gagne en robustesse sur toute la zone d'écoute ; on pourra faire un essai comparatif en se déplaçant librement dans l'espace de diffusion dans les deux cas, et le constat de l'amélioration est sans appel [ex.audio n°7].

Il n'y a pas d'amélioration significative pour la stabilité du quadrant arrière, principalement à cause de l'écartement excessif des haut-parleurs qui bride l'efficacité du traitement transaural, mais aussi parce que le mécanisme HRTF n'est prépondérant que pour une perception latérale. Par contre, il est parfois possible de lever l'ambiguïté avant/arrière à laquelle fait référence Jean-Baptiste Bruhnes. Le traitement transaural ajoute en effet des indices spectraux qui font référence à une perception arrière du son.

Enfin, il est utile de rappeler que l'on peut doser l'amplitude de ces améliorations au détriment de la qualité spectrale originale de la source. C'est un compromis que l'on doit faire, et qui dépendra du contexte, du contenu fréquentiel de la source et de l'intention de réalisation. Le résultat va en général du « léger mieux » au « miracle », avec une moyenne se situant autour d'une « amélioration notable ». De plus, on peut affirmer dans une certaine mesure que le critère de qualité spectrale sera moins déterminant en fiction sonore qu'en mixage de productions musicales. Or, au regard du résultat atteint par Jean Marc Lyzwa sur des sources au timbre très sensible (violoncelle, percussions), on est en droit d'espérer un potentiel très élevé de l'outil en fiction sonore.

La spatialisation par panoramique HOA apporte aussi des améliorations de stabilité de sources, notamment pour les positions intermédiaires entre le haut-parleur et le point critique. Le calcul de la répartition énergétique permet en effet d'homogénéiser l'incidence de source sur une large zone d'écoute comme nous l'avons vu précédemment. Il faudrait ici pouvoir mener une étude approfondie des différents types de décodages existants, ce que nous n'avons malheureusement pas eu le temps de faire.

### Apports pour la réalisation

Nous n'avons pas pu combiner les deux outils pour les raisons techniques évoquées ci-avant. Mais il n'y a en théorie aucune incompatibilité, le panoramique HOA pouvant se substituer avantageusement au panoramique surround classique. Il est alors raisonnable d'espérer dépasser les limites imposées par le système et utiliser les cadrants latéraux dans une optique scénographique. C'est le critère de réalisme qui profite le plus de ces améliorations, car on peut désormais faire un pas de plus en direction d'une situation d'écoute naturelle. L'écoute d'un mixage utilisant le transaural mixte de manière approfondie donne réellement l'impression que les hauts-parleurs n'existent plus en tant que sources ponctuelles, mais que le son entoure l'auditeur sans irrégularités. Il est alors possible de progresser dans le domaine de l'enveloppement, les fameuses « zones rouges » du 5.1 ne déséquilibrant plus l'uniformité de répartition des sources. La constellation gagne à nouveau une dimension, grâce à de nouveaux points possibles de fragmentation de l'espace. Enfin, l'espace de travail pour créer un effet de parallélisme s'en trouve étendu et affiné. Mais le mouvement n'étant qu'une succession de positions, c'est dans ce domaine qu'on est en droit d'espérer les progrès les plus immédiats.

### 2.4.6 Le mouvement

Vouloir réaliser des mouvements complexes dans le plan du multicanal, c'est combiner tous les problèmes étudiés en amont. Succession de positions, problèmes de profondeur ou de rapprochements et ergonomie de placement des sources ont déjà trouvé des réponses dans les paragraphes précédents. Il s'agit donc ici d'une synthèse complexe de tous ces éléments.

#### Apports pour la réalisation

Imaginons le cas d'un mouvement circulaire homogène. La source va devoir balayer toutes les positions angulaires du système, et donc s'échouer contre la somme de tous les problèmes existants en 5.1. À savoir des sauts d'un haut-parleur à l'autre, une image distordue et étalée sur les côtés, une inhomogénéité du mouvement, extrêmement sensible au placement de l'auditeur. Si l'on ajoute les problèmes d'ergonomie des outils pour des placements dynamique (divergence difficile à appréhender, non correspondance entre la représentation et la position réelle, imprécision très importante pour les zones les plus critiques), la simple tentative d'une traversée latérale peut devenir un casse tête au résultat inévitablement médiocre. Lorsque l'on souhaite en plus gérer des effets de rapprochement, le piège de la divergence oblige à des gymnastiques de conceptualisation du mouvement, de fader et de joystick fastidieuses. Il y a donc largement de quoi décourager les nobles intentions d'applications à des fins d'écriture sonore.

Si l'on souhaite se lancer dans l'aventure, il est primordial de commencer par bien connaître le comportement des outils utilisés : loi de panoramique, gestion exacte de la divergence, manipulation et réglage des paramètres. On pourra par exemple préférer des panoramiques basés sur la position angulaire, comme le panoramique de base de Nuendo qui le propose en cochant une option, ou le plugin Waves 360 Panner. Et surtout veiller à travailler les rapprochements à l'aide de l'intensité sonore et non de la divergence, sous risque de bizarreries peu convaincantes à moins d'être assumées. Il n'est par exemple pas difficile de mixer le passage d'une voiture frôlant l'auditeur : un déplacement strictement périphérique, c'est à dire sans aucune divergence, synchronisé à une courbe de niveau adaptée donnera une impression satisfaisante, à comparer avec le résultat d'un son « traversant » visuellement le plan de représentation du panoramique surround, et donc divergé au maximum lors du passage à proximité du point central [ex.audio n°9]. Mais cet effet peut néanmoins être utile pour une source zénithale passant au dessus de l'auditeur [ex.audio n°10].

### **Des solutions simples mais rarement mises en oeuvre, d'autres moins simples**

Comme nous l'avons déjà évoqué précédemment, le panoramique HOA est parfaitement conçu pour un placement intuitif et réaliste de sources. Mais c'est pour le travail de mouvements que l'outil s'avère extrêmement utile. Associée à une fluidité sans défauts, l'identité entre le plan de représentation et la localisation réelle le rendent indispensable pour réaliser des mouvements complexes. La manipulation est naturelle et permet de jouer n'importe quel déplacement réaliste dans tout l'espace disponible. Ceci est principalement dû à l'ergonomie de l'interface, mais la spatialisation HOA joue aussi un rôle conséquent sur la fluidité et le naturel du mouvement, comme le précise Jérôme Daniel [Dan01, 220] :

Lors de la restitution sur haut-parleurs d'une source à trajectoire circulaire, la qualité d'homogénéité et de continuité du rendu ambisonique est remarquable à l'ordre 1 comme à l'ordre 2, alors qu'avec le VBAP la qualité de l'image est alternativement floue et précise, au passage des haut-parleurs (effet "pâquerette").

La combinaison de ces deux facteurs permet une gestion des mouvements intuitive, crédible et assez robuste aux déplacements dans la zone d'écoute, qui n'a plus rien à voir avec le calvaire de l'utilisation des outils basiques. La comparaison en est flagrante lors d'un mouvement circulaire régulier [ex.audio n°11]. Et pour un mouvement faisant intervenir des rapprochements et éloignements de la source, la cohérence obtenue paraît impossible à atteindre avec des outils classiques [ex.audio n°12].

Sans suspens, c'est le critère du mouvement qui bénéficie de toutes ces améliorations, lui donnant réellement une autre dimension. On se rapproche, même en 5.1, du fantasme d'une immersion crédible au coeur d'une scène sonore complexe.

### **D'autres possibilités**

Malheureusement, nous n'avons pas pu utiliser l'outil transaural pour des déplacements à cause de problèmes techniques. On peut néanmoins s'attendre à une amélioration considérable de la localisation des sources au vu des résultats en utilisation statique et en considérant que les indices de localisation HRTF sont les plus efficaces lors de mouvements, par le caractère principalement différentiel de leur perception.

Nous ne pensons donc pas exagérer en affirmant qu'une combinaison optimale des deux techniques permettrait de dépasser presque intégralement les limites initiales du dispositif pour la réalisation de fictions sonores. C'est

ce qui nous a poussé à nous interroger sur l'intégration pratique de tels outils dans une installation finale et fonctionnelle ainsi que sur la conception même d'une installation destinée au mixage complexe d'un espace sonore.

## **Conclusion du deuxième chapitre**

L'écriture sonore pour le son spatial constitue une innovation majeure en fiction, et les implications sur le travail de l'ingénieur du son sont nombreuses. Mais à l'apprentissage du travail de ce nouveau contenu s'ajoute le problème majeur d'un dispositif de diffusion inadapté, car conçu initialement pour soutenir une image frontale. De nombreux défauts sont donc à connaître et certaines adaptations sont indispensables pour ne pas se trouver face à des problèmes insurmontables. Heureusement, de nouveaux outils mettent en oeuvre des techniques complexes au résultat efficace et ciblé qui permettent de surmonter en partie les difficultés majeures.

Se pose alors le problème de l'intégration de ces outils, pour l'instant assez complexe à cause des structures classiques des installations techniques. Nous allons voir comment une nouvelle approche de ces structures permettrait une optimisation et une souplesse accrue du mixage de l'espace.



## Chapitre 3

# Une nouvelle approche du mixage

Les problèmes rencontrés lors de la mise en place d’une installation de mixage multicanal destinée à la fiction sonore nous ont conduit à questionner sa structure même. Notre raisonnement se base sur la notion de représentation intermédiaire du champ sonore proposée par Jérôme Daniel. Pour lui, la combinaison de nombreux procédés permet d’atteindre grâce au mixage une reproduction d’un espace sonore sur un dispositif précis. Et [Dan01, 77] :

à cette notion de reproduction est jointe celle de représentation intermédiaire du champ sonore restitué, autour de laquelle gravitent plusieurs enjeux d’importance. Cette représentation contient l’information spatiale du champ sonore sous la forme d’un certain nombre de canaux audio (ou signaux) qui définissent le format de transmission (ou de stockage), et est associée à des procédés spécifiques d’encodage (prise de son ou synthèse du champ) et de décodage (produisant les signaux à diffuser sur haut-parleurs ou au casque). La première préoccupation est que la restitution qui en découle offre des qualités d’illusion satisfaisantes, autant en terme d’image sonore individuelle que de propriétés spatiales plus globales. [...] Enfin, on porte un intérêt particulier aux modes de représentation qui offrent les caractéristiques suivantes : la portabilité (vers différents dispositifs de restitution), l’universalité (par rapport à l’auditeur), la prédictibilité et le contrôle des propriétés spatiales (pour la composition et la manipulation du champ sonore).

La manipulation des signaux au cours du processus de mixage constitue une extension à plus bas niveau de cette représentation intermédiaire, se situant à mi-chemin entre les signaux sources et le signal du produit fini. Et c'est effectivement ici que trouvent leur origine les deux problématiques principales du mixage du son spatial : la portabilité et le contrôle des propriétés spatiales. Des travaux conséquents sur de nouvelles méthodes de travail ont déjà été menés notamment pour des applications en musique contemporaine spatialisée, à l'IRCAM, avec le développement du module Spat pour Max/MSP. Notre approche aura sûrement de nombreux points communs avec la réflexion ayant mené au développement de Spat, mais nous l'aborderons sous l'angle du mixage de fictions sonores en espérant apporter un point de vue nouveau à ce sujet.

## 3.1 La méthode historique

Avant de développer de nouvelles approches du mixage, nous allons ici faire un point rapide sur les concepts sous-jacents à la méthode usuelle en en soulignant les avantages et les faiblesses.

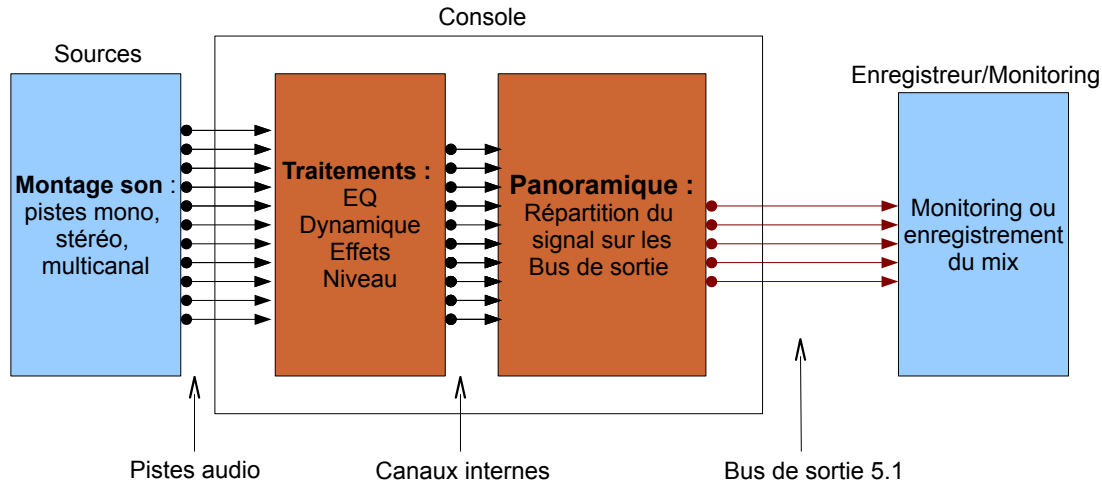
### 3.1.1 Le mixage dédié à un dispositif

Comme nous l'avons vu, l'utilisation historique du 5.1 provient d'une évolution progressive du mixage cinéma, puis d'une extrapolation de ces méthodes à d'autres domaines comme la musique ou la radio. Il n'y a donc pas eu de rupture avec l'approche classique du mixage mais une simple extension des principes fondamentaux du travail de l'ingénieur du son. Et lorsque l'on souhaite effectuer un travail de spatialisation complexe avec des outils classiques, beaucoup d'efforts sont nécessaires pour arriver à un résultat cohérent d'une part à cause de l'augmentation du nombre de variables à contrôler, et d'autre part à cause de la sensibilité de ces réglages par rapport au dispositif.

#### Définition

Nous nommerons cette approche le *mixage dédié à un dispositif*. Toute l'installation matérielle est en effet conçue pour fonctionner selon un format de diffusion précis, que ce soit l'interface centrale de mixage ou tous les outils périphériques (panoramiques, effets de réverbération, outils d'optimisation, etc). Lorsque l'on mixe, on pense donc la création pour un dispositif unique, en essayant autant que possible de garder en tête les contraintes d'adaptation à d'autres conditions de diffusion. Inévitablement, on entre dans une logique de compromis.

La différence qui existe entre le standard 5.1 cinéma et le standard 5.1 ITU en est un exemple concret (voir 2.1.2 p.34) : la disposition et les contraintes de diffusion diffèrent beaucoup pour deux formats identiques au niveau de la mise en forme du signal. Le mixage n'est donc pas compatible de manière optimale entre les deux dispositifs, et il serait nécessaire d'en réaliser un dans chacun des deux cas pour obtenir un résultat satisfaisant systématique. C'est ce que nous entendons par mixage dédié au dispositif. Remarquons par ailleurs que l'on utilise généralement les mêmes outils pour chacune des deux installations, ce qui signifie qu'un compromis a forcément eu lieu lors de leur conception.

FIGURE 3.1: *L'approche dédiée du mixage.*

### L'exemple du panoramique

Si nous prenons le cas du panoramique, élément central de la spatialisation, nous observons qu'il est conçu de manière hermétique pour le dispositif 5.1. En effet, l'objet prend en compte deux données, le signal audio et les coordonnées de spatialisation, pour fournir en sortie une répartition du signal sur les cinq canaux périphériques. Mais dans la machine, le couple signal/coordonnées n'a pas de sens en soi : il est directement interprété en signal dédié aux cinq hauts-parleurs. La position spatiale est effective dans l'espace sonore perçu, mais pas en tant que construction sonore abstraite imaginée par l'ingénieur du son. Il est donc impossible d'extraire des données du dispositif de mixage qui fourniraient des informations spatiales à réutiliser différemment : on est dans un dispositif fermé [fig 3.1].

Mais cette approche est la conséquence de l'évolution naturelle des techniques du son et a déjà fait ses preuves dans de nombreuses conditions d'utilisation.

### 3.1.2 Avantages et inconvénients

Majoritaire dans le milieu de la production, cette méthode bénéficie donc de nombreuses années de mise en oeuvre et d'expérimentations par un

grand nombre de techniciens son. Les procédés de mixage sont efficaces et éprouvés, les défauts bien connus et surtout, la quasi totalité des outils de travail disponibles sont conçus selon ce schéma. Au moment où le multicanal en son seul semble en phase d'acceptation sur une solide base technique, il paraîtrait inconscient de souhaiter un bouleversement dans les manières de travailler.

Néanmoins, une nouvelle approche pourrait être bénéfique à plusieurs niveaux, justement parce que les limites de la méthode actuelle sont bien connues. À l'heure d'une diversification des possibilités de diffusion du son spatial (5.1, 7.1, salles de cinéma, binauralisation, ambisonic et autres dispositifs à venir), le mixage dédié devient un sérieux handicap à la diffusion d'oeuvres novatrices. Faut-il alors envisager autant de mixages différents que de dispositifs ? C'est le cauchemar des producteurs, qui préféreront plutôt ne pas entendre parler de multicanal.

L'apparition de nouveaux outils d'optimisation de spatialisation, souvent complexes, pose quant à elle des problèmes croissants d'intégration aux installations classiques. C'est ce que nous avons constaté dans notre partie expérimentale où nous avons été confrontés à une installation fastidieuse à gérer et souffrant d'un manque évident d'optimisation. Même si l'idée est séduisante au niveau théorique, combiner des outils perfectionnés peut alors poser plus de problèmes qu'en résoudre.

Enfin, une nouvelle approche des paramètres de mixage peut être souhaitable dans certains cas. Manipuler une quantité importante de réglages décentralisés (panoramique, niveau, réverbération, timbre...) pour effectuer des spatialisations complexes est assez décourageant, surtout dans des flux de production rapides comme à Radio France. En mixage dédié, il est impossible de centraliser et d'instaurer une dépendance entre paramètres, ce qui rend l'intégration d'effets de spatialisation fastidieux, que la mise en oeuvre soit manuelle ou automatisée (doppler, modifications spectrales selon l'éloignement, etc.).

Il paraît donc judicieux d'envisager d'autres approches de mixage spatialisé, au moins à titre prospectif. Le domaine de la musique contemporaine étant longtemps resté détaché des productions audiovisuelles classiques tout en donnant une place de choix au son spatial, c'est sans surprise que nous y trouverons très probablement des perspectives utiles à nos travaux.

## 3.2 Un espace « absolu » au coeur du mixage

Les outils informatiques ont permis de repenser le travail du son avant même l'avènement généralisé des équipements audionumériques. Ces techniques sont maintenant largement intégrées à tous les étages de la production audiovisuelle, de la répartition du signal aux traitements et effets, mais sous une forme généralement verrouillée pour l'utilisateur. Par contre, des outils ouverts tels que Max/MSP et PureData offrent une nouvelle liberté de conception et donc des possibilités d'expérimentation inédites. C'est sur cette base et en nous inspirant de quelques exemples connus que nous allons ici proposer une façon d'aborder le mixage apportant des réponses à notre problématique.

### 3.2.1 Une approche ouverte des outils de traitement du son

#### Les logiciels

La révolution audionumérique a permis en premier lieu la mise au point de nombreux outils professionnels d'une nouvelle génération. Dans un même temps, grâce à la généralisation de la micro-informatique et à l'augmentation conséquente des capacités de calcul, l'innovation a quitté le milieu des équipementiers audio pour rejoindre l'ordinateur de n'importe quel passionné de son ou d'informatique. En effet, les logiciels de programmation modulaire de traitement audio combinent une manipulation simple des fondamentaux du traitement du signal à un environnement modulaire souple, permettant ainsi d'aborder les concepts du mixage de manière totalement ouverte.

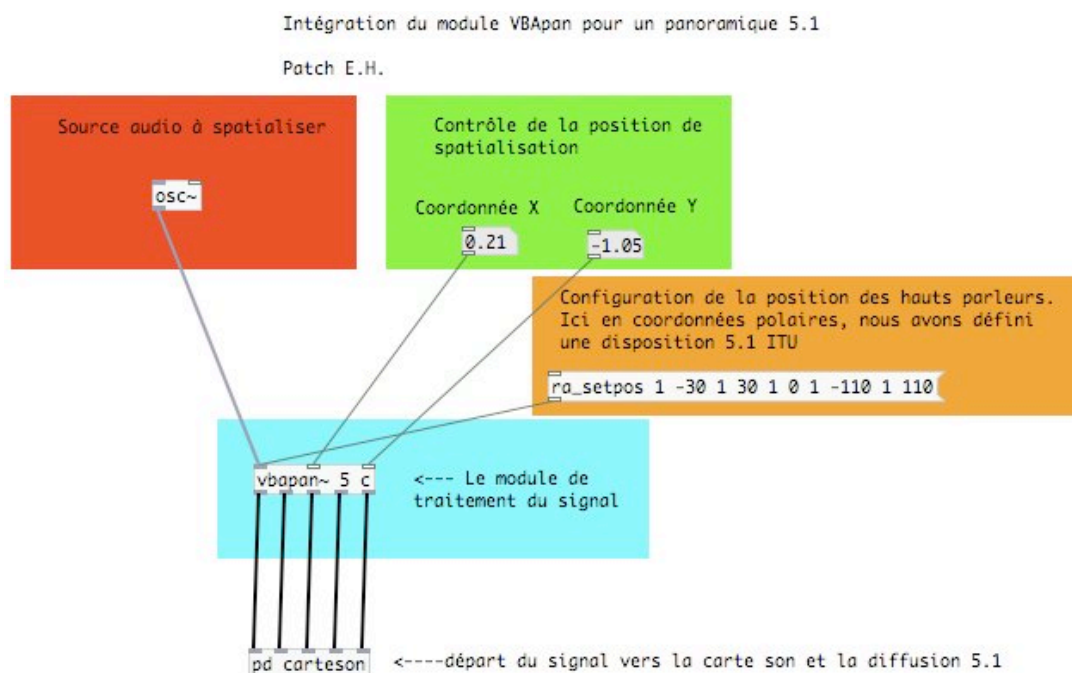
Max/MSP et PureData sont les plus utilisés et les plus célèbres, versions respectivement propriétaire et libre de la base Max développée à l'IRCAM à la fin des années 80<sup>1</sup>. Lors de nos précédentes expérimentations, nous avons utilisé Plogue qui propose un fonctionnement de plus haut niveau à partir des mêmes principes.

#### L'exemple du panoramique

La spatialisation grâce aux modules de traitement panoramique Vbapan et Ambipan fournit un très bon exemple de la différence conceptuelle de

---

1. Informations sur Max/MSP : <http://www.cycling74.com/products/max5>. Informations et téléchargement de PureData : <http://puredata.info/>.

FIGURE 3.2: Présentation du module *Vbapan* sous PureData.

cette approche. Programmés dans le cadre d'un projet au Centre de recherche Informatique et Création Musicale (CICM) de l'Université Paris VIII, ces deux outils utilisables sous Max/MSP et PureData<sup>2</sup> permettent de spatialiser des sources sonores en temps réel sur une disposition quelconque de hauts-parleurs, selon les algorithmes de VBA ou d'ambisonic de premier ordre [BC05]. Dans le logiciel, ils se présentent sous la forme d'une boîte régie par des signaux d'entrée/sortie et plusieurs paramètres [fig 3.2].

Rien dans le fonctionnement ne diffère à première vue d'un panoramique d'intégration classique : on retrouve en entrée le signal et les coordonnées de position, et en sortie la répartition du signal selon les canaux. La différence majeure se situe en fait au niveau du contrôle des données. Rien n'empêche de créer un module d'automation enregistrant une trajectoire quelconque de la source en amont du module de spatialisation. Il est alors possible de retirer le module de traitement du signal tout en conservant les données de contrôle, et de le remplacer par un autre type de module de spatialisation.

Cette indépendance entre les données de contrôle et la réalisation effective du traitement du signal nous amène à penser la spatialisation non plus

2. Et téléchargeables gratuitement sur <http://cicm.mshparisnord.org/dl/index.html>.

comme *dédiée* à un dispositif, mais *absolue* dans le sens où *les coordonnées enregistrées en amont décrivent une position spatiale ayant une réalité, même sans traduction effective en signal sonore*. Plus encore, ces données peuvent être utilisées pour contrôler n'importe quel autre paramètre du dispositif de mixage.

En contrôlant indépendamment les données de spatialisation, la manipulation du champ sonore par le mixeur se déplace du niveau de la reproduction au niveau de la représentation intermédiaire du champ sonore définie en début de chapitre. On rejoint ainsi le concept énoncé par Jérôme Daniel mais même si l'idée est similaire, il y a une différence formelle avec le HOA. Avec l'approche de « panoramique ouvert » que nous venons d'énoncer, la représentation intermédiaire est concrètement constituée des signaux audio originaux associés à leurs coordonnées de spatialisation. Avec l'approche HOA, la représentation intermédiaire se retrouve sous la forme des composantes spatiales du HOA encodant totalement le champ acoustique.

### Quelques exemples

Cette approche de la spatialisation a déjà été abordée en profondeur à l'aide d'outils développés principalement pour la musique contemporaine et la création électroacoustique. Le module Spat de l'IRCAM en est l'exemple le plus abouti. Il s'agit d'un outil de spatialisation évolué programmé sous Max/MSP et intégrant sous forme modulaire un nombre conséquent de paramètres : « *azimut et élévation, chaleur et brillance, présence/proximité de la source, présence de la salle, réverbération précoce et tardive, enveloppement, lourdeur et vivacité* »<sup>3</sup>. Le CubeMixer de l'institut IEM à Graz est un autre exemple, plus spécialement dédié au traitement ambisonic, programmé sous PureData et libre d'accès<sup>4</sup>. La philosophie sous-jacente à ce type de travaux étant souvent l'échange libre des innovations, on trouve sur internet beaucoup d'autres programmes du même genre, plus ou moins complexes.

Dans un autre domaine, il faudra aussi citer l'utilisation du son spatialisé dans les jeux-vidéos. Les programmeurs travaillent en général à l'aide d'un « moteur sonore » interactif qui place les sources dans l'espace, en fonction de la position de l'avatar du joueur dans son monde virtuel. Selon le type de diffusion disponible (stéréo, quadriphonie, 5.1, 7.1, binaural), le moteur sonore spatialise le son en temps réel en utilisant l'algorithme adapté [GP07]. Il y a donc là aussi notion d'un espace sonore absolu, interprété ensuite pour un dispositif de diffusion.

3. D'après la présentation officielle, <http://forumnet.ircam.fr/692.html>.

4. Téléchargement gratuit : <http://ambisonics.iem.at/xchange/products/cubemixer>.



### Schématisation de l'approche

En se limitant au domaine du mixage de fictions sonores, il est possible de proposer une schématisation de la représentation absolue de l'espace [fig 3.3].

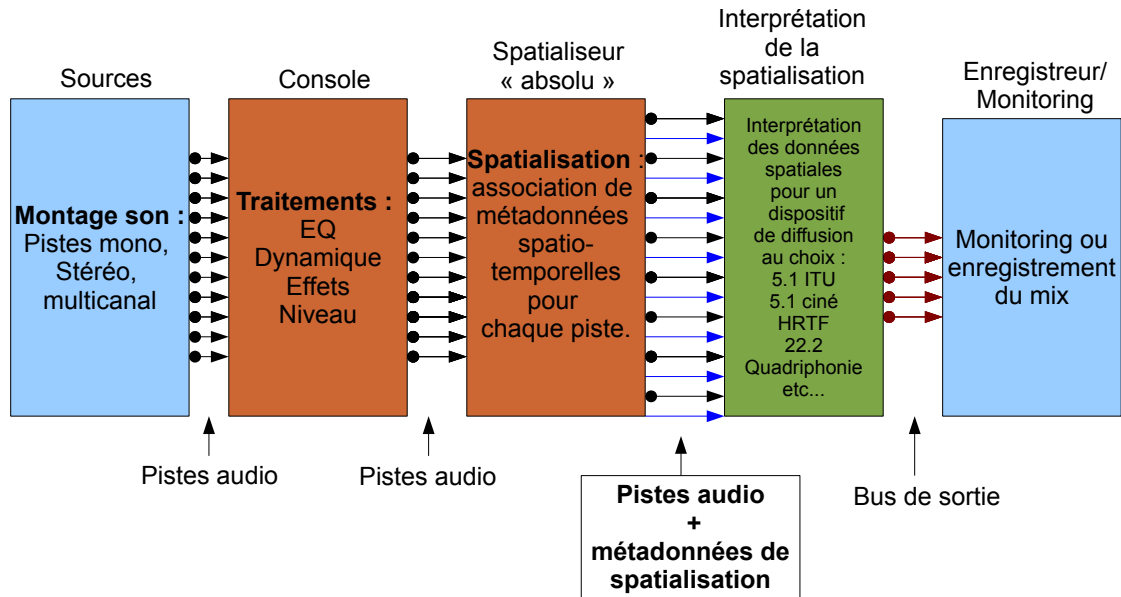


FIGURE 3.3: *L'approche absolue de la spatialisation au mixage.*

On distingue alors deux modules successifs dans la spatialisation : le placement absolu de sources à l'aide d'une interface utilisateur, et l'interprétation de cette spatialisation pour un dispositif précis par un module de traitement du signal complexe, que nous allons abusivement appeler module de *mastering spatial*.

Cependant, les outils que nous avons présentés ci dessus ne sont pas directement adaptés au mixage audiovisuel. Nous allons donc maintenant développer une intégration possible de ces procédés à une méthodologie de travail adaptée à la fiction sonore.

#### 3.2.2 Intégration au mixage audiovisuel

Comme nous l'avons constaté lors de nos expérimentations, il est tout à fait possible d'utiliser les outils de spatialisation en temps réel décrits en deuxième partie de travail comme extension d'une installation de mixage

classique. Mais c'est en imaginant un dispositif entièrement construit sur ce principe que l'on peut mesurer la portée possible de telles innovations.

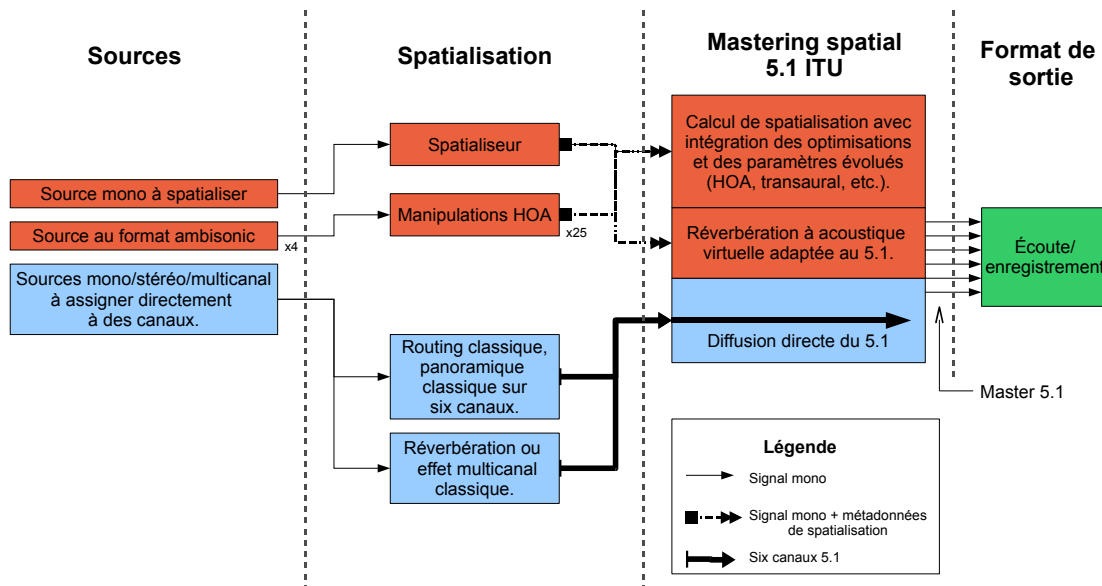
### Cahier des charges

Il sera pour cela nécessaire de prendre en compte des contraintes spécifiques à la création radiophonique. Nous travaillons ici sur la fiction sonore en 5.1, et c'est dans le respect de ce qui se fait déjà que nous souhaitons aller plus loin. Il sera donc indispensable que le dispositif permette un accès direct et simple à toutes les méthodes de création utilisées jusqu'ici (prise de son stéréophonique et multicanal, utilisation des canaux en tant que sources indépendantes, compatibilité avec tous les équipements et effets existants), tout en permettant des innovations sur d'autres points (moteur de spatialisation évolué, acoustique virtuelle, paramètres de contrôle dépendants). Il faudra ensuite que le dispositif soit souple et évolutif dans le but d'intégrer facilement des innovations donnant tout l'intérêt à cette démarche. Enfin, il est souhaitable que des procédés d'adaptation optimale du mixage à des supports de diffusion secondaires tels que la spatialisation binaurale ou la diffusion en salles soient faciles à mettre en oeuvre.

### Proposition

En respectant ces critères, il semble possible de proposer un dispositif mixte combinant avantageusement anciennes et nouvelles possibilités de création, à condition que l'environnement d'ingénierie soit assez souple, ce qui est le cas pour les logiciels cités ci-dessus. Nous arrivons donc à une proposition constituée de deux modules principaux : un étage de contrôle spatial des sources par l'utilisateur, suivi d'un étage d'interprétation de la spatialisation pour le dispositif [fig 3.4].

Ainsi, l'utilisateur peut choisir entre accéder directement aux canaux de diffusion du 5.1 selon les procédés classiques pour utiliser par exemple une ambiance multicanal, ou utiliser le contrôle de spatialisation évolué pour manipuler l'espace de manière optimisée selon les principes étudiés précédemment. Dans ce cas, le module de spatialisation est programmé pour combiner de manière optimale tous les traitements spatiaux imaginables qui serviraient à améliorer le rendu : traitement transaural mixte, algorithmes HOA optimisés, première réflexions calculées par acoustique virtuelle, effet doppler, atténuation fréquentielle, etc. Tous ces paramètres seraient regroupés sous une seule interface offrant à la fois des préconfigurations optimales et une gestion souple de tous les paramètres. Il est aussi possible

FIGURE 3.4: *Synoptique de principe d'un mixage par « mastering spatial ».*

d'intégrer directement une prise en charge optimisée des prises de son au format ambisonic.

L'avantage majeur est que l'étage de « mastering spatial » est interchangeable. On peut imaginer deux programmes différents, l'un optimisant le contenu de la spatialisation pour le 5.1 ITU et l'autre pour le 5.1 cinéma. Selon la même idée, un « mastering spatial » du même mixage pour une diffusion binaurale est aussi possible de manière optimisée, et ce sans aucune modification du mixage original [fig 3.5].

La structure proposée réalise en effet plus qu'une conversion binaurale par simulation de cinq hauts-parleurs virtuels<sup>5</sup> puisque le contenu spatialisé sera directement traduit en incidences réelles par traitement HRTF. Cette adaptabilité au dispositif de diffusion est un atout majeur du dispositif, mais pas le seul.

5. En se contentant de spatialiser les cinq points de diffusion du 5.1 dans l'espace HRTF [Dan01, 123].

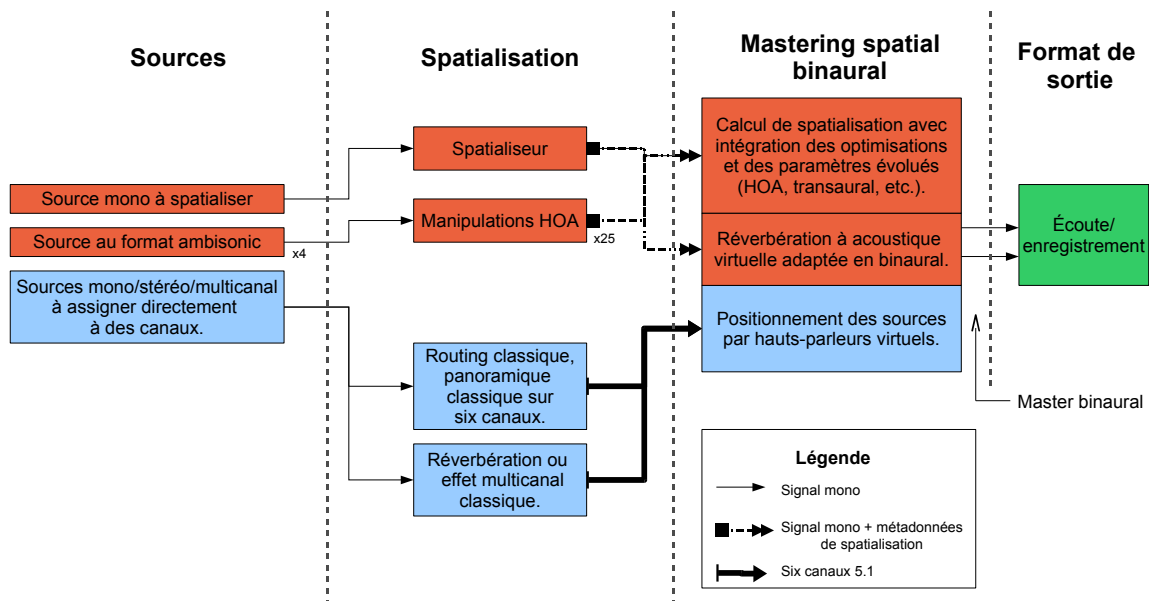


FIGURE 3.5: *Synoptique de principe d'une adaptation binaurale du même mixage.*

### 3.2.3 Avantages et inconvénients

#### Ouvertures

L'idée d'avoir un contenu sonore adaptable au dispositif de diffusion est l'objectif principal de cette proposition. Cette adaptabilité est néanmoins imparfaite, en comparaison d'un contenu encodé en ambisonic, mais ceci pour permettre une plus grande souplesse de création et de manipulation lors du processus créatif. Elle dépend en fait totalement des modules de « mastering spatial ». Il faudra toujours choisir un dispositif de mixage principal sur lequel on travaillera, et ensuite profiter des adaptations possibles à d'autres dispositifs en acceptant certains compromis. Prenons l'exemple d'un mixage 5.1. On pourra toujours par la suite le « masteriser spatialement » pour des dispositifs plus performants comme le 6.1 ou le 7.1, ce qui apportera une amélioration notable de tout ce qui relève du module de spatialisation artificielle complexe.

De même, on pourra tenter un mastering spatial optimisé pour une diffusion en salle de cinéma, prenant en compte les problèmes de délais et de caractère diffus de l'arrière, mais ce ne sera pas pour autant un vrai mixage de diffusion cinéma. Le cas de l'adaptation binaurale est le plus intéressant, combinant avantageusement la technique des hauts-parleurs virtuels et le

traitement binaural pur de la spatialisation.

L'intégration totale des optimisations de spatialisation sous forme de module unique permet aussi une réelle mise en valeur des outils que nous avons testés dans la partie précédente. Il sera alors possible de les combiner tout en conservant une simplicité d'utilisation grâce au regroupement des traitements en un seul module de traitement. Dans le cas d'une intégration automatique des optimisations HOA en combinaison à des optimisations de transaural mixte, le mixeur pourra spatialiser des sources à volonté avec une grande efficacité sans se préoccuper des détails de réglage tant que le résultat sera satisfaisant. Il est aussi possible d'imaginer l'intégration modulaire d'autres optimisations comme un effet doppler, un filtrage spectral dépendant de la distance ou une acoustique virtuelle, comme c'est le cas dans Spat. Par la suite, de nouvelles méthodes d'optimisation encore non envisagées auront toujours leur place, il suffira alors de mettre à jour le module de « mastering sonore ».

### Une rupture

On disposerait alors d'un outil de spatialisation performant et évolutif mais nécessitant une approche nouvelle dans la méthodologie de travail du son. L'interface homme/machine de l'installation de mixage serait peut être à repenser si l'on souhaite bénéficier au mieux des nouvelles possibilités [BC08]. Ce serait une occasion de se couper de l'approche historique du mixage qui n'est pas systématiquement la mieux adaptée à la manipulation de l'espace.

C'est cette rupture qui risque de freiner le développement de telles innovations. La technicité et l'informatisation accrues de l'installation risquent de rebuter nombre de professionnels, même si l'interface est bien pensée et l'ergonomie agréable, et que les fonctionnalités antérieures sont toutes conservées. Il est par contre possible en y mettant les efforts et le temps nécessaire de développer un prototype fonctionnel à peu de frais.

## 3.3 Proposition d'un prototype

Une intégration commerciale complète d'un tel dispositif paraît peu probable vu le poids commercial du domaine d'activité, réduit à la musique contemporaine et à la création sonore. Par contre, la philosophie du logiciel libre permet d'envisager la réalisation de prototypes à peu de frais.

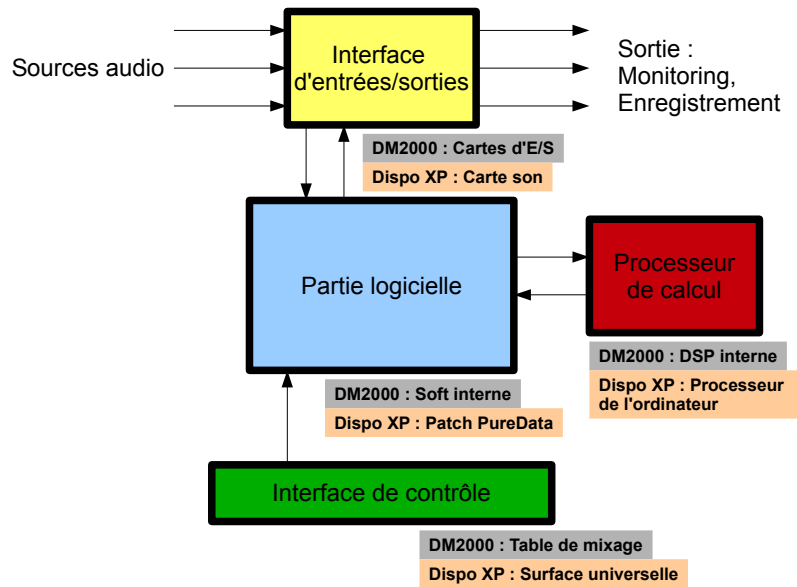


FIGURE 3.6: Schématisation d'un dispositif de mixage.

### 3.3.1 Un dispositif expérimental grâce au logiciel libre

#### Approche logistique

Une interface de mixage audionumérique peut grossièrement se schématiser sous la forme d'une interface d'entrées/sorties des signaux, d'un processeur de calcul, d'une partie logicielle gérant la relation entre les signaux et d'une interface de contrôle pour interagir avec le dispositif [fig 3.6].

Les besoins matériels nécessaires à un dispositif expérimental sont donc aujourd'hui relativement réduits. Un ordinateur servirait de processeur de calcul, la partie logicielle serait hébergée sur cet ordinateur par le logiciel PureData, une carte son servirait d'interface d'entrées/sorties et le tout serait manipulé par une surface de contrôle universelle.

Le « seul » travail à faire serait donc de développer la partie logicielle. Il pourrait paraître inconcevable de vouloir reconstituer une interface de mixage complète en programmation modulaire, mais le CubeMixer de l'IEM de Gratz en est un exemple parmi d'autres [fig 3.6].



FIGURE 3.7: *Le CubeMixer de l'IEM, interfaces matérielle et logicielle.*

## Application

Il n'est donc pas irréaliste d'envisager le développement concret d'une interface de mixage sur le modèle présenté au paragraphe précédent. La mise en place de l'architecture même du dispositif n'est pas compliquée en soi. Par contre l'intégration d'optimisations comme le HOA, le transaural ou les banques de filtres binauraux nécessiterait un accès libre aux technologies utilisées, ce qui n'est le cas que dans une certaine mesure. Enfin, la problématique principale est celle de l'optimisation des processus calculatoires. Il s'agit de programmation informatique, ce qui rend la tâche insurmontable ou passionnante selon le point de vue.

La conceptualisation de nouvelles méthodes de travail trouve donc une ouverture bienvenue grâce à l'informatique libre et communautaire, qui va à l'encontre du côté propriétaire et fermé tant décrié par la communauté des techniciens son lors du passage à l'audio numérique. Et une telle approche ne serait pas pour déplaire aux bidouilleurs de l'analogique des débuts, qui pourront au moins saluer un retour à la philosophie du « fais le toi même » à défaut de plonger eux mêmes dans les arcanes de l'informatique.

### 3.3.2 Méthodologie de mixage

Une fois un tel dispositif de mixage sous la main, il s'agirait de l'utiliser de manière optimale pour en tirer profit à la production. Nous allons pour ceci imaginer l'exemple d'une scène sonore simple dans laquelle on souhaiterait combiner plusieurs techniques de création en multicanal.

#### Le mixage principal

Il s'agit en premier lieu de définir pour quel type de dispositif l'on souhaite mixer. Dans le cas présent, nous souhaitons réaliser une scène sonore en multicanal 5.1 ITU, et si possible en avoir une version binaurale et une version à diffuser en salle de cinéma pour nous assurer d'un réel succès auprès du public. Nous allons donc commencer par effectuer notre mixage dans les conditions classiques de la disposition 5.1 ITU. Dans le logiciel de mixage, nous sélectionnons le module de « mastering spatial » correspondant au 5.1 et intégrant de nombreuses optimisations destinées à corriger les défauts d'homogénéité du dispositif.

Nous disposons dans un premier temps d'une ambiance de parc urbain enregistrée en quadraphonie à l'aide d'une croix IRT. Nous utilisons des pistes classiques permettant un accès direct aux canaux, et assignons chacune des quatre pistes aux canaux L, R, Ls et Rs correspondants.

Nous souhaitons ensuite utiliser des prises de son de tournage mettant en scène une discussion animée entre trois protagonistes : un couple se disputant et une personne tierce cherchant à les calmer. Cette prise de son a été effectuée en ambisonic de premier ordre et encodée au format B, le couple belliqueux étant positionné en face et le troisième protagoniste à l'arrière droite, mais le technicien a malheureusement « oublié » de repérer l'orientation du dispositif. Nous préparons donc une piste ambisonic, la configurons en format B et utilisons les modules de rotation du champ sonore pour placer la dispute à l'avant et la troisième personne à l'arrière. Cette piste sera ensuite traitée par le module de spatialisation, et le décodage intégrera des algorithmes optimisés pour le 5.1 ITU.

La scène n'étant pas assez tendue, nous voulons maintenant y intégrer un caniche énervé qui s'excite autour des protagonistes. Ayant déniché le caniche le plus vindicatif de notre sonothèque, nous le plaçons sur une piste monophonique dédiée à la mise en espace évoluée. Grâce à l'interface de spatialisation à l'ergonomie adaptée, et à toutes les optimisations présentes dans le module de « mastering spatial », nous pouvons faire courir le caniche de manière réaliste entre la dispute à l'avant et le personnage à l'arrière en passant parfois très près de l'auditeur et en s'éloignant parfois très loin, ce



qui bien sûr aura pour but de faire monter un peu plus la tension dramatique.

Enfin, la scène sonore va se terminer et une voix off est censée asséner une morale à ce conte moderne. Nous voulons lui donner un caractère de supériorité par rapport au ridicule de la scène et souhaitons utiliser à cet effet la divergence des panoramiques classiques. Pour ce faire, nous utilisons une piste monophonique et choisissons d'utiliser une loi de panoramique standard avec accès direct aux canaux de diffusion. Enfin, n'ayant pas trouvé mieux, nous concluons sur une musique de générique honteusement récupérée d'une vieille miniK7, diffusée sur la stéréophonie avant du 5.1, mais augmentée d'une réverbération à convolution quadraphonique alimentant elle aussi directement les canaux du dispositif.

### **Adaptation binaurale**

Fier de notre travail, nous décidons d'enregistrer le mixage multipiste dédié au 5.1 domestique et de le soumettre à Radio France en tant qu'oeuvre promotionnelle de la future radio numérique en multicanal. Puis, souhaitant en faire profiter nos amis et parents qui ne sont pas équipés de diffusion 5.1 chez eux, nous pensons à une adaptation binaurale qui leur permettrait d'en profiter sur le casque de leur baladeur. Nous sauvegardons alors le projet de mixage 5.1, et sélectionnons le module de mastering spatial binaural à la place du module 5.1 ITU.

L'ambiance quadraphonique, la voix off et la musique stéréo sont alors converties sur des points de diffusion virtuels correspondant aux hauts-parleurs. La prise de son ambisonic et la spatialisation du caniche sont par contre entièrement recalculées pour être optimisées en encodage HRTF direct. Quant à la réverbération à convolution, on a eu la chance de choisir une réponse impulsionnelle dont le relevé a aussi été fait avec une tête artificielle. Cet algorithme remplace alors automatiquement le précédent.

Il ne nous reste plus qu'à qu'à prendre un casque et vérifier le résultat avant d'enregistrer le mixage binaural. Le rendu ne vaut pas une diffusion en 5.1, principalement parce que le champ sonore est complètement figé autour de notre tête, mais l'impression spatiale reste à la hauteur et l'intention originale de spatialisation est fidèlement reproduite.

### **Le succès**

Trois mois plus tard, le responsable d'un festival radiophonique nous contacte après avoir entendu parler de notre réalisation car il souhaite faire découvrir la création multicanal à son public. Malheureusement, le festival

a lieu dans une salle de cinéma, et nous savons parfaitement que l'oeuvre sera restituée de manière très infidèle sur une telle installation. Le caniche ne va t'il pas prodigieusement se mettre à effectuer des bonds de 20m ?

Nous décidons alors d'utiliser le module de mastering spatial adapté à une diffusion 5.1 cinéma typique. En utilisant le projet de mixage que nous avons soigneusement archivé, nous en enregistrons une troisième version dans notre home studio sans pouvoir en écouter le résultat : nous savons juste que les positions de hauts-parleurs et les critères de décodage spatial sont réglés pour une diffusion cohérente en salle de cinéma.

Le jour de la diffusion au festival, nous demandons à pouvoir venir une heure en avance pour écouter la différence entre nos deux mixages dans la salle en question. La version 5.1 ITU pose de gros problèmes de cohérence de l'espace et le caniche effectue des bonds de 30m dans son déplacement. La version 5.1 cinéma quant à elle est loin d'être parfaite : le déplacement du chien est beaucoup moins précis, et la définition de la scène est plus floue. Par contre, les problèmes d'aberrations de mouvement sont largement atténués. Il n'y a aucun doute : le jury sera moins sensible à une scène un peu floue qu'à un caniche sauterelle. Et effectivement, nous nous voyons décerner le prix du meilleur espoir au festival international de la fiction sonore canine.

#### Note

Cette digression a pour seul but de donner un aperçu des possibilités méthodologiques relatives aux techniques d'optimisation de diffusion en multicanal. Il va sans dire que nous n'avons pas du tout eu l'occasion de réaliser de telles expériences, mais que notre travail nous a conduit à imaginer cette situation comme étant possible à court terme.

## Conclusion du troisième chapitre

Il apparaît donc que si les méthodes classiques de mixage sont éprouvées et maîtrisées, il n'est pas forcément inutile d'imaginer d'autres façon d'aborder ce travail. Le concept de représentation intermédiaire du champ sonore nous a amené à nous questionner sur les outils disponibles et l'utilisation que nous en faisons. Ces derniers se révélant parfois être limitants, il semble raisonnable d'en espérer de nouveaux qui constitueraient un vecteur parmi d'autres de la démocratisation de la fiction sonore spatialisée.

Il paraît néanmoins peu raisonnable d'espérer voir à court terme des innovations conceptuelles profondes provenir du marché audio professionnel. Par contre, le logiciel libre et modulaire offre une solution alternative probablement viable, à la condition d'y investir l'énergie nécessaire pour mener à terme un projet d'une ampleur conséquente.

## Conclusion générale

Cette étude nous a conduit à aborder une quantité conséquente de domaines différents dans le but de relier tous les éléments qui permettraient un réel développement de la fiction sonore en multicanal. Les observations menées laissent en effet penser que de nombreux freins existant auparavant ne sont plus un problème aujourd'hui, la situation du Hörspiel en Allemagne permettant de le prouver par l'exemple.

L'impossibilité d'une diffusion large est en effet sur le point d'être dépassée grâce à la radio numérique terrestre d'une part et à internet de l'autre. Le public, bien que restreint, n'est pas inexistant et seule une amorce manque pour entraîner une dynamique nouvelle. Un contexte général favorisant l'initiative, l'audace et l'expérimentation est néanmoins requis pour espérer obtenir un intérêt concret de sa part.

Le dispositif de diffusion lui-même est en phase finale de démocratisation dans tous les media audiovisuels, toutefois relative auprès du public car conditionnée d'une part par un élitisme technologique et d'autre part par l'intérêt des contenus disponibles. Pourtant, n'oublions pas que c'est le propre de la technologie que de passer d'une phase élitiste à une phase d'accès généralisé, à partir du moment où le contenu déborde sur la seule technique.

Quant aux problèmes spécifiques du dispositif auxquels l'ingénieur du son est confronté, ils trouvent aujourd'hui des solutions restant pour l'instant confinées à un stade expérimental, et relativement complexes à mettre en place. Leur accessibilité n'est qu'une question de temps et c'est en faisant valoir un intérêt réel pour ces outils qu'ils pourraient être rendus disponibles dans un futur très proche. Mais avant même les progrès technologiques, c'est la connaissance approfondie du dispositif et des méthodes de création qui importent et cette connaissance ne peut se développer que par l'expérience prolongée et l'échange de savoirs entre pionniers. À nouveau, c'est une dynamique générale qui devrait se mettre en place pour entraîner une augmentation du nombre de personnes s'intéressant à cette nouveauté.

Nous avons enfin vu que tout est possible en ce qui concerne les ou-

tils de travail et que moyennant un effort de conception considérable, il est tout à fait possible d'offrir à l'ingénieur du son des moyens facilitant grandement son travail et donnant ainsi une impulsion supplémentaire à ce champ créatif. L'approche libre et ouverte des méthodes de conception en traitements audio sont à la base de ces possibilités.

Finalement, le développement de la création sonore spatialisée n'est peut-être plus qu'une question de temps, les outils étant disponibles et les conditions réunies pour permettre de s'y intéresser sérieusement. Seul manque un point de départ qui pourrait amorcer un questionnement et des expérimentations, menant alors elles mêmes à de nouvelles compétences et de nouveaux outils facilitant l'accès à cette création.

Et l'on pourra enfin oublier toute la technologie pour se consacrer à l'exploration d'un niveau supérieur dans la manipulation de la réalité et du rêve, en amenant l'auditeur à réfléchir sur ce qui l'entoure et ce qu'il perçoit du monde et de lui même.

# Table des figures

1.1	Public du festival Hörspielsommer, Leipzig, Allemagne, 2006. . .	8
1.2	Schéma de principe de la diffusion en MPEG Surround. . . . .	13
1.3	Carte du monde de la diffusion RNT en Mai 2009. . . . .	15
2.1	Arrivée des réflexions dans un milieu réverbérant. . . . .	29
2.2	Le niveau d'inhibition d'une première réflexion. . . . .	29
2.3	Différence de parcours due à l'incidence de la source. . . . .	30
2.4	HRTFs de l'oreille gauche . . . . .	32
2.5	Disposition 5.1 cinéma . . . . .	35
2.6	Disposition 5.1 ITU . . . . .	36
2.7	Propositions de placement en hexaphonie régulière. . . . .	37
2.8	Qualité de localisation quadraphonique. . . . .	40
2.9	Répartition de l'énergie selon la divergence. . . . .	48
2.10	Annulation des trajets croisés par traitement transaural. . . . .	56
2.11	L'intégration du plugin dans Pro Tools 7. . . . .	58
2.12	Décomposition en harmoniques sphériques. . . . .	61
2.13	Différentes méthodes de décodage ambisonic . . . . .	62
2.14	Implantation des plugins HOA dans Plogue. . . . .	64
2.15	Synoptique de l'installation de tests. . . . .	71
2.16	Les zones rouges de la latéralisation. . . . .	76
3.1	L'approche dédiée du mixage. . . . .	85
3.2	Présentation du module Vbapan sous PureData. . . . .	88
3.3	L'approche absolue de la spatialisation au mixage. . . . .	90
3.4	Synoptique de principe d'un mixage par « mastering spatial ». .	92
3.5	Adaptation binaurale. . . . .	93
3.6	Schématisation d'un dispositif de mixage. . . . .	95
3.7	Le CubeMixer de l'IEM, interfaces matérielle et logicielle. . . .	96

# Auteurs des figures

fig 1.1	<a href="http://hoerspielsommer.tamotua-red.de/">http://hoerspielsommer.tamotua-red.de/</a>
fig 1.2	<a href="http://www.codingtechnologies.com/">http://www.codingtechnologies.com/</a>
fig 1.3	<a href="http://www.worldddab.org/">http://www.worldddab.org/</a>
fig 2.1	[Rum01]
fig 2.2	[Rum01]
fig 2.3	[Rum01]
fig 2.4	[Bla72]
fig 2.5	[Rum01]
fig 2.6	[Hol08]
fig 2.7	[Dan01]
fig 2.8	[Hol08]
fig 2.9	E.H.
fig 2.10	Alexis Baskind, présentation du transaural mixte.
fig 2.11	E.H.
fig 2.12	<a href="http://www.trinnov-audio.com/news-fr.php">http://www.trinnov-audio.com/news-fr.php</a>
fig 2.13	[Dan01]
fig 2.14	E.H.
fig 2.15	E.H.
fig 2.16	E.H.
fig 3.1	E.H.
fig 3.2	E.H.
fig 3.3	E.H.
fig 3.4	E.H.
fig 3.5	E.H.
fig 3.6	E.H.
fig 3.7	<a href="http://iem.at/">http://iem.at/</a>

# Bibliographie

- [BC05] Régis BEGUIN et Benoît COURRIBET : Outils de panoramisation pour l'environnement 5.1 dans max/msp. *Actes des douzièmes Journées d'Informatique Musicale, AFIM/CICM-Paris8/MSH Paris Nord, Paris*, 2005.
- [BC08] Antoine BERTIN et François CLOS : La technologie multipoint tactile dans l'environnement audio professionnel. Mémoire de D.E.A., ENSLL, 2008.
- [Bla72] Jens BLAUERT : *Spatial Hearing*. Massachussets Institute of Technology Press, 1997[1972].
- [Bom08] Pierre BOMPY : Contrôle au casque d'une prise de son multicanale. Mémoire de D.E.A., ENSLL, 2008.
- [Bru99] Jean-Baptiste BRUNHES : Monophonie dirigée pour le mixage musique en multicanal. Mémoire de D.E.A., ENSLL, 1999.
- [Cay03] Romain CAYLA : Histoire de la production de la fiction radio en france. Mémoire de D.E.A., ENSATT, 2003.
- [Cha97] Jacques CHARDONNIER : Écriture radiophonique et évolution des techniques. *Clermont-Ferrand : CRLMC*, Actes du colloque Ecritures radiophoniques 14-16 novembre 1996, 1997.
- [CL99] Knud Bank CHRISTENSEN et Thomas LUND : Room simulation for multichannel film and music. Rapport technique, TC Electronic, 1999.
- [Dan01] Jérôme DANIEL : *Représentation de champs acoustiques, application à la transmission et à la reproduction de scènes sonores complexes dans un contexte multimédia*. Thèse de doctorat, Université Paris VI, 2001.
- [Deh26] Paul DEHARME : *Proposition d'un art radiophonique*. NRF, Paris, 1926.



- [Del03] Antoine DELHORME : La sensation d'enveloppement sonore selon les stratégies de production musicale en multicanal. Mémoire de D.E.A., ENSLL, 2003.
- [Dû99] Guillaume Le Dû : Conception de systèmes de prise de son multicanaux. Mémoire de D.E.A., ENSLL, 1999.
- [Gam05] Johanna GAMPE : Hörspiel als raumklang (la fiction sonore en son spatialisé). Mémoire de D.E.A., Hochschule der Medien, Fachhochschule Stuttgart, 2005.
- [GP07] Germain GÉNY et Damien POUSSE : Études des convergences méthodologiques et esthétiques entre la conception sonore des jeux et du cinéma. Mémoire de D.E.A., ENSLL, 2007.
- [Hol08] Tomlinson HOLMAN : *Surround sound (second edition)*. Elsevier, Oxford, 2008.
- [L'H07] Jean-Marc L'HOTEL : La captation de son multicanal. Rapport technique, Tapages, 2007.
- [Mau07] Benjamin MAUMUS : Compte rendu du 10ème forum international du son multicanal (fism). [www.plateforme-virage.org](http://www.plateforme-virage.org), 2007.
- [Por99] Jean-Marie PORCHET : Projet pour le multicanal à radio france. Archives de monsieur claud norek versement n° 20090130 art. 127. archives nationales - site de fontainebleau, Radio France, 1999.
- [Pro07] Markus PROSCH : Dab+, the additional audio codec in dab. Rapport technique, WorldDMB Forum Project, <http://www.worlddab.org/>, 2007.
- [Rum01] Francis RUMSEY : *Spatial audio*. Focal Press, Oxford, 2001.
- [Vin97] Christophe VINGTRIGNER : La diffusion multicanal au cinéma : nécessité d'une écriture visuelle et sonore adaptée. Mémoire de D.E.A., ENSLL, 1997.

# Annexe 1 : Index des exemples audio ([ex.audio n°xx])

Ici sont données les indications nécessaires à l'écoute des exemples audios dont il est question tout au long du travail. Chaque exemple correspond selon le référencement ci-dessous à un ou plusieurs sons à écouter dans l'ordre indiqué. Si vous n'êtes pas en possession du CD accompagnant ce document, vous pouvez contacter l'auteur pour en obtenir un.

Il existe deux versions du CD d'exemples : un CD-ROM contenant les fichiers audios séparés pour les différents canaux du 5.1, et un CD-DTS, encodé au format DTS et lisible sur une platine DVD ou un ordinateur. Référez vous aux instructions concernant celui que vous avez en votre possession.

**S'il s'agit du CD-DTS**, différentes possibilités s'offrent à vous pour le lire. La majorité des lecteurs DVD le liront directement grâce au décodeur DTS intégré. Sur un ordinateur, le logiciel VLC media player le lira sans problèmes. Une simple platine CD dont la sortie numérique est reliée à un décodeur DTS permet aussi d'en décoder le contenu. Si un dispositif de diffusion 5.1 est correctement installé (pour lire des DVD par exemple), tout se passera pour le mieux. Si il n'y en a pas, le décodeur DTS effectuera un mixage automatique pour diffusion stéréo. Le CD-DTS se présente comme un CD classique : il s'agit d'une succession de pistes audio. Les numéros de piste correspondant à chaque exemple sont référencés ci-après.

**Si vous êtes en possession du CD-ROM**, les sons sont classés dans des dossiers nommés "exempleXX", et nommés de manière cohérente par rapport au contenu. Il faudra alors les importer dans un logiciel d'édition audio configuré sur une installation multicanale et les lire par ce biais.

[ex.audio n°1] : Comparaison d'une source centrée diffusée d'abord en tant que source fantôme à l'aide de la stéréophonie gauche/droite, puis en tant que source réelle sur le canal central.

*CD-DTS : pistes 1 : source fantôme*

*CD-DTS : pistes 2 : source réelle*

[ex.audio n°2] : Source placée à 80°, puis à 180° à l'aide d'un panoramique pair-wise.

*CD-DTS : pistes 3 : 80° Pair-wise*

*CD-DTS : pistes 4 : 180° Pair-wise*

[ex.audio n°3] : Voix réverbérée en multicanal à l'aide d'une combinaison de deux RI stéréo, puis d'une RI quadriphonique.

*CD-DTS : pistes 5 : Double stéréo*

*CD-DTS : pistes 6 : Quadriphonie réelle*

[ex.audio n°4] : Voix placée en face au centre avec une divergence successivement de 0%, 25%, 50% et 100%.

*CD-DTS : pistes 7 : Divergence 0%*

*CD-DTS : pistes 8 : Divergence 50%*

*CD-DTS : pistes 9 : Divergence 75%*

*CD-DTS : pistes 10 : Divergence 100%*

[ex.audio n°5] : Déplacement d'un personnage parlant dans l'espace multicanal.

*CD-DTS : pistes 11 : Déplacement avec positionnement HOA*

[ex.audio n°6] : Source placée à 60°, 80° et 150°, 180° à l'aide d'un panoramique pair-wise.

*CD-DTS : pistes 12 : 60° Pair-wise*

*CD-DTS : pistes 13 : 80° Pair-wise*

*CD-DTS : pistes 14 : 150° Pair-wise*

*CD-DTS : pistes 15 : 180° Pair-wise*

[ex.audio n°7] : Source placée à 180° à l'aide d'un panoramique pair-wise.

*CD-DTS : pistes 15 : 180° Pair-wise*

[ex.audio n°8] : Placement à 70° ou 80° de plusieurs types de sources à l'aide du pair-wise, puis du traitement transaural (voix, chien, église, oiseau).

*CD-DTS : pistes 16 : voix latérale en pair-wise*

*CD-DTS : pistes 17 : voix latérale en transaural*

*CD-DTS : pistes 18 : chien latéral en pair-wise*

*CD-DTS : pistes 19 : chien latéral en transaural*

*CD-DTS : pistes 20 : oiseau latéral en pair-wise*

*CD-DTS : pistes 21 : oiseau latéral en transaural*

*CD-DTS : pistes 22 : église latérale en pair-wise*

*CD-DTS : pistes 23 : église latérale en transaural*

[ex.audio n°9] : Passage d'un personnage parlant à proximité de l'auditeur, en panoramique classique avec divergence, puis dans divergence, puis à l'aide du spatialiseur HOA.

*CD-DTS : pistes 24 : passage panoramique classique*

*CD-DTS : pistes 25 : passage avec divergence*

*CD-DTS : pistes 26 : passage avec positionnement HOA*

[ex.audio n°10] : Même chose que N°9, mais pour un son de nature zénithale.

*CD-DTS : manquant*

[ex.audio n°11] : Mouvement circulaire régulier de bruits de pas, réalisé à l'aide d'un panoramique classique puis du panoramique HOA.

*CD-DTS : pistes 27 : Mouvement circulaire pair-wise*

*CD-DTS : pistes 28 : Mouvement circulaire HOA*

[ex.audio n°12] : Déplacement complexe d'un personnage parlant réalisé avec le panoramique HOA.

*CD-DTS : pistes 29 : Déplacement complexe en positionnement HOA*

*CD-DTS : pistes 30 : La cabane, fiction sonore en multicanal, 17 minutes*

*CD-DTS : pistes 31 : La cabane, fiction sonore, mixdown stéréo, 17 minutes*

## Annexe 2 : 23 Juin 1958 : la deuxième diffusion stéréophonique en France

Le 23 Juin 1958 , à 20h50, eut lieu la deuxième diffusion stéréophonique expérimentale française. Seulement, la transmission stéréophonique par les ondes n'existait pas encore. Est-ce une raison pour ne pas tenter l'expérience ? Sûrement pas à l'époque ! Mode d'emploi, et grand moment de rigolade. Il s'agissait d'une rediffusion de *Une larme du diable*, fiction sonore érotico-religieuse adaptée d'un texte inédit de Théophile Gautier par le Club d'Essai de la radio française. Voici ce qu'a pu entendre un auditeur allumant son poste à cette heure précise en ce jour précis :

*À lire avec une voix grave et enthousiaste de speaker radio des années 50.*

Mesdames, Mesdemoiselles, Messieurs. Dans quelques instants va débiter la seconde diffusion stéréophonique sur les antennes françaises de *Une larme du diable*. L'expérience proprement dite de diffusion stéréophonique va débiter dans quelques instants. Préalablement, quelques réglages pourtant simples sont à réaliser chez l'auditeur **déjà en possession de deux récepteurs**. C'est pourquoi nous allons vous donner quelques conseils indispensables pour écouter dans les meilleures conditions possibles la production stéréophonique qui pour la deuxième fois depuis 1950 va vous être transmise sur les antennes de Paris Inter et France Une. Vous aurez successivement à observer - premièrement un placement correct de vos deux récepteurs - deuxièmement le réglage exact du récepteur de gauche sur Paris Inter et du récepteur de droit sur France Une -troisièmement le réglage à la même intensité sonore de chacun des récepteurs - quatrièmement si possible le réglage à la même tonalité des deux appareils. Précisant tout de suite que cela est très simple comme

vous allez le voir et que nous allons, si vous le voulez bien, reprendre séparément et plus en détail chacun de ces points. Nous vous laisserons tout le temps nécessaire pour réaliser chacune des opérations en vous faisant entendre quelques exemples de physique amusante que permet le procédé de stéréophonie dirigée. Premièrement : comment placer correctement les récepteurs ? Disposez vos deux appareils de un mètre cinquante à deux mètres de vous.....

S'ensuivent d'interminables consignes de placement et de réglage, durant six minutes, entrecoupées de passages de chevaux de gauche à droite, de régiments de soldats et de symphonies pour s'assurer de la qualité des réglages....

Et maintenant merci pour la patience dont vous avez fait preuve. Nous nous permettons de vous signaler que vous disposez encore de toute la durée du générique de début donné comme toujours dans les grandes occasions par la voix de Jean Toscane pour parfaire ces réglages au cas où ceci vous semblerait nécessaire. la voix de Jean Toscane va vous parvenir du centre. Encore un dernier mot : l'émission que vous allez entendre est la première étape de ce procédé de stéréo dirigée. Nous avons cru bon de la rediffuser telle qu'elle a obtenu le prix Italia en 1951. Nous vous demandons simplement de songer que depuis huit ans, nos moyens techniques ont fait quelques progrès. Et maintenant, place au théâtre.....

Taddaaaaaaaaa ! Tada...

**Source :** *Une larme du diable*, archive en écoute à l'INA-thèque à la BNF.

## Annexe 3 : Compte rendu de la production d'une fiction sonore en multicanal

Tout au long de notre travail, nous avons parallèlement mené la réalisation d'une fiction sonore en 5.1 dans le but de confronter la progression de notre réflexion avec une application pratique en conditions réelles de production. **Ce travail a abouti à *La cabane*, une fiction sonore de 17 minutes, réalisée et produite uniquement pour le 5.1.** Il existe néanmoins une version stéréo, faite par mixdown automatique, et trahissant donc l'intention originale de réalisation.

La fiction se trouve à la fin du CD d'exemples audio, dans sa version originale puis dans sa conversion stéréo.

*CD-DTS : pistes 30 : La cabane, fiction sonore en multicanal, 17 minutes*

*CD-DTS : pistes 31 : La cabane, fiction sonore, mixdown stéréo, 17 minutes*

Nous détaillerons ici notre démarche de réalisation. En effet, ce travail s'est déroulé en parallèle au travail d'enquête, d'expérimentations et de rédaction ayant abouti à ce document. Etant donné le décalage temporel entre les deux démarches et le peu de temps disponible pour faire une synthèse, il ne figure aucune mention de la réalisation sonore dans la partie écrite du mémoire. Néanmoins, la volonté d'aboutir à une oeuvre de fiction sonore en 5.1 nous a paru une nécessité dès le départ. Le travail de réalisation a donc débuté par la recherche d'un texte au même moment où le travail d'enquête commençait. Tout au long de l'évolution du travail, les deux parties, écrite et réalisation sonore, se sont nourries l'une l'autre par des réflexions croisées apportant beaucoup à la cohérence du cheminement. Les découvertes et conclusions faites pour la partie écrite ont directement influencé l'évolution de la réalisation, et les développements successifs de la réalisations (rencontres, pré-production, production, finalisation) ont large-

ment nourri la partie "théorique".

Il est aussi fondamental de remarquer que cette étude constitue un cas unique parmi une infinité de possibilités d'utilisation du multicanal, et qu'il s'agit d'un exemple singulier et surtout pas d'une méthode générale. Notamment en ce qui concerne l'utilisation des outils d'optimisation, le résultat aurait pu être tout autre pour une réalisation différente.

Nous donnerons ici rapidement quelques détails sur les différentes phases du travail de production : choix d'un texte, choix de réalisation, prises de son, montage, mixage, conclusions pratiques sur l'utilisation du 5.1 et considérations sur la diffusion.

## Notre rôle dans la réalisation

Dès le départ, nous souhaitons nous positionner en tant que réalisateur artistique et technique, en travaillant en collaboration avec un auteur pour ce qui est du texte. La réalisation technique était bien sur notre rôle premier au vu de la problématique du travail. Mais nous avons aussi pris en charge la réalisation artistique car d'une part, l'imbrication étroite avec la technique nous a permis d'appréhender le problème de manière plus large, et d'autre part, nous souhaitons personnellement profiter de cette occasion pour mener cette expérience. Séparer les deux et travailler en collaboration avec un réalisateur aurait certainement aussi eu un intérêt conséquent.

## Le texte

Nos goûts personnels ainsi que notre expérience préliminaire de la fiction sonore nous ont rapidement poussé à privilégier la recherche d'un texte s'éloignant si possible d'une narration classique. Le 5.1 nous a rapidement paru être un outil approprié à l'intériorité, le sensible et l'émotivité, et peut être moins adapté à des scènes narratives classiques observées d'un point de vue extérieur. Nous étions donc à la recherche d'un telle orientation lorsqu'une rencontre opportune avec l'auteur Carine Lacroix nous a permis de découvrir le texte de *La cabane*, correspondant autant selon les critères précédents que selon une sensibilité personnelle à ce que nous attendions [voir le texte complet en Annexe 4].

Différents éléments paraissaient d'emblée correspondre avec l'utilisation que nous souhaitons faire du multicanal : de nombreuses voix intérieures traduisant une pensée et une émotivité très subjective, une immersion sensorielle complète dans un lieu naturel, une subjectivité importante de la perception et une intimité forte entre deux personnages.



## Choix de réalisation

Tous ces éléments ont permis d'amener très rapidement des pistes d'intentions de réalisation. Mais pour traduire une quantité d'idées en procédés effectifs et bien définis, le travail fut néanmoins conséquent et l'avancement de la réflexion sur la partie "théorique" a été très bénéfique à ce moment précis. Nous développerons ici trois choix majeurs : l'enregistrement des voix en monophonie dirigée, la captation de nombreux bruitages en stéréophonie de proximité et l'utilisation d'ambiances enregistrées en multicanal à l'aide d'une croix IRT.

### L'enregistrement des voix

Le choix de la monophonie dirigée s'est très rapidement imposé pour tout le travail d'enregistrement avec les acteurs. Le texte faisant la part belle aux voix intérieures nous avons souhaité nous servir de la divergence et de l'immersion pour traduire différents niveaux de subjectivité. Or, ce procédé n'est possible qu'avec des sources monophoniques. D'autre part, toutes les scènes extérieures ayant lieu sont relativement statiques, sauf une, et se déroulent en champ libre, dans un extérieur naturel. Il était donc aussi logique d'utiliser de la monophonie dirigée, afin d'éviter toute complication inutile apportée par la lourdeur d'un dispositif de prise de son multicanal. Ces sources ont ensuite été intégralement positionnées et manipulées à l'aide du panoramique surround de la console de mixage.

### Les bruitages stéréo

De nombreux bruitages de différentes natures sont utilisés dans cette réalisation, en correspondance avec la perception singulière des protagonistes. Il y est question d'une perception subjective et hyperréaliste, qui sera traduite par de nombreux bruitages au grain et au détail accentué par une proximité et un écartement conséquent des dispositifs stéréo de prise de son. Les bruitages sont ensuite placés et mixés au loisir sur les différentes paires de hauts-parleurs du multicanal (L/R, L/C, C/R, LS/RS, L/LS, R/RS) pour construire un environnement particulier où la précision de localisation n'est pas un critère majeur.

### Ambiances multicanal

La sensation d'immersion dans le milieu naturel est jouée en grande partie grâce à des ambiances captées directement en multicanal. L'avantage est une sensation d'immersion et de volume inédite ainsi qu'une cohérence du

milieu sonore perçu qui ne serait pas possible en combinant des ambiances stéréo à l'avant et à l'arrière. Le choix du dispositif IRT (voir 2.2.1 p.41) s'est imposé après une écoute comparative de systèmes à l'INA. C'est en effet celui qui offre la sensation la plus agréable d'immersion et de volume de l'environnement sonore pour des ambiances larges et diffuses, ce qui est particulièrement le cas en forêt.

## Le travail de post production, les outils d'optimisation

L'étape de post-production a demandé une quantité de travail considérable, constituant pour l'auteur une première expérience de production en multicanal. Néanmoins, nous pouvons affirmer que cette expérience permettra par la suite d'être beaucoup plus efficace.

Nous nous sommes attachés à tirer les enseignements de notre travail "théorique", et à contourner les défauts du dispositif 5.1, en n'accordant par exemple pas une importance trop grande à la précision de localisation. Tout dans la réalisation artistique et technique converge en cette direction : éviter les situations posant des problèmes techniques majeurs et se concentrer sur les avantages "faciles" du multicanal : immersion, enveloppement, intériorité. En conséquence, l'utilisation des outils d'optimisation qui constituent le cœur de la partie écrite a été tout à fait facultative pour cette réalisation. Et pour cause, ils n'ont finalement pas été utilisés du tout. Le panoramique HOA aurait eu un intérêt certain pour les quelques déplacements ayant lieu, mais l'impossibilité d'automation et le manque de pistes de l'installation de mixage ont constitué un obstacle majeur à son utilisation en production effective. Ce qui renforce finalement la pertinence de la troisième partie de ce document.

## La diffusion

Ce travail a pour l'instant été diffusé sur une installation 5.1 ITU bien configurée, ainsi que dans un audit de mixage cinéma et sur une installation quadriphonique domestique.

Le résultat semble très concluant pour ce qui est des conditions d'écoute : la zone tolérée est très large et le passage d'une installation ITU à une installation cinéma ne pose pas de problème majeur. Ceci est dû aux choix faits à la réalisation et conforte l'hypothèse qu'une utilisation adaptée du 5.1 permet de contourner nombre de problèmes majeurs. Nous avons implicitement contourné des problèmes du dispositif lors de notre réalisation, alors que nous les avons au contraire attaqué de front dans la partie "théorique".

Le mixdown automatique stéréo garde une cohérence qui permet d'offrir une écoute qui n'est pas inintéressante, mais les intentions originales de réalisation sont en grande partie perdues.

Il reste maintenant à avoir un retour plus large sur l'écoute de la production, au fur et à mesure du temps.

## **Conclusion**

Même si les deux parties, écrite et réalisation, semblent très détachées, le lien qui a existé tout au long du travail est très fort. L'apport personnel de cette démarche fut très grand et nous espérons pouvoir assister à d'autres projets similaires par la suite.

## Annexe 4 : *La cabane*, texte intégral

### La cabane

Irène : Alice Carel

Le Frère : Slimane Yefsah

Irène accroupie se balance et joue avec ses doigts. Index, majeur, ongles, paume. Son dos heurte le tronc de l'arbre penché. Au sol la terre est souple, garnie de feuilles sèches et de mousses. Ses pieds nus font des empreintes.

Irène :

Ecoute ... Les ongles qui pincent la peau, c'est le bruit du jour. Les yeux qui s'ouvrent. Pince-toi. Ça ressemble à ça la vie, une petite morsure et une trace qui ne dure pas longtemps. Ecoute. Je voudrais tant réussir à dire. ... Les doigts enfoncés dans les yeux, c'est le bruit pour ne plus rien voir. La nuit forcée. Enfonce, ça fait des couleurs bizarres. C'est bien mieux que le jour. Mais c'est toujours du bruit. Le bruit des yeux qui ne veulent pas voir.

Le Frère : Qu'est-ce que tu fous Irène, t'as pas ramassé le bois ?

Irène se redresse et aperçoit son frère essoufflé, un poulet sous le bras.

Irène : J'ai oublié.

Le Frère : Ramasse les brindilles, je m'occupe du reste. J'ai faim. Regarde ce que j'ai amené.

Elle regarde le poulet emballé sous plastique.

Irène : C'est pas un vrai.

Le Frère : Bien sûr que c'est un vrai sauf qu'il est mort.

Irène : Y'a plus les plumes. Je voulais les arracher. Ça fait froid dans le dos quand on les arrache et un petit bruit de...

Le frère : Moi j'ai l'estomac qui crie famine alors on se dépêche de mettre

le feu en route et je prépare le poulet.

Irène :

Ecoute ... Tu as l'estomac qui crie : « famine, famine, famine ». Ça résonne parce que c'est creux. Mal nourri qu'on est. Mais on a des combines. Criss, criss, criss, les brindilles. Tout à l'heure il criera : « cocorico » ton estomac.

Le Frère :

Ce coin de forêt. Pas bien épaisse la forêt, juste de quoi se perdre un peu, après c'est la route. Les routes. D'où qu'on sorte y'en a toujours une. Plus elles s'éloignent de la forêt, plus elles grandissent et plus elles se mélangent, jusqu'à traverser des villes où je suis jamais allé. Ici les arbres sont restés. Ils ont résisté aux constructions à cause de la décharge municipale qui est au bout. Ça rend la forêt interdite aux enfants. Ils restent dans les jardins de clôture.

Moi, je suis le frère. Je suis là pour elle. Irène. On ne peut pas la décrire à part qu'elle ressemble à un buisson et qu'elle a un cœur qu'est pas foutu comme les autres. Le cœur pour aimer, pas celui de l'anatomie. Elle y va de travers avec la vie. Les gens se moquent, le père et la mère gueulent. Je les emmerde. Ici c'est la cabane, la cabane faite maison, ici on est à l'abri.

Au milieu du cercle de pierres le feu a consumé les branches. Les morceaux de poulet calés sur une grille grésillent au-dessus des braises.

Irène : T'entends ?

Le Frère : Hmm.

Irène : Grrr, grrr, c'est le bruit du bonheur qui pétille aux oreilles, grr, grr...

Le frère ne répond pas et regarde Irène caressée par les reflets des flammes.

Ils ont avalé la chair et sucé les os. Les mains et les mentons brillent. Le frère rassemble les restes et frotte la grille sur les herbes.

Le frère : Essuie-toi la bouche.

Irène : Quoi ?

Le Frère : Ta bouche.

Irène : C'est mon rouge à lèvres au gras de poulet.

Le frère : T'es bête.

Irène passe son bras sur sa bouche.

Irène : Tant pis Jacky. Tant pis Franky. Tant pis Rémi. Tant pis Chéri. Je suis propre là ?

Elle tend son visage. Il appuie sur le bout de son nez. Elle glousse. Il recommence.

Irène : On dort où ?

Le frère : Quand je suis allé chercher le poulet, ils s'étrépaient. Elle m'a

dit que de toute façon c'était pas la peine de demander vu que même si elle disait le contraire on ne l'écouterait pas.

Irène (sourit) : Ouais. On dort où on veut.

Il jette de la terre sur les braises.

Irène : On va à la mare ?

Le frère : Si tu veux ma petite lune.

Ils décident sans se le dire d'emprunter les sous-bois. Le sol craque moelleux, couvert de feuilles et de rameaux mêlés. Un parfum de bois humide flotte entre les branchages qui les fouettent au passage.

Irène :

Ecoute . . . Les plumes arrachées ça fait froid dans le dos. Des cris petits. Comme les tripes du poulet tout à l'heure. Ecoute comme ça crie quand tu les tires à pleines mains de l'intérieur. La peau bleue arrachée qui frissonne. Les tripes violettes. Un bruit pire que le bruit du jour. Le père et la mère qui s'étripent à côté du poulailler. Les cris qui cassent tout. Ceux qui donnent envie de partir. Ceux que tu ne peux pas oublier. Les tripes vont pourrir dans les feuilles craquelées pour les chats. Les plumes ne vont pas s'envoler puisqu'il n'y en avait pas.

Le frère :

La mare est presque ronde, pas naturelle, creusée par les hommes pour faire pondre les poissons. A cause des saisons sèches, l'eau a croupit par endroits et les pêcheurs ne viennent plus. Une fausse mare abandonnée aux têtards et envahie de roseaux. Ça laisse des coins pour rêver. A la surface de l'eau des résidus emmêlés dérivent. Un bourdon englué dans une feuille morte, des fourmis accrochées tout autour, des brindilles jointes, un pétale blanc accosté par quelques moustiques, des poussières brunes, une plume transparente, une feuille dont on ne voit que les veines. On dirait un rébus ou un collier cassé. Une risée et tout se disperse. Ça flotte. Tout est mort, mais ça flotte.

Irène :

Ecoute . . . Le printemps dans la gorge des grenouilles. C'est la saison qui chante. Emmène-moi dans la mare. C'est plein de vase, on pourra s'enfoncer. Ecoute. Comme on écrase les grenouilles. C'est doux les grenouilles, c'est doux la vase. S'enfoncer bien profond avec les chants d'amour.

Il jette un caillou.

Le frère : Y'a plus beaucoup d'eau. Les grenouilles vont de barrer.

Elle jette un caillou.

Irène : Elles vont aller où ?

Le frère (hausse les épaules) : Dans une autre mare.

Irène : Est-ce que les grenouilles se disent bonjour entre elles ?

Le frère ne répond pas suivant des yeux les ronds de l'eau.

Irène : Quand les animaux se croisent j'entends jamais ce qui se passe. Les petits animaux. Si on avait des fauves dans la forêt on comprendrait très bien, ça sent fort les fauves. Mais par exemple quand une grenouille change de mare et croise un lapin ou une chenille est-ce qu'elle dit bonjour ?

Le frère : Tu fais comment toi quand tu croises des gens ?

Irène : Je suis pas une grenouille.

Le frère : Tu fais comment quand tu croises des gens ?

Irène (baisse la tête) : Je dois lever le menton et dire bonjour.

Le frère : Certainement que les grenouilles c'est pareil.

Irène :

Ecoute ... Les gens qu'on croise. Qui fixent. Toujours les mêmes. Les yeux comme des rires. J'entends pas la bouche, j'entends les yeux. Dis-leur de se taire. Dis-leur de changer de mare. De la vase pour eux. Dans la gorge, dans les yeux. Qu'ils s'enfoncent tout au fond. Mes doigts pour les crever. Tu racontes n'importe quoi une grenouille ne dit pas bonjour. Eux non plus. Et moi j'ai pas la tête de l'emploi.

Le frère : Viens, on va au talus.

Le frère :

C'est un bon endroit ce talus. Juste ce qu'il faut pour voir au-dessus des arbres. Le meilleur trône. A y est, le soleil glisse à l'horizon. Il aspire les couleurs brûlantes. On va tomber dans le noir. Sans bouger. Les couleurs changent, mais pas l'endroit. Toujours la même place. Il faut que je bouge. Là où les routes se mélangent. Là où le soleil ne se couche jamais. Je veux entendre la musique du soleil qui ne se couche jamais.

Irène : Pourquoi c'est toujours au dernier moment que le soleil fait le coup des couleurs ?

Pas de réponse

Irène : Hein, pourquoi c'est toujours au dernier moment que le soleil fait le coup des couleurs ?

Le frère :

Comment je ferais pour répondre à ses questions quand je serais parti ? Je l'entends déjà qui n'entend pas de réponses. Pourquoi ? Pourquoi ? Pourquoi ? Est-ce qu'ils la laisseront aller à la cabane ? Est-ce qu'ils la laisseront tranquille ? Est-ce qu'y a des cabanes au bout des routes ? Je pourrais l'emmener avec moi. Je vais d'abord aller voir. Après je viendrais la chercher.

Irène :

Ecoute-moi ... Pourquoi c'est toujours au dernier moment qu'il fait le coup des couleurs ? Tu ne réponds pas. Tu regardes sans rien dire les derniers morceaux du soleil. Il ne faudrait jamais s'arrêter. Jusqu'à ce qu'on rêve. Les yeux plantés dans le feu. Le bruit des yeux qui brûlent. Jusqu'à la fin, tous les deux jusqu'à la fin. Je ne veux pas que tu partes. Ecoute. Je ne

veux pas que tu partes. Non. C'est ici la lumière. Tu ne peux pas la suivre. Même si tu t'approches, elle s'échappera toujours.

Le frère : Tu sais qu'il y a de l'or dans le soleil ?

Irène : De l'or ?

Le frère : De l'or, du vrai or précieux. Des tonnes d'or.

Irène : Dommage qu'on peut pas en ramasser, on se ferait une cabane en dur.

Temps. Il la prend dans ses bras.

Le frère : On va dormir là. Demain le soleil se lèvera de l'autre côté.

Irène : Oui, et moi j'aime bien m'endormir dans tes bras

Ils s'allongent l'un contre l'autre. Irène regarde l'horizon noir où le soleil reviendra. Le frère derrière elle caresse sa joue, ses mèches ébouriffées. Elle remue contre lui, ronronne. Il pose sa bouche sur son oreille. Il la sert fort. Elle serre ses bras qui la serrent.

Irène :

Ecoute ... Ta langue sur mon oreille. Ta langue qui fait du souffle. Des frissons. C'est comme la mer t'as dit. La mer ? La mer est une forêt bleue, plus profonde que les racines des arbres, et les vagues sont des vents mouillés qui roulent. Tu as déjà vu la mer. Moi la mer c'est ta bouche, ta bouche coquillage, ta bouche dans mon oreille, quelque chose qui s'entend, pas qui se voit. La mer prend tout le corps, c'est le goût de toi. La mer est noire comme les yeux fermés. Les miens sous tes frissons. Une étendue de remous. Que la mer me lèche toute.

Irène : Raconte encore l'histoire...

Le frère :

J'ai pas envie de raconter. Juste envie de me laisser prendre par la nuit. Irène dans mes bras attend son histoire et surveille les étoiles. Elle entend, je sais qu'elle entend mes silences, les mots que je ne lui dis pas. Petite lune. Je veux de la musique, de la vraie, pas celle des étoiles ou des grenouilles, je veux la musique des guitares, des foules. Du bruit qui vient du bruit. Je veux m'arracher d'ici.

Irène : Raconte encore l'histoire...

Irène :

Encore l'histoire. Celle qui fait fuir les cauchemars. Tous les deux, coincés entre les quatre murs de la chambre. Entassés. Comme l'aspirateur, la table à repasser, le linge sale, les vêtements trop petits, les outils du père, les boîtes de conserve. La chambre. Le débarras, la réserve, le vide-ordure. Et à travers la cloison, la chambre des parents. La radio, la télé, les voix qui hurlent. Ils crient. Toujours ils crient. Comme des chiens de campagne. Sauf qu'ils ont des mots. Des mots qui font mal aux oreilles et des cauchemars. Alors il faut se raconter des histoires. Passer au-dessus des mots.



Irène : Raconte...

Il soupire tout doucement pour ne pas qu'elle entende et commence.

Le frère : Il existe sur la terre un endroit chouette où vivent deux enfants. Il fait toujours beau là-bas parce que même quand il pleut, même quand il fait froid, c'est beau. Ils n'ont pas de parents parce que là-bas pareil il fait toujours beau. Ils n'ont pas d'amis comme eux. Ils n'ont pas de jouets. Mais ils ont des oreilles. A deux, ça fait quatre. Quatre antennes pour jouer à écouter. Le chant parfumé des fleurs. Les silhouettes des arbres dans la nuit. Derrière les grenouilles. La sève des herbes éparpillées. Un jour, comme apparemment tous les autres jours, la fille dit : « T'es d'accord pour aller voire là bas si on y est ? ... »

Irène :

Ecoute ... Comme la nuit ressemble à du vide. Elle n'entend pas ton histoire. Elle est trop loin. Non. On est enveloppé dedans. La nuit a des oreilles profondes. Ecoute comme tu soupirez doucement pour ne pas que j'entende. Ecoute le petit couteau mal aiguisé qui ne sait pas où s'enfoncer.