

Internship report

# Computational analysis of jazz chord sequences

Romain VERSAEVEL, M1 Informatique Fondamentale, ENS de Lyon

Tutored by David MEREDITH, Associate Professor, Aalborg University,

leader of the Music Informatics and Cognition group

3 juin 2016

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Enjeux et présentation</b>	<b>4</b>
2.1	Musique algorithmique . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Parcours de Karlheinz Essl</b>	<b>4</b>
3.1	Formation : entre rock et éducation classique . . . . .	4
3.2	Vers la musique algorithmique . . . . .	7
3.3	IRCAM et Composition en temps réel . . . . .	12
3.4	Descente de la tour d'ivoire . . . . .	16
3.5	Essl et la culture numérique . . . . .	20
3.6	Conclusion . . . . .	20
<b>4</b>	<b>La composition en temps réel à travers ses programmes</b>	<b>20</b>
4.1	Introduction . . . . .	20
4.2	La <i>Realtime Composition Library</i> . . . . .	20
4.2.1	Description . . . . .	21
4.2.2	Analyse . . . . .	23
	Théorique . . . . .	23
	Technique . . . . .	23
	Esthétique . . . . .	23
4.3	Analyse . . . . .	26
4.4	Quelle « composition en temps réel » ? . . . . .	27
4.5	La <i>Lexikon-Sonate</i> . . . . .	27
4.6	Conclusion : Essl et l'ordinateur . . . . .	28
<b>5</b>	<b>Démocratisation ?</b>	<b>28</b>

<b>6 Conclusion</b>	<b>29</b>
<b>7 Bibliographie</b>	<b>31</b>

# 1 Introduction

## 2 Enjeux et présentation

### Enjeux

#Citation(Breton, avant-propos)#

#Citation(Art+Science Now, p. 161)#

#Citation(Manoury, p. ? ? ?)#

### Musique et informatique

#### 2.1 Musique algorithmique

## 3 Parcours de Karlheinz Essl

INTRO!!!

### 3.1 Formation : entre rock et éducation classique

Né le 15 août 1960 ( ? ? ? ) à Vienne, Karlheinz Essl est issu d'un milieu aisé et cultivé. Son père, Karlheinz Essl senior, est un entrepreneur, qui a fait fortune en fondant la chaîne de magasins de bricolages bauMax<sup>1</sup>. Il est aussi connu comme collectionneur d'art, ayant acquis avec sa femme Agnes de nombreuses œuvres contemporaines à partir des années 1970, collection qui le conduit à faire construire son propre musée, le *Essl Museum*, dans la ville de Klosterneuburg située sur le Danube à quelques kilomètres au nord de Vienne.

Karlheinz junior est ainsi au contact d'un environnement culturel savant dès son plus jeune âge. Il étudie le piano dès l'âge de ? ? ? ans. Il explique cependant (cite ? ? ?) que cette expérience lui a déplu et qu'il n'a vraiment apprécié la musique que lorsque,

---

1. Entreprise dissoute en 2015, suite aux conséquences de la crise financière de 2007

adolescent, il s'est intéressé à la musique rock. Il prend alors part à plusieurs groupes et s'initie, en autodidacte, à la guitare électrique puis à la contrebasse. Néanmoins, ce n'est pas le rock « grand public » qui attire Essl, qui cite plus volontiers des groupes avant-gardistes ou expérimentaux comme *Gentle Giant* ou *Can*. C'est à travers ce dernier qu'Essl découvre la musique du compositeur allemand Karlheinz Stockhausen (deux membres de *Can*, le bassiste Holger Czukay et le claviériste Irmin Schmidt ont tous deux été ses élèves). Âgé de 15 ans, il achète un vinyle de Stockhausen, décrivant la découverte comme un véritable « choc »<sup>2</sup>. Cet engouement naissant pour l'électronique le conduira même à construire un synthétiseur ? ? ?pourri<sup>3</sup>.

Lorsqu'il arrive dans les études supérieures, Essl décide (chimie ? ? ?) décide de se consacrer à la musique. Cette décision est prise à l'encontre de ses parents, qui le destinaient à prendre la succession de la direction de l'entreprise familiale (ce que fera finalement son frère cadet, Martin Essl). Reçu à la prestigieuse Académie de musique et des arts du spectacle de Vienne (*Universität für Musik und darstellende Kunst Wien*), il y étudie l'harmonie et le contrepoint avec Alfred Uhl, la contrebasse avec Heinrich Schneikart, et la composition auprès de Friedrich Cerha. Progressivement il va abandonner la contrebasse pour se consacrer exclusivement à l'analyse et à la composition, suivant en outre des cours de Dieter Kaufmann sur la musique électro-acoustique. Ce parcours académique le conduit à rédiger une thèse<sup>4</sup> sur la « pensée-synthèse » chez Anton Webern sous la direction du musicologue Hans Schneider, achevée en 1991.

Au cours de ses études, Essl fait deux rencontres décisives. D'abord, en 1985, il rend visite à son ami Gerhard Eckel en stage à l'Institut de Sonologie (*Instituut voor Sonologie*) de La Haye (Pays-Bas), l'un des premiers centres de recherche en musique électronique et musique informatique. C'est à cette occasion qu'il fait la connaissance, en partie par hasard, de Gottfried Michael Koenig, compositeur allemand pionnier de la musique algorithmique, qui dirige l'Institut depuis 1964. Essl trouve la partition d'un quatuor écrit par Koenig (*Streichquartett 1959*) et, ayant des difficultés à l'analy-

---

2. Dans **OMNIA IN OMNIBUS: Behind the Scenes ???** « Zuhause habe ich mir Kopfhörer aufgesetzt und mir die Platte angehört. Ich war total schockiert. Das war für mich damals ganz grauenhafte Musik, aber es hat mich gepackt. » — « À la maison, j'ai mis mon casque et écouté le vinyle. J'étais complètement sous le choc. À l'époque, je trouvais cette musique atroce, qui pourtant m'a emballé. »

3. Voir **Rückblick / Vorschau - Der Komponist Karlheinz Essl im Gespräch mit Annelies K...**

4. CITE !!!

ser, contacte celui-ci, qui lui apprend qu'il a utilisé des opérations de hasard dans sa composition. Les deux compositeurs correspondent et collaborent depuis, Essl ayant même été invité à contribuer à l'élaboration de *Projekt 3*, projet resté inachevé faisant suite aux *Projekt 1* et *Projekt 2*, premiers programmes pour la Composition Assistée par Ordinateur (???). Puis Essl rencontre John Cage, compositeur américain emblématique du XX<sup>e</sup> siècle. Il connaît déjà son œuvre mais peut l'approcher en personne lors d'un concert donné en son honneur à Vienne en 1988. L'œuvre de Cage marque profondément celle d'Essl, qui lui rend d'ailleurs hommage dans deux de ses créations : *In The Cage* (1987) et *FontanaMixer* (2004).

Cette période de formation, qui s'achève avec jusqu'à la soutenance de thèse en 1991, voit se former le style d'Essl. On peut y identifier ses principales influences théoriques. D'abord, il y a le **sérialisme**<sup>5</sup>, auquel l'a initié son professeur Friedrich Cerha<sup>6</sup>. Ce mouvement, fondé à Vienne par la seconde école de Vienne (Arnold Schönberg, Alban Berg et Anton Webern), élabore à l'origine des techniques d'inspiration arithmétique pour éradiquer systématiquement la tonalité des compositions ; de très nombreux compositeurs du XX<sup>e</sup> siècle s'en réclament et l'on développé. (?? en parler plus ?) Sur le plan esthétique, l'école sérielle va de pair avec la philosophie d'Adorno, lui-même compositeur, qui promeut la **Nouvelle Musique** (*Neue Musik*), marquée par l'injonction avant-gardiste. Cette théorie esthétique, présente dans toutes les disciplines de l'art contemporain, exige des artistes une innovation radicale permanente pour mériter ce statut<sup>7</sup>. Elle se manifeste dans l'intérêt qu'Essl portera à l'ordinateur et sa participation à l'avant-garde.

Les autres influences notables sont celles des trois compositeurs déjà cités : **Stockhausen**, **Koenig** et **Cage**. Tous trois ont été parmi les premiers musiciens à explorer les possibilités de l'*œuvre ouverte*<sup>8</sup> et du hasard, problématiques très présentes dans l'œuvre d'Essl. Koenig a même affirmé même que « la maîtrise du hasard par le com-

5. Pour plus de détails, voir par exemple **WODON !!!**

6. Dans ??? Essl précise qu'avant de commencer sa formation auprès de Cerha ses goûts le portaient plutôt vers des mouvances opposées comme le néo-clacissisme. #Citation(Elektronische Musik / Komposition / Improvisation - Karlheinz Essl im Gespräch mit Silvia Pagano)#

7. #Citation(Les théories de l'art, p. 59)# Pour plus de détails sur l'esthétique d'Adorno, voir **ESTH\leC {\E}TIQUE** et Theodor W Adorno, « Philosophie der neuen Musik » (1949)

8. Telle que définie par Umberto Eco dans Umberto Eco, *Opera aperta : Forma e indeterminazione nelle poetiche contemporanee*, t. 3 (Tascabili Bompiani, 1962), voir partie ?? pour plus de ?? ?)

positeur est un problème centrale de la musique actuelle »<sup>9</sup>. De Stockhausen, on retrouve l'intérêt porté au son et en particulier au son de synthèse, avec l'intégration de la musique électronique dans la musique savante. De Koenig, une paternité technique directe, puisqu'il a initié Essl à la musique algorithmique. De Cage, la recherche de formes radicalement nouvelles, en particulier l'événement, la performance. Dans **GERZSO ???** le compositeur Andrew Gerzso résume ainsi le terreau dans lequel Essl a pu développer son œuvre : #Citation(Andrew Gerzso, New computational paradigms for computer music, p. 1)#.

Enfin, la dernière influence notable d'Essl est d'ordre philosophique ; il s'agit du constructivisme radical, auquel le compositeur a même dédié un essai en 1992 (**RADIKAL???**). Cette épistémologie repose sur l'idée que la « connaissance » est une construction de l'esprit par rapport au monde, qui peut de fait varier d'un individu à l'autre, sans qu'il soit possible de parler de « vérité ». Essl résume ainsi l'application de ce courant de pensée à sa pratique artistique : « La musique ne se produit donc pas seulement dans la salle de concert, mais principalement dans la tête de l'auditeur. Savoir que le monde est construit par les perceptions individuelles plutôt que la simple illustration d'une réalité extérieure est lourd de conséquences pour la composition musicale. Cela fait en effet de l'auditeur un co-créateur. » #Citation(sine fine... Unendliche Musik)#

Bien que le rock ait joué un rôle décisif, à la fois en étant la source de la passion qui a décidé Essl à faire des études de musique, et en l'amenant à Stockhausen et à la musique électronique, son parcours est ???

??? Est-ce qu'il faut mettre les dates de tous ces gens ?

### 3.2 Vers la musique algorithmique

On l'a vu, la rencontre avec Gottfried Michael Koenig a amené Essl à s'intéresser à la musique algorithmique. Cet intérêt d'abord théorique connaît par la suite de nombreux développements sur le plan pratique, qui se construit parallèlement à la relation entre Essl et l'ordinateur.

Ici, il convient de préciser ce que signifie ce terme de « musique algorithmique », et, pour commencer, ce qu'est un algorithme. Ce mot, forgé à partir du nom du mathéma-

---

9. #Citation(.)#

ticien perse du IX<sup>e</sup> siècle Muhammad al-Khuwārizmī, est défini <sup>10</sup> par le Larousse 2016 comme un « ensemble de règles opératoires dont l'application permet de résoudre un problème énoncé au moyen d'un nombre fini d'opérations ». Dans ce sens, une recette de cuisine aussi bien que la méthode pour poser une multiplication sont des algorithmes. La composition algorithmique est alors simplement « la création d'algorithmes dont le produit a des conséquences musicales notables et utiles au compositeur, allant de la production et de l'exploration de matériaux musicaux à la génération d'œuvres complètes » <sup>11</sup>. Au sens large, la musique algorithmique possède donc une histoire séculaire <sup>12</sup>, à laquelle participent par exemple tous les traités mettant en place des systèmes de règles pour l'organisation d'une composition, dont le plus ancien connu, intitulé *Musica enchiridis* (d'auteur inconnu), remonte au IX<sup>e</sup> siècle (??? d'autres exemples, jeux de dés etc. ???). Mais c'est l'essor de la notion d'algorithme se fait conjointement avec l'avènement de l'informatique. Les ordinateurs sont en effet des machines capables d'appliquer n'importe quel algorithme de traitement de données et d'information ; ce sont en outre des machines *programmables*, autrement dit non-spécialisées, auxquelles leur utilisateur peut confier des tâches algorithmiques diverses à son gré ??? . Dans le même temps naît l'idée de *composition algorithmique*, lorsque des compositeurs s'emparent pour la première fois des ordinateurs. En 1957 paraît l'*Illiac Suite*, première partition générée par un ordinateur (l'ILLIAC I) programmé par Lejaren Hiller et Leonard Isaacson, ainsi qu'un enregistrement des *Diamorphoses* de Iannis Xenakis, qui a utilisé un ordinateur pour l'assister dans des calculs de probabilité ; et en 1964, c'est *Projekt 1* de Koenig qui voit le jour.

Un exemple ???

C'est en 1984, qu'Essl utilise un ordinateur pour la première fois, par l'intermédiaire d'un ami, testeur pour un journal ; l'année suivante, il investit dans un micro-ordinateur Atari ST, qui sort cette année-là. Les années 1970 en 1980 correspondent à un changement radical dans les pratiques informatiques, qu'illustre cet achat. Alors qu'auparavant la logique de conception d'ordinateurs tendait vers des machines centralisées

10. Pour une caractérisation plus poussée, qui n'est pas nécessaire ici, se reporter à **knuth1998art**

11. #Citation(Introduction to Computer Music, p. 299)#

12. Cette remarque n'est pas seulement anecdotique : elle montre que l'histoire de la musique est imprégnée d'une culture algorithmique, qui explique que l'informatique ait trouvé un écho important dans cette discipline



de plus en plus puissantes, apparaissent les *micro-ordinateurs*, à usage individuels, qui vont progressivement s'imposer au détriment des premières. Le tableau 1 montre quelques modèles emblématiques de cette tendance<sup>13</sup>. Quant au tableau 2, il montre que l'Atari ST était significativement moins cher que ses principaux concurrents, ce qui est l'un des facteurs de son succès. L'acquisition de ce micro-ordinateur par Essl s'inscrit donc pleinement dans la tendance historique de cette période. Comme nous le verrons dans les parties suivantes (3.3 et 3.4), l'idéologie de liberté associée à cette individualisation de l'ordinateur<sup>14</sup> jouera aussi un rôle important dans la suite du parcours d'Essl.

Année	Modèle	Nombre d'exemplaires vendus
Programma 101	1965	!!!
Intel MCS-4	1971	!!!
Altair 8800	1975	!!!
Apple II	1977	!!!
IBM PC	1981	!!!
Macintosh	1984	!!!
Amiga 1000	1985	!!!
Atari ST	1985	~ 50.000

FIGURE 1 – Quelques modèles de la naissance de la micro-informatique.

Modèle	Atari 1040 ST	Commodore Amiga	Apple Macintosh Plus	IBM PC AT
Prix	999\$ (mono) ou 1199\$ (couleur)	1795\$	2195\$	4675\$

FIGURE 2 – Prix des micro-ordinateurs les plus répandus en 1985

Sur son Atari ST, Essl programme d'abord en BASIC (*Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code*), un langage de programmation impératif généraliste conçu pour sa simplicité d'utilisation. Il se tourne ensuite vers un langage beaucoup plus exo-

13. Harris, Neil (1985-11-11). "Atari Sales Underestimated". InfoWorld (letter). p. 18. Retrieved 8 January 2015!!!

14. Décrite par !!! : #Citation(Breton, intro chap 11)# #Citation(Breton, p. 206)#

tique ???, le LOGO<sup>15</sup>. Celui-ci a été développé à partir de la fin des années 1960, à l'origine par deux chercheurs du MIT, Seymour Papert et Marvin Minsky. Les programmes écrits en LOGO dirigent le déplacement d'un curseur à l'apparence de tortue ; leur résultat est un dessin, celui de la trajectoire de la tortue. Cet apparence ludique est dû au fait que le LOGO, conçu en s'appuyant sur les théories de Jean Piaget, était destiné à permettre à des enfants de se familiariser avec la programmation ; il s'agit cependant d'un langage très complet qui permet par exemple de manipuler des fichiers ou des structures de listes. C'est principalement cette dernière fonctionnalité qui retient l'attention d'Essl, lequel implémente des procédures issues du sérialisme.

La pensée algorithmique devient prépondérante dans les œuvres du jeune compositeur. Sa première pièce ayant nécessité un programme informatique, *BWV 1007a* paraît en 1986 (en collaboration avec son ami Eckel). Ce programme a réalisé une analyse statistique de la *Première suite pour violoncelle* de Jean-Sébastien Bach (BWV 1007), afin d'en réaliser un découpage et une recombinaison mélodiquement cohérente. Précisons que cette expression peut être trompeuse : lorsque l'on parle de programmes et d'algorithmes, il est facile de laisser imaginer une « volonté » ou une forme de conscience de l'ordinateur. Il n'en est évidemment rien, le programme d'Essl ne fait en réalité qu'exécuter des instructions prévues par lui. Une recombinaison « mélodiquement cohérente » signifie ainsi simplement une recombinaison respectant des règles définies par Essl dans le but d'éviter des combinaisons sonores qu'il juge incohérentes. En cela, *BWV 1007a* est un bon exemple de ce qu'est — et donc de ce que n'est pas — un algorithme : Essl aurait théoriquement pu appliquer lui-même sa méthode, découper et recombinaison la pièce de Bach, en s'assurant de respecter les règles mélodiques qu'il a prévues ; mais cette tâche aurait été particulièrement fastidieuse ; l'ordinateur permet de l'automatiser et de la réaliser plus rapidement. La même année, Essl compose l'une de ses premières œuvres majeures, le quatuor à corde *Helix 1.0*, qui lui vaut deux prix en 1987, au concours international de quatuors à cordes de Budapest et au concours de quatuors à cordes du Konzerthaus de Vienne. Cette pièce construite sur des structures élaborées représentant des mouvements en hélice (comme combinaison de deux mouvements, l'un circulaire, l'autre rectiligne) reflète

---

15. Plus précisément le xLOGO, l'une des nombreuses implémentations du langage original. Pour plus d'informations sur le LOGO, voir **harvey1985computer**

une véritable pensée algorithmique<sup>16</sup>. Les algorithmes impliqués ont cependant été réalisés sans l'aide de l'ordinateur.

Pour un compositeur qui a accordé aux aspects algorithmiques de la composition une place prépondérante dans son œuvre, Essl a une relation inhabituelle aux algorithmes. Sa position est résumée par cet échange dans une interview de 2015 : « Magdalena Halay : Qu'est-ce qui pour vous fait qu'une composition sonne algorithmique ? — Karlheinz Essl : Oh, le but n'est pas que mes compositions sonnent algorithmiques ! [...] Le but est qu'elles ne sonnent pas algorithmiques. »<sup>17</sup>. Les méthodes formelles impliquées dans le processus de composition d'Essl sont *théorisées, décrites* (dans des articles, des programmes accompagnant les performances ou leurs enregistrements, les cours et les interviews donnés par Essl...) ; mais elles ne sont pas *audibles*, ou du moins de sont pas mises au premier plan lors de l'écoute. Cette attitude s'oppose à celle de beaucoup d'artistes contemporains ayant recours à des algorithmes, qui au contraire en font la monstration à travers leurs œuvres<sup>18</sup>. Elle opère ainsi une sorte de synthèse entre l'esthétique de la virtuosité (du compositeur) et celle qui met les moyens de composition au service de l'expérience de l'auditeur.

Les dernières années d'études d'Essl, qui sont aussi ses premières années en tant que compositeur, marquent ainsi l'apparition et le développement dans sa pensée artistique de pratiques algorithmiques. Ce phénomène va de pair avec celui de l'avènement de la micro-informatique, qui permet à Essl d'expérimenter avec sa propre machine. Il élabore alors une articulation relativement originale entre le procédé algorithmique et le résultat esthétique qu'il élabore alors. Comme nous allons le voir dans la partie suivante, les progrès technologiques vont lui permettre d'enrichir encore grandement cette originalité.

---

16. Encore une fois, il y a deux causes à cette présente structurante forte des algorithmes : l'influence de la programmation informatique qui occupe Essl à cette période, mais aussi l'omniprésence de procédés d'ordre algorithmique dans la tradition musicale.

17. #Citation(Composing with Algorithms - A talk between Karlheinz Essl and Magdalena Halay)#

18. On peut trouver de nombreux exemples dans Stephen Wilson, *Art+Science Now* (Thames & Hudson, 2012), en particulier au chapitre 7 intitulé « *Algorithmes* », p. 160-179.

### 3.3 IRCAM et Composition en temps réel

Un tournant décisif dans l'histoire de la musique informatisée et dans la carrière d'Essl a lieu à la fin des années 1980 et au début des années 1990. Il s'agit de l'apparition de dispositifs en « temps réel »<sup>19</sup>. Ceux-ci offrent pour la première fois la possibilité d'une interaction immédiate entre l'utilisateur et une machine *informatique*<sup>20</sup> qui convertit le résultat de ses calculs en événements musicaux significatifs, typiquement sous forme de sortie MIDI (ce qui permet de produire du son avec des instruments comme le Yamaha Disklavier<sup>21</sup>) ou directement dans un format audio (écouté *via* des haut-parleurs). !! [http ://mustudio.fr/](http://mustudio.fr/)

Essl est confronté avec ces dispositifs en temps réel pour la première fois en 1992. Il est alors invité à l'Institut de recherche et coordination acoustique/musique (IRCAM) à Paris, institut public de création musicale et de recherche appliquée à la musique, qui lui passe commande d'une pièce pour ensemble et sa toute récente *Station d'informatique musicale* (SIM)<sup>22</sup>. Cette machine succède à plusieurs autres prototypes développés par l'ingénieur et physicien italien Giuseppe di Giugno depuis 1975, intitulés 4A, 4B, 4C et 4X. Essl non seulement compose la pièce qui lui a été commandée (*Entsagung*), mais s'initie au langage de programmation MAX/MSP avec lequel fonctionne la SIM, tirant profit de son expérience avec LOGO pour réaliser des expériences de composition. Le « temps réel » de l'IRCAM entraîne naturellement un gain de temps considérable, à travers deux ruptures. D'une part, les calculs sont exécutés plus rapidement : alors que les résultats des algorithmes de la bibliothèque *COMPOSE* nécessitaient parfois une nuit entière de calcul, la SIM les calcule immédiatement. D'autre part, ces résultats sont audibles, c'est-à-dire dans un format directement intelligible ; lorsqu'il programmait en LOGO, Essl n'obtenait que des résultats sous forme symbolique (par exemple des nombres représentant des hauteurs de notes et leurs durées), qu'il devait ensuite traduire en partition et interpréter sur un instrument traditionnel.

La découverte des machines en « temps réel » et de MAX/MSP est déterminante pour

---

19. Cette notion est discutée plus en détail partie ??

20. La nouveauté réside dans le fait que c'est avec un ordinateur, une *machine à calculer*, que le temps réel est obtenu : en musique électronique, les synthétiseurs permettaient ce temps réel depuis plusieurs décennies... et les instruments de musique traditionnels, depuis toujours.

21. Piano mécanisé créé en 1987 ; la norme MIDI a quant à elle été établie en 1983.

22. Voir **lippe1991ircam** pour une description détaillée de la station.

Essl, qui adopte les immédiatement comme des outils de travail de premier plan. Il transporte dans ce nouveau langage les algorithmes de *COMPOSE* dans une bibliothèque intitulée *Realtime Composition library (RTC-lib)*, qu'il continue à enrichir et à optimiser. Il compose de plusieurs pièces interactives en temps réel, parmi lesquelles son œuvre la plus célèbre, la *Lexikon-Sonate*. La *RTC-lib* et la *Lexikon-Sonate* font l'objet respectivement des sections ?? et ??.

L'interaction musicale en temps réel n'est cependant possible qu'avec les machines prototypiques conçues par des centres de recherche comme l'IRCAM, qui n'existaient donc qu'en nombre très limité. L'accès y est de fait difficile et concurrentiel ; en outre, Essl souhaite composer en étant autonome de telles institutions. Il lui faut pour cela attendre 1998 et la sortie du premier iMac, suffisamment puissant pour obtenir des performances similaires à celle de la Station d'informatique musicale. Comme le montre la figure 3.3, cela coïncide avec un forte augmentation de sa productivité (en tant que nombre d'œuvres publiées).

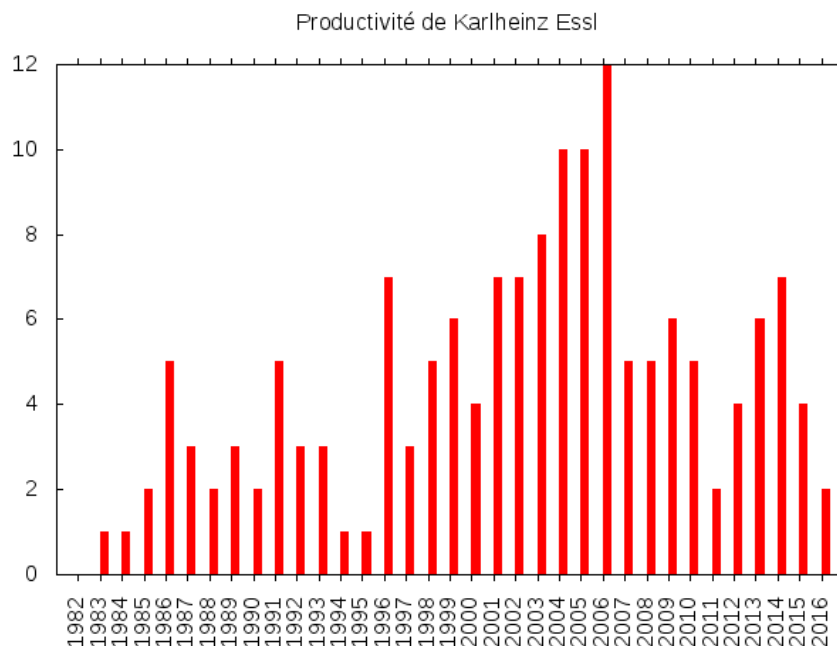


FIGURE 3 – !!!

Ces œuvres d'une forme inédite sont le volet pratique du développement d'Essl, qui formule aussi de nouvelles notions sur le plan théorique, le conduisant à son rapport actuel à la musique algorithmique. Il élabore en particulier deux notions étroitement

liées : celle de « composition en temps réel » (*Echtzeit Komposition*) et celle de « ??? » *Strukturgenerator*.

Voici, pour les appréhender, deux définitions qu'Essl donne aujourd'hui des algorithmes :

« [Les algorithmes] sont le fondement de ma pensée musicale, qui consiste à ne pas voir la musique seulement comme une expérience sensible, mais comme quelque chose qui comporte une multitude de structures plus profondes que l'on peut exprimer sous forme de modèles. »<sup>23</sup>, et : « Il y a la définition classique, qui provient plutôt des sciences de l'ingénieur, selon laquelle un algorithme est une sorte de recette de cuisine pour résoudre rapidement un problème. C'est une approche possible, mais il y en a une autre que je trouve plus intéressante. Elle consiste à envisager l'algorithme comme la définition d'un méta-modèle, duquel on peut obtenir différents résultats en modifiant les paramètres du système. C'est en ce sens que j'utilise le terme d'algorithme, et c'est ainsi que je le comprends dans les travaux de Gottfried Michael Koenig et Karlheinz Stockhausen. ».<sup>24</sup>

Essl fait aussi plusieurs fois référence à la notion d'*Urpflanze* de Goethe, une plante originaire imaginaire dont on pourrait dériver toutes les espèces plantes<sup>25</sup>. Le mot de *modèle* est crucial dans l'idée de *Strukturgenerator*<sup>26</sup>. Le produit des algorithmes que conçoit Essl possèdent une structure imposée commune, mais varient selon les paramètres fournis en entrée et le hasard<sup>27</sup> interne des opérations exécutées par ces algorithmes. Le module *Triller* de la *Lexikon-Sonate*, étudié dans la partie ??, est un exemple simple de *Strukturgenerator*. Tout ce que produit ce programme a une *structure* de trille : un ensemble de quelques notes répétées à grande vitesse ; mais les trilles générées par différentes utilisations *varient* par le nombre de notes différentes jouées, leurs hauteurs, la vitesse, la durée de la trille. . . L'idée de définir des éléments musicaux comme des représentants d'un ensemble des possibles gouverné par une structure, sous la forme d'un système de règles, n'est toutefois ni nouvelle ni originale. Les règles strictes gouvernant le contrepoint classique relèvent exactement de ce cas

---

23. #Citation(OMNIA IN OMNIBUS : Behind the Scenes - Karlheinz Essl im Gespräch mit Katharina Hötzenecker)#

24. #Citation(Intuition, Automation, Entscheidung. Der Komponist im Prozess algorithmischer Komposition)#

25. **goethe1993italienische**

26. **Strukturgeneratoren - Algorithmische Komposition in Echtzeit**

27. Le rôle du hasard dans la composition en temps réel fait l'objet de la partie ??.

de figure ; la seule nouveauté dans les *Strukturgeneratoren* d'Essl est qu'ils sont *actifs*, l'ordinateur permettant de créer la musique à la demande une fois le système de règles explicité et traduit en code informatique. On retrouve des procédés similaires dans nombre de musiques algorithmiques où le temps réel n'est pas nécessaire, et beaucoup de domaines usent de tels schémas, par exemple dans les jeux vidéos où il est aujourd'hui monnaie courante de générer ainsi des *terrains*.

En revanche, l'originalité d'Essl réside dans la manière d'utiliser ces *Strukturgeneratoren* : ce qu'il nomme la « composition en temps réel ». Celle-ci peut être décrite comme la conjugaison de la composition algorithmique avec le temps réel. Les pièces de l'œuvre d'Essl répondant à cette appellation peuvent être réparties entre deux catégories : les *installations* et les *méta-instruments*. Les installations sont des programmes qui génèrent de la musique sans intervention humaine, généralement utilisées dans un lieu précis comme à l'intérieur d'un musée. À la différence d'un simple enregistrement, le son diffusé par un programme de type installation est élaboré au fur et à mesure. Ses caractéristiques notables sont en particulier l'absence de répétition, mais aussi de début et de fin en tant que tels. Les *méta-instruments* sont des programmes offrant une interaction limitée (avec un *instrumentiste*), mais dont le produit est du même type que celui d'une installation ; c'est en quelque sorte une installation dont les interactive dont un petit nombre de paramètres internes peut être modifié en temps réel. Un instrument traditionnel comme le violon laisse une liberté à celui qui en joue (hauteur, durée, volume des notes. . .), mais impose aussi certains paramètres du son (timbre, ambitus, nombre de notes pouvant être jouées simultanément. . .). C'est ce qui justifie cette appellation de méta-instrument, la principale différence étant que les instruments traditionnels sont déterministes (le même geste produira systématiquement le même son) mais généralement pas les méta-instruments programmés par Essl. Comme nous le verrons par exemple à travers l'étude détaillée de la *Lexikon-Sonate*, c'est en combinant et associant des *Strukturgeneratoren* qu'Essl réalise de tels programmes.

La spécificité de la composition en temps réel réside dans cette rencontre à la fois de la composition algorithmique et du temps réel, et représente une rupture qualitative par rapport à l'une et à l'autre. En effet, l'utilisation d'algorithmes n'était auparavant possible qu'en amont du moment de réalisation de la pièce. Quant aux technologies en temps réel, celles qui existaient déjà en musique électronique ne pouvaient être

utilisées qu'en tant qu'instruments, pour produire et transformer du son. Les œuvres créées avec les prototypes d'ordinateurs en temps réel s'inscrivaient dans cette continuité, en utilisant la puissance de calcul pour élaborer de nouvelles transformations du son (par exemple *Répons* de Pierre Boulez ou *Antara* de George Benjamin). Essl a été l'un des premiers à mettre ces machines à calculer au service d'algorithmes de composition, et sans doute celui qui a le plus approfondi cette notion. Par la suite, avec la démocratisation de l'informatique (tant matérielle que logicielle), les pratiques similaires se sont multipliées, avec par exemple l'apparition au début du XXI<sup>e</sup> siècle du *live coding* (utilisation d'environnements de programmation interactifs pour « improviser » des codes, écrivant ainsi devant une audience le code informatique générant la pièce entendue en même temps).

### 3.4 Descente de la tour d'ivoire

Le dernier événement décisif dans le parcours d'Essl a lieu en 1997, lorsqu'il est invité au festival de Salzbourg (*Salzburger Festspiele*) et présenté parmi les « compositeurs de la nouvelle génération ». Le festival de Salzbourg, dédié à l'opéra, au théâtre et à la musique classique, est un événement de premier plan. Il est de plus davantage tourné vers la musique historique (en particulier celle de Mozart, né à Salzbourg) que vers la création contemporaine ; l'invitation fête à Essl marque donc un sommet de sa notoriété de compositeur.

Cet aboutissement est cependant un coup d'arrêt pour Essl. Il décide alors de changer radicalement sa posture de compositeur, en quittant la « tour d'ivoire » dans laquelle il travaillait jusqu'alors. Au lieu de seulement composer seul des morceaux (ou des programmes) et d'en confier l'exécution à des interprètes (ou des machines), il souhaite s'ouvrir. Cela le conduit d'une part à devenir *compositeur-performeur*, d'autre part à chercher à collaborer avec d'autres artistes pour ses créations futures.

Pour être à nouveau confronté au public, Essl devient donc « *performeur* ». La performance est une pratique artistique présente dans toutes les disciplines de l'art contemporain, supposant des actions éphémères à caractère unique<sup>28</sup>, dont par exemple

---

28. Au sens large, la musique générée par les programmes de composition en temps réel aurait donc un aspect performatif, au même titre que tout art de l'improvisation ; ce goût pour l'éphémère fait sans



John Cage ou Yoko Ono font partie des initiateurs. La désignation est cependant exagérée : les « performances » d'Essl sont avant tout des improvisations. L'improvisation fait partie des terrains de jeu privilégiés de la création musicale contemporaine, comme en témoigne par exemple le compositeur américain George Lewis : « [L'improvisation] se porte bien un peu partout. Beaucoup de monde essaie d'apprendre à improviser, parce que cela a toujours été un moyen formidable pour découvrir comment faire de la musique. Il y a une ébullition très intéressante parmi les improvisateurs — de nouvelles manières de structurer, des idées élaborées pour intégrer des partitions à l'intérieur de l'improvisation, de nouveaux sons, un élargissement des notions d'*instrument*, de *virtuose*, et du rôle du performeur. » <sup>29</sup>.

La volonté d'Essl de jouer devant un public comme il l'avait fait avec les groupes de rock de sa jeunesse se heurte toutefois à un problème majeur : il n'a aucun instrument dont il pourrait jouer. Bien qu'il ait comme nous l'avons vu joué du piano, de la guitare électrique et de la contrebasse, il n'a en 1997 plus aucune pratique instrumentale de haut niveau. Là encore, il trouve la solution en capitalisant sur son savoir-faire informatique : « Il serait difficile d'imaginer mon travail sans les ordinateurs, même lorsque je fais de la musique instrumentale ; c'est grâce à l'ordinateur que j'ai pu quitter ma tour d'ivoire » <sup>30</sup>. Essl conçoit ainsi son propre « instrument », qu'il nomme *m@ze 2* (*Modular Algorithmic Zound Environment*). Programmer son propre instrument est une pratique commune dans la musique contemporaine, ainsi témoigne le compositeur américain Curtis Roads : « Beaucoup d'instruments digitaux peuvent être associés aux micro-ordinateurs de faible coût. La prolifération d'ordinateurs bon marché donne accès aux instruments intelligents à virtuellement n'importe quel musicien qui les souhaite. » <sup>31</sup>.

Comme on peut le voir sur la photo 4, *m@ze 2* combine à la fois du matériel de musique électronique (pédales, micros, console MIDI. . .) et une interface logicielle (visible sur la photo 5) qui incorpore des algorithmes de traitement du son et des *Strukturgeneratoren* pour la composition en temps réel. Les deux aspects, traitement du son et

---

doute partie des motivations d'Essl à se tourner vers cette pratique et à la désigner ainsi.

29. #Citation(George Lewis in *Composers and the computer*, p. 81)#

30. #Citation(Elektronische Musik / Komposition / Improvisation - Karlheinz Essl im Gespräch mit Silvia Pagano)#

31. #Citation(*Composers and the computer*, p. xvii)#



FIGURE 4 – Karlheinz Essl réalisant une performance avec *m@ze 2* — Photo © Viktor Brázdil

composition algorithmiques, sont présents simultanément. Là encore, Essl réalise une synthèse dans une opposition classique décrite par exemple dans !!! : « [Tristan] Perich me dit que ses compositions émergent de l'improvisation, !!! — en général le piano, qui est son instrument de prédilection. Il oppose ceci à d'autres compositeurs qui utilisent des algorithmes, ce qui entraîne des complications. « Il y a une différence entre un processus qui fait partie de l'inspiration ou de votre ensemble d'outils, et un processus qui fait office de déterminant. » !!! Il préfère le premier. »<sup>32</sup> Le *m@ze 2* est donc un méta-instrument dans le sens employé ci-dessus, et même un « super-instrument ». Essl l'a en effet constamment développé et amélioré depuis sa création en 1998. On voit aussi sur la photo 4 qu'il s'en sert pour augmenter<sup>33</sup> des instruments traditionnels.

L'ouverture voulue par Essl passe aussi par la collaboration avec d'autres artistes, musiciens (instrumentistes et compositeurs) ou non. Cela l'amène à composer de nouvelles formes et pour de nouveaux cadres, comme l'écrit Julieanne Klein : « La production musicale d'Essl couvre tous les media possibles : orchestre, musique de chambre, théâtre musical, performance, musique électronique *live*, musique informatique et électronique, méta-compositions et compositions en temps réel, méta-instruments, installations et paysages sonores, musique de film, visuels, compositions textuelles et pièces

32. #Citation(Composers and the computer, p. 264)#

33. On parle en général d'*instrument augmenté* lorsqu'un musicien ajoute des fonctionnalités électroniques à son propre instrument — la guitare électrique est un instrument augmenté.



Karlheinz Essl junior. Celui-ci dispose en effet d'un studio à l'intérieur du bâtiment, et d'un poste de conservateur chargé de la programmation musicale, grâce auquel il peut mettre ses productions en scène à l'intérieur des expositions, et nouer des relations en organisant des concerts.

### 3.5 Essl et la culture numérique

AUCTARIALITÉ

+ IL EST PROF IL TRANSMET

### 3.6 Conclusion

=> CLASSIQUE DE SA GÉNÉRATION

#Citation(An Extended Composer's Desk - Composer Karlheinz Essl as the music curator of the Essl Museum)#

## 4 La composition en temps réel à travers ses programmes

### 4.1 Introduction

Cette partie se propose d'analyser l'œuvre d'Essl à partir du code même de ses programmes. étudier la notion de « composition en temps réel » dans l'œuvre d'Essl, !!!!!

### 4.2 La *Realtime Composition Library*

La *Realtime Composition Library* (*RTC-lib*) est une bibliothèque, c'est-à-dire un ensemble de fonctions réutilisables dans des programmes, développée par Karlheinz Essl dans le langage MAX/MSP. Son développement commence dès 1992, c'est-à-dire dès le moment où Essl a été mis en contact avec ce langage développé un an plus tôt par Miller Puckette (!!!), lors de son stage à l'IRCAM. Son origine remonte de 2007 à même conduit à un changement d'actionnaire majoritaire et à la décision de fermer le musée.

même à 1988, si l'on considère qu'Essl a commencé par implémenter dans ce nouveau langage les algorithmes de composition qu'il avait déjà développés en xLOGO, rassemblés dans une bibliothèque intitulée *COMPOSE*.

Cette bibliothèque est le socle de la plupart des œuvres réalisées par Essl impliquant la programmation. Il en recense 56 à ce jour : partitions, programmes, installations *works-in-progress*... , parmi lesquels certaines de ses créations majeures comme les *Sequitur*, *fLOW* (!!!) ou encore la *Lexikon-Sonate*, que !!! C'est aussi à partir d'elle qu'il a conçu l'« instrument » qu'il utilise lors de ses performances, le *m@ze* 2. Elle est distribuée sous licence libre. Elle est disponible en téléchargement et il est possible de l'utiliser et de la modifier gratuitement, à la seule condition d'en citer les auteurs.

Dans ce qui suit, je propose une description détaillée et une analyse de cette bibliothèque, en commençant par !!!

#### 4.2.1 Description

MAX/MSP est un *langage de programmation graphique*, c'est-à-dire un langage de programmation dans lequel les programmes ne sont pas écrits en texte mais construits à partir d'éléments graphiques. Dans le cas de MAX, ces éléments sont des boîtes ou « *patches* » possédant des entrées et des sorties, et des liens qui permettent à ses fonctions d'interagir — typiquement : relier une sortie d'un *patch* à l'entrée d'un autre. Un exemple (figure !!!). Il existe deux modes d'édition distincts, l'un pour construire le « circuit » du programme, l'autre permettant de l'exécuter et de modifier les paramètres (valeurs numériques, impulsions ou « *bangs* », curseurs etc.). MAX ayant été développé expressément pour la musique assistée par ordinateur, il contient de nombreux objets dédiés comme des entrées et sorties MIDI, ou dédiés au traitement du son<sup>36</sup>.

La *RTC-lib* est divisée en huit rubriques, qu'illustre en outre un tutoriel (voir figure !!!). Les trois premières rubriques, *Toolbox*, *Chance* et *Lists*, contiennent des objets « basiques ». Les trois suivantes, *Harmony*, *Rhythm* et *Envelopes*, des objets « de compo-

---

36. En réalité, MAX ne permettait à l'origine que la manipulation de données au format MIDI ; c'est la bibliothèque MSP, ajoutée en 1997, qui permet le traitement de signal audio (*Digital Signal Processing*, ou *DSP*). Une autre bibliothèque d'importance nommée Jitter a été ajoutée en 2002, qui permet synthèse la manipulation graphiques.

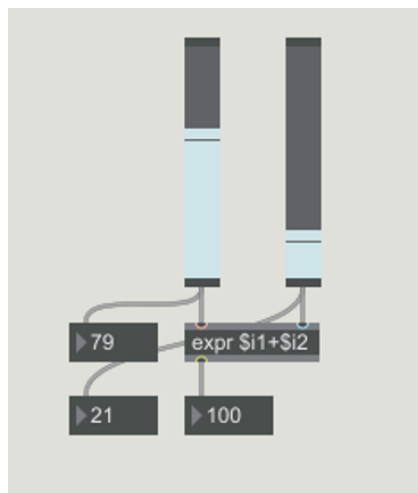


FIGURE 6 – Un programme basique en MAX/MSP : l’affichage et l’addition de deux entiers déterminés par des *sliders*.

sition », et les deux dernières, *MSP* et *Jitter*, regroupent les fonctions directement liées aux sorties son et vidéo. À ce jour il y a en tout 177 objets. 140 sont écrits par Essl, les autres en collaboration avec ou d’après d’autres compositeurs ou chercheurs<sup>37</sup>.

On y trouve de nombreuses fonctions très simples, en particulier dans la rubrique *Toolbox* : calcul de l’inverse, de l’opposé, accumulateur. . . D’autres corrigent ou améliorent des fonctions pré-existantes, comme la division euclidienne (ne fonctionnant à l’origine qu’avec un numérateur positif) ou l’arrondi (rendu paramétrable par Essl).

C’est aussi le cas de la rubrique *Lists*, dont la plupart des fonctions proposent simplement une forme plus ergonomique de fonctions pré-existantes, parfois simplement en leur donnant un nom plus clair. Elle contient ainsi des fonctions calculant la longueur d’une liste, l’intersection de deux listes, scindant une liste. . . On en trouve d’autres qui résument en une seule fonction des opérations très simples mais utiles et donc amenées à être utilisées souvent. Par exemple la fonction *butfirst* (respectivement *butlast*) cache simplement, en lui donnant une signification explicite, la scission d’une liste après son premier (respectivement avant son dernier) élément.

Enfin, les dernières fonctions avant tout pratiques que contient la *RTC-lib* sont des conversions présentes dans chaque rubrique. Elles permettent au compositeur de manipuler les différents outils de la bibliothèque sans se soucier de leur compatibilité de

37. R. Albert Falesch, Charles Baker, Frank Barknecht, John Chowling, Chris Dobrian, Richard Dudas, Gerhard Eckel, Peter Elsea, Philippe Gruchet, Gary Lee Nelson, Serge Lemouton, James McCartney, Iain Mott, Eric Singer, Les Stuck et David Zicarelli.

type, qui peut être immédiatement gérée par ces convertisseurs. Cela va de transformations de pitch en note MIDI ou en fréquence à celles entre différentes sorties sons, ou encore à celles entre durées relatives et absolues.

#### 4.2.2 Analyse

##### Théorique

##### Technique

**Esthétique** Le cœur de la partie véritablement compositionnelle de la *RTC-lib* réside à mon sens dans la rubrique *Chance*. En effet, bien qu'elle contienne comme *Toolbox*, *Lists*, *MSP* et *Jitter* des outils basiques représentant des fonctions simples, c'est la variété des générateurs aléatoires présents dans celle-ci qui rend possible la liberté de développer des algorithmes musicaux. Et c'est pour beaucoup à partir de cette variété que se construisent les fonctions des modules *Harmony*, *Rhythm* et *Envelopes*. Là encore, l'ergonomie est une préoccupation importante ; tous les générateurs sont ainsi déclinés en deux fonctions, selon qu'ils fournissent leurs résultats séquentiellement, ou directement sous la forme d'une liste. Là encore, toutes les fonctions ont un code relativement simple, parfois largement fondé sur des fonctions standard de MAX, comme la génération sérielle présente nativement dans la fonction *xrandom* rebaptisée *series*.

On retrouve la plupart des générateurs aléatoires classiques : probabilité uniforme, sérialisme, chaînes de Markov, mouvement brownien. Certains sont déclinés en plusieurs variantes intégrant des paramètres supplémentaires (pondérations, interdiction de répétitions...). On remarque la présence moins commune de plusieurs générateurs reposant sur des échelles logarithmiques, mais l'absence de générateurs reposant sur des distributions de probabilité comme les lois de Gauss ou de Poisson. D'une manière générale, on trouve presque exclusivement - c'est-à-dire à l'exception du générateur de mouvement brownien, *brownian* - des générateurs discrets et non continus.

Si l'on se penche maintenant sur les rubriques dites « de composition », on peut y distinguer trois sortes de fonctions.

D'abord, il y a les fonctions spécifiques aux données du son concernées, qui implémentent des comportements et des outils classiques. Par exemple, la fonction *neutral-harmony(n,i)* génère séquentiellement des notes à partir de  $n$  par déplacement d'un intervalle  $i$  puis de son complémentaire, tandis que la *metro-dev%* modélise un instrumentiste humain en introduisant des approximations dans un battement parfaitement régulier, et que la fonction *panning* calcule la distribution stéréo des volumes pour simuler le déplacement de la source sonore. Parmi cette première sorte, toute une sous-section de *Harmony* est dédiée aux manipulations dodécaphoniques usuelles. La deuxième sorte de fonctions est une application des différents générateurs aléatoires et de certaines opérations de listes à chaque rubrique. Concrètement, ce sont à peu de choses près des convertisseurs qui transforment les résultats de ces générateurs en données représentant des hauteurs de notes (entiers d'un certain ensemble), des rythmes (*bangs* émis, ou entiers correspondant à des `??????????ED`), et des vitesses (entiers entre 0 et 127). Néanmoins cette description est un peu réductrice, en ce que ces fonctions considérées de l'extérieur dépassent la simple conversion de données, possèdent un véritable contenu sémantique. Les fonctions de la troisième sorte regroupent les précédentes. Elles possèdent de nombreux paramètres d'entrée, dont la possibilité de choisir parmi les différentes méthodes aléatoires utilisables. C'est typiquement le cas du très complet *super-rythm*.

J'ai écrit que la plupart des algorithmes présents dans cette bibliothèque était plutôt simples ; en terme de complexité algorithmique, ils sont tous au plus linéaires (ce qui est, effectivement, une complexité faible). Cette complexité n'est en outre jamais apparente dans les algorithmes d'Essl (sous forme par exemple de boucles ou, plus évident en MAX, de récursivité), mais seulement dans les sous-procédures élémentaires qu'il appelle, plus précisément les manipulations de listes et les objets de type *métronome*.

S'il fallait décrire un « style » de programmation dans la *RTC-lib*, je dirais que c'est une pensée avant tout fonctionnelle. Cela signifie que le paradigme avec lequel Essl approche la programmation lui fait voir les algorithmes comme des fonctions qui *calculent* (pensée fonctionnelle) plutôt que par exemple comme des listes d'instructions à exécuter (pensée impérative). Une illustration simple en serait la fonction *remove* de la rubrique *Lists* : pour supprimer le  $n$ -ième élément d'une liste  $L$ , Essl calcule les sous-



listes  $L1$  et  $L2$  séparées au niveau de cet élément, puis la liste  $L1'$  comme  $L1$  privée de son dernier élément, et enfin le résultat comme la jonction de  $L1'$  et  $L2$ . Une pensée impérative aurait plutôt fait reculer d'un rang chaque élément à partir du  $n+1$ -ième. Cela n'a rien de surprenant car c'est la manière de programmer naturellement induite par le langage MAX, et associée avec l'utilisation de listes, omniprésentes dans la *RTC-lib* (la structure de données équivalente de la programmation impérative étant le tableau). Il est cependant intéressant de noter qu'Essl, qui a commencé à programmer avec des langages impératifs (Basic, LOGO) maîtrise parfaitement les codes du paradigme de programmation le mieux adapté dans ce contexte - malgré l'absence de récursivité, autre caractéristique essentielle de la pensée fonctionnelle. D'une manière générale, les algorithmes sont codés de manière directe, concise, et très claire. On peut même remarquer parfois le choix, augmentant cette concision, d'étapes *hard-coded* : au lieu de faire calculer une sous-fonction de manière procédurielle, l'ensemble de ses valeurs est intégralement décrit en donnée.

Enfin, quelques remarques sur les choix esthétiques sous-jacents. L'influence de l'école sérielle est très présente, ainsi que celles de Gottfried Michael Koenig et de Karlheinz Stockhausen, à qui plusieurs algorithmes font des emprunts (ils sont nommés dans les descriptions). La pensée est aussi très « pianistique » dans le sens où les notes sont décrites par d'uniques hauteur et vitesse (comme sur un piano mais pas sur un violon, où le son d'une même note peut évoluer dans le temps). Il aurait pu en être autrement compte tenu de l'intérêt qu'Essl accorde au son en général, mais cela n'a rien d'étonnant dans un langage de programmation qui privilégie la notation MIDI, et un langage musical marqué par la pensée sérielle. Rythmiquement, on peut noter un affranchissement de la notation sur partition car ce ne sont jamais des noires, croches, doubles, etc., qui sont manipulées, mais exclusivement des durées absolues. Enfin, lorsqu'il s'agit de générer les ensembles de valeurs parmi lesquelles opérer des choix aléatoires, Essl a une préférence nette pour les échelles logarithmiques - sans doute parce qu'elles permettent à la fois précision et contrastes -, disponibles presque systématiquement.

En conclusion, il apparaît que les moyens techniques nécessaires à l'utilisation de cette bibliothèque en temps réel concernent avant tout l'interaction entre l'unité de calcul et les périphériques de son ou d'image. Les algorithmes utilisés par Essl sont

<b>Année</b>	<b>Mips (!!!)</b>	<b>Modèle</b>	<b>Type (!!!)</b>
1954	0,000640	IBM 704	Mainframes
1969	3,3	IBM 360/85	Mainframes
1973	0,065500	DEC PDP 11/45	Mini
1977	0,230	Apple II	Micro
<b>1982</b>	<b>2,188</b>	<b>Atari ST</b>	<b>Mini</b>
1985	1,6	VAX 11/785	Mini
<b>1998</b>	<b>525</b>	<b>iMac G3</b>	<b>Micro</b>
2003	3100	iMac G5	Micro
2008	50000	Apple Mac Pro	Micro

FIGURE 7 – Tableau MIPS !!!

d'une complexité très en-deçà non seulement des capacités non seulement des processeurs actuels, mais aussi de leurs prédécesseurs. [Il faudrait que je creuse pour avoir une idée de ce qu'on peut exécuter en temps perçu comme réel sur les *personal computers* des trente dernières années, mais je soupçonne que c'était déjà le cas, ou alors presque, en 1991.] Il possède une bonne maîtrise technique, à la fois dans l'efficacité des algorithmes et dans la manière de les présenter et documenter (sans quoi l'entretien du code et son utilisation par d'autres serait beaucoup moins aisée). Mais c'est son savoir-faire de compositeur qui ressort, qui se reflète dans le choix des algorithmes plutôt que dans leur implémentation. Bien que ceux-ci soient « simples » au sens informatique, la *RTC-lib* est très complète car d'une part chaque algorithme de composition peut produire des résultats très divers selon la leur paramétrage, et ils sont facilement combinables, pour créer des générateurs de musique dont les modules de la *Lexikon-Sonate* sont d'éloquents illustrations.

### 4.3 Analyse

#Citation(RTC-lib)#

## 4.4 Quelle « composition en temps réel » ?

diese Ircam Signal Processing Workstation entwickelt. Das war ein NeXT Computer mit einer speziellen Soundkarte, mit einem ganz tollen Prozessor, der konnte in Echtzeit Klangsynthese und Klangmanipulationen, Soundprocessing machen

#Citation(Philippe Codognet, New computational paradigms for computer music, p. 160)# => Ça se rejoint dans RTC !!!

#Citation(La musique du temps réel, p. 41)#

#Citation(La musique du temps réel, p. 42)#

#Citation(La musique du temps réel, p. 44-45)#

#Citation(Improvisation über "Improvisation" - Karlheinz Essl & Jack Hauser)#

#Citation(Composing in a Changing Society - How does a composition come into existence ?)#

#Citation(RTC-lib)#

## 4.5 La *Lexikon-Sonate*

#Citation(L'Œuvre ouverte, p. 30)#

#Citation(L'Œuvre ouverte, p. 105)#

#Citation(Adorno, p. 41-42)#

#Citation(Profile Karlheinz Essl - Karlheinz Essl in conversation with Joanna King)#

#Citation(Irreal-Enzyklopädie - Bernhard Günther - Einer metaphorischen Reise zur Lexikon-Sonate von Karlheinz Essl)#

#Citation(Der Wiener Komponist Karlheinz Essl (Hanno Ehrler))#

#Citation(Elektronische Musik / Komposition / Improvisation - Karlheinz Essl im Gespräch mit Silvia Pagano)#

## 4.6 Conclusion : Essl et l'ordinateur

#Citation(Irreal-Enzyklopädie - Bernhard Günther - Einer metaphorischen Reise zur Lexikon-Sonate von Karlheinz Essl)#

#Citation(Intuition, Automation, Entscheidung. Der Komponist im Prozess algorithmischer Komposition)#

## 5 Démocratisation ?

#Citation(Kuhn)#

#Citation(Les théories de l'art, p. 25)#

#Citation(Breton, intro chap 11)#

#Citation(Breton, p. 206)#

#Citation(L'art numérique, p. 63)#

#Citation(L'art numérique, p. 79)#

#Citation(L'art numérique, p. 231)#

#Citation( ? ? ? )#

#Citation(net.music)#

#Citation(Improvisation über "Improvisation" - Karlheinz Essl & Jack Hauser)#

#Citation(Technological Musical Artifacts (Gerhard Eckel))#

#Citation(Der Wiener Komponist Karlheinz Essl (Hanno Ehrler))#

#Citation(NET Music - Karlheinz Essl talking to Golo Föllmer)#

#Citation(Wagner in Translation - Karlheinz Essl im Interview mit Annegret Huber)#

#Citation(Julieanne Klein - A Portrait of the Composer Karlheinz Essl)#

#Citation(Rückblick / Vorschau - Der Komponist Karlheinz Essl im Gespräch mit Annelies Kühnelt)#

#Citation(Karlheinz Essl / Bernhard Günther - Realtime Composition - Musik diesseits der Schrift)#

#Citation(Elektronische Musik / Komposition / Improvisation - Karlheinz Essl im Gespräch mit Silvia Pagano)#

#Citation(Intuition, Automation, Entscheidung. Der Komponist im Prozess algorithmischer Komposition)#

## **6 Conclusion**

## Résumé

CECI EST UN RÉSUMÉ

**Mots-clefs :** 1 2 3 4 5 6

## 7 Bibliographie

### Références

- Adorno, Theodor W. « Philosophie der neuen Musik » (1949).
- Appleton, Jon, Curtis Roads et John Strawn. *Composers and the Computer*, 1986.
- Assayag, Gérard, et Andrew Gerzso. *New computational paradigms for computer music*. T. 17. Delatour, 2009.
- Breton, Philippe. *Histoire de l'informatique*. La découverte Paris, 1987.
- Cauquelin, Anne. *Les théories de l'art : « Que sais-je ? » n. 3353*. Presses universitaires de France, 2010.
- Collins, Nick. *Introduction to computer music*. John Wiley & Sons, 2010.
- Collins, Nick, Alex McLean, Julian Rohrerhuber et Adrian Ward. « Live coding in laptop performance ». *Organised sound* 8, n° 03 (2003) : 321–330.
- Cope, David. *The algorithmic composer*. T. 16. AR Editions, Inc., 2000.
- Couchot, Edmond, et Norbert Hillaire. *L'art numérique*. Flammarion, 2003.
- Daston, Lorraine. *Things that talk : Object lessons from art and science*. MIT Press, 2004.
- Daston, Lorraine, et Peter Galison. *Objectivity*. Zone books, 2010.
- Dobretsberger, Christine. « Karlheinz Essl : Der Komponist als Zufallsgenerator ». In *Mozarts Erben*. Ibero Verlag, 2006.
- Donin, Nicolas, Laurent Feneyrou et Pierre-Laurent Aimard. *Théories de la composition musicale au XXe siècle*. T. 1. Symétrie, 2013.
- Eckel, Gerhard. « About the Installation of Karlheinz Essl's Lexikon-Sonate ». 1995.  
<http://www.essl.at/bibliogr/lexson-eckel.html>.
- . « Technological Musical Artifacts ». <http://iem.at/~eckel/publications/eckel198a/eckel198a.html>.

- Eco, Umberto. *Opera aperta : Forma e indeterminazione nelle poetiche contemporanee*. T. 3. Tascabili Bompiani, 1962.
- Essl, Karlheinz, et Annelies Kühnelt. « Rückblick / Vorschau ». *AKKORD (Zeitschrift der Musikschule Klosterneuburg)* 1 (2006/2007).
- Felber, Andreas. « Der verlängerte Schreibtisch des Komponisten ». In *PASSION FOR ART, Ausstellungskatalog*. Sammlung Essl Privatstiftung, 2007.
- Förster, Jonas. « Intuition, Automation und Entscheidung. Der Komponist im Prozess algorithmischer Komposition ». *Mémoire de maîtrise*, Folkwang Universität der Künste Essen, 2011.
- Hiller, Lejaren Arthur, et Leonard M Isaacson. *Experimental Music ; Composition with an electronic computer*. Greenwood Publishing Group Inc., 1979.
- Jamie, James. *La Musique des sphères*, 1997.
- Karl, Popper. *La quête inachevée*, 1981.
- Klein, Julieanne. « A Portrait of the Composer Karlheinz Essl ». *Fowl Feathered Review* 4 (2013) : 74–81.
- Kuhn, Thomas S. *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago press, 2012.
- Lacoste, Jean. *La philosophie de l'art : « Que sais-je ? » n. 1887*. Presses universitaires de France, 2010.
- Manoury, Philippe, Omer Corlaix et Jean-Guillaume Lebrun. *La musique du temps réel : entretiens avec Omer Corlaix et Jean-Guillaume Lebrun*. Editions MF, 2012.
- Miller, Arthur I. *Colliding worlds : how cutting-edge science is redefining contemporary art*. WW Norton & Company, 2014.
- Moles, Abraham. « Art et ordinateur ». *Communication and langages* 7, n° 1 (1970) : 24–33.
- Puckette, Miller. « Combining event and signal processing in the MAX graphical programming environment ». *Computer music journal* 15, n° 3 (1991) : 68–77.



- Schillinger, Joseph. *The Schillinger system of musical composition*. C. Fischer, inc, 1946.
- Scholl, Steffen. « Karlheinz Essls RTC-lib ». In *Musik – Raum – Technik. Zur Entwicklung und Anwendung der graphischen Programmierung »Max«*, 102–107. Transcript Verlag, 2014.
- Sinkovicz, Wilhelm. « Fantasie als Sprengstoff ». *DIE PRESSE* (2005).
- Weberberger, Doris. « Porträt : Karlheinz Essl ». *MUSIC AUSTRIA* (2012).
- Wilson, Stephen. *Art+Science Now*. Thames & Hudson, 2012.
- Wittgenstein, Ludwig. *Recherches philosophiques*. Editions Gallimard, 2014.
- Wodon, Bernard. *Histoire de la musique*. Larousse, 2014.
- Xenakis, Iannis. « Musiques Formelles Nouveaux Principes Formels de Composition Musicale » (1981).