



HAL
open science

Modélisation orientée objet-opératoire pour l'analyse et la composition du répertoire musical numérique

João Svidzinski

► **To cite this version:**

João Svidzinski. Modélisation orientée objet-opératoire pour l'analyse et la composition du répertoire musical numérique. Musique, musicologie et arts de la scène. Université Paris VIII – Vincennes-Saint-Denis UFR 1- arts, philosophie, esthétique, 2018. Français. NNT : . tel-02045765

HAL Id: tel-02045765

<https://hal.science/tel-02045765v1>

Submitted on 22 Feb 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ PARIS VIII VINCENNES – SAINT-DENIS
UFR 1 – ARTS, PHILOSOPHIE, ESTHÉTIQUE

ÉCOLE DOCTORALE ESTHÉTIQUE, SCIENCES ET TECHNOLOGIES DES ARTS

**Modélisation orientée objet-opératoire pour
l'analyse et la composition du répertoire musical
numérique**

João SVIDZINSKI

Sous la direction de M. Alain BONARDI

Thèse pour l'obtention du grade de Docteur en Esthétique, Sciences
et Technologies des Arts de l'Université Paris 8

Soutenue publiquement le 24 septembre 2018 devant un jury composé de :

M. Alain BONARDI (directeur de recherche)
Mme Myriam DESAINTE-CATHERINE (rapporteur)
M. Pierre COUPRIE (rapporteur)
M. Jean-Marc CHOUVEL (examinateur)
Mme. Anne-Sylvie BARTHEL-CALVET (examinatrice)

Résumé

La modélisation orientée objet-opératoire, méthode proposée dans cette thèse de doctorat, a été bâtie sur les piliers théoriques de la composition orientée objet, proposée dans les années 1980, par le compositeur-chercheur Horacio Vaggione. Notre approche est au carrefour de l'analyse du répertoire numérique, de l'interprétation et de la composition musicale. En fait, cette recherche est un reflet de notre activité polyvalente musicale comme compositeur-chercheur au CICM - Centre de Recherche en Informatique et Création Musicale / MUSIDANSE - à la MSH Paris Nord - Maison des Sciences de l'Homme Paris Nord. Dans une première étape, nous avons reconsidéré le rôle de l'analyse du répertoire dans le cadre de notre activité. Les publications et exemples de démarche créative de Jean-Claude Risset nous ont fourni une base théorique qui met en valeur l'importance de l'analyse du code informatique pour l'étude du répertoire musical faisant appel à l'informatique. En reliant les théories des Risset à celles de Vaggione, nous avons construit un cadre analytique-créatif dans lequel la pratique - le *faire musical numérique* (soit la composition, soit l'interprétation des œuvres du passé) - est au cœur de l'activité. Vaggione propose la composition avec des réseaux d'objets, les objets étant tous les matériaux utilisés lors de la composition. Étant donné qu'il s'agit d'une étude sur le répertoire musical numérique, le réseau opératoire est souvent compris comme l'environnement numérique avec lequel le compositeur travaille. La modélisation orientée objet-opératoire, à son tour, vise la modélisation de ce réseau (toujours selon les principes théoriques de la composition orientée objet) afin que celui-ci soit utile pour le *faire musical*. Partant de ce principe, nous avons analysé *Songes* (1979), pièce acousmatique de Jean-Claude Risset, grâce à l'accès aux codes originaux MUSIC V fournis par le compositeur et nous avons modélisé avec le langage FAUST plusieurs parties de la pièce. Parallèlement, nous avons étudié les pièces *Shifting Mirrors* (2016) d'Horacio Vaggione, *Due di Uno* (2002) d'Agostino di Scipio et *Pianotronics 3* (2016) d'Alain Bonardi. Cette dernière nous a fourni le principe technique pour l'élaboration de notre approche créative orientée objet-opératoire. Les pièces *Taurus* (2015-2017) et *Tyqué* (2016-2018) – mais aussi les pièces composées en amont, *Aphorismes* (2015) et *La Philosophie du temps* (2015) - sont des exemples aboutis de nos compositions mixtes qui incorporent les concepts de Vaggione - comme l'approche multi-échelle temporelle, la composition de l'espace et surtout la composition orientée objet – dans un contexte de traitement de temps-réel. Nous avons développé, d'après le système d'Alain Bonardi, un environnement avec le logiciel Max, des modules de traitement numérique en langage FAUST et un contrôle orienté objet en JavaScript. Nous nous sommes aussi approprié certaines méthodes de *Pianotronics 3* (2016), comme la réinjection matricielle, mais dans un contexte créatif différent. L'articulation entre l'analyse et la composition s'avère donc imbriquée dans notre activité, étant un corrélat naturel de notre *faire musical numérique*.

Mots-clefs : Informatique musicale, composition musicale, analyse musicale, musique numérique, approche orientée objet.

Abstract

Operational object-oriented modelling, the method proposed in this doctoral thesis was built on the theoretical pillars of object-based composition proposed in the 1980s by the composer-researcher Horacio Vaggione. Our approach is at the crossroads of digital music analysis, performance and composition. As a composer-researcher at the Centre de Recherche en Informatique et Création Musicale (CICM) / MUSIDANSE and at the Maison des Sciences de l'Homme Paris Nord (MSH Paris Nord), this research reflects the diversity of our musical activity. First of all, we reconsidered the role of digital music analysis in our activity. The publications and the examples of Jean-Claude Risset's creative approach provided us with a theoretical basis highlighting the importance of analysing the computer code in order to study computer music. Then, connecting Risset's and Vaggione's theories, we built an analysis-based creative framework in which the action, or what we call *digital music making* (compositional or performative), is at the heart of the activity. Vaggione proposes an approach to composition based on networks of objects, the objects being the materials used for composition. Considering it as a study of the digital music repertoire, the operational network is often understood as the digital environment with which the composer works. Thus, operational object-oriented modelling aims at outlining this network (always relying on the theoretical principles of object-based composition) so that it is useful for *digital music making*. With this principle, we analysed *Songes* (1979), an acousmatic piece by Jean-Claude Risset – thanks to the composer for providing us with the original MUSIC V codes – and we modelled several parts of the piece using the FAUST language. At the same time, we studied Horacio Vaggione's *Shifting Mirrors* (2016), Agostino di Scipio's *Due di Uno* (2002) and Alain Bonardi's *Pianotronics 3* (2016). The latter provided us with a technical background for the development of our object-based creative approach. The pieces *Taurus* (2015-2017) and *Tyqué* (2016-2018), but also others such as *Aphorismes* (2015) and *La philosophie du temps* (2015), are good examples of our mixed-music compositions incorporating in a real-time digital environment some of Vaggione's personal take on concepts such as the multi-scale temporality, the spatial design and most importantly the object-oriented composition. Based on Bonardi's system, we developed a Max environment for digital signal processing using the FAUST language and object-oriented controls using JavaScript. We also implemented some methods used in *Pianotronics 3* (2016) such as the matrix reinjection but in a different creative context. The articulation between analysis and composition is therefore embedded in our activity, being a natural correlate of our *digital music making*.

Keywords: computer music, music composition, music analysis, digital music, object-oriented approach.

Remerciements

Je voudrais remercier

tout d'abord, CAPES pour avoir financé cette thèse de doctorat ;

Alain Bonardi, un excellent directeur qui est devenu un ami et aussi un point fondamental de cette recherche ;

le CICM, spécialement Anne Sèdes et José Manuel Lopez-Lopez. Également mes collègues chercheurs et doctorants, mes étudiants qui, directement ou indirectement, ont beaucoup contribué à cette recherche ;

la Maison des Sciences de L'Homme pour avoir soutenu nos projets ;

les membres du jury de thèse et les nombreux relecteurs « inconnus » de mes articles publiés au cours de cette recherche qui ont beaucoup contribué à l'avancement du sujet ;

Vincent Tiffon, pour le soutien et pour l'énorme collaboration autour de l'analyse de *Songes* ;

les interprètes collaborateurs, collègues et amis, Pedro Bittencourt, Camille Fauvet, Aymeric Pin, Fabien Cailleateau et Sophia Vaillant.

Horacio Vaggione pour m'avoir aidé et soutenu tout au long de cette recherche et surtout pour être l'une de mes grandes sources d'inspiration ;

Jean-Claude Risset *in memoriam* pour m'avoir fourni la riche documentation sans laquelle cette recherche serait impossible. Pour avoir soutenu cette recherche et surtout pour avoir été l'exceptionnel être humain pour qui j'ai une profonde admiration ;

Pauline Feracci, pour m'avoir aidé maintes fois et m'avoir autant soutenu. Peut-être la plus belle surprise que j'ai eue au cours de ces années de recherche ;

finalement et plus particulièrement, Antonio et Terezinha Svidzinski, mes parents, Arthur Svidzinski, mon frère. Cette thèse de doctorat et le résultat d'un projet que j'ai entamé encore adolescent, vous êtes les seuls à en être témoins. Il m'a fallu presque quinze ans pour enfin reconnaître l'importance de votre rôle dans cette quête. Lorsque

ma mère me montrait, ravie, ses articles scientifiques publiés, ou quand elle me faisait changer les diaporamas lors des répétitions de sa soutenance de doctorat (peut-être pour ne pas me laisser m'ennuyer), elle ne se rendait sûrement pas compte qu'à ce moment-là, l'amour pour la recherche scientifique et pour le milieu universitaire naissait dans mon cœur. Si vous vous êtes culpabilisé un jour vous de m'avoir « abandonné » à mon enfance pour mener votre thèse doctorale, sachez que maintenant je suis le même chemin avec le même dévouement et la même passion. Si vous vous êtes culpabilisés encore de ne pas avoir été présents quand j'avais d'énormes difficultés d'alphabétisation, sachez que l'accomplissement de ma thèse de doctorat est la preuve, après presque quinze ans, que vous avez pris la bonne décision. Grâce à vous, mon désir de devenir chercheur est venu bien avant de devenir musicien.

finalmente e mais importante, a Antonio e Terezinha Svidzinski, meus pais e a Arthur Svidzinski, meu irmão. Esta tese de doutorado é o resultado de um projeto que eu comecei ainda adolescente, somente vocês são testemunhas. Eu precisei de quase quinze anos para reconhecer a enorme importância que vocês tiveram nessa jornada. Quando minha mãe me mostrava orgulhosa os artigos publicados, ou quando ela me pedia para mudar os slides durante os ensaios da defesa de sua defesa de doutorado (talvez para não me entediar), ela certamente não sabia que nesses momentos o amor pela pesquisa e pela academia científica nascia em mim. Se vocês um dia se culpabilizaram por ter me abandonado na minha infância, saibam que hoje eu faço o mesmo caminho com a mesma dedicação e paixão. Se vocês um dia se culpabilizaram por não estarem presentes quando eu tinha muitas dificuldades para alfabetização, saibam que a realização do meu doutorado é a prova, depois de quase quinze anos, que vocês fizeram a decisão correta. Graças a vocês, meu desejo de me tornar pesquisador veio muito antes de me tornar músico.

Sommaire

RESUME	3
ABSTRACT	4
REMERCIEMENTS	5
SOMMAIRE	7
TABLE DES ANNEXES F.	10
INTRODUCTION	11
I. <u>VERS DES RECHERCHES ORIENTEES OBJET</u>	17
1. <u>DES SONS ORGANISES AUX RESEAUX D'OBJETS</u>	24
1.1. DE NOUVELLES MACHINES, VERS UNE NOUVELLE MUSIQUE ?	25
1.1.1. VARESE : LES SONS ORGANISES.....	27
1.1.2. DE L'ÉCHEC DE VARESE VERS LES OPERATIONS SUR LA MORPHOLOGIE	29
1.1.3. DE L'ORGANISATION DES MASSES SONORES : VERS DES RESEAUX D'OBJET ?	36
1.2. ART-SCIENCE-TECHNOLOGIE	40
1.2.1. LA RECHERCHE MUSICALE ET LA SYNTHÈSE SONORE	43
1.2.2. LA RECHERCHE MUSICALE FONDAMENTALE.....	46
1.2.3. LA RECHERCHE MUSICALE ET L'INFORMATIQUE - LE DANGER DES « MACHINES A COMPOSER ».....	48
1.2.4. LA RECHERCHE MUSICALE ET L'INFORMATIQUE - LE DANGER DE LA « VENERATION DES MACHINES » .	51
1.3. <u>VERS L'OUVERTURE DE L'OBJET SONORE</u>.....	54
1.3.1. L'OBJET SCHAEFFERIEN	54
1.3.2. VERS L'OUVERTURE DE L'OBJET	58
1.3.3. LA SPECTROMORPHOLOGIE	61
1.3.4. MORPHOLOGIE N-DIMENSIONNELLE	63
2. <u>L'ORGANISATION DU SONORE</u>.....	68
2.1. LE MODELE DE LA <i>COMPUTER MUSIC</i>	71
2.1.1. DANS LES PREMIERES EXPERIENCES DE L'INFORMATIQUE MUSICALE	73
2.1.2. <i>MUTATIONS</i> (1969) DE JEAN-CLAUDE RISSET ET <i>TURENAS</i> (1972) DE JOHN CHOWNING	78
2.1.3. DANS LA COMPOSITION ASSISTEE PAR ORDINATEUR	82
2.2. PROCESSUS DE COMPOSITION ELECTRONIQUE MULTI-ETAGE	85

2.2.1.	MULTI-ETAGE DANS LA MUSIQUE CONCRETE.....	87
2.2.2.	MULTI-ETAGE DANS <i>SUD</i> (1985) DE JEAN-CLAUDE RISSET	91
2.2.3.	MULTI-ETAGE DANS <i>IMAGO</i> (2002) DE TREVOR WISHART	95
2.2.4.	MULTI-ETAGE DANS LES PIECES MIXTES	98
2.3.	LE MODELE DE L'ELECTRONIQUE TEMPS-REEL SELON PUCKETTE ET MANOURY.....	103
2.3.1.	DANS <i>JUPITER</i> DE PHILIPPE MANOURY	107
3.	<u>VERS UNE MODELISATION ORIENTEE OBJET-OPERATOIRE</u>	111
3.1.	POUR LA COMPOSITION.....	115
3.2.	POUR L'ANALYSE	120
II.	<u>L'ANALYSE ET LA COMPOSITION MUSICALE ORIENTEE OBJET-OPERATOIRE</u>	123
4.	<u>COMPOSITION ORIENTEE OBJET-OPERATOIRE.....</u>	130
4.1.	LA PENSEE OPERATOIRE	132
4.1.1.	LES NIVEAUX D'INTERACTION – BOUCLE FEEDBACK ACTION/PERCEPTION	137
4.1.2.	ÉMERGENCE	141
4.2.	DES RESEAUX D'OBJETS	146
4.2.1.	L'OBJET OPERATOIRE NUMERIQUE	151
4.3.	ARTICULATION MULTI-ECHELLE ET MULTIDIMENSIONNELLE DU RESEAU D'OBJETS.....	158
4.3.1.	LE MICROMONTAGE.....	160
4.3.2.	APPROCHE TRANSFORMATIONNELLE : OPERATIONS MORPHOLOGIQUES	162
4.3.3.	L'ESPACE COMPOSABLE : DÉCORRÉLATION MICROTEMPORELLE	164
4.4.	MUSIQUE MIXTE : VERS UNE VECTORISATION COMMUNE.....	166
4.5.	PERSPECTIVES CREATIVES DE L'APPROCHE ORIENTEE OBJET-OPERATOIRE	170
5.	<u>ANALYSER POUR COMPOSER : VERS LA MODELISATION ORIENTEE OBJET-OPERATOIRE</u>	175
5.1.	L'ANALYSE ET LE COMPOSITEUR.....	183
5.2.	L'ANALYSE DE LA MUSIQUE ELECTROACOUSTIQUE	193
5.2.1.	ANALYSE GENETIQUE DU REPERTOIRE MUSICAL NUMERIQUE	198
5.2.2.	LA RECONSTRUCTION	200
5.3.	MODELISATION ORIENTEE OBJET-OPERATOIRE.....	202
6.	<u>MODELISATION ORIENTEE OBJET-OPERATOIRE POUR L'INTERPRETATION MUSICALE .</u>	208
6.1.	CIRCULATIONS DES ŒUVRES MIXTES DANS UN RESEAU	214

6.2.	<i>SHIFTING MIRRORS</i> D’HORACIO VAGGIONE	219
6.2.1.	L’APPROCHE OPERATOIRE DE <i>SHIFTING MIRRORS</i>	226
6.3.	SONGES DE JEAN-CLAUDE RISSET	237
6.3.1.	LA SYNTHÈSE SONORE NUMÉRIQUE DANS <i>SONGES</i> : LE PROGRAMME MUSIC V.....	240
6.3.2.	RELATIONS INTERVALLIQUES GÉNÉRATRICES DE TIMBRES	246
6.3.3.	CARTE DE SON, ESPACE DE TIMBRE.....	247
6.3.4.	LA MORPHOLOGIE D’UNE CLOCHE : DU SIMULACRE DE CLOCHES AUX TEXTURES FLUIDES	249
6.3.4.1.	Cloche 1280	252
6.3.4.2.	Cloche « mirages »	254
6.3.4.3.	Textures fluides et la transposition des cloches mode 2 1 2 1	257
6.3.5.	CONTOURS DE FRÉQUENCE, ILLUSION D’ESPACE ET <i>PHASING</i>	258
6.4.	BILAN ET PERSPECTIVES INTERPRÉTATIVES	266
7.	<u>MODELISATION ORIENTÉE OBJET-OPÉRATOIRE POUR LA COMPOSITION MUSICALE... 277</u>	
7.1.	<i>DUE DI UNO</i> D’AGOSTINO DE SCIPIO : VERS LA PHILOSOPHIE DU TEMPS ET APHORISMES.....	280
7.1.1.	<i>APHORISMES</i>	291
7.1.2.	<i>LA PHILOSOPHIE DU TEMPS</i>	297
7.1.2.1.	Première version – émulation de l’objet de contrôle non-linéaire.....	301
7.1.2.2.	Bilan après la deuxième version	306
7.2.	<i>PIANOTRONICS 3</i> D’ALAIN BONARDI : VERS <i>TAURUS</i> ET <i>TYQUÉ</i>	307
7.2.1.	<i>PIANOTRONICS 3</i> D’ALAIN BONARDI	309
7.2.2.	<i>TAURUS</i>	319
7.2.3.	<i>TYQUÉ</i>	337
	<u>CONCLUSION.....</u>	348
	<u>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u>	356
A.	<u>ANNEXE : CODE FAUST – CLOCHE 1280.....</u>	368
B.	<u>ANNEXE : CODE FAUST – CLOCHE <i>MIRAGES</i>.....</u>	369
C.	<u>ANNEXE : CODE FAUST – CONTOURS DE FRÉQUENCE</u>	370
D.	<u>ANNEXE : CODE FAUST – <i>PHASING</i></u>	372
E.	<u>ANNEXE : CODE FAUST – GRANULATEUR MATRICIEL</u>	373

Table des annexes F.

1. MUTIMEDIA¹

- 1.1. MUTATIONS
- 1.2. SONGES1
- 1.3. SONGES2
- 1.4. SONGES3
- 1.5. SHIFTING MIRRORS1
- 1.6. SHIFTING MIRRORS2
- 1.7. SHIFTING MIRRORS3
- 1.8. TYQUE MORPHOLOGIE

2. CODE FAUST

- 2.1. CLOCHE 1280
 - 2.1.1. CODE FAUST – CLOCHE 1280
 - 2.1.2. WEB HTML – CLOCHE 1280
 - 2.1.3. BLOCK-DIAGRAM – CLOCHE1280
- 2.2. CLOCHE MIRAGES
 - 2.2.1. CODE FAUST – CLOCHE MIRAGES
 - 2.2.2. WEB HTML – CLOCHE MIRAGES
 - 2.2.3. BLOCK-DIAGRAM – CLOCHEMIRAGES
- 2.3. CONTOURS
 - 2.3.1. CODE FAUST – CONTOURS
 - 2.3.2. WEB HTML – CONTOURS
 - 2.3.3. BLOCK-DIAGRAM – CONTOURS
- 2.4. PHASING
 - 2.4.1. CODE FAUST – PHASING
 - 2.4.2. WEB HTML – PHASING
 - 2.4.3. BLOCK-DIAGRAM – PHASING
- 2.5. GRANULATEUR MATRICIEL
 - 2.5.1. CODE FAUST – GRANULATEUR MATRICIEL
 - 2.5.2. WEB HTML – GRANULATEUR MATRICIEL
 - 2.5.3. BLOCK-DIAGRAM – GRANULATEUR MATRICIEL

3. COMPOSITIONS

- 3.1. *APHORISMES*
 - 3.1.1. APHORISMES STEREO
- 3.2. *LA PHILOSOPHIE DU TEMPS*
 - 3.2.1. VERSION 2015 – LA PHILOSOPHIE DU TEMPS (PIANO : SOPHIE VAILLANT)
 - 3.2.2. PARTITION – LA PHILOSOPHIE DU TEMPS
 - 3.2.3. VERSION 2018 – LA PHILOSOPHIE DU TEMPS (PIANO : FABIEN CAILLETEAU)
- 3.3. *TAURUS*
 - 3.3.1. PARTITION – TAURUS
 - 3.3.2. VERSION 2017 – TAURUS (SAXOPHONE : PEDRO BITTENCOURT)
- 3.4. *TYQUE*
 - 3.4.1. PARTITION – TYQUE
 - 3.4.2. VERSION 2018 – TYQUE (CLARINETTE : AYMERIC PIN)

¹ Tous les exemples multimédias ont été faits avec le logiciel iAnalyse de Pierre Couprie.
http://logiciels.pierrecouprie.fr/?page_id=672 [lien vérifié le 27 juin 2018].

Introduction

L'articulation entre la composition, l'analyse, l'interprétation dans une perspective orientée objet-opératoire n'est pas une prémisse énoncée *a priori*, mais plutôt une conséquence émergeant d'une pratique profonde créative. Cette thèse doctorale est corrélée à notre activité musicale, essentiellement celle développée dans le cadre de la programmation musicale conduite par le CICM - Centre de Recherche en Informatique et Création Musicale / MUSIDANSE - à la MSH Paris Nord - Maison des Sciences de l'Homme Paris Nord. Notamment le projet « Circulation de dispositifs numériques et mixtes en recherche et création, pour un axe franco-brésilien dans un réseau inter-universitaire international », mené entre 2014-2016 ; et le projet « La dynamique de l'œuvre musicale dans le contexte de la pratique numérique », mené entre 2017-2018, dont le responsable scientifique était l'auteur de cette thèse.

Cette recherche se situe donc dans la même perspective récente de la recherche-crédation dont la méthodologie est souvent fondée sur « une quête personnelle passionnée »² et « des aventures, engagements à l'intérieur dans la création musicale »³. Paradoxalement, cette recherche ne serait possible sans la consolidation d'un réseau actif et centré sur les membres du CICM et de la MSH PN. Nous nous référons évidemment aux chercheurs permanents et aux collègues doctorants, ainsi que les musiciens avec lesquels nous avons collaboré. Dans cette communauté, deux figures se dégagent : les compositeurs ancrés dans le développement de cette recherche, Horacio Vaggione, compositeur-chercheur professeur honoraire fondateur du CICM et Jean-Claude Risset, membre (jusqu'à sa mort en 2016) du conseil scientifique de la MSH PN. Le doublé Vaggione-Risset est constamment présent dans cette thèse, soit explicitement, soit en filigrane ; ce n'est pas une coïncidence, mais le fruit de nombreux échanges qui ont eu lieu au cours de notre activité. Ces discussions avaient comme sujet les compositions

² RISSET, Jean-Claude dans LEVY, Fabien, *Le compositeur, son oreille et ses machines à écrire : Déconstruire les grammatologies du musical pour mieux les composer*, Paris, Vrin, 2013. Cet ouvrage est résultant de la thèse de doctorat soutenue par Fabien Levy en 2004 « Complexité grammatologique et complexité apercéptive en musique », IRCAM, CNRS, EHESS.

³ *Ibid.*

musicales elles-mêmes, ainsi que des questions épistémologiques relatives à cette pratique.

Même si cette recherche couvre une période assez récente, et toujours en cours, la problématique remonte au début de notre formation musicale. Ayant eu une formation traditionnelle, jusqu'au début de l'adolescence, nous ne connaissions que des compositeurs classiques comme Bach ou Beethoven. Nous avons cependant remarqué qu'il existait une « nouvelle musique » qui découlait de nouvelles problématiques. La vie musicale dans la campagne brésilienne à la fin du XX^e siècle était privée de références qui pouvaient nourrir notre désir de pousser les limites de notre écoute. Toutefois, nous avons une forte intuition qu'il existait une musique liée à la technologie. Nous ne comprenons cependant pas la raison de cette intuition après un retour en arrière de presque vingt ans.

Dès l'enfance, durant les études de piano, nous nous intéressions à jouer notre musique, plutôt que celles des autres compositeurs. Même si à cette époque nous ignorions complètement l'existence du métier de compositeur. Dès lors, même inconsciemment, nous avons entamé une quête fondée sur la composition de notre propre musique avec le désir de découvrir de nouvelles possibilités compositionnelles. Cette histoire a été longue et fastidieuse. En raison de l'ignorance de la réalité professionnelle musicale à l'époque, nous avons expérimenté plusieurs pratiques de la musique. Celle qui nous a donné le plus de résultats a été la contrebasse, qui nous a permis d'intégrer des orchestres symphoniques pendant presque dix ans et ainsi connaître une partie considérable du répertoire. Peut-être le désir de vouloir opérer à l'intérieur du son est-il né à cette époque.

L'impatience pour la découverte d'un répertoire plus récent nous a fait connaître des exemples qui ne correspondent pas exactement à ce que nous attendions ; l'exemple le plus emblématique a été la découverte du compositeur Albert Katêlbey (1875-1959), dont la musique, malgré sa « modernité chronologique », ne nous touchait pas (il est quand même resté une référence de la « nouvelle musique » pendant quelques années). Ces déceptions remettaient en cause notre envie de composer une musique actuelle. Certains compositeurs au contraire nous ont fait réfléchir à de nouvelles problématiques, comme par exemple Francisco Mignone (1897-1986), Padre José Penalva (1924-2002) et

Marlos Nobre (1939-). Ces noms ne sont pas assez connus en Europe⁴ et leur musique y était déjà démodée.

Cette découverte nous a conduit à la recherche (motivée par une famille d'enseignants chercheurs). Nous avons publié notre premier résumé dans l'acte des journées d'étude à l'âge de seize ans avec le travail intitulé *Influência da variabilidade composicional observada na música do início do século XX*⁵. La même année nous avons présenté nos premières compositions dans le cadre d'un concert que nous avons organisé. Le contenu de cette recherche n'était pas impactant pour la communauté musicologique, cependant cette publication est la preuve que nous faisons (ou plutôt nous avons envie de faire) de la recherche création avant même de savoir de quoi il s'agissait. Quelques années plus tard, nous avons entamé notre cursus universitaire, où nous avons concilié notre désir de découverte avec l'analyse musicale. Le Brésil suit une ancienne tradition américaine universitaire, où il n'y a pas de distinction entre composition, musicologie, analyse et interprétation.

Notre aventure n'est pas anodine, car le désir de découverte lié au plaisir de faire de la musique, composer et interpréter, forment aujourd'hui l'épine dorsale de notre activité musicale et scientifique.

La boucle analyser pour composer / composer pour analyser est loin d'être un consensus entre les compositeurs étudiés dans cette recherche. Toutefois, nous avons pris conscience de la pertinence de la problématique de l'articulation entre la composition et l'analyse. Nous avons déjà des résultats significatifs dans cette perspective. Pour notre Master 1 nous avons analysé la pièce acousmatique *Círculos Ceifados* (1997) du compositeur brésilien Rodolfo Caesar (1950-). A partir de cette modélisation nous avons composé les pièces *Turdus* (2013) et *Sigel* (2014) pour flûte et électronique et *Les âmes remerciées* (2014) pour percussion et électronique⁶.

⁴ À l'exception d'Heitor Villa-Lobos (1887-1959).

⁵ Notre traduction : "L'influence de la variabilité compositionnelle dans la musique du début du XXe siècle". Résumé publié dans VII Semana de Artes, IV Mostra do Museu Dinâmico Interdisciplinar, II Mostra de Ensino Pesquisa e Extensão, 2004, Maringá, VII Semana de Artes da UEM, 2004.

⁶ *Turdus* a été créée dans le cadre de l'atelier de composition à l'Université Paris 8 et *Sigel*, dans le cadre du projet *musique mixte* en partenariat avec le conservatoire de Saint-Denis. *Les âmes remerciées* a été jouée plusieurs fois par Les Percussions de Strasbourg.

Dans un second temps, dans le cadre de notre Master 2, deux autres faits ont également orienté notre recherche actuelle : la découverte des écrits d'Horacio Vaggione (1943-) et la participation au projet *HoaLibrary* mené au CICM⁷. La collaboration en tant que développeur stagiaire dans le cadre du projet de la librairie HOA - *High Order Ambisonics Library* - pour le codage de la version VST de la bibliothèque nous a permis d'entrer dans le codage informatique (même si l'apprentissage est toujours en cours, surtout pour connaître (partiellement) une partie des problématiques de ce domaine. Cette expérience nous a surtout permis d'articuler cette pratique avec notre activité de compositeur. Le plugin VST, même si toujours disponible en ligne⁸, n'a pas eu de répercussion significative dans la communauté informatique musicale ; cependant ce savoir-faire acquis nous a poussé à développer une approche opératoire sur le traitement en l'ambisonie d'ordre supérieur avec le langage CSound. À partir de ce travail, nous avons composé la pièce acousmatique *MI910* (2014).

La découverte de la théorie d'Horacio Vaggione a réveillé notre envie ancienne de remettre en question les paradigmes de notre activité musicale. Cela était peut-être en germes dans notre esprit depuis notre enfance-adolescence.

Nous avons déjà une admiration pour la musique de Vaggione. Ce compositeur a été l'un des rares bons exemples découverts lors de notre adolescence, peut-être en raison de nos origines communes. Cette admiration a motivé notre envie de poursuivre notre formation compositionnelle et scientifique à l'Université Paris 8.

La lecture des textes de ce compositeur-chercheur, ainsi que la chance d'avoir pu entrer dans le monde de sa musique, grâce à la participation aux interprétations et à l'enregistrement de ses pièces, nous a poussé à repenser notre rapport, en tant que compositeur, avec le matériau compositionnel. L'approche opératoire nous est venue alors comme une alternative à la dureté et la rigidité à laquelle nous nous confrontons lors de notre parcours musical, sans pour autant perdre la complexité et la qualité des résultats musicaux.

Il serait trop prétentieux, dans le cadre de cette thèse doctorale, de proposer une conciliation méthodologique et épistémologique entre la composition musicale et

⁷ <http://hoalibrary.mshparisnord.fr/> [lien vérifié 1 mars 2018].

⁸ <http://hoalibrary.mshparisnord.fr/telechargements/vst/> [lien vérifié le 1 mars 2018].

l'analyse du répertoire musical numérique. Cette thèse représente plutôt un retour théorique sur une pratique sur le terrain du *faire musical numérique*. Toutes les pièces analysées dans la deuxième partie de cette thèse ont été jouées en concert⁹ dans le cadre de notre activité musicale. Cette activité s'est manifestée sous la forme de compositions, dans *Aphorismes*, *La Philosophie du temps*, *Taurus*, *Tyqué* et sous la forme d'une analyse, dans *Songes* de Jean-Claude Risset¹⁰. Plus qu'un témoignage, cette recherche représente l'aboutissement scientifique d'une quête passionnée sur la découverte personnelle d'une musique dynamique faisant appel à l'informatique musicale.

⁹ À l'exception de *Due di Uno* d'Agostino Di Scipio, cependant cette analyse nous a servi pour la composition de *La Philosophie du temps*.

¹⁰ Nous avons également assisté les compositeurs Horacio Vaggione, Jean-Claude Risset et Alain Bonardi lors de concerts et enregistrements.

I. Vers *des* recherches orientées objet

Le compositeur-chercheur Horacio Vaggione publie en 1991 l'article *On object-based composition*¹¹. Il s'agit d'un article écrit auparavant, en 1987, qui présente l'approche de la composition avec des réseaux d'objets, explicitée dans ses travaux depuis les années 1980. Notamment dans les pièces *Fractal C* (1983–1984), acousmatique ; *Thema* (1985) pour saxophone basse et bande ; *Tar* (1987) pour clarinette basse et bande, *Ash* (1989–1990) acousmatique. De cette époque à nos jours, le compositeur a conservé ces principes compositionnels, même si l'avancement technologique a permis une approche logicielle différente de celle des années 1980.

La notion d'objet chez Vaggione vient du paradigme de programmation informatique orientée objet, proposé et élaboré à partir des années 1960¹². Même s'il s'agit d'une approche informatique, cette idée est appliquée dans un cadre purement compositionnel par ce compositeur. D'ailleurs, pour les pièces composées dans les années 1980, le compositeur utilise essentiellement des langages non-orientés objet comme CMusic¹³, un descendant direct de la série MUSIC N conçue et développée par Max Mathews dès les années 1950. Pour *Ash*, ce langage est couplé avec le système SYTER¹⁴.

Plutôt que de développer un langage informatique, ou un outil numérique, Vaggione montre de l'intérêt pour ce paradigme dans un cadre purement créatif. C'est-à-dire que la notion d'objet est fortement liée aux matériaux compositionnels ainsi qu'aux

¹¹ VAGGIONE, Horacio, « Objets, Représentations, Opérations ». *Ars Sonora* n°2, 1995, p.33–51. <http://www.ars-sonora.org/html/numeros/numero02/02e.htm> [lien vérifié le 1 décembre 2016]. (Adaptation française révisée et augmentée de : VAGGIONE, Horacio, « A Note on Object-based Composition », in O. LASKE (éd.), *Composition Theory, revue Interface* vol. 20 n°3-4, 1991, p.209-216.).

¹² La programmation informatique orientée objet a été développée par Ole-Johan Dahl et Kristen Nygaard dans les années 1960, avec le langage Simula. Sa popularité a eu lieu surtout dans les années 1980 grâce à l'avènement du langage C++, conçu par Bjarne Stroustrup. Simula fut la source principale pour le développement de ce langage STROUSTRUP, Bjarne, *The C ++ Programming*, 4Th Edition, Addison Wesley, 2013, p.21. Nous y reviendrons dans la partie II L'analyse et la composition musicale orientée objet-opérateur.

¹³ Langage écrit en C avec le system CARL, conçu pour la synthèse sonore numérique développe par Richard Moore dans les années 1980. MOORE, Richard, *Elements of Computer Music*, New Jersey, Prentice Hall, 1990.

¹⁴ Acronyme de « système temps réel » développé à l'INA-GRM dans les années 1980. Nous y reviendrons dans la partie 2.2.1 Multi-étage dans la Musique concrète.

opérations corrélées. L'agencement de l'ensemble et les sous-ensembles d'objets tissent un réseau hautement opératoire dont le comportement sous-entend des principes interactifs. La composition orientée objet implique alors une approche essentiellement systémique. La deuxième notion implicite dans cette démarche est l'approche multi-échelle. Or, étant donné qu'il est possible de décomposer un objet en sous-réseaux, un nombre infini d'échelles doivent donc être accessibles. Cela implique des problèmes d'ordre temporel, ainsi que de représentation. Dans le cadre d'une composition avec des réseaux d'objets, un objet est donc « une unité complexe qui peut contenir simultanément plusieurs représentations ou codes, reliés à autant de procédures (actions spécifiques) qu'il y a de données (structures sonores et temporelles) recouvrant plusieurs échelles ou niveaux opératoires »¹⁵.

Vaggione fait attention de bien différencier sa démarche de la notion d'objet sonore de Pierre Schaeffer. Selon lui, l'objet sonore schaefferien désigne une pure entité macroscopique (une brique qui supprime la « note »). L'objet opératoire en revanche, proposé par Vaggione, désigne « un ensemble multi-échelle qui comprend des événements de divers ordres de grandeur »¹⁶. De plus, la notion d'objet est fortement liée à la composition musicale faisant appel à l'informatique, au sens que les opérations se réalisent essentiellement au sein d'une représentation numérique. La notion d'objet peut ainsi être élargie comprenant non seulement des sons, mais aussi tous les matériaux composés utilisés lors de la composition.

Composer des objets signifie donc créer des entités actives dotées de modes spécifiques de "comportement" (méthodes), déterminés de façon numérique (codes) et dont les fonctions dépendent de leurs méthodes propres autant que du contexte [du réseau] dans lequel elles sont utilisées. Les objets peuvent être des fonctions (algorithmes), des listes de paramètres (partitions), des scripts (successions d'actions à réaliser) ou bien des sons (de produits autant que des sources)¹⁷.

Dans cette perspective, composer signifie donc opérer des réseaux d'objets afin de créer des significations. Afin de renforcer le caractère opératoire, ainsi que de bien la

¹⁵ VAGGIONE, Horacio dans BUDON, Osvaldo, « Composer avec des objets, réseaux et échelles temporelles : Une interview avec Horacio Vaggione ». in M. SOLOMOS (éd.) *Espaces composables : essais sur la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione*, Paris, L'Harmattan, 2007, p.107.

¹⁶ *Ibid.*, p.108.

¹⁷ *Ibid.*

différencier des approches informatiques¹⁸, nous choisissons de la nommer dès lors comme une approche orientée objet-opératoire.

Depuis les premières publications, dans les années 1990, de nombreuses perspectives compositionnelles et théoriques se sont présentées ayant une forte influence de Vaggione. Comme dans : Carvalho¹⁹, Sèdes²⁰, Lorenzo²¹ et Kollias²² - pour ne citer que celles de notre entourage et qui ont eu une participation directe ou indirecte de Vaggione lui-même. La pensée et la musique du compositeur ont également suscité de nombreux écrits, notamment le volume spécial de la revue *Contemporary Music Review*²³ qui ensuite a été republié en français en 2007²⁴.

Dans un premier temps, la richesse de cette pensée nous a frappé sur le plan compositionnel. Ainsi, avant de connaître les écrits théoriques, la musique de Vaggione a fortement suscité notre intérêt. Dans un deuxième temps²⁵, lors de la découverte progressive des publications du compositeur, nous nous sommes identifiés avec sa pensée, en nous posant des questions épistémologiques sur des points auparavant acceptés comme des vérités absolues. D'emblée, notre intérêt s'est porté sur la relation entre la composition, notamment le rapport avec le matériau informatique, dans plusieurs échelles, et l'analyse du répertoire musical numérique. Or, à cette époque, lors de nos Master, nous menions une recherche tournée vers la conciliation de l'analyse et de la composition. Dès lors, notre démarche se caractérise comme une recherche et création : il faut faire pour comprendre et comprendre pour le faire.

¹⁸ Nous avons remarqué, lors de nombreux événements scientifiques où nous avons présenté notre recherche, une tendance d'assimiler cette approche d'un point de vue purement informatique. Nous y reviendrons en détail pour souligner les potentiels malentendus et dangers de ce constat.

¹⁹ CARVALHO, Guilherme, « Formaliser la forme », in : *Manières de faire des sons: Musique- Philosophie*. Paris, Harmattan, 2010.

²⁰ SEDES, Anne, « Approche musicale de la décorrélation microtemporelle dans la bibliothèque HOA » in *Actes des Journées d'Informatique Musicale (JIM 2015)*, Montréal, OICRM, 2015.

²¹ LORENZO, Mario, « Figures spatiales composées avec séquences finies », in *Revue Francophone d'Informatique et Musique*. Informatique et musique : Recherche et Création 1, 2017.

²² KOLLIAS, Phivos-Angelos, *Vers une pensée musicale orientée-système : l'œuvre musicale auto-organisante*, Thèse de doctorat, Université Paris 8, 2017.

²³ « Horacio Vaggione: Composition Theory ». in: *Contemporary music review*, volume 24, issue 4-5, 2005.

²⁴ *Espaces composables : essais sur la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione*. (dir.) SOLOMOS, Makis. Paris, L'Harmattan, 2007.

²⁵ Notamment en Master 2, lors du séminaire *Composition et outils informatiques*, dirigé par Anne Sèdes.

Notre proposition se compose de deux parties apparemment opposées : la composition orientée objet-opérateur et la modélisation orientée objet-opérateur. La première se situe dans la perspective compositionnelle proposée initialement par Vaggione et ensuite incorporée par d'autres compositeurs-chercheurs cités ci-dessus. La deuxième, plus innovante, consiste à s'approprier des concepts clés de l'approche orientée objet pour l'analyse du répertoire musical faisant appel à l'informatique musicale (nous nous considérons nous-mêmes comme l'objet de l'analyse, dans le cas d'une démarche d'auto-analyse, aussi bien que de l'étude d'autres exemples du répertoire).

L'analyse du répertoire musical numérique pose de nombreux problèmes méthodologiques. Les approches classiques dites « traditionnelles »²⁶ n'ont presque pas de pertinence pour ce répertoire, car ces méthodes (essentiellement descriptives et structuralistes²⁷) sont fondées sur les paramètres comme la hauteur et le rythme. La musique de la deuxième moitié du XX^e siècle, par contre, surtout après la libération du son introduite entre autres par Varèse, fait valoir de nouveaux matériaux et de nouveaux traitements qui deviennent objet d'analyse. Les méthodes analytiques de la musique électroacoustique (englobant les pièces composées avec la technologie analogique et numérique) sont de manière prédominante fondées sur l'écoute. Cela provient essentiellement de deux raisons : l'importance de l'écoute dans la perspective de l'école concrète - la typo-morphologie est présente dès les premiers écrits de Pierre Schaeffer et ensuite dans de nouvelles contributions, notamment la spectromorphologie de Denis Smalley - et le manque de représentation analytique de ce répertoire. Or, l'absence d'un « plan commun », rôle que tenait la partition instrumentale dans le répertoire « classique », empêche la réduction à des dénominateurs communs, comme les paramètres traditionnels note et rythme. Certains logiciels permettent la représentation visuelle de la musique électroacoustique à des fins analytiques, comme l'Acousmographe²⁸ développé à l'INA-GRM en suivant les recherches de Pierre Schaeffer, et les logiciels EAnalysis et iAnalyse de Pierre Courprié²⁹. Ces derniers,

²⁶ Nous nous référons plutôt aux démarches analytiques de la musique tonale et ses descendants plus directs comme la *pitch-class set theory*.

²⁷ La *pitch-class set* par exemple, même si appliquée à un répertoire atonal, est fondamentalement conçue dans un cadre structurel, où les unités paramétriques, note, rythme font l'objet de l'étude.

²⁸ <https://inagrm.com/fr/showcase/news/203/lacousmographie> [lien vérifié le 1 mars 2018].

²⁹ <http://logiciels.pierrecouprrie.fr/> [lien vérifié le 1 mars 2018].

supportent plusieurs théories analytiques et permettent à l'utilisateur la création et le partage de ses propres théories ; cette caractéristique méthodologique de l'outil analytique est ouverte et adaptable aux cas singuliers du répertoire. C'est-à-dire, pour l'analyse d'un répertoire, une démarche ne sera pas forcément la plus adaptée à un autre exemple. Le caractère « maniable » des outils analytiques s'avère approprié à l'étude de ce répertoire, permettant de prendre en compte la singularité de chaque compositeur³⁰.

La technologie numérique (contrairement à la musique électronique purement analogique) introduit une nouvelle représentation analytique : le code informatique. Même s'il ne s'agit pas d'un support standard comme la partition instrumentale, les informations qu'il contient sont également riches d'indications compositionnelles. Dans certains cas, les codes informatiques contiennent de vraies « recettes compositionnelles »³¹. Une récente perspective analytique toujours émergente consiste à analyser ce répertoire par le biais du code informatique. L'analyste est ainsi confronté directement aux opérations réalisées par le compositeur. Cette perspective n'est cependant pas moins problématique que l'analyse auditive. Tout d'abord, l'analyste doit être capable de comprendre des informations hautement techniques. De plus, la difficulté d'accès aux documentations originales et l'absence de pérennité du support peuvent la rendre impossible. Le grand atout de cette perspective est le haut potentiel opératoire : le code informatique peut rendre accessible toutes les échelles opératoires³². Ainsi, l'analyste dispose d'un ensemble d'objets maniables qu'il/elle peut soumettre à des manipulations et à des transformations. Cette propriété permettra par conséquent, le recodage et l'appropriation d'un savoir-faire dégagé par l'analyse.

La modélisation, telle que nous la proposons dans le cadre de cette recherche, consiste à interpréter une pièce du répertoire musical numérique comme un réseau d'objets opératoires. Cela englobe tous les matériaux utilisés lors de la composition, ainsi

³⁰ Dahlhaus souligne le caractère singulier de la théorie de la composition dans la musique de la deuxième moitié du XX^e siècle : « chaque compositeur doit inventer son propre appareil théorique, Dahlhaus croit qu'une description globale de l'évolution de la forme musicale n'est plus possible ». MACHOVER, Tod dans DAHLHAUS, Carl, « Plaidoyer pour une théorie actuelle de la musique » in Machover, Tod (éd.), *Quoi, quand comment la recherche musicale*, Paris, Bourgois, IRCAM, 1985, p.73-74.

³¹ Pour reprendre l'expression dans RISSET, Jean-Claude, « Problèmes posés par l'analyse d'œuvres musicales dont la réalisation fait appel à l'informatique », in *Analyse et création musicales*, Paris, L'Harmattan, 2001.

³² Nous reviendrons en détail au cours de cette thèse pour souligner les limitations de cette pratique.

que les opérations pour son fonctionnement - étant donné que les objets sont représentés par un code numérique, ils sont aussi compris comme entités opératoires et représentatives du processus compositionnel, comme des « partitions musicales ». Ayant comme objectif l'analyse, il est possible de comprendre les données musicales (code) pour concevoir un modèle opératoire, contenant les traces génétiques de l'œuvre analysée.

Quant à la composition orientée objet, la notion sous-jacente est la composition de l'objet sonore lui-même. Or, la propriété opératoire de l'objet prévoit qu'avec des entités numériques, par conséquent représentées par des codes informatiques, tous les niveaux opératoires sont accessibles permettant ainsi des manipulations et transformations, soit par des moyens directs ou algorithmiques. L'entité n'est plus un « objet trouvé » comme conçu par l'école concrète, mais plutôt un objet composé³³.

La composition du son lui-même a été l'épine dorsale de la musique du compositeur Jean-Claude Risset. Celui-ci a entamé dès les années 1960 des recherches du son lui-même via la synthèse numérique de sons instrumentaux. Cela a été possible grâce à l'accès à la microstructure des entités sonores via le code numérique. Même la musique purement instrumentale a incorporé cette prise de conscience, notamment la musique spectrale, dans les années 1970, qui a consciemment été inspirée par les recherches en musique d'informatique³⁴.

De ce point de vue, c'est l'informatique qui a rendu possible la composition « des sons organisés »³⁵, que préconisait Edgar Varèse. L'accès à toutes les échelles temporelles et par conséquent la composition des objets a permis la libération complète du son au détriment de la composition avec des sons. Certes, l'école concrète, la musique électronique de Cologne, ainsi que de nombreux autres courants, ont également contribué à cette perspective, mais l'informatique musicale a surtout permis un accès complet à tous les niveaux opératoires du son. D'ailleurs, Varèse connaissait le potentiel de l'ordinateur

³³ VAGGIONE, Horacio dans BUDON, Osvaldo, *op. cit.*, 2007, p.107.

³⁴ DUFOURT, Hugues, *La musique spectrale : Une révolution épistémologique*, Sampzon, Delatour, 2014.

³⁵ Il ne faut cependant pas négliger les perspectives ouvertes par les travaux de John Cage et les bruitistes, par exemple. Toutefois, nous n'aborderons pas directement ce répertoire pour une question de cohérence avec notre pratique.

et y a porté de l'intérêt ; cependant le compositeur est mort avant d'avoir un contact direct avec cette technologie.

Dans cette première partie de thèse, nous allons souligner les idées convergentes qui nous ont amené à notre pratique de recherche créative, autrement dit, à notre articulation entre l'analyse et la composition. Plutôt que de décrire un panorama purement historique, nous allons dresser notre contexte pratique actuel. Il s'agit donc de comprendre la place et les problématiques d'un jeune compositeur-chercheur dont le terrain pratique est constitué par la composition du son lui-même, dans la perspective de la création et recherche-création dans un cadre universitaire.

1. Des sons organisés aux réseaux d'objets

La composition orientée objet et la pensée opératoire, telle que proposée par le compositeur-chercheur Horacio Vaggione dans les années 1980 et 1990, a émergé conjointement avec une activité pratique dont les réflexions sous-jacentes théoriques sont indissociables de la composition musicale elle-même. Cette perspective est courante dans la pratique musicale de la deuxième moitié du XX^e siècle, notamment les expérimentations musicales liées à la technologie, qui font cohabiter les enjeux scientifiques avec le processus artistique. La convergence entre la technologie et la musique – même s'il ne s'agit pas d'une approche complètement novatrice, car l'évolution technologique de la manufacture organologique est inhérente à l'histoire de la musique – a fait émerger des problématiques dans différents domaines, comme l'acoustique, la psychoacoustique, le traitement du signal et aussi la composition musicale elle-même.

Un parcours historique linéaire qui mènerait à notre conception d'une approche orientée objet-opératoire n'est pas envisageable étant donnée sa nature non-linéaire. Une réduction à des concepts clés n'est pas utile non plus, car l'une de ses propriétés principales est la pluralité. Il est cependant possible et pertinent de souligner quelques notions antérieures à la pensée opératoire. Il ne s'agit pas d'un héritage ou d'une influence linéaire, mais d'idées convergentes qui contribuent à l'élucidation du contexte opératoire créatif et théorique.

1.1. De nouvelles machines, vers une nouvelle musique ?

Dans le livre *La nouvelle Atlantide*³⁶ de Francis Bacon, datant de 1626, l'auteur décrit presque parfaitement des méthodes de l'informatique musicale (Moore, 1996). Bacon décrit des « maisons destinées aux expériences sur les sons et leur production » qui peuvent créer de nouveaux instruments inconnus jusqu'alors et qui permettent de nouvelles opérations. Par exemple, des transformations qui donnent « aux sons aigus le même corps que s'ils étaient graves ; et aux graves, le même éclat que s'ils étaient aigus »³⁷. L'auteur propose une opération de traitement sonore numérique aujourd'hui connue comme vocodeur de phase. De plus, ce que Bacon imagine, selon Moore, « c'est la possibilité de manipuler et représenter tous les sons, et leur génération »³⁸. Il a fallu presque 300 ans pour que la technologie permette de rendre exécutable l'intuition de Bacon.

À la fin du XIX^e siècle, avec la révolution industrielle, les moyens de communication ont vécu une impulsion sans précédent. Le point culminant de cette époque a été l'invention du téléphone, marquant ainsi « l'avènement du traitement électrique du son, qui libère la genèse et le traitement du son des contraintes mécaniques »³⁹. Aux alentours de 1875, l'invention de l'enregistrement a permis « la reproduction du son en l'absence de sa cause mécanique initiale »⁴⁰. Cela a rendu possible, au XX^e siècle, la conception de « curieuses machines permettant d'extraire et de placer bout à bout divers fragments sonores, préfigurant les échantillonneurs actuels »⁴¹.

³⁶ Version traduite en français disponible en ligne <https://www.arbredor.com/ebooks/NouvelleAtlantide.pdf> [lien vérifié le 1er mars 2018].

³⁷ BACON, Francis, *La Nouvelle Atlantide*, 1626, p.56.

³⁸ Notre traduction : « The important thing is that Bacon imagined-he dreamed-of being able to "practice and demonstrate all sounds, and their generation » MOORE, Richard, « Dreams of Computer Music: Then and Now », *Computer Music Journal*, Vol. 20, No. 1, 1996, p.26.

³⁹ RISSET, Jean-Claude, *Composer le Son : repères d'une exploration du monde sonore numérique, Écrits*, vol 1, Paris, Hermann, 2014, p.83.

⁴⁰ *Ibid.*

⁴¹ *Ibid.*

Il ne fallut pas longtemps avant qu'une application musicale soit envisagée. Thaddeus Cahill invente, au tournant du XX^e siècle, le dynamophone ou telharmonium, permettant la transmission à longue distance de la musique. Cette invention a attiré l'attention de quelques compositeurs, y compris Varèse, en leur donnant l'idée de machines à musique électriques. La « révolution électronique »⁴² a permis une myriade de transformations et manipulations dans le sonore, cependant ce processus « sera lent mais profond ». Selon Risset, la lutherie électrique est divisée en trois âges : électrotechnique, électronique et numérique⁴³.

À l'âge électronique, de nouveaux instruments musicaux ont vu le jour : notamment le Theremin Vox, en 1921 et les ondes Martenot, en 1928. Des machines destinées initialement à la reproduction sonore ont été détournées pour la production et la création musicale. En 1939, John Cage compose ainsi *Imaginary Landscape n°1* (1939) la première musique sur support, c'est-à-dire en absence d'une représentation sur forme de partition classique. Avec l'usage des instruments électriques, des compositeurs, comme Paul Hindemith (1895-1963) dans *Concerto pour Trautonium et orchestre* (1931), ont également réalisé des projets innovants.

Avec les progrès techniques, certains compositeurs ont porté leur intérêt sur le processus compositionnel lui-même vis-à-vis de la capacité rénovatrice de génération sonore des machines sonores nouvelles. Les compositeurs du groupe des futuristes italiens sont souvent considérés comme les premiers concepteurs d'une nouvelle organisation musicale dans cette perspective. Luigi Russolo, auteur du manifeste *L'art des bruits* de 1913, donnait des concerts avec des instruments qu'il créait en revendiquant la volonté d'inclure les bruits dans la musique, pour les intégrer dans l'histoire des sons dits musicaux⁴⁴.

Edgar Varèse critique le processus imitatif avec la reproduction de bruits de la vie quotidienne, souvent trouvés chez les futuristes italiens. De plus, Varèse questionne une simple manipulation sonore dépourvue de sens musical : « certains compositeurs n'ont en vue dans leur œuvre qu'une succession et un frôlement d'agrégats sonores [...] ne

⁴² Expression coïncée par Hugues Dufourt et cité souvent par Risset.

⁴³ *Ibid.*

⁴⁴ SOLOMOS, Makis, *De la musique au son. L'émergence du son dans la musique des xxe-xxie siècles*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2013, p.112.

spéculant que sur la sensualité extérieure - d'autres étayent leur pensée d'un fatras littéraire et cherchent par agencement de phrases à justifier ou à commenter un titre »⁴⁵. En réalité, Varèse ne s'intéresse pas particulièrement au bruit comme matériau principal, mais plutôt au son lui-même. De plus, il s'intéresse à l'organisation des sons, allant jusqu'au point de proposer le terme « sons organisés » en substitution au mot « musique »⁴⁶. Le compositeur prend une position assez radicale mais surtout prophétique, car tout l'avenir de la musique orientée vers le son, aura directement ou indirectement un fort rapport avec les idées varésiennes : « Varèse n'est pas le précurseur d'une quelconque ère future, mais le musicien de la réalité d'un temps »⁴⁷.

1.1.1. Varèse : les sons organisés

La figure d'Edgar Varèse est sans doute l'une des plus marquantes de la musique de la deuxième moitié du XX^e siècle, notamment pour le courant orienté vers la composition du son lui-même. Même si avant lui certains compositeurs s'étaient déjà intéressés au matériau sonore, comme par exemple Debussy, c'est Varèse, avec une posture assez révolutionnaire et provocante, qui met en valeur la nature intime du son comme composante principale de la musique. « Varèse s'est préoccupé de vocabulaire sonore, alors que l'évolution du langage musical avait vu les compositeurs faire porter leur effort d'innovation sur la grammaire de la musique »⁴⁸. Varèse a vu très tôt le potentiel de machines à composer pour proposer un renversement de paradigme : composer le son-lui-même et non composer avec des sons.

Notre alphabet est pauvre et illogique. La musique qui doit vivre et vibrer a besoin de nouveaux moyens d'expression et la science seule peut lui infuser une sève adolescente [...] Je rêve les instruments obéissants à la pensée - et qui avec l'apport d'une floraison de timbres insoupçonnés se prêtent aux combinaisons qu'il me plaira de leur imposer et se plient à l'exigence de mon rythme intérieur⁴⁹.

⁴⁵ VARÈSE, Edgard, *écrits*, (ed.) Hirbour L., Paris, Christian Bourgois, 1983, p.23.

⁴⁶ *Ibid.*, p.56.

⁴⁷ DUFOURT, Hugues, *Musique, pouvoir, écriture*, Paris, Christian Bourgois, 1991, p.114.

⁴⁸ RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p.277.

⁴⁹ VARÈSE, Edgard, *op. cit.*, 1983, p.24.

Selon lui, la seule manière de trouver la singularité est de lier la musique avec la science afin de produire de nouveaux moyens d'expression. La notion de « son organisé » est fortement liée à celle de l'art-science :

“Son organisé” rend mieux compte du double aspect de la musique, en tant qu'art-science, liée qu'elle est à toutes les découvertes récentes faites en laboratoire et qui nous permettent d'espérer une libération totale de la musique, y compris, bien entendu, ma propre musique en cours et toutes ses exigences⁵⁰.

Dès les années 1920, il montre de l'intérêt pour les sons électroniques. Il découvre le Theremin et en tire parti dans *Ecutorial* (1934) ; dans cette pièce, le compositeur préconise également l'amplification de la voix. Le Theremin est ensuite remplacé par deux ondes Martenot⁵¹. Il poursuit dans les années 1930 avec le souhait de créer un institut fondé sur la recherche et la composition de musique nouvelle : « il souhaitait recruter des élèves déjà en possession de moyens techniques et développer des recherches sur les moyens électriques visant de nouvelles réalisations suivant de nouvelles conceptions, et non pas la reproduction des moyens existants »⁵². Malgré le haut caractère d'innovation, le projet de Varèse n'a pas été soutenu par les centres de recherche et de création musicale. Le désir du compositeur se réalisera aux *Bell Telephone Laboratories* (la même institution qui avait refusé le projet de Varèse) à partir de la fin des années 1950 lorsque chercheurs et compositeurs collaboreront sur de nouveaux moyens numériques de faire de la musique. Juste avant, Pierre Schaeffer fonde la musique concrète, fortement liée à la convergence entre la science et la musique. Aujourd'hui nombreux sont les endroits où se pratique la relation « art-science »⁵³.

Le contact pratique le plus abouti de Varèse avec les « nouvelles machines » a eu lieu au début des années 1950. Le compositeur a commencé, encore aux Etats-Unis, à composer *Désert* avec un magnétophone Ampex obtenu grâce à un don anonyme. Ensuite, en France au GRM, Varèse a été invité par Pierre Schaeffer lui-même pour finir le mixage. La relation entre le compositeur et Schaeffer n'était pas vraiment cordiale et

⁵⁰ *Ibid.*, p.108.

⁵¹ RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p.279.

⁵² *Ibid.*, p.280.

⁵³ Risset dans le rapport *Art, science, technologie (A.S.T)*, disponible en ligne <http://www.education.gouv.fr/cid1905/art-science-technologie-a.s.t.html> [lien vérifié le 1 mars 2018]. L'auteur cite plusieurs centres « d'art-science ».

la création de la pièce en 1954 a fait scandale. De plus, même la communauté spécialisée ne lui a pas offert, à cette occasion, la notoriété attendue :

La partie sur bande magnétique de *Déserts*, commencée en Amérique, terminée à Paris, revue et corrigée à New York après la création houleuse en France..., fut un premier essai, un premier aboutissement de ses multiples tentatives pour réaliser son rêve [de Varèse]. Mais, comme dans le tragique *Poème électronique*, 1957, on y sent quelque chose d'étranglé, voire d'étriqué, qui contraste avec tout ce qu'il savait faire de sauvage et d'épique avec les instruments, simple flûte (*Densité 21,5*) ou grand orchestre⁵⁴.

En 1956, à l'invitation de Le Corbusier, Varèse participe à la création d'une pièce électronique destinée au pavillon *Philips* de l'exposition universelle de 1958. Il a pu donc profiter de la projection du son dans l'espace. Le résultat reflète un style unique et singulier, propre au compositeur fondé sur des transformations de hauteur, de filtrage et des modifications d'attaque et tenue⁵⁵.

En effet, après *Déserts* et *Poème électronique*, Varèse lui-même restait insatisfait quant au contrôle du matériau musical qu'offraient les techniques analogiques. Cette insatisfaction sera comblée par un projet avec la technologie numérique. Vers 1960, Pierce et Mathews, responsables de *Bell Telephone Laboratories*, voulaient l'inviter à travailler avec eux. Il n'a cependant pas été possible de trouver un assistant. De plus, Varèse souffrait de problèmes pulmonaires et il décède en 1965 sans avoir vu directement l'accomplissement de ses prophéties.

1.1.2. De l'échec de Varèse vers les opérations sur la morphologie

L'association de *Déserts* ainsi que les autres compositions de Varèse avec la musique concrète n'est pas forcément appropriée. Varèse était plus libéral en utilisant des matériaux qui pouvaient être attribués à la musique électronique ou à la *tape music*⁵⁶. Dans *Désert*, Varèse a rencontré d'énormes difficultés, d'abord à cause de la limitation

⁵⁴ CHION, Michel, *La musique électroacoustique*, (coll) que sais-je ?, Paris, Presses Universitaires de France, 1982, p.124.

⁵⁵ MANNING, Peter, *Electronic and computer music*, New York, Oxford University Press, 2013, p.82.

⁵⁶ *Ibid.*, p.79.

intrinsèque des moyens technologiques disponibles à l'époque et surtout par manque de temps pour l'apprentissage et la pratique dans le complexe studio parisien⁵⁷. Si l'on considère les musiques composées à l'époque – *Symphonie pour un homme seul* (1950) de Pierre Schaeffer et Pierre Henry, par exemple, ou même *La rivière endormie* (1954) de Darius Milhaud, composée la même année de *Déserts* – on y trouve la même difficulté de composition avec le matériau concret. Dans la pièce de Milhaud, par exemple, prédominent des manipulations sommaires de collages électroacoustiques avec des sons de chant, de voix et d'instruments. Comme conclut Varèse vis-à-vis de ses expériences : « Le problème électronique est plus complexe qu'on le pense, ou qu'en ont conscience Paris, Cologne, et autres colonies plus ou moins "concrètes" »⁵⁸.

En revenant sur ses prophéties, Varèse imagine des « mouvements des masses sonores » et des superpositions de plans :

Lorsque de nouveaux instruments me permettront d'écrire la musique telle que je la conçois, le mouvement des masses sonores et des déplacements de plans sera clairement perceptible dans mon œuvre et prendra la place du contrepoint linéaire. Quand ces masses sonores se heurteront, des phénomènes de pénétration et de répulsion sembleront se manifester. Certaines transmutations prendront place sur un plan et sembleront projetées sur d'autres plans. Ils se déplaceront à des vitesses différentes, selon des angles variés. L'ancienne conception de la mélodie ou de la polyphonie n'existera plus. L'œuvre tout entière sera une totalité mélodique. Elle coulera comme coule une rivière⁵⁹.

Certes, dans la partie électronique de *Déserts* le compositeur exprime son désir de travailler avec des textures, cependant le résultat sonore est plutôt semblable à des « agglutinations d'agrégats sonores » résultant de manipulations de collage et de mise en boucle. Le matériau de base était assez simple : des enregistrements de moulins et d'usines en Philadelphie, et l'usage d'enregistrements de sons instrumentaux *in natura*, notamment la percussion dans le deuxième interlude.

L'écriture instrumentale en revanche utilise des opérations proches de l'écriture électronique qui, plus tard, deviendra la musique électroacoustique. Lors des premières secondes de *Déserts* (Figure 1), des « masses sonores » sont créées par un processus de « synthèse instrumentale ». La première attaque est accentuée par la richesse des

⁵⁷ *Ibid.*, p.80.

⁵⁸ VARÈSE, Edgard, *op. cit.*, 1983, p.149.

⁵⁹ *Ibid.*, p.91.

transitoires des instruments percussifs, les cloches tubulaires et le xylophone ; alors que les sons moins riches en attaque, du piccolo en *mf*, la clarinette et la tenue du piano, créent la résonance de cet objet sonore orchestral composé. Il s'agit d'un vrai travail dynamique à l'intérieur du son : une opération sur la morphologie sonore.

L'analyse spectrale (Figure 2) de ce passage montre la richesse de cette morphologie : la première attaque est plus complexe, avec des partiels qui s'allongent vers le haut. La deuxième attaque, moins forte, mais plus étendue, contient des partiels qui s'éteignent indépendamment. Cela se produit grâce à la différence des nuances (les diminuendos réalisés par les bois et la résonance du piano). Cette conception d'écriture instrumentale sera beaucoup développée par les compositeurs spectraux à partir des années 1970, ainsi que par des compositeurs plus récents ayant suivi cette école, comme Georg Haas dans *In Vain* (2000).

Figure 1 : attaque et résonance dans les premières mesures de *Déserts* d'Edgar Varèse⁶⁰.

⁶⁰ Partitions en notes réelles.

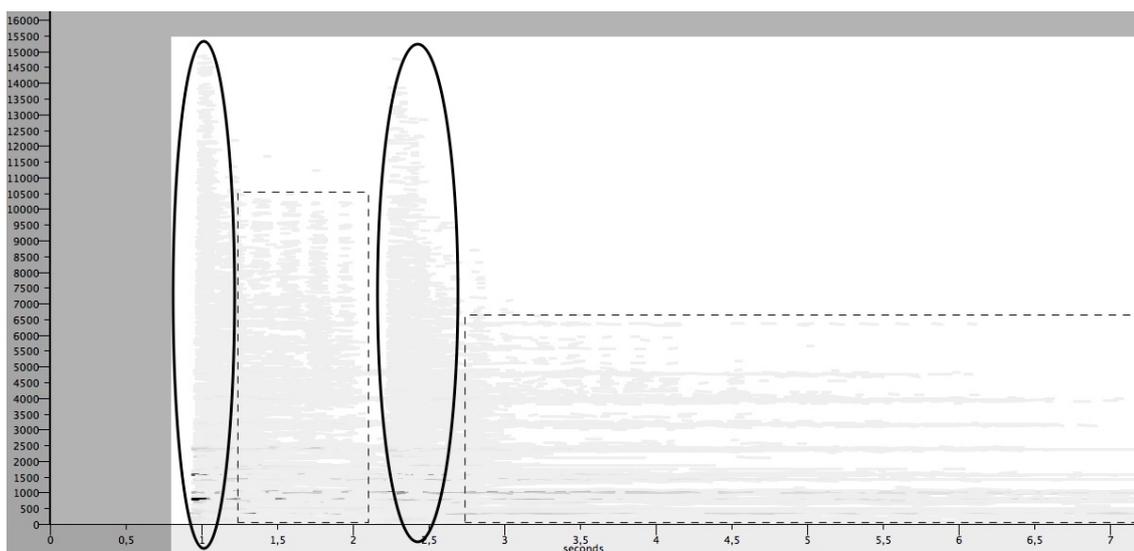


Figure 2 – Analyse spectrale de Figure 1 en soulignant les attaques (cercles) et résonances (carrés).

Chaque composant de cette morphologie a une allure propre, une dynamique individuelle. Cette caractéristique du son sera le point clé des recherches menées par Jean-Claude Risset dans les années 1960, notamment pour la synthèse numérique des sons de cuivre⁶¹. Certes, l’informatique toute seule n’a pas été le seul moyen d’atteindre une manipulation dynamique des objets. *De Naturas Sonorous* (1975) de Bernard Parmegiani, est en exemple d’une pièce qui explore la morphologie d’une manière singulière⁶². Cependant, c’est la synthèse numérique directe qui « permet de stipuler les détails du son avec une précision inégalable »⁶³.

Ce niveau de complexité opératoire pour la manipulation de sons électroniques n’étant pas encore possible à l’époque de Varèse, l’une des hypothèses pour le manque de convergence entre l’électronique et l’acoustique *Désert* est l’impossibilité de réaliser les mêmes opérations sur le plan électronique que sur le plan instrumental.

Pour la composition de la partie électronique de *Désert*, Varèse prend le risque de mélanger la musique électronique avec de la musique instrumentale pure – Schaeffer

⁶¹ RISSET, Jean-Claude, MATHEWS, Max, « Analysis of musical-instruments tones », *Physics today*, vol 22 n2, 1969.

⁶² « *Incidences/résonance* met en jeu d’une manière contrôlée des résonances “par sympathie” d’événements sonores d’origine concrète avec des processus qui permettent l’entretien (prolongation d’un son) variable de sources électroniques » : Note de programme de *De Naturas Sonorous* <http://brahms.IRCAM.fr/works/work/36893/> [lien visualisé 1 mars 2018].

⁶³ RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p.306.

s'était déjà confronté à cette situation lors de l'échec de la composition de *Orphée 51* (1951). Dans *Désert* prédomine alors un écart sonore entre les interludes électroniques et les passages purement musicaux.

L'analyse de cette, pièce avec le concours de descripteurs audio⁶⁴, révèle une caractéristique étonnante. L'analyse ci-dessous (Figure 3), réalisée avec le logiciel EAnalysis est organisée en trois parties : (de bas en haut) le sonagramme d'une version de la pièce⁶⁵, une représentation spectrale et finalement un graphique avec les valeurs relatives du descripteur *spectral smoothness*. La mesure de ce dernier est obtenue avec l'aide du descripteur LibXtract⁶⁶ inclus dans ce logiciel. Ce calcul donne une analyse du lissage spectral, c'est-à-dire le calcul logarithmique de l'amplitude d'un partiel à laquelle on soustrait la moyenne logarithmique des 3 partiels qui l'entourent⁶⁷. En effet, « le lissage spectral est lié au degré de différence d'amplitude entre les partiels adjacents dans le spectre calculé sur la durée donnée »⁶⁸. Une trompette par exemple a un spectre lisse, alors qu'une clarinette a un spectre irrégulier. Par conséquent, la trompette aura une valeur faible de lissage spectral, alors que la clarinette aura une valeur élevée⁶⁹. Pour l'analyse de *Déserts*, le tracé du descripteur de *spectral smoothness*, suit une échelle progressive normalisée de la valeur minimale (couleur claire) à la valeur plus haut (couleur foncée). La différence de niveau de lissage spectral entre les interludes électroniques (marqués avec une ligne rouge) et les passages orchestraux est visible. Le

⁶⁴ La dénomination « descripteur audio » consiste en un nombre considérable d'outil qui mettent « en évidence des aspects spécifiques du signal audio ». Peeters dans

<http://www.musimediane.com/seminaire/2015/seance-01/GesteSonoreEtParametres230114GeoffroyPeters.pdf> [lien vérifié 1 mars 2018].

Nous reviendrons maintes fois au cours cette ouvrage sur les définitions, les pertinences et les usages des descripteurs. Pour le moment, nous nous considérons un outil analytique de signal numérique qui permet la visualisation d'une caractéristique donnée de l'évolution temporelle du signal analyse.

⁶⁵ Nous avons utilisé l'enregistrement de Christopher Lyndon-Gee avec National Polish Radio Symphony orchestra, Naxos 8.554820, 2001.

⁶⁶ <https://code.soundsoftware.ac.uk/projects/vamp-libxtract-plugins> [lien vérifié 1 mars 2018].

$$^{67} ss = \sum_{k=1}^n \left| 20\log(A_k) - \frac{20\log(A_{k-1}) + 20\log(A_k) + 20\log(A_{k+1})}{3} \right|$$

Spectral smoothness : A. = amplitude du partiel k.

⁶⁸ MCADAMS, Stephen, « Perspectives on the Contribution of Timbre to Musical Structure », *Computer Music Journal*, Vol. 23, No. 3, Recent Research at IRCAM, 1999, p.90.

⁶⁹ *Ibid.*

travail compositionnel orchestral fondé sur la morphologie sonore génère alors un résultat spectral plus dynamique (comme déjà constaté ci-dessus). Par conséquent, les valeurs de lissage spectral sont plus élevées que celles des passages purement électroniques. Cela renforce l'hypothèse du manque de cohérence compositionnel entre la partie instrumentale et la partie électronique. Alors que le son orchestral est riche et dynamique, le son électronique est « opaque » et « amorphe »⁷⁰.

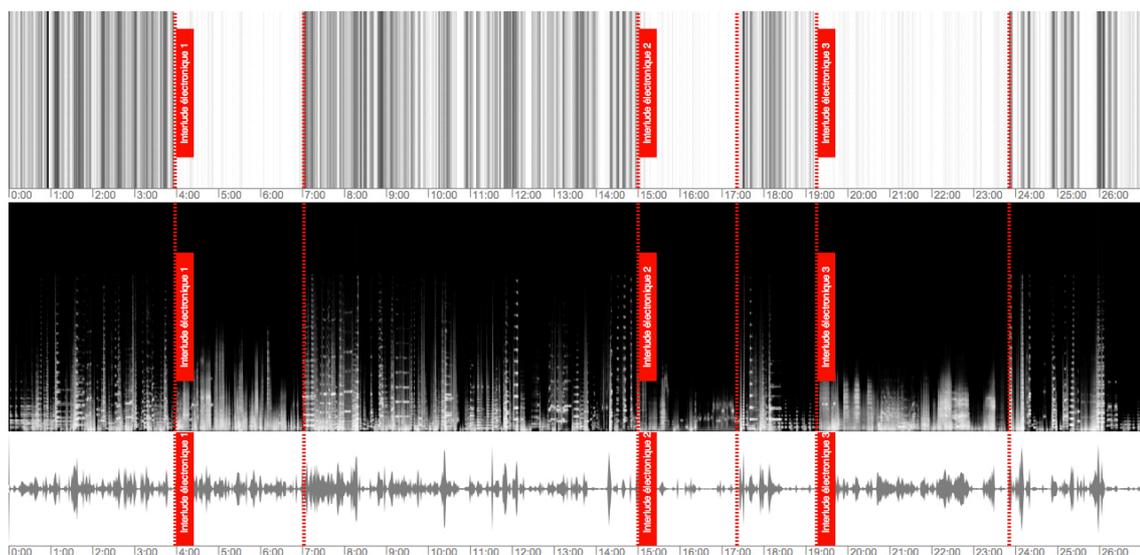


Figure 3 : Analyse de Déserts avec EAnalysis : sonagramme, spectrogramme et descripteur *spectral smoothness*.

Le *Poème électronique* (1958) marque une progression dans l'écriture électronique du compositeur. Dans cette pièce prédomine une cohésion plus nette et soignée entre les fragments et un travail sur des couches superposées. Toutefois prédominent des sons de qualité sommaire. Le compositeur disposait, pendant presque six mois, d'un complexe studio aux Philips Laboratories à Eindhoven, mis à sa disposition et conçu spécialement pour cette composition. Varèse utilise comme matériau des sons

⁷⁰ Il ne s'agit pas d'une affirmation conclusive, mais d'une idée lancée. Il s'agit d'un sujet complexe qui mérite une analyse plus détaillée et approfondie. Nous n'avons utilisé qu'un seul descripteur, alors que la pratique la plus courante est la conciliation des plusieurs sur une même représentation, cela est le cas de la BStD. MALT, Mikhail, JOURDANS, Emmanuel, « Le "BStD" – une représentation graphique de la brillance et de l'écart type spectral, comme possible représentation de l'évolution du timbre sonore », in X. Hascher, M. Ayari, J.-M. Bardez (éd.), *L'analyse musicale aujourd'hui*, Sampzon, Delatour, 2015, p.114. Nous avons aussi ignoré la problématique de l'analyse de l'enregistrement (*Ibid.*, p.123). En bref, il ne s'agit que d'une ébauche analytique qui, malgré la prudence méthodologique délibérée, a suscité chez nous une curiosité vis-à-vis de la problématique compositionnelle exposée ci-dessus.

concrets d'avion, de cloche, de piano et d'orgue, des voix de chanteurs, ainsi que des sons d'origine électronique⁷¹. La projection spatiale de la pièce a été réalisée grâce à un système trois pistes, distribuées sur onze groupes de quatre cent vingt-cinq haut-parleurs au total. Le son pouvait ainsi tourner autour du pavillon et jaillir de différentes directions⁷². Sans doute l'un des premiers essais de composition de l'espace comme une catégorie musicale. Cela sera davantage développé dans les travaux ultérieurs de John Chowning et Horacio Vaggione.

1.1.3. De l'organisation des masses sonores : vers des réseaux d'objet ?

Un regard plus en détail sur la notion de « masse sonore » dans l'optique varésienne permet d'élucider, du point de vue pratique, les désirs du compositeur. Il cite Helmholtz comme le premier à lui faire « percevoir la musique comme étant une masse de sons évoluant dans l'espace ». Les sons de sirènes, dans *Amériques* (1931), *Hyperprism* (1923) et *Ionisation* (1931), ainsi que les sons électroniques sinusoïdaux dans le *Poème électronique* (1958), sont des moyens d'entendre de « merveilleuses courbes sonores paraboliques et hyperboliques »⁷³. L'idée de la sirène a été prise directement du livre *Théorie physiologique de la musique* d'Helmholtz.

Le compositeur Iannis Xenakis propose en 1954, en disjonction aux règles sérielles, une méthode de composition stochastique, contrôlant statistiquement les effets de masse plutôt que les notes. C'est dans cette perspective que Xenakis applique le désir de Varèse :

Vous serez conscient des transmutations des masses en mouvement quand elles traverseront différentes couches, quand elles pénétreront certaines opacités, ou quand elles seront dilatées dans certaines raréfactions. En outre, le nouveau dispositif musical que j'envisage sera capable d'émettre des sons à n'importe quelle fréquence, et élargira les limites des registres les plus graves et les plus aigus, d'où naîtront de nouvelles organisations de résultantes verticales : les accords, leurs agencements, leurs espacements - c'est-à-dire leur oxygénation⁷⁴.

⁷¹ MANNING, Peter, *op. cit.*, 2013, p.82.

⁷² VARÈSE, Edgard, *op. cit.*, 1983, p.151.

⁷³ *Ibid.*, p.180.

⁷⁴ *Ibid.*, p.92.

En effet, il n'existe pas de circonstances historiques permettant d'attester une filiation directe entre Xenakis et Varèse⁷⁵. Toutefois, le concept de « masse » et le rapport avec l'espace sont centraux chez Xenakis. Les deux compositeurs se sont également penchés sur l'idée de partition graphique : Varèse a préconisé cette pratique, alors que Xenakis l'a appliquée avec l'environnement numérique UPIC⁷⁶. L'idée de « dilatation de masses dans certaines raréfactions », évoquée dans la citation ci-dessus, pourrait être appliquée directement à des compositions de Xenakis, comme *Metastasis* (1953) pour ensemble et *Akrata* (1964-65), comme déjà évoqué par Daniel Charles et Hubert Ruscol⁷⁷.

De plus, la notion de raréfaction est fortement liée aux techniques de synthèse granulaire qui concernent la génération de sons complexes à partir de flux de grains ayant des densités très élevées⁷⁸. Ces techniques reviennent à la description granulaire de Denis Gabor, dans les années 1940⁷⁹ ; celui-ci affirmait que la « représentation granulaire peut décrire n'importe quel son »⁸⁰. Xenakis montre de l'intérêt pour l'approche granulaire comme une « hypothèse de base » : « tout son est une intégration de grains, de particules élémentaires sonores, de quanta sonores »⁸¹. De la pièce *Analogique A et B* (1958-59), qui fait l'objet d'études stochastiques⁸², aux techniques granulaires courantes, il y a un grand écart technologique et d'appropriation compositionnelle. Or, l'approche granulaire représente en effet un ensemble d'approches plutôt qu'une technique unique : « La synthèse granulaire constitue un ensemble de techniques qui ne partagent que le concept des grains sonores »⁸³. L'hypothèse d'émergence d'une « école compositionnelle

⁷⁵ SOLOMOS, Makis, « Xenakis-Varèse et la question de la filiation », in *Edgar Varèse, Du son organisé aux arts audio*, Paris, L'Harmattan, 2008, p.21.

⁷⁶ *Ibid.*, p.3.

⁷⁷ *Ibid.*, p.6.

⁷⁸ VAGGIONE, Horacio, « Son, temps, objet, syntaxe. Vers une approche multi-échelle dans la composition assistée par ordinateur », in A. SOULEZ, H. VAGGIONE (éd.), *Musique, rationalité, langage. L'harmonie : du monde au matériau*, revue Cahiers de philosophie du langage n° 3, 1998, p.179.

⁷⁹ GABOR, Dennis, « Acoustical quanta and the theory of hearing », *Nature*, 1947.

⁸⁰ ROADS, Curtis, *The computer music tutorial*, Cambridge, MIT Press, 1996, p.422.

⁸¹ XENAKIS, Iannis, *Musique formelles*, La revue musicale, Paris, richard-masse, 1963, p.61.

⁸² *Ibid.*

⁸³ ROADS, Curtis, *op.cit.*, 1996, p.96.

granulaire »⁸⁴ semble alors dangereuse vis-à-vis du caractère pluriel inhérent à cette pratique.

Vaggione est l'un des compositeurs qui se sont tournés vers la théorie de Gabor. Les qualités d'échelles temporelles multiples de l'objet opératoire correspondent parfaitement avec la description granulaire du sonore. D'ailleurs ce constat est mentionné et développé par le compositeur lui-même ainsi que par d'autres chercheurs⁸⁵.

Un autre point de convergence entre Varèse et la composition par réseaux d'objets est le caractère opératoire du musical. Varèse s'oppose à l'usage « automatique » de l'électronique : la conception *boîte noire*⁸⁶ de l'informatique. Par rapport aux premiers essais de composition avec ordinateur réalisés aux Etats-Unis, Varèse se positionne à l'opposé des démarches des compositeurs comme Milton Babbitt (1916-2011) : « Il me semble qu'il [Milton Babbitt] veut exercer un contrôle maximum sur certains matériaux sonores, comme s'il les dominait »⁸⁷. Varèse par contre veut « être à l'intérieur du matériau sonore, être une partie de la vibration acoustique pour ainsi dire »⁸⁸ il envisage « l'espace musical plutôt comme quelque chose d'ouvert que comme quelque chose de fermé »⁸⁹. La condition principale de l'approche orientée objet, selon Vaggione est la propriété opératoire, s'opposant aux conceptions déterministes essentiellement non interactives comme les musiques algorithmiques de Lejaren Hiller (1924-1994) ou Pierre Barbaud (1911-1990). Dans ces cas, on parlait d'une « planification maximale du processus, qui se déroulait donc de façon autonome, automatique », Vaggione conclut : « dans cette situation [la musique automatique], il n'a pas d'opérateur. Et on ne peut pas parler d'opérations s'il n'y a pas d'opérateur »⁹⁰. L'ordinateur reste un outil opératoire qui doit être opéré par le compositeur, comme affirme Varèse :

⁸⁴ Pour cette raison, nous préférons ne pas entrer dans le détail de l'hypothèse du « paradigme granulaire » SOLOMOS, Makis, « The granular connection (Xenakis, Vaggione, Di Scipio...) », in *Symposium The Creative and Scientific Legacies of Iannis Xenakis International Symposium*, 2006.

⁸⁵ Notamment dans ROADS, Curtis, *Microsound*, Cambridge, MIT Press, 2001.

⁸⁶ Nous nous référons au concept cybernétique de boîte noire de Wiener : il s'agit d'un atome de structure dont le fonctionnement interne est ignoré, considérée comme un simple élément comportant des entrées et des sorties DURAND, Daniel, *La systémique*, (coll) que sais-je ?, Paris, Presses Universitaires de France, 2013, p.39-40.

⁸⁷ VARÈSE, Edgard, *op. cit.*, 1983, p.187.

⁸⁸ *Ibid.*

⁸⁹ *Ibid.*

⁹⁰ VAGGIONE, Horacio dans VAGGIONE, Horacio, SOLOMOS, Makis, SOULEZ, Antonia, « De l'opérateur », in *Formel/informel: musique-philosophie*, Paris, L'Harmattan, 2003, p.227.

Nous ne devons pas nous attendre à ce que nos dispositifs électroniques composent pour nous. Les moyens électroniques permettront de composer de la bonne et de la mauvaise musique, comme ce fut le cas pour les instruments. L'ordinateur est une invention merveilleuse, qui paraît presque surhumaine. Mais en réalité ses limites sont celles de l'esprit de l'individu qui lui fournit son matériau. Ce nouvel art est encore dans son enfance, et j'espère - je crois fermement, puisque maintenant les compositeurs et les physiciens travaillent enfin ensemble, et puisque la musique est de nouveau liée à la science comme elle l'était au Moyen âge, qu'on inventera des dispositifs nouveaux et plus efficaces musicalement⁹¹.

L'art-science prend alors une ampleur autant visionnaire que paradoxale, car il ne s'agit pas de créer des machines à composer, mais plutôt de développer des recherches musicales ayant comme but la reconsidération de processus compositionnel inhérent à ce médium : « Quant au compositeur qui veut adopter les moyens électroniques (malgré l'apparence révolutionnaire de ceux-ci), ses problèmes restent fondamentalement les mêmes – à part, naturellement ceux que la nouvelle technique présente »⁹². Le compositeur « ne doit pas envisager "l'électronique" comme un *Deus ex machina* qui va composer pour lui, La science lui offre aujourd'hui une collaboration qu'il aurait été impossible de prévoir il y a une vingtaine d'années mais qui lui crée aussi de nouvelles responsabilités »⁹³. « Être à l'intérieur du matériau sonore », comme affirme Varèse, sera le point central de la recherche musicale de Jean-Claude Risset et d'Horacio Vaggione.

Certes, Varèse a prévu les musiques concrètes et les musiques électroniques (comme l'a affirmé Messiaen, cité par Risset⁹⁴), mais plus que cela, il n'a pas négligé la figure du compositeur, *l'organiseur des sons*. L'informatique musicale (que Varèse n'a pas pu mettre en œuvre directement) a été le terrain fertile sur lequel Jean-Claude Risset a développé la composition du son lui-même et Horacio Vaggione compose ses réseaux d'objet. Ces deux compositeurs-chercheurs partagent sans doute la même problématique préconisée par Varèse, chacun à sa manière.

⁹¹ VARÈSE, Edgard, *op. cit.*, 1983, p.165.

⁹² *Ibid.*, p.150.

⁹³ *Ibid.*

⁹⁴ RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p.284.

1.2. Art-Science-Technologie

En 1948, Pierre Schaeffer animait le Club d'essai de la radiodiffusion télévision française, où il était ingénieur depuis 1936. En utilisant les ressources du studio, surtout des tourne-disques dans un premier temps, il réalise les premières expériences qui aboutiront ensuite à la composition concrète. *Cinq études de bruit*, dont la première partie est *l'Étude aux chemins de fer* (1948), est le premier résultat musical de cette pratique. Ces exemples ressortent des manipulations directes par juxtaposition de sons. Cette démarche sera racontée dans le premier ouvrage capital dédié à cette musique, *À la recherche d'une musique concrète*, paru en 1952⁹⁵. La voie était ouverte à la musique des sons. En 1958 naît le GRM - Groupe de Recherches musicales, sur le modèle d'une équipe interdisciplinaire ayant comme objectif principal l'étude des aspects de l'objet sonore. Schaeffer se lance dans l'entreprise de constituer un nouveau solfège. Paru en 1966, le *Traité des objets musicaux*⁹⁶ rassemble les recherches expérimentales menées jusqu'alors, dont l'une portant sur la typologie (fondée sur la morphologie), constitue la base du solfège de l'objet sonore. Si Varèse a été le « héraut et le prophète » de l'art-science et du son organisé, « Pierre Schaeffer en sera le pionnier »⁹⁷.

L'institutionnalisation de l'art-science a été l'un des points fondamentaux pour la réussite du projet concret⁹⁸. C'est justement le type d'institution, comme le GRM, qui assure les moyens et la pérennité de ce genre de projet. Ce modèle a été imité dans tout le monde. Par exemple, les compositeurs pionniers de la *tape music* aux États-Unis, Otto Luening (1900-1996) et Vladimir Ussachevsky (1911-1990), en mission en Europe, soulignent que « le développement de la musique électronique dans leur pays pourrait être mieux assisté, si le financement était mené vers un secteur universitaire, où la recherche et le développement peuvent être favorisés dans un environnement libre de

⁹⁵ SCHAEFFER, Pierre, *A la recherche d'une musique concrète*, Paris, Seuil, 1952.

⁹⁶ SCHAEFFER, Pierre, *Traité des objets musicaux*, Paris, Seuil, 1966.

⁹⁷ RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p.298.

⁹⁸ DELALANDE, François, « Schaeffer et la recherche », in *Portraits Polychromes Pierre Schaeffer*, n°13, Paris, INA-GRM, 2008, p.104.

pression commerciale »⁹⁹. L'innovation de cette pratique est rendue possible par le rapprochement entre deux communautés, celle des ingénieurs et celle des musiciens, dans un sens commun. La composition musicale, au cours de son histoire, était « un acte solidaire solitaire en excellence »¹⁰⁰. La musique concrète propose un bouleversement dans ce sens : avec Schaeffer la composition est devenue un acte collectif, « au sein d'une équipe, en relation avec un pôle technique et en participant à un projet collectif qui révisait de fond en comble la "théorie de la musique" »¹⁰¹. Cela a été le rêve de Varèse, mis à échec dans la première moitié du XX^e siècle.

Les principes de la recherche artistique de la musique concrète sont fortement liés au progrès scientifique d'après la deuxième guerre mondiale. Au moment même de l'apogée de la recherche musicale conçue par Schaeffer, l'informatique musicale, la *tape music* et l'*Elektronische musik* se développent dans la même perspective.

En Allemagne, le chercheur Werner Mayer-Eppler (1913-1960) rend visite aux *Bell Telephone Laboratories* et y découvre la machine *Vocoder* pour l'analyse de la voix. Fasciné par son fonctionnement, il rencontre en 1949 Robert Beyer (1901-1989) qui partage le même enthousiasme pour ses applications dans la musique. Le compositeur Herbert Eimert (1897-1972) a exprimé un intérêt pour leurs idées et les trois fondent ensemble l'*Elektronische Musik* avec la création du studio de Cologne¹⁰². Bayer et Eimert ont composé *Klang im unbegrenzten Raum* (1951-52), *Klangstudie I* (1952), *Klangstudie II* (1952-53), *Ostinate figuren und Rhythmen* (1953) et *Struktur 8* (1953) ; ces pièces sont des exemples d'application stricte de technique sérielle¹⁰³. Stockhausen rejoint le studio de Cologne et y compose *Studio I* (1953) et *Studio II* (1954). Ces exemples résultent d'un contrôle de chaque paramètre disponible pour la composition musicale en éliminant le rôle opératoire intermédiaire du compositeur lors de la création.

Aux États-Unis, les efforts technologiques suivent la même perspective que l'école allemande en privilégiant une approche structurale. Le contrôle sur les paramètres

⁹⁹ Nous traduisons : "the development of electronic music in their country best be assisted by directing financial support toward the university sector, where research and development could be fostered in an environment free from commercial pressures" MANNING, Peter, *op. cit.*, 2013, p.81.

¹⁰⁰ DELALANDE, François, *op. cit.*, 2008, p.104.

¹⁰¹ *Ibid.*

¹⁰² MANNING, Peter, *op. cit.*, 2013, p.40.

¹⁰³ *Ibid.*

musicaux globaux (comme la note et le rythme) y prédomine au détriment de la composition du son lui-même. Vladimir Ussachevsky et Otto Luening fondent le Columbia Tape Music Center en 1952, ils y disposaient d'un synthétiseur analogique RCA Mark II. Milton Babbitt, alors professeur à l'Université de Princeton, compose *Composition for Synthesizer* (1964). Cette pièce était « le fruit d'une transition apparemment sans effort d'un style d'écriture instrumentale strictement ordonné à un équivalent électronique »¹⁰⁴. Cette prise de position a été maintes fois critiquée par la musique concrète : Ussachevsky et Luening étaient « peu préoccupés de “révolution de l'écoute” ou de “rupture avec les codes” », puisqu'ils utilisaient « dans leurs œuvres des sons d'instruments traditionnels, plus ou moins manipulés, et adoptaient un style éclectique qui faisait de la musique sur bande comme un prolongement de la musique instrumentale »¹⁰⁵.

Le premier intérêt pour l'utilisation de l'ordinateur pour la composition prévoyait son usage pour le calcul des paramètres musicaux. Ensuite, ces calculs pourraient rendre une partition traditionnelle jouable par des instruments acoustiques (dans un deuxième temps, les partitions ont été jouées par l'ordinateur grâce à la synthèse numérique). Les chercheurs Issac Hiller et Leonard Isaacson (1924-1994) développent le programme « Illinois Accumulator » afin de générer de la musique avec des règles de composition par des algorithmes de probabilité. Ces compositeurs-chercheurs composent *Illiac Suite* (1957), pièce originalement pour quatuor à cordes, qui est fondée sur des règles de contrepoint strict telles que décrites dans le traité *Gradus ad parnassum*¹⁰⁶. Dans ce cas, comme dans les pièces de cette période de Babbitt et Xenakis, l'ordinateur est utilisé pour le calcul des paramètres musicaux plutôt que pour la synthèse de son. La programmation de l'ordinateur pour la composition musicale s'est avérée problématique, car les règles de composition disent « ce qu'il ne faut pas faire, plutôt que ce qu'il faut faire, comme à

¹⁰⁴ Nous traduisons : “was the fruit of a seemingly effortless transition from a strictly ordered style of instrumental writing to an electronic equivalent” *Ibid.*, p.97.

¹⁰⁵ L'expression « prolongement de la musique instrumentale » a été utilisée plusieurs fois avec des significations différentes dans le contexte de la musique électroacoustique, notamment pour la musique mixte. Dans ce cas, Chion se réfère à une écriture instrumentale, plutôt qu'une convergence entre des sons électroniques et acoustiques. CHION, Michel, *op. cit.*, 1982, p.8.

¹⁰⁶ FUX, Johann Joseph, *Gradus ad Parnassum*, texte original intégral. Éditions Mardaga, 2000.

déjà remarqué Babbitt »¹⁰⁷. Or, les algorithmes doivent fonctionner avec un « filtrage d'un choix aléatoire par des règles de rejet, alors que l'humain est incapable de produire de l'aléatoire »¹⁰⁸.

Malgré les premiers résultats concrets issus du mariage entre la science et la musique au milieu du XX^e siècle, le rêve varésien n'était pas complètement accompli. Même s'il était possible de concevoir la composition musicale par le biais des nouveautés technologiques, il n'était toujours pas possible de composer le son lui-même en ayant le contrôle complet sur toutes les dimensions (l'*Elektronische Musik* y est arrivée, mais avec des résultats sonores sommaires). La musique concrète montrait déjà son grand potentiel et a donné des compositions uniques dans les décennies suivantes. En outre, les écrits de Schaeffer consolidaient déjà le caractère interdisciplinaire de cette pratique créatrice. Quant à la musique par ordinateur, il a fallu attendre l'avancement dans le domaine de la synthèse sonore, vers la fin des années 1950, et sa consolidation à partir des années 1960, pour enfin pouvoir rendre disponible un moyen « d'être à l'intérieur du matériau sonore ».

1.2.1. La recherche musicale et la synthèse sonore

La musique faisant appel à la synthèse numérique est née dans les années 1950¹⁰⁹ lors des premiers essais réalisés aux *Bell Telephone Laboratories* par Max Mathews (1926-2011) et son équipe. Cet ingénieur, passionné par la musique et violoniste amateur, fut encouragé à écrire un programme informatique de musique lors d'un concert en 1956 au cours duquel une pièce de Schnabel a été mal interprétée. Son responsable, John Pierce lui dit qu'un ordinateur pourrait faire mieux et lui encourage à se lancer dans ce

¹⁰⁷ RISSSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p.21.

¹⁰⁸ *Ibid.*

¹⁰⁹ Même s'il existe une documentation abondante sur l'histoire de la synthèse musicale qui permet de tracer une temporalité indiscutable. Il n'existe cependant pas une trajectoire chronologique linéaire de l'histoire de la musique faisant appel à l'informatique musicale ; il s'agit plutôt d'un conglomérat d'événements discrets DOORNBUSCH, Paul, « Early Hardware and early ideais in computer music: Their development and their current forms », in *The Oxford Handbook of Computer Music*, New York, Oxford University Press, 2009, p.44.

domaine¹¹⁰. Un an après, Mathews écrivit le logiciel MUSIC I (le premier d'une série de logiciels appelés MUSIC N).

Il ne faut cependant pas ignorer les recherches dans le domaine de l'informatique musicale menées en même temps dans le reste du monde, surtout en Australie. L'ordinateur CSIRAC (*Council for Scientific and Industrial Research Automatic Computer*) fut le premier à jouer de la musique au public en 1951¹¹¹. L'ingénieur Geoff Hilla programma cet ordinateur pour jouer les chansons populaires *Colonel Bogey* et *Girl with Flaxen Hair*. Ensuite en 1957 une extension de ce programme a permis l'utilisation des « partitions » sur forme de cartes perforées. Les sons étaient produits cependant par une méthode sommaire : avec des pulsations sonores (appelés « blurt ») envoyées directement aux haut-parleurs selon une période régulière.

L'une des différences essentielles entre les recherches menées en Australie, décrites ci-dessus, et celles conduites par Mathews était l'accès à la technologie de l'échantillonnage. Cette technologie était disponible aux *Bell Telephone Laboratories* grâce aux travaux menés par la transmission de la voix par *Pulse-code modulation* (PCM), cela permettait la conversion analogique numérique (ADC) et la conversion numérique analogique (DAC). Les recherches menées par Mathews avaient alors un grand potentiel de calcul à l'échelle micro-temporelle, au niveau de l'échantillon. Ce potentiel a été confirmé au cours de la deuxième moitié du XX^e siècle avec l'essor de la série de logiciel MUSIC N jusqu'à la prolifération d'outils informatiques ayant la même caractéristique modulaire imaginée par Mathews, comme les logiciels graphiques Max et PureData.

De plus, les conditions technologiques privilégiées disponibles aux *Bell Telephone Laboratories*, l'ouverture à la collaboration entre ingénieurs et compositeurs confirmés a également permis le grand essor de la synthèse musicale avec un intérêt notamment compositionnel. Contrairement aux recherches menées en Australie et Angleterre, Mathews et son équipe se sont aperçus très tôt de l'importance d'accueillir des musiciens au sein du laboratoire. Il était important de tester si les compositeurs étaient

¹¹⁰ MATHEWS, Max dans GAYOU, Evelyn, « Entretien avec Max Matthews », in *Portraits polychromes Max Mathews*, n°11, Paris, INA-GRM, 2007, p.8.

¹¹¹ DOORNBUSCH, *op.cit.*, 2009, p.46.

capables d'apprendre le langage et de s'exprimer avec¹¹². Le développement de la série MUSIC N a été fortement lié aux besoins des compositeurs, comme l'usage polyphonique et la flexibilité et variabilité des timbres et du temps¹¹³.

Aux *Bell Telephone Laboratories*, Newman Guttman compose en 1957 les deux premiers exemples musicaux de synthèse numérique, *In the Silve Scale* et *Pitch Variation*. Ainsi comme la plupart des pièces précédentes, la composition est fondée sur une échelle méso-temporelle ; celle de la note, comme dans une composition traditionnelle. Lorsqu'une nouveauté technologique apparaît, elle est souvent ramenée aux supports traditionnels, pour confirmer sa capacité à accomplir les mêmes tâches que ses prédécesseurs. Pour affirmer qu'il est possible avec la synthèse numérique de faire de la musique, il a fallu que ce support puisse faire la même musique, avec le même langage, qu'un support plus ancien.

James Tenney (1934-2006) était le premier compositeur confirmé à avoir rejoint Mathews et son équipe en 1961. Il compose *Analog #1* (1961), *Noise Study* (1961) et *Four Stochastic Studies* (1962). Ces pièces utilisent des méthodes de génération de bruit fondées sur la génération de nombres aléatoires. C'est avec Jean-Claude Risset, qui a rejoint les *Bell Telephone Laboratories* au début des années 1960, que l'ordinateur a été utilisé pour la composition d'une musique complètement singulière. Jusqu'à *Little Boy* (1968) et *Mutations* (1969), pièces acousmatiques de Jean-Claude Risset, l'ordinateur était un outil sommaire pour la synthèse, avec des générateurs de fréquences, visant une musique tournée vers les notes, les événements macro-temporels, ou faisant appel à des générateurs de bruit (comme dans le cas de Tenney ci-dessus). Risset utilise l'ordinateur pour entrer dans le son, pour composer le son lui-même. Cela engendra des conséquences sur la manière dont nous entendons les sons (la psychoacoustique) et sur les méthodes de composition elles-mêmes. Dans la deuxième partie de *Mutations*, par exemple, Risset compose sur des évolutions temporelles à l'intérieur du son. Avec cette méthode il génère, par le biais de la technologie numérique, des sons pseudo-acoustiques, comme les

¹¹² DOORNBUSCH, Paul, « History of computer music in Australia and England », in: *8th International Conference on Music/Sonic Art: Practices and Theories*. Hochschule für Musik, Karlsruhe, 2017, p.16.

¹¹³ DOORNBUSCH, *op.cit.*, 2009, p.48.

trompettes, percussions, cloches entre autres ; ainsi que des paradoxes sonores, comme des glissandos sans fin.

1.2.2. La recherche musicale fondamentale

Le terrain scientifique fertile de l'après seconde guerre mondiale a, entre autres, à partir de la fin des années 1940, motivé le développement du « structuralisme musical » . Selon Piaget, le structuralisme possède un caractère de totalité (la structure seule est capable de gérer l'ensemble de l'objet) ; de transformation (la structure seule gère l'évolution) ; d'autorégulation (les lois internes de la structure la règlent) et pourtant de formalisation¹¹⁴.

Dans la musique, ces techniques ont eu comme but la généralisation et l'organisation des paramètres musicaux traditionnels, comme la note et les durées, selon les principes de la technique dodécaphonique d'Arnold Schoenberg (1874-1951). Pierre Boulez (1925-2016) compose *Polyphonie X* (1950-51) et *Structure I* (1952) et Olivier Messiaen (1908-1992) compose *Modes de valeur d'intensité* (1949). Karlheinz Stockhausen (1928-2007), comme déjà décrit ci-dessus, se sert de l'électronique pour une application sérielle globale, il compose aussi des pièces acoustiques suivant la même perspective comme les *Klavierstücke I, II, III et IV* (1952-1953). Le structuralisme musical dépasse l'application de techniques purement musicales, les compositeurs s'intéressent aussi bien à une *croissance dans la pensée* par notamment des « analogies scientifiques »¹¹⁵. Boulez par exemple refuse l'usage des thèmes (des modèles *newtoniens*) car ils contredisent les développements de la science récente (la théorie de la relativité). Ce contexte-là aboutira à une *fétichisation grammatologique du signe*¹¹⁶. C'est-à-dire, l'abstraction de l'objet sonore vers des représentations complètement abstraites. Cette idée est l'antithèse de la musique concrète.

¹¹⁴ PIAGET, Jean, *Le structuralisme*, (coll) que sais-je ?, Paris, Presses Universitaires de France, 1987.

¹¹⁵ LEVY, Fabien, *Le compositeur, son oreille et ses machines à écrire : Déconstruire les grammatologies du musical pour mieux les composer*, Paris, Vrin, 2013, p.28.

¹¹⁶ *Ibid.*

Encore dans les années 1950, un courant contraire au structuralisme décrit ci-dessus émerge. Iannis Xenakis publie en 1955 l'article « La crise de la musique sérielle », où il critique la simplicité de la méthode combinatoire sérielle et propose une généralisation de ce principe par l'application du calcul combinatoire. La musique stochastique proposée par ce compositeur, vise alors l'application musicale de modèles mathématiques déterministes. Dans *Pithoprakta* (1955-56) pour ensemble, Xenakis applique cette innovation avec la notion de masses qui s'oppose à la « polyphonie linéaire » du sérialisme¹¹⁷.

Schaeffer s'oppose fortement aux démarches structuralistes¹¹⁸. De plus il considère que ces recherches comme des « analogies scientifiques » et « des prétextes esthétiques, de trompe l'oreille »¹¹⁹. Dans son traité, Schaeffer pose les questions élémentaires de la recherche fondamentale en musique. Ces questions sont intrinsèques à un processus créatif orienté vers la composition du son lui-même.

Avec quels matériaux fait-on de la musique ? Qu'est-ce que nous percevons de ces matériaux ? Dans ce que nous percevons, quel rôle joue le conditionnement ? Quelles sont, au-delà de ce conditionnement, les virtualités du sonore, tant par les propriétés physiques des objets que par celles des structures de perception dont l'homme, naturellement doté, peut poursuivre le développement ?¹²⁰.

Certes, le principe d'une recherche artistique n'est pas tout à fait nouveau, il s'agit d'une prise de conscience inhérente de la pratique compositionnelle : « l'activité artistique est recherche en soi : comme la recherche scientifique, elle implique une attitude de questionnement. Les objets et les œuvres artistiques, créés individuellement ou collectivement, sont souvent des propositions plutôt que des affirmations. En tant que tels, ils entrent dans un processus qui engage la société et fait qu'elle est elle-même créatrice »¹²¹. Schaeffer tourne toutefois l'attention vers le matériau lui-même et la manière dont nous l'entendons. C'est la recherche fondamentale qui mène alors à la conception du solfège de l'objet sonore. Cette prise de conscience est sans doute originelle et donne un pas en avant vers un « physicalisme musical », c'est-à-dire des

¹¹⁷ SOLOMOS, Makis, « Iannis Xenakis trois composantes de l'univers xenakien », in Nicolas Donin; Laurent Feneyrou. *Théories de la composition musicale au XXe siècle*, volume 2, Lyon, Symétrie, 2013.

¹¹⁸ Dans le traité des objets musicaux, Schaeffer ne donne pas d'exemple précis des démarches critiquées.

¹¹⁹ SCHAEFFER, Pierre, *op.cit.*, 1966, p.360.

¹²⁰ *Ibid.*

¹²¹ DUFOURT, Hugues dans RISSET, Jean-Claude, *Rapport Art, science, technologie*, 1998, p.156.

procédures compositionnelles déduites de phénomènes perceptifs, approche prédominante à partir des années 1970¹²².

1.2.3. La recherche musicale et l'informatique - le danger des « machines à composer »

En 1998, à la demande de Claude Allègre – à l'époque ministre français de l'éducation nationale, de la recherche et de la technologie –, Jean-Claude Risset rédige (avec la collaboration d'autres chercheurs, comme Denis Dufour) le rapport Art-Science-Technologie (AST). Cette mission avait comme objectif l'étude visant à stimuler la recherche scientifique et technologique dans les domaines artistiques. Ce document recueille des informations précises sur l'état, à l'époque, d'institutions formatrices dans ce domaine existant en France et en Europe, mais aussi sur le questionnement « des possibilités de l'informatique et du multimédia [qui] rendent possibles de nouvelles démarches heuristiques, pour lesquelles la recherche artistique peut entrer articulée avec la recherche fondamentale »¹²³.

Risset fut un pionnier de la synthèse numérique, mais aussi un militant du rapprochement entre la recherche scientifique et la création musicale. Cela est en partie dû au fait qu'il avait une double formation d'ingénieur et de compositeur. Il travaille aux *Bell Telephone Laboratories* entre 1964-65 et 1967-69 ; ensuite au Département Ordinateur de l'IRCAM de 1975 à 1979 et enfin au Laboratoire de mécanique et d'acoustique. Son orientation singulière vers la musique, technologie et science lui a valu une reconnaissance internationale, distinguée scientifiquement par une médaille d'or du CNRS en 1999.

¹²² LEVY, Fabien, *op.cit.*, 2013, p.28

¹²³ RISSET, Jean-Claude, *Rapport Art, science, technologie*, 1998, p.15.

<http://www.education.gouv.fr/cid1905/art-science-technologie-a.s.t.html> [lien vérifié 1 mars 2018].

La recherche pour laquelle Risset montre de l'intérêt est de nature prospective, ou créative¹²⁴, c'est-à-dire, tournée vers la création¹²⁵. Cela se fait par le biais de disciplines différentes, dites « dures », comme la science et la technologie. « La recherche *pour* [prospective et créative] la musique étant à la fois préalable et évaluable, comme directement intégrée à l'œuvre et identifiable en elle-même en termes techniques »¹²⁶.

Le rapport musique-technologie propose une double relation : la science peut proposer de nouveaux moyens technologiques pour faire de la musique, aussi bien que la musique peut pousser de nouvelles perspectives scientifiques. Cette caractéristique n'est pas complètement attribuée à la pratique du XX^e siècle : « les facteurs d'orgue ont mis en œuvre la synthèse additive de timbres musicaux des siècles avant Fourier », et, selon l'historien Geoffroy Hindle, « la notation musicale occidentale a inspiré les systèmes de coordonnées cartésiennes »¹²⁷. L'avènement de l'informatique musicale a toutefois renforcé l'innovation technologique poussée par la recherche musicale. L'exemple le plus spectaculaire et réussi est l'invention de la modulation de fréquence (synthèse FM) réalisée par le compositeur John Chowning. Ayant tout d'abord un objectif musical et mis en œuvre lors de la composition de *Stria* (1977), le brevet a été racheté par la société Yamaha qui l'a ensuite appliqué aux synthétiseurs DX7 des années 1980.

Deux aspects principaux sont soulignés par Risset concernant les recherches musicales faisant appel à l'informatique : l'usage de la synthèse pour la composition du son lui-même et le caractère opératoire de l'informatique. Il s'agit des points déjà mentionnés par Varèse, qui confirment ses prophéties. Sur la composition du son lui-même, Risset affirme :

C'est surtout dans le domaine du matériau sonore que l'Informatique musicale a influencé les pratiques créatrices. Il ne s'agit pas d'un rôle ancillaire : comme aimait à dire Varèse, de nouveaux matériaux sont nécessaires pour donner lieu à de nouvelles architectures. L'informatique musicale permet d'introduire une logique compositionnelle jusqu'au niveau de la microstructure sonore¹²⁸.

¹²⁴ Risset mentionne la recherche *pour* la musique en référence à la distinction entre recherche *sur*, *pour* et *en art* proposée par Marie-Elisabeth Duchez DUCHEZ, Marie-Elisabeth, « Théorie musicale et théorie scientifique » in *Colloque sur l'enseignement musical et scientifique*, Université de Bretagne occidentale, Brest, 1978.

¹²⁵ Risset, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p.65.

¹²⁶ POIRIER, Alain, « La recherche artistique dans l'enseignement musical supérieur », Ministère de la Culture et de la Communication : Direction générale de la création artistique, 2010, p.22.

¹²⁷ RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 1998, p.14.

¹²⁸ *Ibid.*

C'est la propriété multi-échelle de l'informatique que Risset met en évidence. Grâce à cette caractéristique du numérique, le compositeur a pu mener ses recherches en développant la composition du son lui-même. Il porte ainsi une attention particulière à la dimension sonore verticale pour imprimer des harmonies au cœur de sons et faire jouer le temps dans le son¹²⁹. La recherche expérimentale proposée par Pierre Schaeffer a été l'un des premiers pas vers cette réalité, cependant il fallait encore intégrer la technologie numérique dans cette pratique. Schaeffer restait sceptique sur l'usage de l'ordinateur pour faire de la musique concrète. Lors du colloque « Musique et technologie », tenu à Stockholm en 1970 et réalisé par l'UNESCO, Risset rencontre Schaeffer pour la première fois. À cette occasion, Schaeffer critique durement l'usage de l'ordinateur, puisque son usage allait contre l'instinct du créateur¹³⁰. Cette interprétation de l'usage musical de l'informatique est fondée sur une idée réductrice : celle que les machines composeront à la place du compositeur, enlevant ainsi la propriété opératoire du musical. Schaeffer avait comme référence les travaux informatiques pour le calcul de paramètres globaux. Dans les années 1960, Pierre Barbaud a réalisé ses premières expériences de composition algorithmique, à l'époque où Xenakis présentait des œuvres calculées sur un ordinateur. Schaeffer condamnait ces pratiques par lesquelles le compositeur lui semblait « fournir, *a priori*, la loi préconçue de telle ou telle musique »¹³¹. Contrairement à l'usage « automatique » de l'informatique, la recherche menée par Risset et l'équipe des *Bell Telephone Laboratories* visait la synthèse numérique. Cette démarche ne comprend pas l'ordinateur comme une simple machine à calculer : « l'intention et le savoir-faire comptent plus que la technologie, le logiciel est plus déterminant que le matériel »¹³². Sur ce danger, Varèse avait déjà prononcé son insatisfaction envers les formalismes compositionnels explicites. Dans le rapport AST, Risset définit bien le rôle de l'informatique dans la recherche musicale :

L'Informatique musicale est une partie essentielle de la recherche musicale. C'est la recherche en Informatique musicale, et non pas la recherche technologique, qui prépare les possibilités de création et d'utilisation musicale issues de l'ordinateur

¹²⁹ RISSET, Jean-Claude dans GUILLOT, Mathieu, *Du Songe au son*, Paris, L'Harmattan, 2008, p.178.

¹³⁰ RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p.300.

¹³¹ *Ibid.*

¹³² *Ibid.*, p.301.

et du domaine numérique. Il s'agissait en effet d'acquérir un savoir-faire, que la technologie ne fait que mettre en œuvre. L'informatique permet de construire les applications musicales, au lieu de détourner à des fins musicales un dispositif conçu à d'autres fins¹³³.

La technologie numérique est alors au service de la création. L'informatique musicale « consiste dans la mise en œuvre et l'usage, en vue d'entendre les possibilités de la création musicale et de la musicologie, de moyens matériels et logiciels impliquant le codage numérique et le recours aux possibilités de l'ordinateur »¹³⁴.

1.2.4. La recherche musicale et l'informatique - le danger de la « vénération des machines »

L'informatique a vécu un fort essor à partir des années 1980. Les technologies numériques sont devenues accessibles à tous, en dehors des centres de recherches. L'ordinateur personnel était de plus en plus accessible et l'invention du Disque compact, par Sony et Phillips, rendait possible le stockage numérique d'information. Dans la musique les synthétiseurs numériques, comme le DX7, ont « popularisé » la musique numérique. Ce scénario a conduit la composition faisant appel à l'informatique musicale à la pratique contemporaine du *Laptop Music*.

Par rapport à cette croissance des technologies numériques, la loi de Moore prévoyait que le nombre de transistors des microprocesseurs doublerait tous les deux ans, par conséquent, les machines deviendraient de plus en plus puissantes et de moins en moins coûteuses. L'essor numérique vécu pendant les deux dernières décennies du XX^e siècle a montré la justesse de cette prévision. Cette « popularisation » a permis l'émergence, en dehors des grands centres de recherche, d'une communauté d'utilisateurs souhaitant employer le numérique dans leur pratique musicale. Cette pratique a eu bien des conséquences négatives comme la rapide obsolescence technologique et un « culte » exagéré pour les machines au détriment de la valorisation du savoir-faire numérique.

¹³³ RISSSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 1998, p.89-90.

¹³⁴ *Ibid.*

Compte tenu de ce scénario, dans les années 1980, Risset publie l'article *Le compositeur et ses machines – de la recherche musicale*¹³⁵ dans lequel il souligne l'importance de la convergence entre la création, la recherche et la technologie numérique d'un point de vue « prospectif ». À la même époque et dans la direction de l'article de Risset, deux collaborations significatives ont lieu en France : la publication en 1986 d'un volume de la revue musicale dédié à la Recherche musicale au GRM¹³⁶ et l'organisation en 1983 d'un colloque international à l'IRCAM consacré à ce sujet¹³⁷. Il s'est avéré que la recherche musicale est un sujet complexe, lié à des risques, et que les différents agents conçoivent cette pratique de manière différentes. Par exemple, le point de vue du compositeur est parfois incompatible avec celui du musicologue-analyste.

Lors de ces deux événements, parmi de nombreuses contributions, Michel Chion identifie un danger potentiel si l'on donne une importance exagérée au développement des machines : *les machines n'ont rien à dire* :

Le fait le plus aveuglant dans l'actualité récente de la recherche musicale est l'importance délirante, extravagante, démesurée, donnée aux machines à faire des sons - synthétiseurs digitaux, système divers - par rapport à tout le reste, recherche fondamentale, création, idées [...] Pour le grand public, "recherche musicale" est ainsi devenu synonyme de lutherie, d'appareil nouveaux¹³⁸.

Il en conclut :

C'est aussi un des mérites de Schaeffer que d'avoir su très vite poser la création et la recherche comme complémentaires et antagonistes à la fois, et de n'avoir pas versé dans l'angélisme qui consiste à rêver pour elles d'une harmonieuse coordination. Cet angélisme, partout où il sévit, fait une recherche et une création appauvries. Il faut au contraire que la recherche se fasse plus rigoureuse et la création encore plus libre, insaisissable, pour accuser leur contradiction¹³⁹.

De plus, la conciliation entre la science et la musique peut, à tort, créer la fausse idée que la composition doit être soumise à un protocole scientifique, ou que les réussites scientifiques justifient la composition d'une œuvre. Sur cette problématique, Risset cite

¹³⁵ Republié dans RISSET, Jean-Claude, *op cit.*, 2014.

¹³⁶ « Recherches Musicales au GRM » (dir) Chion et Delalande, *La Revue Musicale*, numéro quadruple 394-5-6-7, Ed Richard Masse, Paris, 1986.

¹³⁷ Dont les actes ont été publiés en 1985 : MACHOVER, Tod (éd.), *Quoi, quand comment la recherche musicale*. Paris, Bourgois, IRCAM, 1985.

¹³⁸ CHION, Michel, « Les machines n'ont rien à dire », in *Recherches Musicales au GRM*, (dir) Chion et Delalande, *La Revue Musicale*, numéro quadruple 394-5-6-7, Paris, Ed Richard Masse, 1986, p.24.

¹³⁹ *Ibid.*, p.25.

la difficulté confrontée par Boulez, lors de premières années de l'IRCAM : il était déçu des premiers résultats de la recherche scientifique réalisée dans cette institution¹⁴⁰. Boulez envisageait une avancée scientifique planifiée, alors que ce genre de contrôle est « dommageable pour l'invention », il est « hérétique de planifier une recherche en la subordonnant à des impératifs de production »¹⁴¹. Par rapport au succès de *Répons* (1981-1984), Risset affirme qu'il ne s'agit pas d'une pièce qui « tire parti d'innovations techniques », malgré la réussite musicale. Car Boulez utilise surtout, « de manière très intéressante, des processus connus »¹⁴².

La validation de la cohabitation de la recherche, de la création et de la technologie doit surtout aller vers une « conquête musicale » par le biais des avancées technologiques. La recherche musicale permet au compositeur de voir plus loin et trouver dans le musical sa voix personnelle singulière : « La fécondité de tel ou tel thème dépend considérablement de l'intérêt du compositeur, même si cet intérêt paraît complètement discutable sur un plan général : ce qui importe, c'est que la recherche stimule l'imagination du compositeur, qu'il la mette en mouvement »¹⁴³. Comme affirme ci-dessous Dufourt, les réussites des recherches musicales de Risset et Chowning sont dues à un intérêt musical :

Le parti que Jean-Claude Risset et John Chowning ont pu tirer des virtualités paradoxales que la psychoacoustique issue de l'ordinateur découvrait dans les mécanismes de l'audition ne se limite pas à l'exploitation d'un effet scientifique, c'est-à-dire d'un rapport inattendu entre la théorie et le phénomène. Il s'agit d'une réelle conquête musicale, d'une appropriation expressive d'un ordre de propriétés dont on peut modifier l'architecture, changeant ainsi les rapports normaux de l'attention, de la perception et de la mémoire¹⁴⁴.

Ces constats amènent à la consolidation de la pratique de la recherche-crédation. Cette prise en conscience est conçue comme une boucle *créer pour comprendre* ; *comprendre pour créer*¹⁴⁵, qui représente en soi l'activité dynamique interdisciplinaire de la pratique musicale numérique par le biais d'une approche de recherche scientifique. La

¹⁴⁰ RISSET, Jean-Claude dans GUILLOT, Mathieu, *op. cit.*, 2008, p.76.

¹⁴¹ *Ibid.*, p.77.

¹⁴² *Ibid.*, p.78.

¹⁴³ *Ibid.*, p.114.

¹⁴⁴ DUFOURT, Hugues, *op. cit.*, 2014, p.61.

¹⁴⁵ Voir Paul Valéry : *Introduction à la méthode de Léonard de Vinci* (1895), et Jean-Louis Le Moigne : *La théorie du système général, Théorie de la modélisation* (2006).

recherche musicale est alors tournée vers l'utilisation, l'optimisation et la valorisation du savoir-faire musical numérique.

1.3. Vers l'ouverture de l'objet sonore

Vaggione est maintes fois prudent et signale la différence entre la notion d'objet qu'il développe, et celle de Pierre Schaeffer. Certes, le terme objet musical porte une connotation concrète, cependant l'objet opératoire de Vaggione n'est pas un « descendant direct » de la théorie de Schaeffer. Il ne s'agit donc pas d'un héritage de la notion d'objet. Or, Vaggione développe sa notion à travers son travail avec l'informatique musicale, d'où provient le concept d'objet. Toutefois, il est impossible de nier l'importance de la musique concrète dans la musique électroacoustique de la deuxième moitié du XX^e siècle. Les recherches tournées vers l'objet de Schaeffer ont inauguré des problématiques par ailleurs peu développées dans la musique, comme la manière dont nous écoutons de la musique. L'informatique, quant à elle, a « ouvert » l'objet, c'est-à-dire a permis l'accès à plusieurs de ses dimensions opératoires, non accessibles avec la technologie analogique utilisée par Schaeffer lors des premiers jours de la musique concrète.

1.3.1. L'objet schaefferien

En première approche, l'objet sonore est :

un fragment de son, d'origine instrumentale, vocale, électronique ou environnementale : il peut s'agir d'une note de piano, d'un rapide glissando de harpe, d'une courte phrase vocale, d'un son synthétique prolongé, du bruit d'une bouteille dévalant un escalier, etc. Habituellement assez bref, de l'ordre de 0.5 à 5 secondes, il est perçu dans sa globalité et comme un fragment cohérent¹⁴⁶.

Cependant, un regard plus en profondeur sur l'objet sonore remet en cause plusieurs conclusions possibles réductrices. Selon Michel Chion, la notion d'objet est

¹⁴⁶ GODØY, Rolf Inge, « Pour une théorie musicale fondée sur les objets sonores », in *Portraits Polychromes Pierre Schaeffer*, n°13, Paris, INA-GRM, 2008, p.66.

conjointe à celle de l'écoute réduite, c'est-à-dire, l'objet n'existe pas « en soi », mais à travers une intention constitutive spécifique :

Il [l'objet sonore] est une unité sonore perçue dans sa matière, sa texture propre, ses qualités et ses dimensions perceptives propres [...] [l'objet sonore] représente une perception globale qui se donne comme identique à travers différentes écoutes ; un ensemble organisé, qu'on peut assimiler à une "gestalt" au sens de la psychologie de la forme¹⁴⁷.

Le *traité des objets musicaux*¹⁴⁸, paru en 1966 est alors un traité de l'écoute¹⁴⁹. L'écoute réduite est l'attitude d'écoute qui consiste à percevoir le son pour lui-même, elle consiste à inverser la double curiosité pour les causes et le sens (qui traite le son comme un intermédiaire vers d'autres objets visés à travers lui). Ce principe est fortement lié à la phénoménologie¹⁵⁰ : Schaeffer emprunte à Husserl le terme *epoché* – qui « désigne une attitude de "suspension" » et de « mise entre parenthèse » du problème de l'existence du monde extérieur et de ses objets, par laquelle la conscience fait un retour sur elle-même et prend conscience de son activité perceptive en tant que celle-ci fonde ses « objets intentionnels »¹⁵¹ – pour représenter un « déconditionnement des habitudes d'écoute, un retour à l'expérience originaire »¹⁵² de la perception.

L'objet n'est donc pas simplement un fragment d'enregistrement (comme présenté ci-dessus), car un même fragment « lu à des vitesses différentes, par des appareils différents, ou dans un sens différent, fera entendre *des objets sonores complètement différents* »¹⁵³. L'objet sonore, lui n'est « que de notre écoute »¹⁵⁴. Par conséquent, l'objet sonore n'est pas le signal physique, ni le corps sonore, ni un symbole noté sur une partition, ni un état d'âme. L'objet sonore conçu comme totalité, peut être considéré également comme une composition de petits objets sonores sur lesquelles l'écoute réduite se penchera individuellement¹⁵⁵.

¹⁴⁷ CHION, Michel, *Guide des objets sonores*, Paris, Buchet-Chastel/INA-GRM, 1983, p.34.

¹⁴⁸ Nous nous référons désormais le *traité des objets musicaux* comme *TOM*.

¹⁴⁹ SCHAEFFER, Pierre, *op. cit.*, 1966, p.674.

¹⁵⁰ Voir Edmund Husserl : *L'idée de la phénoménologie : Cinq Leçons* (1985) et Maurice Merleau-Ponty : *Phénoménologie de la perception*. (2005).

¹⁵¹ CHION, Michel, *op. cit.*, 1983, p.31.

¹⁵² *Ibid.*

¹⁵³ *Ibid.*

¹⁵⁴ *Ibid.*, p.34-35.

¹⁵⁵ *Ibid.*

Le pessimisme schaefferien par rapport à l'informatique musicale est calqué sur un malentendu. Comme déjà mentionné ci-dessus, selon lui, l'objet sonore « ne peut être qu'un objet de perception et non un objet mathématique ou de synthèse, la musique ne consistant pas à empiler des “briques” mais à créer des sons vivants et complexes »¹⁵⁶. Pourtant, lors de la même réunion, organisée par l'UNESCO en 1970, Risset présente la synthèse numérique du point de vue compositionnel et qui ne contredit pas complètement l'idée de l'objet concret. Lors de sa présentation, Risset décrit, dans un premier temps, le langage MUSIC V¹⁵⁷ pour ensuite donner des exemples de sons paradoxaux dans *Mutations* (1969). L'ordinateur est alors un outil qui permet de « développer des processus sonores, véritables processus de composition au niveau du son »¹⁵⁸. Or, l'informatique rend possible la création « des sons vivants et complexes », comme décrit Schaeffer. De plus, le numérique atteint des niveaux opératoires inaccessibles avec la technologie analogique. Il faut cependant « s'affranchir de la note ou de l'objet sonore comme élément nécessaire de la composition »¹⁵⁹.

La perception joue un rôle primordial dans les recherches menées par Risset. La non-linéarité – déjà observée par Schaeffer dans le *TOM* – entre le signal physique et l'écoute (les phénomènes d'anamorphose), est un sujet important de la recherche psychoacoustique. Risset, en étudiant la synthèse numérique pour les simulacres des sons pseudo-instrumentaux, se confronte à des paradoxes sonores semblables à ceux déjà identifiés par Roger Shepard¹⁶⁰ (1929-). Par exemple, des illusions sonores liées à des paradoxes de hauteur : « un son dont la hauteur paraît baisser lorsqu'on double les fréquences qui le constituent »¹⁶¹.

¹⁵⁶ SCHAEFFER, Pierre, « La musique et les ordinateurs », *Musique et Technologie – UNESCO (1970)*, in *La Revue musicale*, Paris, Masse, 1971.

¹⁵⁷ Une version de la série de programme MUSIC N, développé aux Bells laboratoires par Mathews et son équipe.

¹⁵⁸ RISSET, Jean-Claude dans *Musique et Technologie – UNESCO (1970)*, cité dans RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p.306-307.

¹⁵⁹ *Ibid.*

¹⁶⁰ Scientiste spécialisé en psychologie cognitive. Risset s'intéresse davantage au phénomène nommé « gamme de Shepard » dont le fonctionnement sera la base des glissandi sans fins développés par le compositeur. SHEPARD, Roger, « Circularity in Judgments of Relative Pitch », *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 36, no 12, décembre 1964, p.2346–2353.

¹⁶¹ RISSET, Jean-Claude, *Paradoxes de hauteur*, Paris, Rapport IRCAM n°10/78, 1978, accessible via <http://articles.ircam.fr/textes/Risset78c/index.html> [lien vérifié le 27 juin 2018].

Ainsi, comme dans la théorie schaefferienne, le rôle de la perception est primordial dans la musique de Risset. La perception est donc le critère d'évaluation d'une recherche musicale : « Dans mes essais visant à imiter par ordinateur les sons instrumentaux, ce n'est pas le fonctionnement physique des instruments que je cherchais à simuler. Mon critère était perceptif : je voulais que l'imitation fût semblable à l'original pour l'oreille »¹⁶².

Malgré un premier regard suspicieux sur l'ordinateur, Schaeffer montre ensuite de l'intérêt pour la synthèse numérique, notamment dans *Mutations* (1969), pièce commandée par le GRM, et qui a été programmée lors de la réunion à Stockholm en 1970. Schaeffer a ensuite invité Risset à la présenter à sa classe au Conservatoire de Paris : *Mutations* « est intéressante à tous les points de vue, depuis la beauté des sons “inouïs”, jusqu'à la variété et la souplesse des critères d'assemblage possible »¹⁶³.

Risset souligne que Schaeffer, malheureusement, n'a pas écrit d'article à propos de l'ordinateur après cette rencontre (avec Risset lui-même et Max Mathews en 1970) : l'informatique pourrait surtout l'aider à développer l'idée du « passage de l'objet à la structure ». Schaeffer affirmait qu'en musique, comme ailleurs, l'organisation est conditionnée par le matériel¹⁶⁴. Bien que Schaeffer considère la naissance du sens musical par le passage de l'objet à la structure, il ne va pas loin sur la notion d'articulation¹⁶⁵, en déposant sur l'objet l'attention principale de l'approche concrète. Selon Risset, l'informatique pourrait jouer un rôle important dans cette perspective : le couplage objet-structure fait penser à l'articulation de la syntaxe modulaire dans les langages MUSIC N de Max Mathews ; c'est l'ordinateur qui « se prête le mieux à la prendre en compte et à enrichir la recherche musicale »¹⁶⁶. Risset ajoute : « L'écoute réduite peut s'adjoindre la méthode opératoire de l'analyse par synthèse, dans laquelle la pertinence d'une représentation sonore peut être appréciée à l'oreille »¹⁶⁷.

¹⁶² RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p.116.

¹⁶³ SCHAEFFER, Pierre, *op. cit.*, 1976, p.95, cité par Risset, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p.303.

¹⁶⁴ SCHAEFFER, Pierre, 1976, cité par Risset, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p.69.

¹⁶⁵ Articulation dans le TOM a une interprétation syllabique et fait une relation avec le langage (SCHAEFFER, Pierre, *op. cit.*, 1966, p.366).

¹⁶⁶ RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p.305.

¹⁶⁷ *Ibid.*

1.3.2. Vers l'ouverture de l'objet

La notion d'objet schaefferien est couplée avec l'écoute réduite. Mais il est aussi possible de l'interpréter dans un cadre pratique, au sein d'une expérimentation concrète¹⁶⁸ : les premières expériences sur le sillon fermé et la cloche coupée, qui ont permis d'épuiser la perception « causale » et anecdotique, se présentent à l'audition comme un objet¹⁶⁹. La cloche coupée à son tour a permis de remettre en cause la prémisse que la reconnaissance d'un timbre n'était pas liée seulement à la présence d'un spectre harmonique caractéristique, mais également à d'autres caractères dans la forme du son¹⁷⁰. C'est bien la forme du son, décrite ci-dessus, qui est en relation avec la notion de morphologie : la progression temporelle interne des propriétés du son.

Le timbre, depuis Helmholtz, est considéré par sa disposition spectrale statique ; les expériences sur la synthèse numérique ont révélé que ce point de vue était insuffisant en relevant le caractère dynamique du sonore : la structure spectrale d'un son est une trace labile, facilement modifiée par la propagation¹⁷¹. Lors des expériences de la cloche coupée, Schaeffer découvre l'importance de l'enveloppe dynamique pour définir la caractéristique du sonore : en enlevant les transitoires d'attaque, en égalisant sa dynamique et en le répétant il est possible d'entendre « un son rappelant celui de la flûte »¹⁷². Dans le *TOM*, Schaeffer se lance dans une classification de l'objet sonore selon des critères typo-morphologiques.

La typo-morphologie, première phase de la recherche musicale, est un inventaire « descriptif préalable au musical » divisé en trois tâches : identification, classification et description. Cette approche de l'objet sonore consiste en une longue et complexe classification tranchée sur plusieurs niveaux avec la séparation et la classification (typologie) de l'objet et ensuite la description en détail des caractéristiques (morphologie).

¹⁶⁸ Dans le livre IV du *TOM*, Schaeffer présente une deuxième définition de l'objet sonore : une unité, qui a un début un milieu et une fin, une « unité perceptive », ou même « unité morphologique » DELALANDE François, *Analyser la musique, pourquoi, comment ?*, Paris, INA-GRM, 2013, p.125.

¹⁶⁹ CHION, Michel, *op.cit.*, 1983, p.20.

¹⁷⁰ *Ibid.*

¹⁷¹ RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p.120.

¹⁷² CHION, Michel, *op.cit.*, 1983, p.20.

Le couple fondateur de la morphologie est la forme-matière : « La forme constitue l'aspect qui change dans le temps (allure et profil dynamique), plus généralement une structure et une *Gestalt*. La matière constitue l'aspect qui se perpétue de l'objet sonore ; elle se précise dans les notions de masse, de spectre et de grain »¹⁷³. La dichotomie forme-matière amène à la division de l'objet sur deux plans : le plan de la hauteur du son ; la « masse » ; et le plan temporel évolutif de l'énergie ; la « facture »¹⁷⁴. Cette division tranchée entre statique et dynamique s'avère très difficile dans la pratique. Certes, Schaeffer s'appuie sur l'écoute pour la classification, cette méthode est donc fondée sur des aspects perspectifs subjectifs. Une analyse à « l'intérieur du son », par transformée de Fourier, par exemple, révèle que la plupart des événements sonores d'origine « naturelle »¹⁷⁵ n'ont jamais une disposition énergétique stables : le dynamisme spectral est une caractéristique intrinsèque du son naturel.

La notion de fragmentation est également un critère important dans cette démarche. Afin de classer le son, Schaeffer prétend isoler l'objet pour ensuite le réduire : « le découper en unités sonores »¹⁷⁶. L'un des critères possibles pour cette réduction est la division selon le processus articulation-appui. L'articulation est une rupture du continuum sonore, et l'appui est une prolongation dynamique et surtout un phénomène d'intonation, de « masses », analogue aux voyelles¹⁷⁷.

Les critères de la morphologie – la masse, le timbre harmonique, le grain, la dynamique, l'allure, le profil mélodique et le profil de masse¹⁷⁸, forment alors l'épine dorsale du projet schaefferien qui va de la séparation du son du son à sa restitution dans le musical :

Une fois isolés et étudiés séparément par la morphologie, puis confrontés par l'analyse au champ perceptif musical (où ils peuvent émerger en site et en calibre dans des structures discontinues ou continues), on cherchera enfin, par une nouvelle lutherie, ou tablature, à les recombinaison en genres, c'est-à-dire en « faisceaux de critères » (analogues au « timbre » des instruments traditionnels) pour en faire émerger des valeurs musicales : c'est la dernière étape du PROGEMU

¹⁷³ *Ibid.*, p.116.

¹⁷⁴ SCHAEFFER, Pierre, *op. cit.*, 1966, p.432.

¹⁷⁵ C'est-à-dire, au sens large, les sons qui ne sont pas synthétisés.

¹⁷⁶ CHION, Michel, *op.cit.*, 1983, p.113.

¹⁷⁷ *Ibid.*

¹⁷⁸ *Ibid.*, p.142.

(secteur 1) correspondant à une synthèse des objets musicaux à partir de ces “corps purs” que sont les critères¹⁷⁹.

Une fois la tradition abandonnée – la partition instrumentale classique – l'établissement des critères de morphologie se justifie par la nécessité de trouver une autre identification musicale¹⁸⁰. Schaeffer songeait à établir une grille qui ne soit pas trop complexe de « classement commun à toutes les factures sonores du monde »¹⁸¹. L'entreprise de Schaeffer s'est montrée toutefois aussi problématique que prétentieuse. Paradoxalement, il est tombé dans le piège de la recherche musicale : concevoir une méthode pragmatique très scientifique dans le cadre musical.

Le vocabulaire du *TOM* a été immédiatement critiqué par ses contemporains (notamment Pierre Boulez) et aujourd'hui se montre plus confus qu'utile¹⁸². De plus, certains termes empruntés à la tradition, comme les nuances piano, forte etc, sont très peu utiles pour le maniement des matériaux sonores (non notables sur une partition classique). La tradition reste néanmoins discrètement en arrière-plan¹⁸³.

La composition n'a jamais été considérée comme l'activité principale de Schaeffer¹⁸⁴ et le *TOM* le confirme. L'intérêt principal est l'objet lui-même et non la musique qui en résulte. Comme l'affirme Risset :

Reconnaissant l'importance du travail décrit dans le *Traité des objets musicaux*, je considérerais cependant que le maillage qu'il proposait était trop lâche pour permettre aux acteurs de la synthèse une “écoute intérieure” semblable à celle dont les compositeurs peuvent tirer parti pour l'écriture instrumentale : il y manquait à mon avis la mise à l'épreuve par synthèse des conclusions sur l'effet de tel ou tel aspect du son¹⁸⁵.

Certes, Schaeffer fut « le premier à mettre l'accent sur la primauté de la perception, la nécessité de développer un solfège des effets et non des causes, et à défendre une idée du timbre comme forme, allure, silhouette, physiologie générale »¹⁸⁶.

¹⁷⁹ *Ibid.*, p.142-143.

¹⁸⁰ SCHAEFFER, Pierre, *op. cit.*, 1966, p.370.

¹⁸¹ *Ibid.*, p.371.

¹⁸² LALIBERTE, Martin, *Un principe de la musique électroacoustique et informatique et son incidence sur la composition musicale. Analyses et exemples*, Thèse de doctorat, EHESS, 1994, p.110.

¹⁸³ Schaeffer reste délibérément toujours attaché à la tradition « Notre recherche ne se veut nullement coupée de la tradition » *Ibid.*, p.398.

¹⁸⁴ DELALANDE, François, *op. cit.*, 2008, p.103.

¹⁸⁵ RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p.303.

¹⁸⁶ *Ibid.*, p.305.

Toutefois une voie restait encore ouverte qui se sépare en plusieurs démarches singulières à partir de la deuxième moitié du XX^e siècle. La synthèse numérique se montrera l'une des progressions les plus fertiles dans cette perspective. Schaeffer a montré l'importance du caractère pluriel de la morphologie et l'informatique permettra l'accès à tous ces niveaux opératoires.

Une partition intégrale des sons et de leur disposition est nécessaire, et il devient possible de composer véritablement l'évolution du temps dans le son, d'aller au-delà de la disposition de sons dans le temps, de disposer du temps à l'intérieur du son, de passer du jeu des sons dans le temps au jeu du temps dans le son. Le numérique et l'ordinateur permettent une imbrication sans précédent du compositionnel et du sonore¹⁸⁷.

1.3.3. La Spectromorphologie

Après Schaeffer, la notion de morphologie a pris une grande ampleur avec la spectromorphologie proposée par le compositeur-chercheur Denis Smalley (1946-), avec un impact surtout important dans la communauté non francophone¹⁸⁸, notamment l'anglophone¹⁸⁹.

À partir des premiers modèles morphologiques élémentaires, Smalley entame son projet sur la spectromorphologie¹⁹⁰. Le *TOM* étant son point de départ, il souhaite surtout l'étendre sur le plan musical : « Tout le monde a toujours fait remarquer qu'il [Schaeffer dans le *TOM*] n'était jamais allé jusqu'à parler de la structure et des contextes musicaux réels, mais personne n'avait encore tenté d'y remédier »¹⁹¹. Le compositeur la définit comme :

Les deux parties du mot renvoient à l'interaction entre les spectre sonores (spectro) et les façons dont ils changent et se configurent à travers le temps (morphologie). La spectro- ne peut exister sans la morphologie et vice versa : quelque chose doit

¹⁸⁷ *Ibid.*, p.306.

¹⁸⁸ L'auteur de cette thèse étant brésilien a eu par la première fois, encore adolescent, contact avec la spectromorphologie plutôt que la typo-morphologie schaefferienne.

¹⁸⁹ Thoresen affirme que le terme « spectromorphology » est plus adéquat en anglais que « typomorphologie ». THORESEN, Lasse, « Spectromorphological Analysis of Sound Objects: An Adaptation of Pierre Schaeffer's Typomorphology », *Organised Sound*, vol. 12, no 2, 2007.

¹⁹⁰ Présentée par la première fois en 1981, lors d'un colloque organisé par EMS à Stockholm.

¹⁹¹ SMALLEY, Denis dans GAYOU, Evelyne, « Entretien avec denis Smalley », in *Portrait polychrome Denis Smalley*, Paris, INA-GRM, 2010, p.15.

recevoir une forme, et cette forme doit avoir un contenu sonore. Bien que le contenu spectral et la forme temporelle soient indissolublement liés, nous avons conceptuellement besoin de les séparer dans le discours : nous ne pouvons pas du même souffle décrire ce qui est formé et les formes elles-mêmes. Le vocable peut sembler du jargon et c'est peut-être une expression maladroite, mais je ne suis pas arrivé à trouver un mot pour résumer de façon aussi précise l'interaction des composantes en présence. Chaque composante du terme appartient à d'autres disciplines (visuelle, linguistique, biologique, logique), mais convient tout à fait puisque l'expérience musicale irradie à travers ces disciplines¹⁹².

Les notions de matière et de forme sont donc imbriquées dans une morphologie « collective ». Dans la typo-morphologie, Smalley montre de l'intérêt pour les classifications concernant l'organisation musicale proprement dite. Il propose donc trois étapes : le phénomène de progressions musicales, les processus structurants et l'espace. Dans la progression musicale, l'idée principale est la direction, dans le contour d'un *geste* ou le comportement d'une texture¹⁹³. Pour les processus structurants, Smalley mentionne les dangers posés par les échelles temporelles dans la composition :

L'une des raisons cruciales pour l'échec de plusieurs pièces électroacoustiques, peut être l'incapacité du compositeur à tenir le contrôle sur les échelles structurelles au cours du processus de composition. En particulier dans la composition sur support, à cause de la nécessité de répétition constante des sons en boucle, le compositeur est facilement trompé pour prendre excessivement d'attention à des détails microscopiques qui ne seront pas significatifs pour l'auditeur¹⁹⁴.

Smalley propose donc des opérations entre toutes les échelles temporelles, car « une excessive attention sur le niveau macro-échelle structurelle peut facilement conduire à un travail manquant dans le micro-temps, dans le cas de sons en boucle [par exemple] »¹⁹⁵.

Les gestes et textures découlent alors des stratégies structurelles sur les multi-échelles temporelles. Les gestes sont les applications de l'énergie sur une direction et sont liés à une causalité. Les textures concernent les comportements énergétiques individuels

¹⁹² Smalley cité par NORMANDEAU, Robert, « Spectromorphology of Denis Smalley », in *Portrait polychrome Denis Smalley*, Paris, INA-GRM, 2010, p.84.

¹⁹³ SMALLEY, Denis, « Spectro-Morphology and Structuring Processes », in S. Emmerson (éd.) *The Language of Electroacoustic Music*, Londres, The Macmillan Press, 1986, p.73.

¹⁹⁴ Nous traduisons : "A crucial reason for the failure of many electroacoustic works may be the composer's inability to maintain control over the focal scanning of structural levels during the process of composition. Particularly in tape composition, because of the need for the constant repetition of sounds during the honing process, the composer is too easily tricked into perceiving microscopic details which will be missed by the listener." *Ibid.*, p.81.

¹⁹⁵ *Ibid.*

dans l'ensemble. Ainsi comme Schaeffer, Smalley considère une dichotomie geste-texture :

le geste est interventionniste, la texture est *laisser-faire* ; le geste donne l'idée de croissance et de progrès, la texture est absorbée par la contemplation ; le geste est devant, la texture tient le temps ; le geste est porté par une forme externe, la texture se transforme à l'intérieur ; le geste tient le focus sur la macro-échelle, la texture sur la micro-échelle¹⁹⁶.

La spectromorphologie est calquée sur une classification aussi tranchée que celle de Schaeffer, même si Smalley considère des intersections entre concepts (entre la forme du geste et les textures, par exemple). Smalley est cependant plus conscient des échelles temporelles et des opérations par lesquelles émerge le musical. La spectromorphologie a été conçue dans un cadre créatif. Elle sert pour la musique de Smalley lui-même et aussi bien d'autres compositeurs, mais elle n'a jamais été conçue pour être généralisée à tout le répertoire électroacoustique. Cela ne lui enlève pas son mérite, au contraire, sa méthodologie est ciblée pour une collectivité et optimisée pour ce répertoire. La richesse de son vocabulaire et le fait d'avoir été publiée en anglais (et par un anglophone) ont tout de suite attiré l'attention sur son caractère analytique, même si cela n'était pas le but. De plus, Smalley ne la considère pas comme une méthode de composition : « La spectromorphologie n'est pas une théorie ni une méthode de composition mais un instrument de description reposant sur la perception auditive »¹⁹⁷.

1.3.4. Morphologie n-dimensionnelle

Si pour Smalley le terme spectromorphologie repose sur le double concept de spectre et de morphologie, chez Roads le spectre n'est que l'une des dimensions de la morphologie *n-dimensionnelle* :

¹⁹⁶ Nous traduisons : “where gesture is interventionist, texture is laissez-faire; where gesture is occupied with growth and progress, texture is rapt in contemplation; where gesture presses forward, texture marks time, where gesture is carried by external shape, texture turns to internal activity, where gesture encourages higher-level focus, texture encourages lower-level focus”. *Ibid.*, p.82.

¹⁹⁷ Smalley cité par NORMANDEAU, Robert, *op. cit.*, 2010, p.85.

[...] nous pouvons considérer la morphologie temporelle d'un son comme un espace à n dimensions d'enveloppes et de constantes, telles que l'enveloppe d'amplitude, l'enveloppe de hauteur, l'enveloppe spectrale, l'enveloppe spatiale et les enveloppes sur un nombre quelconque d'effets¹⁹⁸.

La figure ci-dessous (Figure 4) montre le schéma n -dimensionnel de la morphologie selon Curtis Roads¹⁹⁹. Le nombre de dimensions n'est cependant pas déterminé : chaque son étant unique, il comporte autant de dimensions que sa nature interne en comporte. Cela pose des questions pertinentes pour une analyse comparative entre deux morphologies : il n'existe pas forcément de dimension commune entre elles. Une comparaison qualitative ne peut se passer que sur un plan complètement arbitraire²⁰⁰. La morphologie consiste alors en une entité plurielle et ouverte.

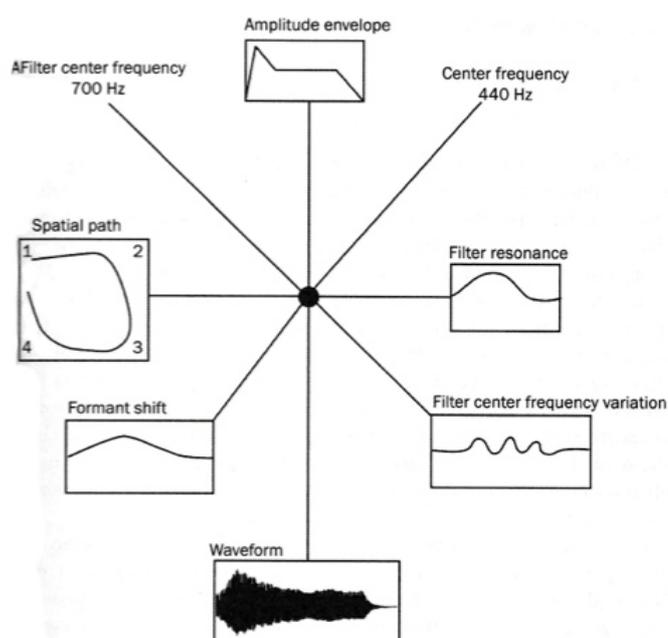


Figure 4 : Schéma de la morphologie n -dimensionnelle²⁰¹.

¹⁹⁸ Nous traduisons : “we can think of the temporal morphology of a sound as an n -dimensional space of envelopes and constants, such as the amplitude envelope, the pitch envelope, the spectral envelope, the spatial envelope, and envelopes on any number of effects”. ROADS, Curtis, *Composing Electronic Music*, New York, Oxford University Press, 2015, p.78.

¹⁹⁹ Contrairement à la typo-morphologie de Schaeffer et la spectromorphologie de Smalley, la morphologie n -dimensionnelle n'est ni une théorie, ni une méthodologie, ni un instrument de description, il s'agit juste d'un point de vue de l'auteur par rapport à la morphologie. *Ibid.*, p.79.

²⁰⁰ Roads mentionne la méthode *multidimensional scaling* (1978) comme alternative.

²⁰¹ *Ibid.*

Le schéma ci-dessus (Figure 4) peut induire une conclusion erronée par rapport aux niveaux d'interaction entre les dimensions. Les dimensions sont plutôt interconnectées et interdépendantes et non stables et immuables. La forme d'onde, par exemple, changera à chaque fois qu'une des dimensions change. Or, une transformation de filtrage, par exemple, a des conséquences directes dans la représentation temporelle du son. Chaque dimension a une conséquence directe dans la morphologie, puisque toutes les échelles sont interconnectées et interdépendantes.

Les dimensions peuvent également être décomposées en plusieurs sous-dimensions. Le réseau morphologique contient alors des sous-réseaux, aussi opératoires. L'enveloppe d'amplitude, par exemple consiste en plusieurs données, comme des fonctions temporelles, le changement de ces fonctions implique, par conséquent, des changements de l'enveloppe ainsi que de la forme d'onde de la morphologie. Ce modèle, étant pluriel et ouvert, n'est compatible avec aucune méthode d'organisation musicale par des composants atomiques, comme les notes.

La relation entre plusieurs dimensions s'avère être une prérogative du composable. Dans *Turenas* (1971-72) et *Stria* (1977) de John Chowning (1934-), les dimensions spatiale et fréquentielle, par exemple, sont imbriquées dans la même morphologie, il ne s'agit pas d'une approche uniquement paramétrique, car l'espace et les fréquences ne sont pas des paramètres, mais plutôt des dimensions composables de la morphologie. Chowning cherche à animer les sons de synthèse par l'illusion sonore. Le mouvement spatial dans *Turenas* joue sur la relation entre le son direct et le son réverbéré, produisant un phénomène de perspective auditive. L'effet Doppler, simulé par synthèse numérique²⁰², produit un processus inter-dépendant entre espace, amplitude et fréquence : une source sonore qui s'éloigne semble perdre en intensité et cela est corrélé à un changement fréquentiel. Dans *Stria*, le compositeur applique la modulation de fréquence²⁰³, aussi inventée et brevetée par Chowning lui-même. Dans cette méthode, le rapport spectral inharmonique résulte d'une relation fréquentielle entre la modulante et la porteuse par une relation avec le nombre d'or G . La méso structure de la pièce est établie

²⁰² CHOWNING, John, « The simulation of moving sound sources », *Journal of the Audio Engineering Society*, no 19, 1971, p. 2–6. Republié dans *Computer Music Journal*, vol. 1, no 3, juin 1977, p.48–52.

²⁰³ CHOWNING, John, « The synthesis of complex audio spectra by means of frequency modulations », *Journal of the Audio Engineering Society*, vol. 21, no 7, 1973.

par le maniement de cette correspondance à l'échelle macro-temporelle : « *Stria* est composée de façon rigoureuse, procédurale. La forme globale fait écho aux formes locales : la macrostructure reflète la microstructure »²⁰⁴. Dans cette pièce, la structure et, par conséquent, les méthodes transformationnelles du musical sont dépendantes de la morphologie interne du sonore, comme déjà souligné par Roads :

C'est le matériau qui "suggère" ses propres méso-structures. Dans un deuxième temps [lors des transformations dans une morphologie], le compositeur peut intervenir pour remodeler ces structures sur d'autres échelles temporelles. Ces interrelations entre le son et la structure confirment ce que les bons compositeurs ont toujours su : le matériau, l'organisation et la transformation doivent marcher ensemble pour construire un sens musical cohérent - un contexte. Le son acquiert du sens à travers la structure dans laquelle il est entendu, et la structure acquiert du sens à travers les sons qui l'articulent²⁰⁵.

Dans *Riverrun* (1986) de Barry Truax (1947-) cette perspective opératoire est très claire. Le compositeur travaille avec des petits grains par synthèse numérique temps-réel. Ceux-ci sont générés par modulation de fréquence (synthèse FM) et synthèse additive (avec d'ondes sinusoïdales). La pièce commence avec une densité modérée, chaque grain est unique car les paramètres de hauteur et d'amplitude sont contrôlés algorithmiquement par une méthode pseudo-aléatoire. La structure de la pièce est établie selon une évolution des textures morphologiques spatiales complexes avec de nombreuses transformations internes, comme l'accumulation et les variations aléatoires des composants individuels. Dans cette pièce, la stase et le flux, la stabilité et le mouvement coexistent dans un équilibre dynamique²⁰⁶.

Grâce à l'informatique, le compositeur a accès à toutes les dimensions morphologiques, de la micro à la macro-échelle. C'est grâce à sa maîtrise informatique que Chowning a pu composer *Stria* et *Turenas* avec une unité organique entre matériau, échelle et forme. La relation entre les échelles temporelles peut être dictée par des règles ou par l'instinct. Certes, les exemples de Chowning et Truax ont une structure claire et

²⁰⁴ RISSSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p.53.

²⁰⁵ Nous traduisons : "The material "suggests" its own mesostructure. Later, the composer can intervene to reshape these structures from the vantage point of other timescales. These interrelationships between sound and structure confirm what the best composers have known all along: material, organization and transformation must work together to construct a coherent musical code - a context. sound accrues meaning through the structure in which it is heard, and structure accrues meaning through the sounds that articulate it." ROADS, Curtis, *op. cit.*, 2015, p.79.

²⁰⁶ TRUAX, Barry dans <https://www.sfu.ca/~truax/river.html> [lien vérifié le 1er mars 2018].

cohérente, mais ils ont été construits selon une procédure assez artisanale : les sections des pièces sont le résultat des plusieurs étapes opératoires dans lesquelles le compositeur a pu avoir un contact direct avec la morphologie. Une limitation informatique à l'époque de Chowning, par exemple, impose que chaque structure soit compilée individuellement. Une deuxième étape d'assemblage des structures s'avérait alors obligatoire. Ces pièces révèlent un rapport opératoire et intime entre les compositeurs et leurs matériaux compositionnels.

2. L'organisation du sonore

Pierre Schaeffer n'entre pas en détail sur l'organisation des objets sonores sur un plan musical, il se contente de faire une relation avec la tradition en affirmant que la musique concrète s'instaure dans les mêmes paradigmes que la musique traditionnelle²⁰⁷. Michel Chion a un point de vue similaire à celui du fondateur de la musique concrète :

Il n'y a pas non plus de "règles" de composition ou "d'écriture". Il y a des modèles (certaines œuvres ont beaucoup d'imitatrices), des influences, des clichés, des formes-typiques, que nous n'avons pas la place de répertorier ici, et qui constituent non un ensemble de règles, mais un ensemble d'usages [...] Les problèmes de "composition" au sens classique (organiser un discours, ménager des proportions) sont les mêmes que dans toutes les autres musiques, à ceci près qu'on n'a pas à sa disposition la syntaxe classique : mais n'est-ce pas le cas aussi bien de toute musique instrumentale d'« avant-garde » ?²⁰⁸.

Certes, le point de vue de Chion est enrobé dans la tradition : les problèmes de la composition « sont les mêmes que dans toutes les autres musiques », à la différence de la syntaxe classique. Le problème de cette citation est qu'elle est contradictoire avec l'approche morphologique décrite ci-dessus. Étant donné que la syntaxe de la musique concrète n'est pas la même que celle de la musique classique, « les problèmes de composition » ne sont, par conséquent pas les mêmes puisque la structure est déterminée par le matériau. Le fait de disposer d'une syntaxe différente, l'organisation du son suit fréquemment des modèles structuraux propres au matériau sonore. Cependant, certaines opérations ne sont pas directement dictées par le matériau, comme les opérations au niveau de la macro-forme, par exemple l'arrangement des ordres de séquence.

François Bayle, quant à lui, se rend compte dès les années 1950, qu'il n'était plus possible de composer « comme Debussy, Stravinsky ni même comme Messiaen Schönberg, ou Berg »²⁰⁹. Boulez a eu la même conviction que Schaeffer « qu'il fallait utiliser les nouveaux moyens techniques pour la conception, l'organisation, le traitement

²⁰⁷ Nous comprenons la tradition au sens de la musique savante occidentale. Même si terme « savante » ne nous plaise pas, à cause de sa connotation réductrice, nous l'employons à faute d'un meilleur.

²⁰⁸ CHION, Michel, *op. cit.*, 1982, p.67.

²⁰⁹ BAYLE, François dans GAYOU, Evelyne, « Hasard et nécessité, entretien avec François Bayle », in *Portrait polychrome François Bayle*, Paris, INA-GRM, 2003, p.35.

du son même et sa projection »²¹⁰. Contrairement à Schaeffer, Boulez a vu tout de suite le potentiel de l'informatique pour créer des « outils simples et puissants, qui ouvriraient durablement l'univers sensible et mental, pour qu'à travers les générations, la musique puisse continuer à correspondre à l'évolution humaine et l'influencer »²¹¹.

La même problématique de l'organisation structurale a été posée par Arnold Schoenberg. Tout de suite, après avoir proposé une nouvelle organisation des hauteurs, le compositeur se posait la question sur le discours musical avec ce nouveau matériau. Dans un premier temps, il a tenu un point de vue semblable à celui de Chion, en 1941. Dans le célèbre texte *La composition avec douze sons*, Schoenberg affirme : « On s'impose de suivre la série fondamentale, mais, ceci dit, on compose à son gré comme on en avait l'habitude »²¹². D'ailleurs il compose des pièces, comme le *Concerto pour violon* op.36 (1936), qui ont une macro-forme classique. Dix ans plus tard, en 1951, lorsqu'il analyse les pièces dodécaphoniques d'Anton Webern, il avoue la naïveté de recourir à des formes anciennes pour la musique avec de nouveaux matériaux :

Je me souviens que Webern me montra plusieurs fois certaines de ses compositions, en insistant pour m'y faire reconnaître la forme ternaire du lied. Quand il tenta d'appliquer cette formule aux timbres [*Klangfarbenmelodien*], il fit preuve d'une grande naïveté. Car les successions de timbres exigeaient certainement des formules de construction tout autres que celles des successions de sons ou des successions d'accords, puisqu'elles devaient jouer non seulement sur des sons et sur des harmonies, mais sur des timbres par-dessus le marché²¹³.

Dans la musique faisant appel aux nouvelles technologies, soit électronique, soit numérique, les méthodes de manipulation du matériau sont conditionnées par les outils utilisés, comme souligné par Stockhausen : « la musique est très étroitement liée à l'équipement avec lequel elle est composée »²¹⁴. Dans les premières expérimentations concrètes avec le sillon fermé, Schaeffer était limité par les possibilités de manipulation du tourne disque. Les premiers essais avec la synthèse numérique ont également été limités par les systèmes numériques sommaires. Au cours de la deuxième moitié du XX^e

²¹⁰ *Ibid.*

²¹¹ *Ibid.*

²¹² SCHOENBERG, Arnold, *Le style et l'idée*, Buchet/Castel, 2011, p.171.

²¹³ *Ibid.*, p.382.

²¹⁴ Video interview avec Stockhausen par G. Sanchristoforo. Cité par ROADS, Curtis, *op. cit.*, 2015, p.71. Notre traduction "music is now very closely related to the equipment which it is made".

siècle, avec l'évolution des outils informatiques, la manière de faire de la musique se transformait mutuellement avec le savoir-faire technologique. Certes, certains aspects sont restés immuables, comme la manipulation directe, le dogme de la musique concrète, mais l'organisation de la morphologie sonore (l'organisation du son, selon Varèse) a subi des mutations considérables. Cela a fait ainsi émerger un savoir-faire musical dynamique, soit communautaire (au sens des institutions) soit individuel (surtout grâce à l'avènement de la micro-informatique).

Afin de mieux comprendre les multiples chemins que cette perspective compositionnelle – la composition du son-lui même et son savoir-faire afin de créer des significations – qui ont eu lieu au cours de la deuxième moitié du XX^e siècle, nous proposons trois modèles d'étude : le processus de composition électronique multi-étage, proposé par Curtis Roads ; le modèle de *computer music*, proposé par Lejaren Hiller en 1981 ; et l'orchestre numérique de Philippe Manoury et Miller Puckette, développé pour les pièces du cycle *Sonvs ex Machina* à partir de 1987.

Ces représentations ont été choisies par rapport au répertoire que nous travaillons²¹⁵. Le XXI^e siècle a vu un fort essor des outils technologiques qui ont également transformé la manière de faire de la musique. Nous ne considérerons pas dans notre thèse d'importants champs de la musique d'aujourd'hui, comme l'improvisation qui suscite un grand intérêt grâce entre autres au *live coding*. Malgré leur grand potentiel opératoire, les œuvres multimédia – c'est-à-dire, des pièces qui font appel à plusieurs domaines artistiques, comme la vidéo et la danse par exemple – ne sont pas non plus prises en compte dans notre étude.

Les représentations graphiques, telles qu'elles seront présentées ci-dessous, sont plutôt des outils de la systémique²¹⁶ : des réseaux symboliques avec une finalité auxiliaire pour la visualisation d'un réseau opératoire. Il ne s'agit en aucun cas d'une représentation graphique linéaire fermée, vu la nature ouverte des systèmes. Ils sont adaptables aux

²¹⁵ Par exemple, la musique électroacoustique faisant appel à l'informatique musicale (*Songes* de Jean-Claude Risset), la musique mixte sur support numérique (*Shifting Mirrors* d'Horacio Vaggione) et le répertoire mixte temps réel (*Due di uno* di Agostino Di Scipio, pièce analysée dans la troisième partie de cet ouvrage, ainsi comme les deux autres pièces citées). Y compris également les pièces que nous avons composées, mixtes et acousmatiques en temps réel.

²¹⁶ DURAND, Daniel, *op. cit.*, 2013, p.56.

conditions singulières de chaque pièce. Il ne s'agit pas non plus d'une évolution linéaire des méthodes compositionnelles, les schémas ci-dessous (le modèle de la *computer music*, processus de composition électronique multi-étage et modèle électronique temps-réel) ont été proposés dans des cadres et contextes différents avec des finalités différentes. Il n'est donc pas pertinent de les comparer de façon pragmatique. Il s'agit surtout d'une interprétation pédagogique afin de mieux comprendre les différentes routes qui ont émergé pendant la deuxième moitié du XX^e siècle dans le panorama de cette pratique compositionnelle.

2.1. Le modèle de la *computer music*

Le schéma ci-dessous (peut-être non prétentieux) d'Isaac Hiller (Figure 5) a été proposé dans l'article *Composing with computers: A progress report*, de 1981²¹⁷. L'auteur se réfère davantage à ses expériences réalisées depuis les années 1950 pour la composition algorithmique jusqu'aux avancées les plus récentes (il avait déjà publié en 1970 un rapport exhaustif des expériences réalisées jusqu'alors²¹⁸). L'auteur se limite cependant aux recherches menées aux États-Unis. Dans les années 1980, les premières versions des projets 4X de l'IRCAM et du studio 123 du GRM sont déjà opérationnelles. Cependant, les exemples donnés par Hiller sont uniquement fondés sur l'approche algorithmique, c'est-à-dire l'usage de l'ordinateur pour la réalisation de calculs de paramètres musicaux globaux. Cette démarche informatique a été plusieurs fois critiquée par les compositeurs concrets comme Pierre Schaeffer, Michel Chion et François Bayle. Toutefois Hiller ne néglige pas la synthèse numérique dans les possibilités offertes par l'informatique musicale. D'ailleurs, il était proche de Max Mathews, qui l'a invité à synthétiser numériquement ses expériences algorithmiques :

L'informatique musicale a deux sens différents qui ne sont pas concurrents mais plutôt complémentaires. Dans le premier sens, *computer-composed music* [musique assistée par ordinateur], implique la composition elle-même, c'est-à-dire

²¹⁷ HILLER, Lejaren, « Composing with computers: A progress report », *Computer Music Journal*, Vol. 5, No. 4, 1981, p.7-21.

²¹⁸ *Ibid.*, p.7.

le calcul de notes. Le deuxième, *computer-realized music* [musique réalisée par synthèse numérique], implique la conversion en son électronique d'une partition composée ou non à l'aide d'un ordinateur. Ces deux opérations peuvent être exécutées en séquence, de sorte que la partition d'un compositeur puisse être à la fois composée et réalisée par l'ordinateur²¹⁹.

Hiller propose donc un schéma où toutes les approches, algorithmiques et synthétique, sont possibles. Il ne considère cependant pas les possibilités de traitement en temps-réel et les possibles organologiques compositionnelles en découlant.

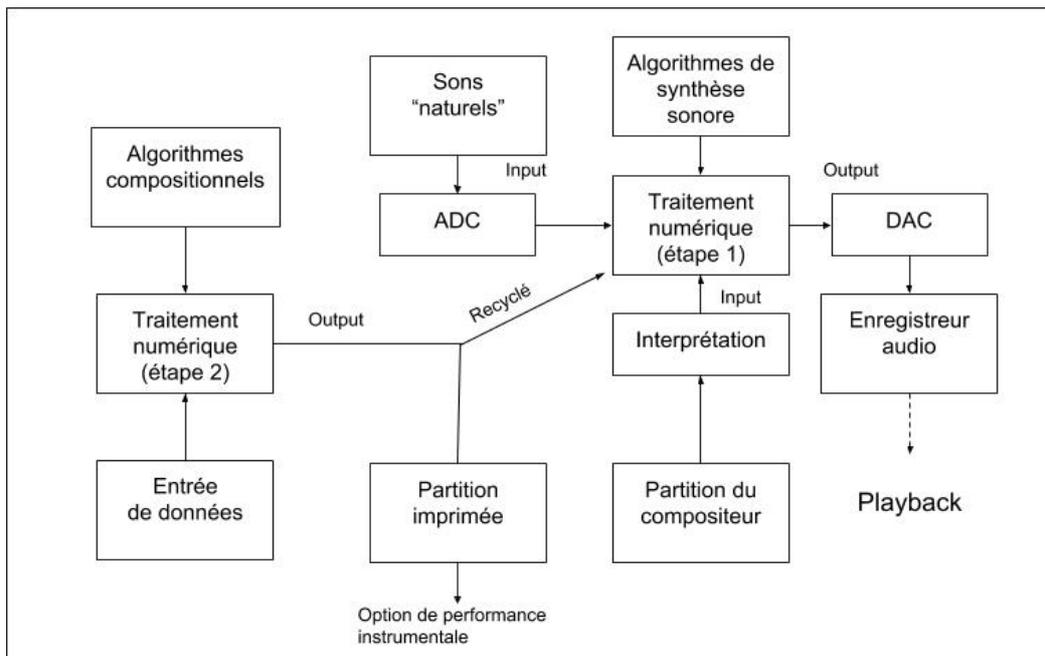


Figure 5 : Modèle *computer music* proposé par Isaac Hiller²²⁰.

Couramment le terme algorithmique est plutôt mis en relation avec l'approche fondée sur le calcul des paramètres musicaux globaux, cependant toutes les tâches numériques sont accomplies par le biais d'un algorithme. Les expériences de synthèse sonore sont donc d'approche également algorithmique. Les entités du schéma correspondent donc à des algorithmes ou à des ensembles d'algorithme. À première vue, il est tendancieux de considérer chaque étape comme une entité fermée, une *boîte noire*

²¹⁹ Nous traduisons : "Computer music has come to have two different meanings that are not competitive but complementary. The first, computer-composed music, involves composition, that is, note selection. The second, computer-realized music, involves conversion into electronic sound of a score that may or may not have been composed with the aid of a computer. These two operations can be performed in sequence, so that a composer's score can be both composed and realized by means of a computer". *Ibid.*

²²⁰ *Ibid.*, p.8.

selon la terminologie cybernétique. Cependant la propriété intrinsèque de l'informatique est l'accès au code qui contient presque toutes les informations du fonctionnement de l'algorithme. Même si les exemples d'Hiller considèrent ce schéma comme un système unique, c'est-à-dire l'accomplissement de la composition entière avec une seule entrée de données, il est possible de composer des parties individuelles séparément qui seront, dans un deuxième temps, rassemblées.

2.1.1. Dans les premières expériences de l'informatique musicale

Illiatic Suite (1957), appelée également *String Quartet No. 4*, de Lejaren Hiller et Leonard Isaacson, est l'une des premières compositions écrites avec un ordinateur numérique. Chaque mouvement de cette pièce est le résultat d'une expérimentation différente. Les deux premiers sont fondés sur les lois du contrepoint classique, les compositeurs ont utilisé les règles de Fux. Les deux derniers résultent d'expérimentations plus modernes. Cette expérience expose la manière dont le compositeur doit se confronter au processus compositionnel, comme le souligne le compositeur-chercheur :

La composition algorithmique m'oblige à examiner la composition en tant que processus. Je dois être conscient de la façon dont la logique compositionnelle fonctionne vraiment et comment les priorités compositionnelles s'organisent. En travaillant avec les ordinateurs, des idées musicales me viennent à l'esprit que je n'aurais probablement pas imaginé autrement. Je compose maintenant aussi sans ordinateurs.²²¹

Hiller était chimiste et travaillait, depuis la fin de 1952, comme chercheur à l'Université de l'Illinois, où il a eu, pour la première fois, un contact direct avec un ordinateur numérique, en particulier le Illiac I – *Illinois Automatic Computer* – qui donne le nom à sa première composition (avant, lorsqu'il travaillait chez DuPont, il a connu l'ordinateur analogique). Son directeur de recherche, Frederick Wall, lui confie la tâche de réaliser le calcul statistique des dimensions des polymères d'une solution. Hiller ensuite

²²¹ Nous traduisons : "Writing compositional algorithms forces me to scrutinize composition as process. I have to be aware of how compositional logic really works and how compositional priorities arrange themselves. In working with computers, musical ideas come to me that I probably would not otherwise have imagined. This carries over to composing I now do without computers as well". *Ibid.*, p.7.

a l'idée d'appliquer le modèle dans le cadre d'une composition musicale. En changeant les conditions de contrôle géométriques pour des contrôles contrapuntiques, le programme de base pourrait être adapté pour l'écriture des contrepoints musicaux²²². Il partage cette idée avec son collègue Leonard Isaacson et, ensemble, ils entreprennent le développement de petits exercices qui avancent progressivement en complexité. Hiller a également suivi un parcours de musicien, il joue de plusieurs instruments et il a suivi des cours de composition avec Roger Sessions et Milton Babbitt. Ce dernier a montré tout de suite de l'intérêt pour le projet musical algorithmique de l'*Illiac Suite*. D'autres compositeurs ont été attirés par ce projet, en particulier Pierre Barbaud, Iannis Xenakis, Gottfried Michael Koenig, Herbert Bruin mais aussi James Tenney qui participera également aux projets de synthèse sonore numérique avec Max Mathews aux *Bell Telephone Laboratories*.

Après *Illiac Suite*, Hiller compose *Computer Catata* (1963). Dans cette pièce, il met en évidence les contrôles statistiques et les processus stochastiques pour générer des structures rythmiques plus complexes que celles d'*Illiac Suite*. *HPSCHD* (1968) composé avec John Cage, est le projet le plus ambitieux réalisé dans cette perspective. Il s'agit d'un spectacle multimédia gigantesque impliquant trois ensembles de programmes informatiques. Un premier pour composer les parties électroniques ; un deuxième pour composer les partitions instrumentales de clavecin dérivées de *Musical Dice Game* de Mozart ; enfin, le troisième pour réaliser un collage préparé pour un album commercial. L'algorithme générateur de notes était réalisé avec un sous-programme appelé ICHING fondée sur *l'Oracle of the Book of Changes*. Les résultats du sous-programme ICHING n'étaient pas complètement aléatoires, mais plutôt fondés sur une distribution polynômiale. Dans le cycle *Algorithms* (1968-1972), le compositeur explore la composition sérielle, afin de générer des permutations des séquences mélodiques non répétitives.

Les expériences d'Hiller et Isaacson relèvent d'une approche informatique pour la composition instrumentale, plutôt que morphologique. Même si certains exemples

²²² *Ibid.*, p.10.

musicaux produisent des sons synthétiques, les opérations sont réalisées sur des paramètres classiques comme les hauteurs et les durées.

Les expériences menées en parallèle aux *Bell Telephone Laboratories* ont pris un chemin différent, orienté vers la composition de l'inouï. Pour cela, les chercheurs étaient en étroite collaboration avec des compositeurs qui ont poussé les limites des possibilités opératoires du médium numérique. Certes, ce travail collaboratif est également présent dans les recherches d'Hiller, mais l'intérêt compositionnel pour des questions liées à la psychoacoustique, ainsi que l'attention portée aux composants internes du son, a très vite produit de nouvelles approches morphologiques.

Les premières pièces composées aux *Bell Telephone Laboratories* ont été réalisées par des chercheurs installés dans le laboratoire. L'acousticien Newman Guttman compose la première pièce avec synthèse numérique, encore de caractère expérimental *The silver scale*²²³ (1957). Cette expérience a été réalisée avec la première version de la série de langages développés dans ce laboratoire, MUSIC I. Les possibilités limitées ne permettaient qu'un travail monodique de sons purs. La même année, ce chercheur compose *Pitch variations*, avec la deuxième version du langage, MUSIC II. Il était possible d'utiliser plusieurs formes d'onde. Ce même logiciel a été utilisé pour la composition de *Beat canon* (1959) et *Stochatta* (1959) de John Pierce, pièces dans lesquelles le compositeur explore plusieurs lignes mélodiques pour créer une polyphonie.

La version suivante du langage, MUSIC III, en 1960, marque un tournant dans toute l'histoire de la synthèse numérique, qui influencera le développement des outils compositionnels informatiques. Ainsi, comme dans certains synthétiseurs analogiques, cette version utilise le principe modulaire, c'est-à-dire une syntaxe organisée par ensemble d'unités devant accomplir une tâche spécifique – comme la multiplication de signaux et d'oscillateurs. L'utilisateur devait donc relier les modules pour créer des ensembles algorithmiques complexes. De plus, l'ajout d'autres fonctions, comme les générateurs de nombres aléatoires ont permis la génération de bruits et le contrôle de

²²³ Dans BAUDOUIN, Olivier, *Pionniers de la musique numérique*, Sampzon, Delatour, 2012, la pièce est nommée *In the Silver scale*. Nous gardons cependant le nom comme paraît à l'album *wergo computer music currents* WER 2033-2, 1995.

variables dans le temps. Avec cette version, James Tenney, le premier compositeur expérimenté installé au laboratoire, compose *Noise Study* (1961).

La version MUSIC IV est caractérisée par l'ajout de l'instruction PLF – *play first pass* – permettant ainsi l'élargissement du langage par l'introduction des sous-routines programmées par l'utilisateur lui-même. Cela aide le travail du compositeur en évitant les saisies fastidieuses de calcul pour chaque note qui entraîne la manipulation d'une quantité importante de cartes perforées²²⁴. Tenney s'en sert pour la programmation des fonctions stochastiques dans *Four stochastic studies* (1962), *Entrance/Exit music* (1962), *Dialogue* (1963), *Ergodos I* (1963), *Phases (for E. Varèse)* (1963) et *Ergodos II (for J. Cage)* (1964).

Lorsqu'advint le remplacement des ordinateurs aux *Bell Telephone Laboratories* en 1968, le développement d'une nouvelle version compatible avec les nouvelles machines devint nécessaire. De cette situation est née le langage MUSIC V avec des améliorations considérables par rapport aux versions précédentes. Une grande ergonomie de programmation était possible grâce à une syntaxe divisée en deux étapes algorithmiques, l'orchestre et la partition. Cette stratégie sera présente dans les versions ultérieures et toujours utilisée dans la version actuelle de CSound.

MUSIC V est la version la plus performante de la série et qui a généré le plus grand nombre d'exemples singuliers du répertoire. Elle a été documentée dans *The technology of computer music* (1969), ouvrage qui est toujours utile et pertinent pour l'apprentissage de l'informatique musicale. L'année même de sa parution, et toujours avec MUSIC V, Jean-Claude Risset produisit deux travaux représentatifs de cette période : le *catalogue de sons numériques* et la composition *Mutations*. Dans ces deux exemples, Risset explore dans un cadre pratique ses travaux antérieurs sur la simulation des sons instrumentaux et des sons paradoxaux.

Depuis MUSIC IV, le langage est développé sur Fortran²²⁵ (MUSIC V été développé sur Fortran IV). Cela permet une grande rapidité, une économie de mémoire et la portabilité des applications. Cette portabilité a permis une dissémination du langage,

²²⁴ BAUDOUIN, Olivier, *op. cit.*, 2012, p.68.

²²⁵ Acronyme de *FORmula TRANslator*, l'un des plus anciens langages de programmation de haut niveau développé par John Backus pour IBM depuis les années 1950.

surtout autour des États-Unis. Chaque institution disposant de machines différentes a développé sa propre version fondée sur MUSIC IV et MUSIC V, générant ainsi un arbre généalogique de langages ayant le même paradigme de la série MUSIC N développé par Mathews (Figure 6). Les langages graphiques Max (nommés ainsi en hommage à Max Mathews) et PureData sont fondés sur la même syntaxe modulaire initialisée dans MUSIC III. De plus, de nombreuses implémentations de Mathews, comme le stockage des formes d'onde pré-calculées, sont toujours la norme de l'informatique musicale.

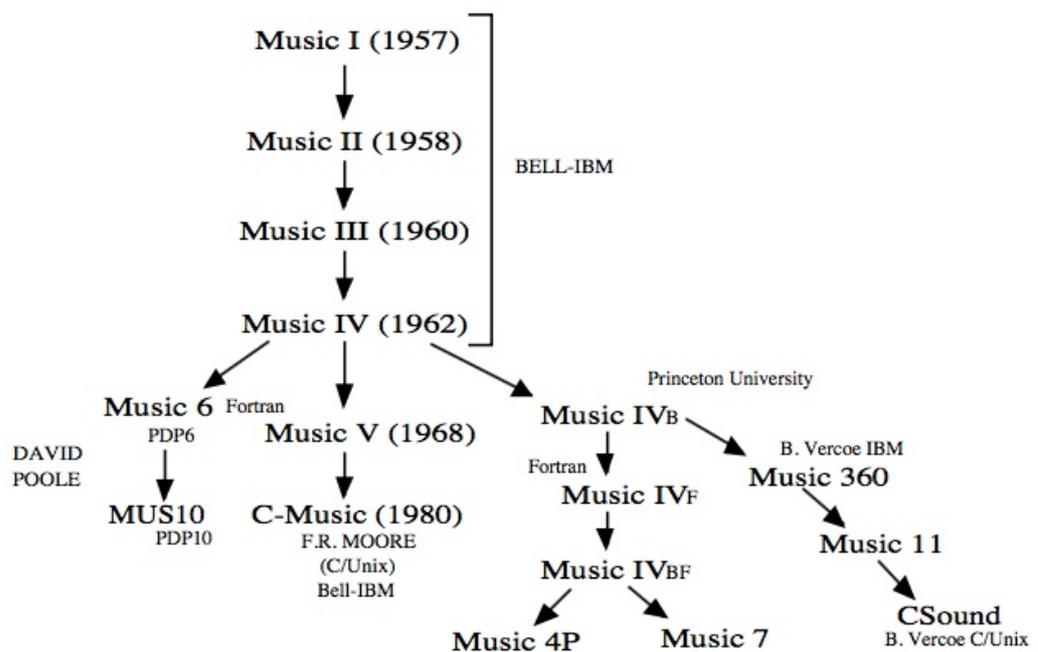


Figure 6 : Généalogie des programmes issus de la série MUSIC N²²⁶.

Dans les exemples expérimentaux composés aux *Bell Telephone Laboratories* de 1957 à 1970, ainsi que dans les expériences d'Hiller, le processus compositionnel est divisé en plusieurs étapes qui demandent un long travail. La courte durée des premières pièces par synthèse (par exemple, vingt secondes dans *The silver scale* et une minute dans *Pitch variations*) est une constante de cette situation. Les compositeurs partagent les studios avec d'autres chercheurs de domaines différents. L'entrée de données dans

²²⁶ POTTIER, Laurent, *Le contrôle de la synthèse sonore, le cas particulier du programme PatchWork*, thèse de doctorat, EHESS, 2001, p.68.

l'ordinateur se produisait par le moyen de cartes perforées (faites préalablement sur une machine aussi très demandée) et la conversion numérique-analogique prenait des heures (il était commun de faire la conversion dans un autre laboratoire). Toutefois, grâce à des compositeurs-chercheurs visionnaires comme Max Mathews et Jean-Claude Risset, ces expériences ont ouvert le chemin de l'informatique musicale qui très vite a rendu possible la composition à l'intérieur de la morphologie sonore.

2.1.2. *Mutations* (1969) de Jean-Claude Risset et *Turenas* (1972) de John Chowning

Un an après la composition de *Little Boy* (1968), l'INA-GRM commande une pièce acousmatique à Jean-Claude Risset, *Mutations* (1969), composée entièrement avec MUSIC V. Ces deux pièces marquent un tournant dans la composition faisant appel à l'informatique musicale. Contrairement aux expériences menées par Hiller, l'ordinateur n'est plus un outil pour calculer des hauteurs et des rythmes. La synthèse n'est pas non plus orientée vers la composition de notes et de bruits, comme dans les pièces stochastiques de Tenney. Dans *Mutations*, Risset fait un pas en avant vers la composition du son lui-même. Il crée différents paradoxes, c'est-à-dire des sons pour lesquels l'oreille n'est pas capable de distinguer un accord ou un timbre, et des sons descendants mais que l'oreille perçoit comme ascendants, par exemple²²⁷. Dans cette pièce, le compositeur utilise également des simulations de sons pseudo-instrumentaux réalisés avec la synthèse numérique. Ces sons sont le résultat de ses premières recherches portant sur la synthèse de textures sonores et sur l'évolution du spectre dans le temps.

« *Mutations* est une œuvre archétypale du cheminement intellectuel d'un artiste puisant ses sources dans les problématiques de son époque »²²⁸ : les relations acoustiques et la manière dont nous entendons le son. Cette pièce est aussi une « œuvre représentative du tournant épistémologique poststructuraliste des années 1966-70 »²²⁹. Il explore des

²²⁷ LEVY, Fabien, « *Mutations*, une écriture déjouée par des paradoxes », in *Portrait polychrome Jean-Claude Risset*, Paris, INA-GRM, 2008, p.63.

²²⁸ *Ibid.*, p.65.

²²⁹ *Ibid.*

techniques combinatoires sur le signe, une approche plutôt structurale, mais liée à un travail direct sur le son. « La forme/structure de l'œuvre est elle-même double »²³⁰. Les opérations à l'intérieur, pour chaque composante, sont transformées par des procédures harmoniques et sérielles. Cependant, Risset ne s'intéresse pas à la relation sérielle comme structure mélodique, mais comme composante du timbre. La série quasi dodécaphonique n'est pas un système, mais une logique génératrice de timbres.

Au début de la pièce, le motif mélodique (issu d'une logique quasi sérielle) initial est repris sous forme harmonique, comme un accord, puis sous forme de timbre, comme un pseudo-coup de gong dont les composantes de fréquence sont les fondamentaux de l'accord²³¹. Cette interpolation, de la note au timbre, est la base de la structure de la pièce. Certes, *Mutations* a une macro-structure plutôt classique, bipartie avec une coda, mais au cours de la pièce, l'aspect sériel discontinu est progressivement interpolé selon une approche continue. La pièce commence ainsi avec une caractéristique pseudo-sérielle, avec des notes jouées par des pseudos instruments synthétiques, et termine avec la mise en valeur d'agrégat/timbres et un glissando sans fin (déjà présent dans *Little Boy*). La coda superpose les matériaux de la première et la deuxième parties²³².

Turenas (1972) de John Chowning partage certaines caractéristiques de *Mutations*, comme le travail à la fois morphologique et structuraliste. D'ailleurs les deux compositeurs-chercheurs entretenaient une relation forte qui dépassait le cadre professionnel. Chowning conclut l'un de ses articles en affirmant :

Le travail original et stimulant de Risset et ses conceptions devraient donner lieu à d'autres développements musicaux au fur et à mesure que les implications seront mieux comprises, et peut-être nous mèneront-ils vers un nouveau champ d'investigation musicale - l'esthétique sensorielle²³³.

Il écrit en 2004 cet article dédié la composition du son lui-même. Au cours de tout le texte, il raconte les avancées théoriques et compositionnelles de Risset, notamment l'accord-timbre décrit ci-dessus. Chowning en effet prend part à cette « investigation

²³⁰ *Ibid.*

²³¹ Voir fichier multimédia : F Annexe : 1.1. Mutation

²³² *Ibid.*, p.66.

²³³ CHOWNING, John, « Composer le son lui-même », in *Portrait polychrome John Chowning*, Paris, INA-GRM, 2005, p.30.

musicale – l'esthétique sensorielle » dans *Turenas*, composée trois ans après *Mutations*. Il s'agit d'un exemple de rapprochement entre deux axes fondamentaux de ses recherches : la mise en mouvement dans l'espace et le potentiel compositionnel de la modulation de fréquence.

Turenas a été composée avec MUSIC IV couplé avec le logiciel SCORE²³⁴, dans les laboratoires de l'Université de Stanford. Le titre est une anagramme de « natures » et le titre fait également référence au terme *turn* en anglais comme allusion à la mise en espace.

Pour une raison de temps de calcul et de disponibilité des machines, la pièce a été coupée en douze parties, assemblées postérieurement. Chaque partie, d'environ 10 minutes, a un traitement prédominant. La macro-structure correspond alors à l'arrangement de ces différents matériaux et des traitements dans un flux continu. Malgré la division en plusieurs sections, le passage d'une partie à l'autre n'est pas évident. A l'instant 7'43'', se produit un arrêt brutal avec résonance précédé d'un crescendo. Cet arrêt fait partie cependant de la structure de l'œuvre en mettant en évidence un point culminant de la tension.

Le matériau initial est caractérisé par des sons percussifs qui se superposent à des sons tenus. Chowning a également recours à des méthodes plutôt traditionnelles, orientées vers les notes. Dans les canons, Chowning utilise une polarisation entre les notes *si*, *la*♯ et *mi* mais aussi la génération de séries aléatoires avec le logiciel SCORE.

La pièce en quadriphonie donne l'impression à l'auditeur d'un espace illusoire : les sources sonores fictives sont inférées par l'audition à partir des indices qu'elle détecte dans le son. « *Turenas* illustre un contrôle extraordinairement délié de la cinétique du son, virevoltant au sein d'un espace illusoire recréé par nos perceptions à partir des indices fins régis par l'écriture musicale »²³⁵.

Le compositeur montre de l'intérêt pour l'espace surtout après son voyage en Europe, dans les années 1960, quand il découvre les travaux de Stockhausen. Il publie le résultat de ses recherches dans le célèbre article de 1971 *The simulation of moving sound*

²³⁴ Logiciel développé par Leland Smith. Il s'agit d'un des premiers outils pour la génération algorithmique des paramètres de la synthèse.

²³⁵ RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p.51.

*sources*²³⁶, sur lequel il souligne le besoin et les méthodes pour la virtualisation de l'espace : l'auditeur a besoin de deux informations, une pour la localisation angulaire et l'autre pour la distance. L'illusion de distance se produit par la diminution de l'amplitude liée à l'augmentation de réverbération. L'écart temporel entre le son perçu dans les deux oreilles donne les indices de localisation, cela se fait par le contrôle des niveaux de son dans les différents haut-parleurs. Avec l'effet doppler les variations de hauteur et d'amplitude sont des résultats d'une opération dans l'espace, comme déjà mentionné ci-dessus.

Dans *Turenas*, Chowning accomplit un pas important dans sa recherche compositionnelle de l'espace. Cette perspective a commencé un an plus tôt avec *Sabelithe* (1971) et aura aussi des grands apports dans sa production postérieure comme *Stria* (1977). Chowning utilise l'ordinateur pour replacer le statut de l'espace dans la composition. Il ne considère pas l'espace comme une étape « postérieure », interprétative, un processus de deux étapes (composition et projection dans l'espace), mais plutôt, comme la trajectoire des sources sonores en tant que dimension composable :

La notion d'espace déborde l'espace physique à trois dimensions dans lequel nous sommes plongés : elle est commode pour représenter suivant plusieurs dimensions la structure de nos jugements. L'enregistrement du son applique le temps sur l'espace : il permet de renverser le temps et d'effectuer un véritable travail de microchirurgie sonore [...] Le compositeur peut alors se soucier d'agencer la microstructure du son, au-delà de l'ordonnement de notes toutes faites : sa préoccupation n'est plus seulement le jeu de l'objet sonore dans le temps, mais aussi le jeu du temps dans l'objet sonore²³⁷.

À peine un peu plus de dix ans après la composition de la première pièce avec synthèse numérique, Risset a déjà montré le grand potentiel de l'ordinateur pour le traitement microstructural et Chowning, quant à lui, laisse le temps « couler dans l'espace ». Ces deux compositeurs accomplissent une partie du rêve d'Edgar Varèse : la composition du son et de la concrétisation de l'espace comme catégorie opératoire. L'informatique se montre donc un terrain fertile d'expérimentation et surtout un outil approprié pour atteindre toutes les dimensions morphologiques. L'informatique n'est cependant pas un élément neutre lors de la composition musicale, dans *Turenas*, par

²³⁶ CHOWNING, John, *op. cit.*, 1971.

²³⁷ RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p.51.

exemple, la structure de la pièce découle également des questions techniques imposées par le medium, comme l'obligation de compiler des parties, plutôt que toute la composition.

2.1.3. Dans la composition assistée par ordinateur

La musique assistée par ordinateur, telle que conçue par Hiller, c'est-à-dire l'usage de l'ordinateur pour l'assistance à la génération de partitions (soit destinées à être jouées par des instruments acoustiques, soit pour la synthèse sonore), a vécu un grand essor à partir des années 1980, notamment au sein de l'IRCAM. Les logiciels développés, Patchwork puis OpenMusic, permettent une large palette d'opérations mathématiques sur les paramètres musicaux globaux. De ce point de vue :

Contrairement à la synthèse sonore numérique, la composition assistée par ordinateur se concentre sur la structure formelle de la musique. Ces outils réalisent des opérations sur des techniques de calcul symbolique avec des structures de données comme des arbres, graphiques, *sets*, collections, ainsi que des algorithmes de la mathématique discrète. Ceux-ci sont adaptés pour gérer des structures complexes et des relations nécessaires pour la modélisation des pièces musicales (ou de parties)²³⁸.

Le premier environnement, développé à l'IRCAM et dédié à cet usage, a été le CRIME, dont le code a été écrit en langage LeLisp. Avec cet outil l'utilisateur pouvait gérer des abstractions musicales et programmer facilement des formalismes musicaux. Le résultat final pouvait également être imprimé en notation musicale traditionnelle²³⁹. Ensuite, un groupe de chercheurs a travaillé sur un projet non officiel de l'IRCAM, produisant le logiciel appelé Esquisse. Cela était un projet d'initiative de Jean-Baptiste

²³⁸ Nous traduisons : Although one may consider music composition to be an important issue in any computer music research or development, the term " Computer Assisted Composition " (CAC) has obtained a particular meaning during the past years, at least at IRCAM. As opposed to the generation and processing of audio signal by the means of DSP hardware or software technologies, CAC systems focus on the formal structure of music. They generally suppose symbolic computation techniques with data structures like trees, graphs, sets, collections, associative memory, etc. and algorithms relevant to discrete mathematics. These are adapted to handle the complex structures and relations that are needed in order to model (parts of) musical pieces." AGON, Carlos, ASSAYAG, Gérard, LAURSON, Mikael, RUEDA, Camilo, « Computer Assisted Composition at Ircam : PatchWork & OpenMusic », *Computer Music Journal* 23(3), 1999.

²³⁹ *Ibid.*

Barrière avec les compositeurs Magnus Lindberg et Marc-André Dalbavie. Enfin, le logiciel PatchWork est sorti au début des années 1990. Cet outil disposait d'une interface graphique développée en Lisp ayant une syntaxe modulaire similaire à celle du logiciel Max (avec des boîtes graphiques liées par des cordes), développé à la même époque à l'IRCAM. Plusieurs compositeurs ont travaillé avec cet outil, notamment Brian Ferneyhough, Gérard Grisey, Paavo Heininen, Magnus Lindberg, Tristan Murail et Kaija Saariaho.

En 1980, Tristan Murail participe à un stage d'informatique musicale à l'IRCAM. Cette expérience aura un impact décisif sur l'évolution de la musique du compositeur qui commence à utiliser l'informatique pour approfondir sa connaissance des phénomènes acoustiques. Il compose *Désintégrations* (1982-83), sa première expérience de superposition de sons instrumentaux et de sons de synthèse²⁴⁰. Dans *Serendib* (1991-92) le compositeur travaille sur le calcul fractal avec son propre programme en langage assembleur. Ensuite, il compose de nombreuses pièces, à partir de *L'Esprit des dunes* (1993-94), avec PatchWork et puis OpenMusic²⁴¹. Ces outils se sont avérés très puissants pour sa musique, cependant le compositeur signale les limites potentielles et dangers de son usage :

J'utilise Patchwork pour créer des objets musicaux complexes et pour les transformer, etc. Ici, j'ai trouvé des limites, car Patchwork n'a pas été conçu pour telles choses. Pour ma dernière pièce orchestrale, *Le Partage des Eaux* [1996], j'ai utilisé des objets musicaux très complexes dérivés du son des vagues de l'océan. Ces structures sont très complexes, comme vous pouvez l'imaginer. J'ai essayé de les utiliser comme tels et ensuite les transformer en Patchwork. Ça n'a pas été facile. J'ai eu une expérience similaire avec *L'esprit des dunes* lorsque j'ai essayé de l'analyser de vrais sons. J'ai trouvé des limites de mémoire, de calcul, etc.²⁴².

²⁴⁰ MURAIL, Tristan dans SMITH, Robert, « An Interview with Tristan Murail », *Computer Music Journal*, Vol. 24, No. 1, 2000, p.12.

²⁴¹ MURAIL, Tristan dans HIRS, Rozalie, « Interview with Tristan Murail », in *Contemporary compositional techniques and openmusic*, IRCAM, Sampzon, Delatour, 2009, p.7.

²⁴² Nous traduisons : "I use Patchwork to create complex musical objects and to transform them and so on. Here, I've found limitations, because Patchwork was not designed for such things. For my last orchestral piece, *Le Partage des Eaux* [1996], I used very complex musical objects derived from the sound of waves in the ocean. Those structures are very complex, as you can imagine. I tried to use them as such and then transform them in Patchwork. It was not easy. I had a similar experience with *L'esprit des dunes* when I tried to process the analysis of real sounds. I found limits to the memory, the computational power, etc." MURAIL, Tristan dans SMITH, Robert, *op. cit.*, 2000, p.7.

L'informatique, dans la pratique de Murail, consiste alors à un outil opératoire. Il ne s'agit pas d'une *boîte noire*, mais d'un outil ouvert, dans lequel le compositeur a accès au code en déterminant les comportements des opérations et transformations.

Le compositeur Brian Ferneyhough (1943-) utilise également ces outils comme générateurs de matériau composable brut qui est affiné manuellement lors d'une deuxième étape compositionnelle. La librairie COMBINE est née de cette collaboration entre le chercheur Mikhaïl Malt et le compositeur de 1993 à 1996. La première étape de la collaboration a été le transfert du savoir-faire de Brian Ferneyhough vers Patchwork. Or, Ferneyhough avait déjà une pensée compositionnelle formaliste avant d'utiliser l'informatique, notamment sur les opérations rythmiques avec des processus combinatoires²⁴³.

Ainsi comme dans le cas de la collaboration entre Malt et Ferneyhough, d'autres librairies ont été développées grâce au travail en double compositeur-développeur comme OMTristan, OMAlea, OMChroma. Cette dernière a été développée par le compositeur Marco Stroppa : « Chroma est à la fois un environnement d'aide à la composition et un outil de contrôle de la synthèse développé par ce compositeur depuis 1980. Le principe général est de réunir les aspects de microforme et de macro-forme, ou plus généralement des données de la micro-composition et de la macro-composition dans un même environnement »²⁴⁴.

Stroppa a entamé ce projet au début des années 1980, avant d'intégrer l'IRCAM, quand il était installé au CSC (*Centro di Sonologia Computazionale*).

Chroma était un sous-programme en Fortran pour Music V, retravaillé et transféré en LeLisp au MIT (entre 1984 et 1986), et en CLOS (Common Lisp) entre 1995 et 1996. Il l'a utilisé pour la composition de *Traiettoria* (1982-84) pour piano et électronique. Le compositeur a fait le portage de Chroma dans l'environnement OpenMusic dès 1999 avec Jean Bresson et Carlos Agon. Cette librairie, OMChroma, fonctionne désormais « comme espace de travail intégré à OpenMusic dédié au contrôle des sons de synthèse, notamment pour générer de la synthèse additive²⁴⁵ ».

²⁴³ MALT, Mikhaïl, « Brian Ferneyhough et l'aide informatique à l'écriture », in *Compositeurs d'aujourd'hui Brian Ferneyhough*, IRCAM, Paris, L'Harmattan, 1999, p.65-66.

²⁴⁴ TIFFON, Vincent dans l'analyse de *Traiettoria*. <http://brahms.IRCAM.fr/analyses/traiettoria/> [lien visualisé 1 mars 2018].

²⁴⁵ *Ibid.*

Le recours par Stroppa à la composition assistée par ordinateur montre une caractéristique importante pour l'informatique musicale des dernières années, celle de l'intégration de la synthèse numérique avec le calcul des paramètres musicaux. Les limites entre la composition assistée par ordinateur et la synthèse sonore, autrefois assez tranchées, sont désormais plus floues. Des logiciels, comme OpenMusic, permettent le couplage avec des langages de synthèse, comme CSound, pour ainsi intégrer sur une même représentation des opérations directes sur la morphologie sonore et sur les données paramétriques d'une partition instrumentale. Ce processus est très fertile pour la musique mixte. D'ailleurs, des compositeurs issus du courant spectral s'en servent davantage, grâce aux facilités de contrôle et d'opération sur les données fréquentielles. Le compositeur Tristan Murail, par exemple, génère le matériau instrumental et synthétique sur la même représentation numérique ; cela apparaît clairement dans des pièces comme *L'Esprit des dunes* (1993-94). L'intégration d'OpenMusic avec d'autres outils comme AudioSculpt, élargit encore plus ce potentiel. Récemment, à partir de 2017, d'autres outils comme la librairie BACH²⁴⁶ pour Max, permettent de gérer une « méta-paramétrisation » des données d'une partition instrumentale vers la synthèse numérique en temps-réel.

2.2. Processus de composition électronique multi-étage

Dans le récent livre *Composing electronic music*²⁴⁷, l'auteur Curtis Roads présente un schéma (Figure 7) assez illustratif sur la composition électronique. Roads ne donne pas d'exemple dans un premier temps, mais ce schéma est l'un des piliers centraux de son ouvrage couvrant, un large répertoire de la naissance de l'électronique (y compris les expériences concrètes), jusqu'à des exemples contemporains.

²⁴⁶ <http://www.bachproject.net/> [lien vérifié le 1er mars 2018].

²⁴⁷ ROADS, Curtis, *op. cit.*, 2015.

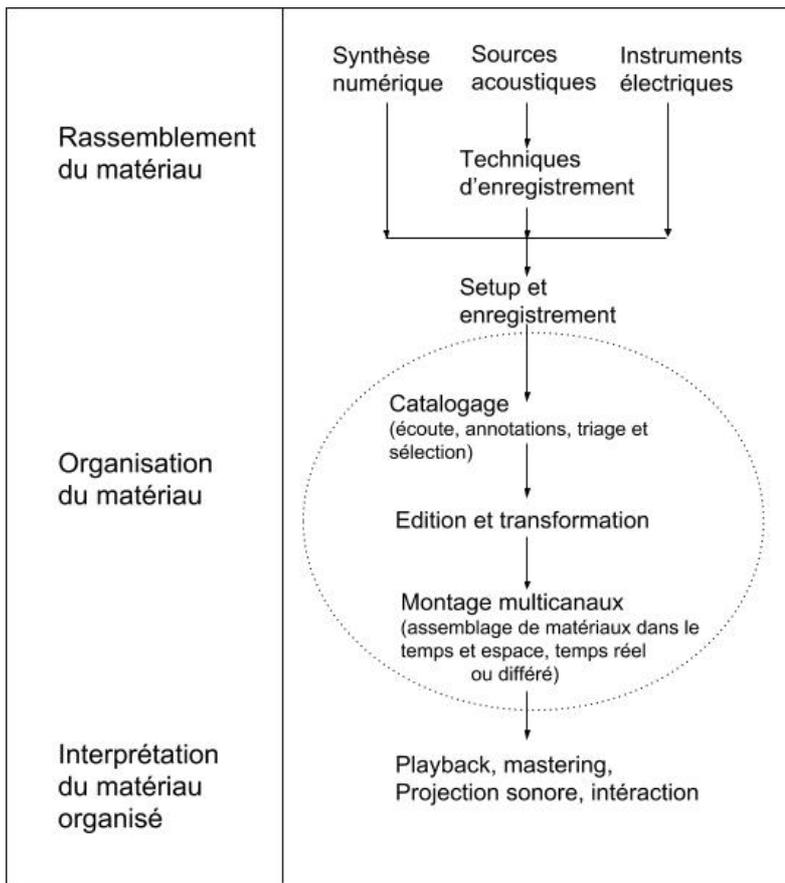


Figure 7 : Schéma multi-étage proposé par Roads²⁴⁸.

Le processus compositionnel consiste donc en trois étapes principales : la génération de matériau, l'organisation et l'interprétation. Les flèches peuvent suggérer un chemin linéaire entre les étapes. Cependant, Roads est prudent et souligne que plusieurs méthodes temporelles sont possibles dans ce modèle²⁴⁹. Il se réfère aux stratégies *top-down*, *bottom-up* et multi-échelle temporelle. L'auteur ne fait pas de distinction de nature du matériau. Le matériau peut être un son enregistré par microphone, synthétique, ou bien provenant d'un instrument électronique. Il n'existe plus la dichotomie²⁵⁰ historique entre la musique concrète et *Elektronische Musik* : toutes les natures de son sont utilisables. L'organisation du matériau (transformation, montage et mixage) est une étape

²⁴⁸ *Ibid.*, p.77.

²⁴⁹ *Ibid.*, p.291.

²⁵⁰ En effet, cette dichotomie a été rapidement surmontée avec *Gesang der Jünglinge* (1955-56) de Karlheinz Stockhausen et les travaux dans le studio de Milan en Italie depuis 1955.

cruciale pour la composition, une fois que la structure découle de transformations morphologiques. La dernière étape concerne l'interprétation, surtout spatiale.

2.2.1. Multi-étage dans la Musique concrète

Ce schéma (Figure 7) représente à peu près le processus de composition de la musique concrète. Comme l'affirme Chion :

Dans la musique électroacoustique, le travail d'auteur commence dès la réalisation ou le choix de la matière première, des sons. On croit communément que le compositeur « prend » des sons existants alors que la plupart du temps, il les crée. Il n'y a pas, en musique électroacoustique, d'étape spécifique, localisée une fois pour toutes, qui est celle du travail d'auteur proprement dit. La composition d'une musique électroacoustique se confond avec sa réalisation, d'un bout à l'autre de toutes ses étapes²⁵¹.

Les premières expériences concrètes consistaient fondamentalement en des manipulations sommaires avec le tourne-disque. Les progrès rapides de la technologie et surtout l'accès aux studios assuré par des institutions, comme la RTF²⁵², ont permis une composition avec plus d'ergonomie et de contrôle. Avec un dispositif minimum - des magnétophones, un ou deux microphones, des ciseaux et de l'adhésif. Il a été possible de composer la plupart du répertoire concret jusqu'aux années 1980.

Dans les premières années, encore avec le support analogique, l'édition du matériau sonore consistait en des manipulations manuelles directement sur la bande magnétique (avec des ciseaux et un adhésif spécial) et les transformations avec des magnétophones. La génération du matériau avec les prises de son du microphone était l'une des étapes les plus significatives de la musique concrète. Dans le cas où le matériau sonore est d'origine acoustique, la prise de son est un élément composable. Comme l'a déjà signalé Michel Chion : « Les conditions d'enregistrement (type et position du micro par rapport à la source, déplacement éventuel de la source par rapport au micro, etc.) peuvent créer le son, autant que l'action même du corps sonore »²⁵³.

²⁵¹ CHION, Michel, *op. cit.*, 1982, p.67.

²⁵² Anagramme de « Radio Télévision Française », où Schaeffer a réalisé les premières expériences avec le sillon fermé et la cloche coupée.

²⁵³ *Ibid.*, p.33.

La génération de son pouvait également venir de sources électroniques, cette démarche était courante dans les studios du monde entier, surtout aux Etats-Unis. La plupart des studios analogiques, à la fin des années 1950, disposaient également de générateurs de sons (oscillateurs à différentes formes d'onde : sinusoïdales, carrée, dents de scie, triangulaires), générateur de bruits blancs, des filtres, des générateurs d'impulsions, des modulateurs en anneau. Certains synthétiseurs plus élaborés étaient également à disposition dans certains studios, comme le RCA Mark II, puis dès les années 1960, les synthétiseurs Moog et Buchla²⁵⁴. Dès les années 1960, l'informatique a rendu possible la génération de sons par synthétiseur numérique, qui pouvaient à leur tour être intégrés dans le modèle compositionnel multi-étage.

Les traitements élémentaires de la musique concrète sont : le montage, le collage, la mise en boucle, l'inversion, la transposition, les opérations sur la forme et la masse (sur le spectre), la réverbération, la réinjection, le délai, le mixage et la mise en espace²⁵⁵. Le mixage dans la musique concrète, encore analogique était possible, avec au minimum trois magnétophones, « en faisant tourner deux bandes sur deux magnétophones, en dosant la somme sur une console, et en enregistrant le tout sur le troisième, après des interventions éventuelles pour colorer le son, le corriger, l'envoyer dans la chambre d'écho, le spatialiser etc. »²⁵⁶.

Dans les années 1980, le numérique a englobé les manipulations directes de la musique concrète. Depuis le milieu des années 1970²⁵⁷, le GRM montre une attention particulière à l'informatique²⁵⁸. Deux chercheurs, issus de la classe électroacoustique du Conservatoire, Jean-François Allouis et Bénédicte Mailliard, s'y intéressent, malgré la méfiance de Schaeffer et François Bayle. Ce dernier montre de l'intérêt, surtout pour le projet d'Allouis qui vise une démarche informatique plus concrète, immédiatement opérationnelle sur le traitement du signal (contrairement aux approches algorithmiques pour la génération des notes). Avec l'informatique, il serait possible de concevoir de

²⁵⁴ BAUDOUIN, Olivier, *op. cit.*, 2012, p.51.

²⁵⁵ CHION, Michel, *op. cit.*, 1982, p.46-63.

²⁵⁶ *Ibid.*, p.23.

²⁵⁷ Les compositeurs avaient des difficultés avec la syntaxe informatique du langage MUSIC V.

²⁵⁸ Le GRM avait déjà depuis 1971 l'accès au programme MUSIC V GAYOU, Evelyne, *GRM le groupe de recherches musicales cinquante ans d'histoire*, Fayard, 2007, p.202.

meilleurs filtres, chambres d'écho, phonogénies, des paramètres mémorisables et programmables, avec une qualité optimale sans bruit de fond ni avarie²⁵⁹.

Maillard et Allouis entament parallèlement deux projets²⁶⁰, leur but étant de lier la musique concrète à la technologie numérique. Ils s'installent au studio 123, lieu de référence de la musique concrète des années 1980 : « Le studio numérique 123 a son sens dans le contexte traditionnel du GRM qui est celui de la musique des sons enregistrés, et a été conçu comme un espace coordonné d'outils de travail des morphologies sonores ou encore, instruments de transformation directe des sons »²⁶¹.

Le projet de Maillard prévoyait un ordinateur PDP 11-60 de DEC :

On a commencé par traduire les opérations classiques du studio, qui se trouvent par la simple substitution des technologies [...] un éditeur de son (montage et micro-montage en temps semi-réel), d'un programme de mélange (mais non de mixage), réverbération, variateur de vitesse, modulateur en anneau, modulateur de phase, modulateur d'amplitude et de forme, modérateurs en formants par filtres inconditionnellement variables, banc de filtres résonants, étirement et contraction des matières, vocodeurs généralisés (sources analytique et modules quelconques) par filtres et par prédiction linéaire, brassage de matière²⁶².

Il s'agissait alors des traitements « classiques » de la musique concrète, réalisés par technologie numérique. Les opérations sont réalisées en temps différé, plutôt orientées vers le traitement, optimisées pour un compositeur non expérimenté en informatique. Les outils étaient conçus sur le principe de *boîtes noires* : des programmes pré-programmables dont l'utilisateur n'a pas accès à leur contenu algorithmique. Le numérique offre un potentiel de qualité sonore – bon rapport signal – bruit sans distorsion – et aussi des avantages opérationnels, comme la visualisation graphique, la captation de gestes divers²⁶³, et la programmation des procédures²⁶⁴.

Pour des raisons financières, le GRM ne pouvait pas assurer les deux projets, celui de Maillard et celui d'Allouis, ce dernier a été choisi par François Bayle et par les autres

²⁵⁹ BAYLE, François dans GAYOU, Evelyne, *op. cit.*, 2003, p.36.

²⁶⁰ Les deux chercheurs ont un conflit à partir de 1977 culminant par la démission de Maillard en 1986 et le choix porté sur le projet de Allouis.

²⁶¹ MAILLARD, Bénédicte, « A la recherche du studio musical », in *Recherches Musicales au GRM*, (dir) Chion et Delalande, La Revue Musicale, numéro quadruple 394-5-6-7, Paris, Ed Richard Masse, 1986, p.58.

²⁶² *Ibid.*

²⁶³ Une liste presque complète des logiciels de transformations du Studio 123 est disponible dans *Ibid.*, p.62-63.

²⁶⁴ *Ibid.*, p.53.

membres de l'équipe. La version définitive du projet SYTER – acronyme de système en temps-réel audionumérique – conçu par Jean-François Allouis a vu le jour en 1985. Comme dans le projet de Mailliard, Syter a été conçu d'abord pour le traitement du son plutôt que pour la synthèse, suivant le dogme de la musique concrète. Cependant, une différence a été essentielle pour le choix du projet SYTER, celui-ci offrait une possibilité quasi illimitée de traitements réalisés virtuellement grâce aux opérations temps-réel. Avec le temps-réel il était possible d'avoir un retour presque instantané des manipulations sur le sonore. Le compositeur pouvait ainsi avoir un contact « concret » sur le matériau compositionnel : « La musique concrète se fait sur l'essai/erreur, sur les bidules et sur les sons fixés [...] le temps-réel de l'écoute, le procédural donc, avec la possibilité de comparer le geste et son résultat »²⁶⁵. Cette caractéristique a été conçue pour le travail en studio, plutôt que pour le traitement *live* dans un concert (au contraire du projet 4X de l'IRCAM par exemple) : Le « temps-réel est un terme d'informatique qui n'implique pas qu'on pratique la musique "live". On contrôle les opérations en temps-réel, c'est-à-dire en écoutant au fur et à mesure quel en est l'effet, mais au cours d'une élaboration progressive de la musique dans le temps du studio »²⁶⁶.

Contrairement au projet de Mailliard, Syter permettait la programmation des outils par l'utilisateur, même si le système était toujours optimisé pour un compositeur non-technicien. Les programmes ne sont plus des *boîtes noires*, mais des objets opératoires :

Dans ce système [Syter] les utilisateurs puissent programmer eux-mêmes l'outil, il y a évidemment une liste d'instruments à la carte, mais c'est un compromis à l'usage des débutants et des irréductibles. Je rêve d'un système sur lequel on ne l'aurait pas de cartes du tout, où chacun construirait une configuration selon ses besoins, ce qui suppose que ce soit suffisamment pratique et rapide pour n'être par rebutant. Actuellement, on ne peut le faire que jusqu'à un certain degré, moins difficilement, à mon avis, qu'un langage informatique traditionnel²⁶⁷.

Allouis rêvait de construire un système avec un « rapport modulaire, un patch comme un studio classique, un synthétiseur modulaire » avec lequel l'utilisateur puisse opérer sur des « représentations symbolique des modules à relier, des entrées et sorties,

²⁶⁵ BAYLE, François dans GAYOU, Evelyne, *op. cit.*, 2003, p.34.

²⁶⁶ ALOUIS, Jean-François, « Technique/Musique », in *Recherches Musicales au GRM*, (dir) Chion et Delalande, La Revue Musicale, numéro quadruple 394-5-6-7, Ed Richard Masse, Paris, 1986, p.65.

²⁶⁷ *Ibid.*

et pouvoir dessiner les liaisons »²⁶⁸. Ce désir prendrait forme dans les années 1990 avec l'essor des logiciels graphiques comme Max et PureData.

Le projet SYTER n'a survécu que neuf ans, le projet s'est achevé en 1994, avec un bilan très positif : plus de trois cents œuvres ont été composées²⁶⁹. Il est devenu obsolète par obsolescence technologique²⁷⁰. À partir de 1990, le chercheur Hugues Vinet se lance dans un projet qui sera connu comme les GRM Tools. Le savoir-faire et les principes opératoires de SYTER bénéficieront de ce projet. Une première version a été lancée en 1991 sous le nom DSP Station, qui est ensuite devenu le logiciel de traitement et de synthèse numérique en temps-réel avec une interface utilisateur correspondant à la démarche de la musique concrète.

Dès les débuts des années 1990, l'informatique musicale a vu l'essor des logiciels stations audionumériques, les DAWs - *Digital audio workstation*. Ceux-ci consistent en des programmes numériques pouvant accomplir toutes les étapes de la composition multi-étage, de l'enregistrement au mixage, avec une interface qui hérite des manipulations analogiques, avec des enregistrements multipistes et consoles de mixage. Ces outils sont utilisés dans plusieurs domaines au-delà de la composition musicale, comme la production audio-visuelle. L'intégration des plug-ins, comme les GRM Tools, étend son fonctionnement avec une myriade d'options de traitements et d'opérations compositionnelles. Avec un ordinateur personnel bien équipé, il est possible, à partir du XXI^e siècle, dans des conditions relativement abordables de faire de la musique en suivant le dogme même de la musique concrète.

2.2.2. Multi-étage dans *Sud* (1985) de Jean-Claude Risset

La pièce acousmatique *Sud* (1985) de Jean-Claude Risset fut commandée par le Ministère de la culture à l'initiative du GRM. La génération du matériau consiste en des prises de sons concrètes, enregistrées dans le massif des calanques au sud de Marseille

²⁶⁸ *Ibid.*

²⁶⁹ GAYOU, Evelyne, *op. cit.*, 2007, p.256.

²⁷⁰ Une seule machine Syter était en marche au Conservatoire de Paris après 1994.

mélangées à des sons de synthèse numérique, suivies de manipulations et de transformations réalisées avec les outils du GRM du studio 123. La pièce est divisée en trois mouvements, comme le compositeur le décrit lui-même :

- I. La mer le matin. Eveil d'oiseaux criards s'animant du pointillisme à la strette. Nuages harmoniques. Venant du grave, accumulation d'êtres hybrides. Chaleur. Luminy, au pied du Mont Puget : insectes et oiseaux réels et imaginés.
- II. Appel - comme une bouée à cloche animée par la mer. Agitation, flux, dérives, péripéties, mistral, tempête, feu de la terre, ou orage intérieur ?
- III. Le profil de la mer, de plus en plus coloré : le bruit devient hauteur stridente. Hybrides animés. La grille harmonique se dévoile, excitée de toutes parts : pulsions programmées, raga d'oiseaux, vagues de la mer. Reflux : le bruit du ressac²⁷¹.

Le processus compositionnel multi-étage concilie alors la génération de matériau par synthèse numérique, comme abordé dans le schéma d'Hiller (Figure 5), par le biais du logiciel MUSIC V, avec les principes de génération, manipulation et transformation de la musique concrète, faisant appel aux outils du studio 123 : « Ce qui était en jeu pour moi, c'était l'alliance de deux mondes sonores bien différentes : les sons enregistrés, traces audibles de corps sonores, et les sons de synthèse, sans contrepartie matérielle - l'électronique et le concret, le réel et le virtuel »²⁷². La nature des matériaux concrets est essentiellement « naturelle » : le compositeur a choisi des sons de « paysage sonores de mer, d'insectes, sons isolés renvoyant à des sources faciles à reconnaître »²⁷³. Certains échantillons instrumentaux sont aussi utilisés, comme l'enregistrement de carillon de bois et métal. Les sons de synthèse comprennent des objets d'œuvres antérieures, comme l'accord *sol-si-mi-fa#-sol#*, utilisé dans *Mutations* (1969) et la simulation de gong et de clavecin, générés par le biais de la synthèse numérique.

Concernant la prise de son, Risset se fait l'écho de la composition concrète en considérant la prise de son comme un élément compositionnel :

L'enregistrement [...] ne se borne pas à un processus passif. Il faut choisir le sujet, le cadre, la perspective auditive [...] Ici j'ai utilisé la sensibilité et la proximité du microphone comme un téléobjectif ou un microscope, pour capter des sons menus : rythmes des insectes, craquement des graines sous le soleil, J'ai ajouté à l'enregistrement un son de synthèse spatialisé, agissant comme un signal pour

²⁷¹ Note de programme. <http://brahms.IRCAM.fr/works/work/11506/> [lien vérifié le 1^{er} mars 2018].

²⁷² RISSET, Jean-Claude, « Synthèse et traitements des sons : sur la composition Sud », in *Portrait polychrome Jean-Claude Risset*, Paris, INA-GRM, 2008, p.91.

²⁷³ *Ibid.*, p.93.

annoncer le passage d'un bourdon (I, vers 8'26'') (*ibid.* p. 94=>Référence en note de bas de page).

Tout l'ensemble de matériau – concret et de synthèse – a été catalogué et transformé par des méthodes, comme le brassage temporel, le mixage après décalage temporel et fréquentiel, l'harmonisation, le filtrage et la synthèse croisée.

Parmi les logiciels disponibles dans le studio 123, Risset utilise BRAGE, un module qui permet la fragmentation sonore conjointement avec un montage aléatoire d'une section du son – utilisé pour « bégayer » un enregistrement de piano [1'42'']. Un autre module du studio utilisé par Risset est le FLT : il s'agit d'un banc de 1 à 50 filtres résonnants. L'utilisateur peut choisir les fréquences centrales et la largeur de bande. Avec ceci, le compositeur modifie les sons de la mer, produisant une version filtrée par ce banc de filtres, tout en préservant l'impulsion des sons de départ (III, 3'49'')²⁷⁴.

Le numérique permet un mixage très précis, grâce à des possibilités de manipulation directe à une micro-échelle temporelle. Le décalage temporel consiste à décaler un son avec sa copie à l'ordre de 10 microsecondes. Un phénomène d'atténuation et compensation de phase renforce certaines parties du spectre en relation avec l'intervalle de décalage. Le compositeur peut ainsi imprimer une hauteur à des sons bruyants (dépourvus de hauteur) comme une vague. Une procédure similaire est aussi possible à l'échelle fréquentielle, le compositeur décale deux sons par transposition, si l'intervalle est faible, 2 Hz, par exemple, un phénomène de battement se produit. Risset utilise ce principe pour créer des sons complexes :

Un 'ré' bref de violoncelle ; ce même son rallongé en le tuilant avec lui-même et sa copie "rétrograde" ; le son rallongé avec 5 copies légèrement décalées en fréquences : on entend différents harmoniques émerger à différentes cadences ; enfin le même effet sur le son rallongé transposé de façon à donner une neuvième sol-sol#. (III, 39s et 1'24'')²⁷⁵.

Il est possible de superposer des sons transposés avec le mixage, de les « harmoniser » par production d'accords, de gammes ou de modes, ainsi que des figures dynamiques, chaque son transposé correspond alors à un partiel d'un son (un principe déjà utilisé par le compositeur pour composer le son lui-même par le biais de la synthèse

²⁷⁴ *Ibid.*, p.97.

²⁷⁵ *Ibid.*, p.95.

additive). Avec cette méthode, Risset part d'une échelle de hauteur *sol, si, mi, fa#, sol#* (déjà utilisée dans *Mutations*) exposée d'abord par des sons synthétiques, qui ensuite « harmonisent » divers sons d'origine naturelle (comme les chants d'oiseaux) devenant ainsi une véritable grille harmonique. À l'instant 9'10'', un grillon qui chante originellement en *fa#* est transposé suivant les notes du mode *sol#, fa#, mi, sol, si*²⁷⁶.

La synthèse croisée permet de produire des sons hybrides : d'oiseaux et de métal, de mer et de bois, par exemple. Risset utilise la modulation en anneau comme une méthode de synthèse croisée : la « modulation en anneau correspond à une simple multiplication échantillon, par échantillon, de chacun des deux sons de départ. En multipliant un son de piano par une sinusoïde, on altère le tempérament et le timbre du piano » (III, 2'16'' à 2'37'')²⁷⁷.

L'espace joue un rôle essentiel dans la composition, dès le début de la pièce qui se présente comme une « phonographie » ; la mise en espace renforce le caractère naturel du matériau. Dans le passage d'oiseaux (I, 33'' à 1'39'') cette opération est très visible.

Dans *Sud* la première étape d'un processus multi-étage est très claire. Risset organise les sons dans une perspective macrostructurale : le début de la pièce présente les sons concrets avec des traitements légers, il est toujours possible d'identifier la source originelle, lorsque dans son déroulement la pièce acquiert un caractère de plus en plus « artificiel » :

J'ai ainsi fait proliférer les matériaux de départ pour obtenir un vaste corpus sonore. J'ai gardé la trace des transformations successives effectuées à partir des sons de départ sur un diagramme qui est un peu l'arbre généalogique des sons - en fait ce diagramme fait penser à une toile d'araignée ou à un rhizome plus qu'à une arborescence. C'est là une trace de la genèse des sons mais il s'agit d'une représentation "hors-temps", décrivant les résultats de la "pré-composition"²⁷⁸.

Risset présente cette étape comme une « pré-composition », cependant dans le cadre d'un processus multi-étage, la génération et l'organisation de sons font déjà partie du processus compositionnel. Or, dans le début de la pièce, où les sons concrets sont présentés *in natura* et puis se transforment au fur et à mesure du déroulement de la pièce, les opérations de prise de son et mise en espace ont déjà un statut composable. Comme

²⁷⁶ *Ibid.*, p.97.

²⁷⁷ *Ibid.*, p.98.

²⁷⁸ *Ibid.*, p.98-99.

l'affirme Chion ci-dessus, dans le cadre d'une composition électroacoustique, la composition commence dès la réalisation ou le choix de la matière première, des sons.

C'est alors la morphologie du matériau qui guide la structure de l'œuvre. Les outils qui permettent les transformations numériques ne sont cependant pas neutres, ils sont directement liés au résultat morphologique des opérations compositionnelles. Par conséquent, la structure est le résultat de la conciliation entre le matériau et les outils. Le savoir-faire du compositeur est également mis en avant dans ce processus. Le caractère opératoire du compositeur est essentiel pour l'utilisation des outils dans un cadre compositionnel réussi.

Comme j'ai indiqué plus haut, j'avais à l'origine une idée générale de la forme, impliquant l'hybridation et l'interpénétration graduelle entre sons concrets et synthétiques, mais mon idée a été modifiée à plusieurs reprises par les rencontres et les aventures du travail sur le matériau²⁷⁹.

Cette pièce est l'une des plus jouées et analysée²⁸⁰ du catalogue de l'auteur. Elle a été enregistrée par le label Wergo dans le l'album en 1988. Elle a également reçu le prix d'Honneur Ars Electronica 1987.

2.2.3. Multi-étage dans *Imago* (2002) de Trevor Wishart

Même si le processus multi-étage est très caractéristique de la musique concrète, comme vu ci-dessus, dans le répertoire électroacoustique, de nombreux exemples partagent les mêmes principes.

Trevor Wishart est un compositeur britannique né en 1946. Il s'intéresse à la composition musicale, dans un premier temps, motivé par le désir d'appliquer en musique les sons du monde réel²⁸¹. Lors de ses premières expériences, il a travaillé sur support analogique à l'Université de York, où il était étudiant, avec des sons d'usines et de centrales électriques. Sa première remarque fut qu'il était impossible, avec ce genre de

²⁷⁹ *Ibid.*

²⁸⁰ Une analyse faisant appel à des recours graphiques est disponible dans <http://www.inagrm.com/categories/jean-claude-risset> [lien visualisé 1 mars 2018].

²⁸¹ VASSILANDONAKIS, Yorgos, WISHART, Trevor, « An Interview with Trevor Wishart », *Computer Music Journal*, Vol, 33-2, 2009.

matériau, d'appliquer dans la macrostructure les mêmes formes de la musique traditionnelle instrumentale. Même si selon Roads²⁸², les manipulations dans sa musique jouent un rôle analogue à la variation dans la musique traditionnelle, Wishart découvre, lors de la composition de *Red Birds... le rêve d'un prisonnier politique* (1977), que c'est la transformation qui définit la structure de la pièce.

Dans cette pièce, les transformations étaient techniquement difficiles avec le support analogique. C'est la technologie numérique qui permettra de la réaliser comme le souhaitait le compositeur. Après quelques années de développement et d'apprentissage de méthodes numériques. Wishart est invité par l'IRCAM pour composer la pièce *Vox-5* (1986-1987). La même année, avec la collaboration d'autres compositeurs-chercheurs, il lance l'idée du *Composers' Desktop Project* (CDP), il s'agit d'un environnement développé par un groupe d'utilisateurs afin de rendre possible la composition musicale avec synthèse numérique avec des ordinateurs personnels. Les traitements utilisés par Wishart et par ses collègues, agissaient essentiellement dans le domaine fréquentiel – *spectral morphing, spectral shifting and spectral stretching* - mais aussi des traitements dans le domaine temporel – *waveset manipulation, grain manipulation, sound shredding*. Le projet CDP était l'un des pionniers dans la perspective de composition non-institutionnelle dans le sens où le compositeur programmait ses propres outils (même si ces compositeurs-chercheurs étaient rattachés à une université anglaise). Certes, dès les premières expériences avec l'informatique musicale dans les années 1950, une communauté de compositeurs-programmeurs a émergé ; cependant, à partir des années 1980, avec la facilité d'accès à la micro-informatique, les compositeurs-programmeurs ont pu avoir un contact plus profond avec le matériau, sonore et algorithmique.

Dans *Imago*, Wishart compose avec des sons de base minimaux, tous les sons proviennent de la transformation d'un objet sonore d'une seconde d'un tintement de deux verres à vin²⁸³. Cette pièce est un exemple montrant qu'il est possible, dans la démarche du compositeur, de partir de n'importe quel son et d'en tirer une gamme abondante de sons divers par transformation. Ce processus est similaire à celui décrit par Risset, comme

²⁸² ROADS, Curtis, *op. cit.*, 2015, p.115.

²⁸³ Échantillon enregistré par le compositeur Jonty Harrison, ainsi comme dans *Harrison Variation* (2002) d'Horacio Vaggione.

un diagramme – le fameux arbre généalogique des sons qui fait plutôt penser à une toile d’araignée – généré par transformations successives.

Pour cette pièce, le compositeur utilise le logiciel *Sound Loom*, une version multi-plateforme développée par Wishart lui-même et faisant partie du projet CDP. Celui-ci opère en temps différé principalement sur le traitement des échantillons préenregistrés. Ce choix est fondé sur les préférences créatives du compositeur-chercheur. Le logiciel permet d’opérer des méthodes comme la transposition, le *time-stretching*, la mise en boucle, les variations d’amplitude et le brassage.

Souvent, une succession de processus produit un geste court, mais des textures plus longues sont également générées et parfois, comme dans la section « gamelan » discutée ci-dessous, un seul processus est utilisé pour générer un long passage des sons. Cette façon de travailler produit un grand nombre de fichiers sonores : l’archive du compositeur comprend plus de 1000 fichiers. Des sous-mélanges de sections ont ensuite été réalisés, suivis éventuellement par un mélange du travail final – tout cela, encore une fois, en utilisant *Sound Loom*. Le logiciel peut ne pas fonctionner en temps-réel, mais cela ne signifie pas que l’écoute est sans importance pour Wishart. Au contraire, il est désireux d’écouter à chaque étape : « Dans notre discussion avec le compositeur, il a indiqué que l’exploration des matériaux sonores joue un rôle important dans son processus de composition »²⁸⁴.

Ainsi comme dans *Sud* de Jean-Claude Risset, *Imago* commence avec une densité faible et un développement progressif du matériau initial :

D’un point de vue technique, le début de la pièce peut sembler presque didactique, illustrant un éventail de techniques qui seront développées plus avant et

²⁸⁴ Nous traduisons : “Often a succession of processes produces a short gesture, but larger textures are also generated and sometimes, such as in the “gamelan” section discussed below, a single process is used to generate an extended passage of sounds. This way of working results in a large number of sound files: the composer’s archive comprises well over 1000 files. Sub-mixes of sections were then made followed eventually by a mix of the final work – all this once again using Sound Loom. The software may not operate in real time, but this does not mean that listening is unimportant to Wishart. To the contrary, he is keen to listen at each stage in the formation of a sound and fine tune settings in response. Nor does a non-real time approach indicate lack of experimentation; in our discussion with the composer, he has indicated that exploring the sound materials plays an important part in his compositional process” CLARKE, Michael, DUFEU, Frédéric, MANNING, Peter, « The Interrelation of Technology and Creativity in the Analysis of Electroacoustic Music: A comparative study of Barry Truax’s Riverrun and Trevor Wishart’s Imago », *Musurgia*, XXII (1), 2015, p.5. Version anglophone dans <http://eprints.hud.ac.uk/id/eprint/26732/> [lien vérifié le 27 juin 2018].

développées plus tard dans la pièce. D'un point de vue musical, il introduit un certain nombre de sons et des gestes qui joueront un rôle important dans les textures souvent plus grandes et plus continues de l'œuvre²⁸⁵.

Vers la fin de la pièce, le compositeur explore d'autres familles d'objets dérivés du matériau unique. Une classe caractérisée par de longues textures, nommée « gamelan » par le compositeur lui-même, est générée par un seul traitement. Il s'agit de répétitions rapides du matériau original en suivant un *pattern* aléatoire de notes d'une gamme chromatique croissante. « Bien qu'une texture plus dense et continue, cette section est construite selon les mêmes principes du début de la pièce : traitement du matériau sonore original, puis combinaison de plusieurs fichiers »²⁸⁶.

Wishart met en avant le statut structurel des transformations dans le processus compositionnel multi-étage. Ainsi comme dans *Sud*, les outils numériques sont fortement liés aux opérations qui en découlent. *Imago* est un exemple d'approche compositionnelle réalisée par un compositeur-programmeur. Or, les outils utilisés par le compositeur ont été également composés et, pourtant, sont aussi le produit d'un processus compositionnel. Dans *Imago* « il y a un sens clair de la structure et de l'ordre, à la fois dans les relations entre les différents sons et dans l'ordre des matériaux »²⁸⁷.

2.2.4. Multi-étage dans les pièces mixtes

Un nouvel horizon compositionnel s'ouvre avec la musique mixte. Selon une définition concrète, il s'agit de « la musique pour bande magnétique et instruments acoustiques, voix etc. joués en direct, d'où son nom, puisqu'elle combine une part de différé et une part de direct »²⁸⁸. Aujourd'hui cette définition est devenue caduque, surtout

²⁸⁵ Nous traduisons : "From a technical perspective it might almost seem didactic in nature, illustrating a range of techniques that will be developed further and expanded upon later in the work. From a musical perspective it introduces a number of sounds and gestures that will play an important part in the often larger, more continuous textures later in the work." *Ibid.*, p.9.

²⁸⁶ Nous traduisons : " Although a more dense and continuous texture, this section is constructed according to the same principles as the opening of the work: processing of the original source sound and then combining the resulting sound files. There is a clear sense of structure and order, both in the relationships between the different sounds and in the ordering of the materials." *Ibid.*, p.13.

²⁸⁷ *Ibid.*

²⁸⁸ CHION, Michel, *op. cit.*, 1982, p.13.

avec l'avènement des traitements en temps-réel. Actuellement, la définition la plus utilisée considère la musique mixte comme une corrélation dans le composable d'une partie électroacoustique et d'une partie instrumentale acoustique dans un ensemble joué en concert. Ce terme correspond donc à trois volets : la musique mixte en temps différé, la musique mixte en temps-réel et finalement une définition qui transverse les deux. La première est plus proche de celle décrite par Chion, une musique électroacoustique élargie. Il s'agit de l'association sur une scène de concert de sons instrumentaux avec des sons électroniques. La deuxième correspond à une musique instrumentale élargie. La troisième concilie des traitements en temps-réel avec des sons préenregistrés et prétraités. Cette tripartition reste cependant vague vis-à-vis de la pluralité de cette musique. De plus, l'apparente distinction entre temps-réel et différé peut motiver une dichotomie qui cache le vrai intérêt compositionnel de la corrélation de l'acoustique avec électroacoustique : l'articulation compositionnelle entre les deux agents.

La musique concrète a très vite montré de l'intérêt pour la musique mixte. En 1951, Pierre Schaeffer et Pierre Henry proposaient *Orphée 51* pour soprano et support. Cependant les limitations techniques de l'époque ne permettaient pas l'articulation entre les morphologies électroacoustiques afin d'intégrer l'univers acoustique. Nous avons déjà évoqué la difficulté rencontrée par Varèse pour la composition de *Désert*. Les premiers exemples de compositions mixtes accomplies, comme *Musica su due dimensioni* (1951 - 1958) de Bruno Maderna, avaient une écriture plus orientée vers les paramètres instrumentaux, comme la hauteur et la durée. Dans la même perspective, des compositeurs, surtout aux Etats-Unis, réussissent à bien intégrer les sons d'origine électronique avec l'écriture instrumentale. La série *Synchronisms* (dont la première pièce est pour flûte et électronique (1963), est échelonnée sur toute sa carrière), pour instruments et tape du compositeur argentin Mario Davidovsky en est un bon exemple.

L'approche morphologique dans un processus compositionnel multi-étage pour la musique mixte pose surtout des problèmes de représentation opératoire. Or, la représentation graphique de la partition instrumentale n'est pas issue du même processus que celui décrit ci-dessus (Figure 7). Il faut soit considérer d'autres niveaux opératoires interconnectés avec le processus multi-étage, soit étendre ses possibilités. Nous avons déjà évoqué le potentiel de corrélation de l'articulation de la musique mixte sur le plan

purement numérique, cependant la manipulation directe, démarche si chère à la musique concrète, n'est pas directement possible. D'ailleurs, de nombreux compositeurs appartenant au GRM ont récusé la composition mixte. Cette prise de conscience n'a pas forcément de relation avec la raison décrite ci-dessus. L'une des raisons principales de ce refus de la musique mixte était la convergence sur scène de sons électroniques avec un instrument acoustique qui altère la principale caractéristique de la musique acousmatique, soit l'absence de causalité des sons perçus. Toutefois, une quantité considérable de compositeurs du GRM ont malgré tout composé un répertoire nombreux de pièces mixtes.

La pièce *Violostrie* (1964) pour violon et bande de Bernard Parmegiani montre des tendances de la composition concrète mixte. Dans un premier temps, la partie électroacoustique a été composée avec l'enregistrement de violon. Ensuite, la partie instrumentale émerge de la collaboration entre le compositeur et l'interprète, le violoniste Devy Erlih. L'exécution de *Violostrie* dure environ 17 minutes et la pièce est divisée en trois parties : *Pulsion-miroir*, *Jeu de cellules* et *Végétal*. Pour chaque mouvement le rapport instrument-électroacoustique a un caractère différent, soit en dialogue, soit en fusion.

La méthode la plus classique et garantie pour la composition concrète mixte est d'utiliser comme matériau sonore l'enregistrement des mêmes instruments acoustiques de la pièce. Cela soutient la fusion morphologique entre les deux agents, cependant les traitements auxquels les objets d'origine sont soumis peuvent modifier la morphologie de telle manière que la cohérence entre l'acoustique et l'électronique ne soit pas toujours assurée.

L'exemple de la démarche de Parmegiani comprend la musique mixte comme une extension de la musique électroacoustique. Cela veut dire que l'écriture instrumentale est conditionnée par le matériau électroacoustique. Le travail morphologique instrumental n'est pas exclusif à la musique mixte, des compositeurs comme Helmut Lachenmann (1935-) et Mark Andre (1964-) explorent les sons instrumentaux d'un point de vue concret en concevant les relations structurelles par les relations entre les objets sonores.

Ce n'est pas le fait de rassembler des instruments et de superposer de l'électroacoustique qui soit motivant pour un compositeur de musique mixte. Ce sont les influences et les relations qui ces dispositifs suscitent explicitement dans

l'écriture... par exemple de penser les parties instrumentales sur le plan morphologique...²⁸⁹.

Le compositeur Gilles Racot, toujours proche du GRM et qui a travaillé également à l'IRCAM, a développé un répertoire considérable de musique mixtes ayant une démarche concrète. Les pièces *Noctuel*, (1987-1994) pour basson et électroacoustique, *Subgestuel* (1991) pour six percussions et électroacoustique, et *Tissu d'épisodes* (1998-99) pour ensemble et électroacoustique sont des exemples de pièces mixtes du compositeur. Le compositeur décrit son processus de composition mixte par le fait, dans un premier temps, d'esquisser les morphologies potentielles des instruments acoustiques, les modes de jeu, ainsi que les traitements par lesquels il sera possible de manipuler les sons instrumentaux. Ensuite il dresse, sur un plan d'idée, la structure de la pièce fondée sur l'interaction entre les morphologies :

J'élabore des idées de mutations ou d'évolution de masse associant les règles d'animation interne de la matière imaginée. Je note ces idées de répartitions, de polyphonies et les principes de translation en m'aidant de schémas expliquant les interactions et le fonctionnement des parties [...] J'essaie d'imaginer tout de suite des résultats de traitement sonores pour les instruments par rapport à certains modes de jeux, ou des projets de parties électroacoustiques orientées vers des tissus musicaux particuliers associés aux jeux des instruments. Là aussi j'essaie de noter le plus de choses de ses associations et évolutions entendues...²⁹⁰.

Comme dans *Sud* et *Imago*, Racot organise l'ensemble des échantillons sonores (dans son cas, souvent de très courts enregistrements des mêmes instruments utilisés en concert) par des mutations et mutilations successives produisant ainsi « une génération arborescente de transformations » qui ensuite sont « mixées et montées selon l'organisation de la composition même »²⁹¹. La structure est établie sur un plan graphique en associant les parties instrumentales et électroacoustiques. Il relève sur de « grandes feuilles le parcours de séquences définies, qui lui donne l'organisation d'une composition provisoire »²⁹². Dans *Subgestuel*, par exemple, le compositeur utilise des traitements dans le domaine fréquentiel et temporel, comme des mutations spectrales, des filtrages, des

²⁸⁹ RACOT, Gilles dans GAYOU, Evelyne, « Devant le son que prennent les choses, entretien avec Gilles Racot », in *Portrait polychrome Gilles Racot*, Paris, INA-GRM, 2002, p.32.

²⁹⁰ *Ibid.*, p.33.

²⁹¹ RACOT, Gilles, « Une mise en œuvre de la musique mixte », in *Portrait polychrome Musique et technologie Regards sur les musiques mixtes*, Paris, INA-GRM, 2016, p.189.

²⁹² *Ibid.*

démultiplications harmoniques, le brassage. Ensuite, pour la partie instrumentale, « les matériaux de l'écriture instrumentale procèdent selon les mêmes principes et les mêmes grilles d'accords », réalisée sur le plan électroacoustique par le biais d'*harmoniseurs*. « Les masses harmoniques calculées subissent de façon abstraite des opérations équivalentes aux traitements électroacoustiques (mise en ordre temporel, filtrages, texturisation, profilage... »²⁹³. Chez Racot, les opérations et les matériaux, même s'ils sont conçus sur un plan abstrait sont réalisés, dans un plan commun :

Pour la partie électroacoustique, après l'écriture et les prises de sons des cellules instrumentales de base, c'est l'issue des traitements et des synthèses et le choix des éléments les plus satisfaisants qui orienteront peu à peu le schéma définitif. D'ailleurs je me laisse toujours la possibilité d'insérer des séquences dont les idées surgissent pendant les phases de traitements ou dans les phases de compositions au studio. Pour la partie instrumentale, c'est à peu près la même chose... en rapport avec les cellules instrumentales à traiter pour la partie électroacoustiques, les matériaux de base à l'écriture comme les systèmes d'accords, les cellules polyphoniques, les figures traits subissent des transformations, démultiplications... ou bien sont à l'origine des générations de complexes spectraux ou harmoniques obéissant aux règles du premier schéma formel²⁹⁴.

Tout comme dans le cas de Parmegiani, Racot a besoin d'un dialogue poussé avec l'instrumentiste pour composer ses pièces mixtes. Ce processus prend du temps et n'est pas toujours envisageable dans le planning des musiciens. De plus, les deux niveaux, acoustique et électronique, ne sont pas toujours linéaires. Une opération au niveau acoustique n'est pas forcément souhaitable dans le domaine électronique. La composition de la musique mixte pose également des problèmes d'ordre d'échelle temporelle : le résultat final entendu que lorsque les deux agents sont en marche. Il est toujours possible que des « surprises » apparaissent. Cela peut être évidemment dérangent, cependant le compositeur peut en tirer profit en ajoutant un élément émergent dans la pièce. Or, l'émergence et la manipulation directe – dans ce cas avec le sonore électronique et instrumental – sont des caractéristiques marquantes de la musique concrète. Cette caractéristique avait déjà été remarquée par Racot :

Mais la vérification [du corrélat acoustique et électronique] et les tests de ces traitements orienteront beaucoup les décisions finales et là aussi des choses

²⁹³ *Ibid.*, p.90.

²⁹⁴ *Ibid.*

peuvent être modifiées à tous les stades de la composition. Sans oublier que les deux courants d'écriture, électroacoustique et instrumentale s'enchevêtrent...²⁹⁵.

2.3. Le modèle de l'électronique temps-réel selon Puckette et Manoury

Contrairement aux deux premiers modèles, celui ci-dessous (Figure 8) est spécifique d'une pièce, ou plutôt d'un ensemble de pièces, notamment le cycle *Sonus ex Machina* (1987-1991) pour instruments et électronique temps-réel. Ce schéma a été inspiré de la documentation de *Pluton* (1989) de Philippe Manoury pour piano et électronique temps-réel²⁹⁶. Il représente l'aboutissement du travail collaboratif entre le compositeur et Miller Puckette réalisé à l'IRCAM la fin des années 1980²⁹⁷. Bien qu'il s'agisse d'un modèle propre à un compositeur, il correspond, à peu près, au corpus de pièces composé à l'IRCAM depuis la fin des années 1970. Cette institution a été créée sous le « credo défendu par Pierre Boulez d'enrichir l'écriture instrumentale par les technologies numériques »²⁹⁸. Lors d'une conversation entre les compositeurs Philippe Manoury et Pierre Boulez, dans les années 1980, il survient le terme *partitions virtuelles*,²⁹⁹ qui sera mentionné davantage par Manoury. Cela vient de la « volonté d'unification de ces deux univers [acoustique et électronique] au sein d'une approche plus ou moins identique »³⁰⁰. Dans *Jupiter* (1987) pour flûte et électronique temps-réel, par exemple, l'interaction acoustique-électronique suit un modèle « orchestral » : « l'écriture numérique, le patch, agit “comme chef d'orchestre”, musiciens et instruments dans un orchestre numérique invisible et désincarné mais très réactif »³⁰¹. Dans cette perspective,

²⁹⁵ *Ibid.*

²⁹⁶ <http://msp.ucsd.edu/pdrp/latest/files/manoury-pluton/doc/index.htm> [lien visualisé 1 mars 2018].

²⁹⁷ Le projet a eu la participation également de Miller Puckette, Marc Battier, Olivier Koechlin, Cort Lippe et Thierry Lancino.

²⁹⁸ TIFFON dans l'analyse de *Traiettorria* de Marco Stroppa <http://brahms.IRCAM.fr/analyses/traiettorria/> [lien vérifié le 1^{er} mars 2018].

²⁹⁹ MANOURY, Philippe, *La note et le son écrits et entretiens 1981-1998*, Paris, L'Harmattan, 1998, p.61.

³⁰⁰ *Ibid.*

³⁰¹ Nous traduisons : “ The computer acts as conductor, musicians, and instruments in an invisible and disembodied but highly responsive digital orchestra”. MAY, Andrew, « Philippe Manoury's *Jupiter* », in *Analytical methods of electroacoustic music*, New York, Routledge, 2006, p.145.

la technologie est soumise à la tradition instrumentale, même si dans certaines pièces composées à l'IRCAM, l'informatique est au service de l'instrumental autant que l'inverse. *Traiettoria* (1982-1984), pour piano et électronique de Marco Stroppa, en est un exemple.

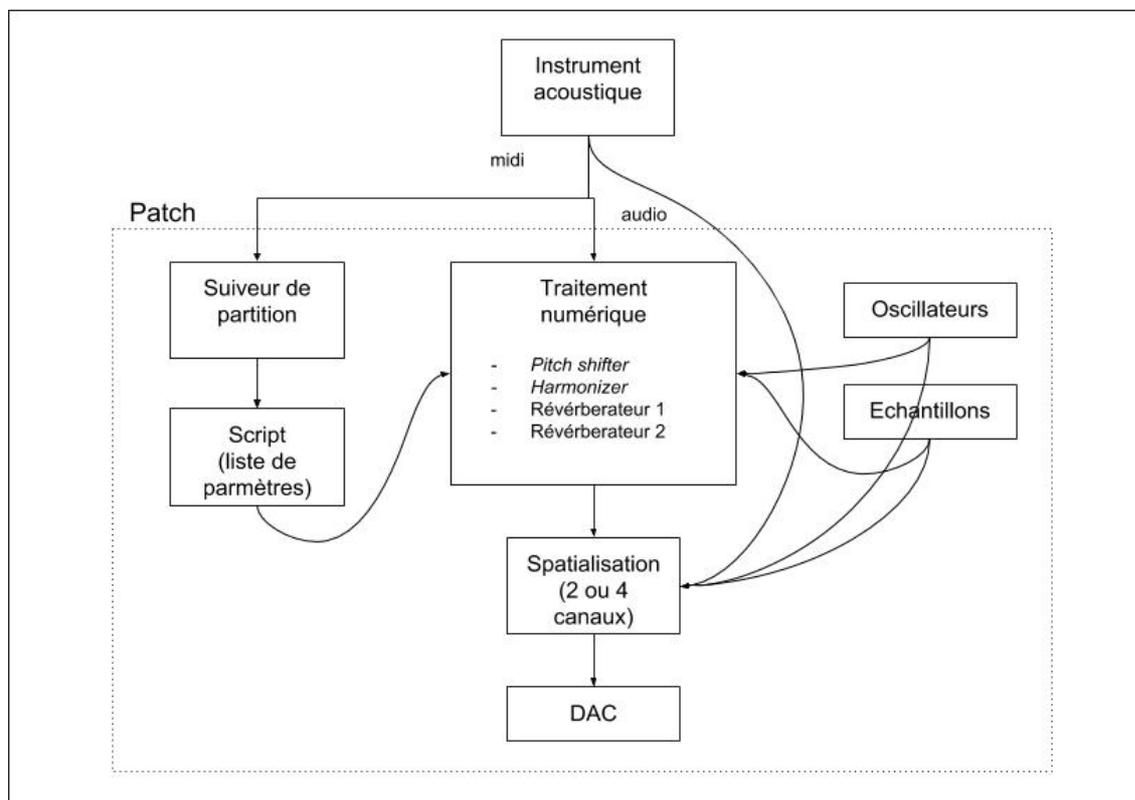


Figure 8 L'orchestre électronique de Puckette et Manoury.

Pour l'aboutissement du projet boulézien de prolonger l'écriture instrumentale par le biais de la technologie numérique, la réalisation d'un projet temps-réel pour le *live* en concert était nécessaire. Contrairement à la conduite du GRM, où il fallait « arrêter » le temps pour créer des complexités – une pratique essentiellement en temps différé –, le projet mené à l'IRCAM envisage surtout l'accentuation de l'interaction entre les univers acoustique et électronique par des traitements temps-réel. Ce point de vue a été développé dès l'avènement de l'électronique analogique et a vécu un grand essor dans les années 1960, par exemple dans les pièces mixtes comme *Mikrophonie I* et *II* (1964 et 1965 respectivement) et *Mantra* (1969-70) entre autres.

La quête du temps-réel à l'IRCAM commence avec le projet 4X mené par Giuseppi Di Giugno entre 1976 et 1987. Ce système résulte de la série initialisée par le projet 4A, un prototype avec l'ordinateur PDP 11. Ensuite le projet se poursuit à l'IRCAM avec la 4B, la 4C et enfin la 4X, sortie en 1984. Le chercheur Di Giugno a fondé, dans les années 1970 le groupe de recherche ACEL à l'Université de Naples. Son projet initial a été un synthétiseur analogique contrôlé par l'informatique. À la suite de ce travail, le compositeur Luciano Berio l'a poussé à réaliser un système complètement numérique³⁰².

Répons (1981-84) pour six solistes, ensemble de chambre, sons électroniques et électronique en temps-réel de Pierre Boulez, est sans doute l'exemple le plus marquant de composition musicale avec la 4X. Dans cette pièce, les traitements numériques étendent l'univers sonore percussif, plutôt que de rivaliser avec eux. L'informatique est « essentiellement basée sur des modifications de timbres, de textures, des réinjections et des spatialisations des événements musicaux que produisent les solistes »³⁰³.

À l'instar d'autres pièces composées à l'IRCAM, comme celles de Manoury, *Répons* a suivi le développement technologique au cours des recherches informatiques. Pour chaque nouvelle mise à jour technologique, il est nécessaire de la réviser en adaptant les *partitions virtuelles*. Ce répertoire devient ainsi un objet dynamique, mutable et fortement dépendant de moyens numériques.

Un grand tournant dans l'histoire de la musique faisant appel à la technologie temps-réel a lieu lors de l'arrivée des chercheurs Barry Vercoe et Miller Puckette à l'IRCAM dans les années 1980. C'est à ce dernier que l'on doit le développement des logiciels graphiques Max et PureData. La quête de ces systèmes commence avec Patcher (qui dans un premier temps, n'est pas graphique, mais en ligne de commandes). Il s'agit d'un logiciel couplé à la 4X pour le contrôle via le protocole Midi. Ce logiciel ensuite a été dévoilé sous le nom Max/Opcode sous licence de la société Opcode. En 1989, la version Max/ISPW (*IRCAM Signal Processing Workstation*) permettait le traitement numérique temps-réel avec la même représentation graphique que la version antérieure. La syntaxe suit la même logique modulaire conçue pour la première fois dans MUSIC III

³⁰² MANNING, Peter, *op. cit.*, 2013, p.233.

³⁰³ Note de programme de *Répons* <http://brahms.IRCAM.fr/works/work/6997/> [lien visualisé 1 mars 2018].

de Max Mathews. En effet, Max/ISPW était constitué de deux composants : l'interface graphique utilisateur, sous le système NeXT et le moteur audio temps-réel, nommé FTS (*Faster Than Sound*). Dès 1996, Miller Puckette a développé une version gratuite et *open source* nommée PureData, indépendamment de l'IRCAM. À la même époque, la société Cycling 74, sous la direction de David Zicarelli, dévoile la version Max/MSP, qui comme PureData, intègre sous une même représentation des fonctions de contrôle Max et de traitement sonore (*Max Signal Processing*). Récemment, en 2017, la société Ableton AG, connue grâce au logiciel Ableton Live, rachète Cycling 74 donnant suite au développement de ce logiciel.

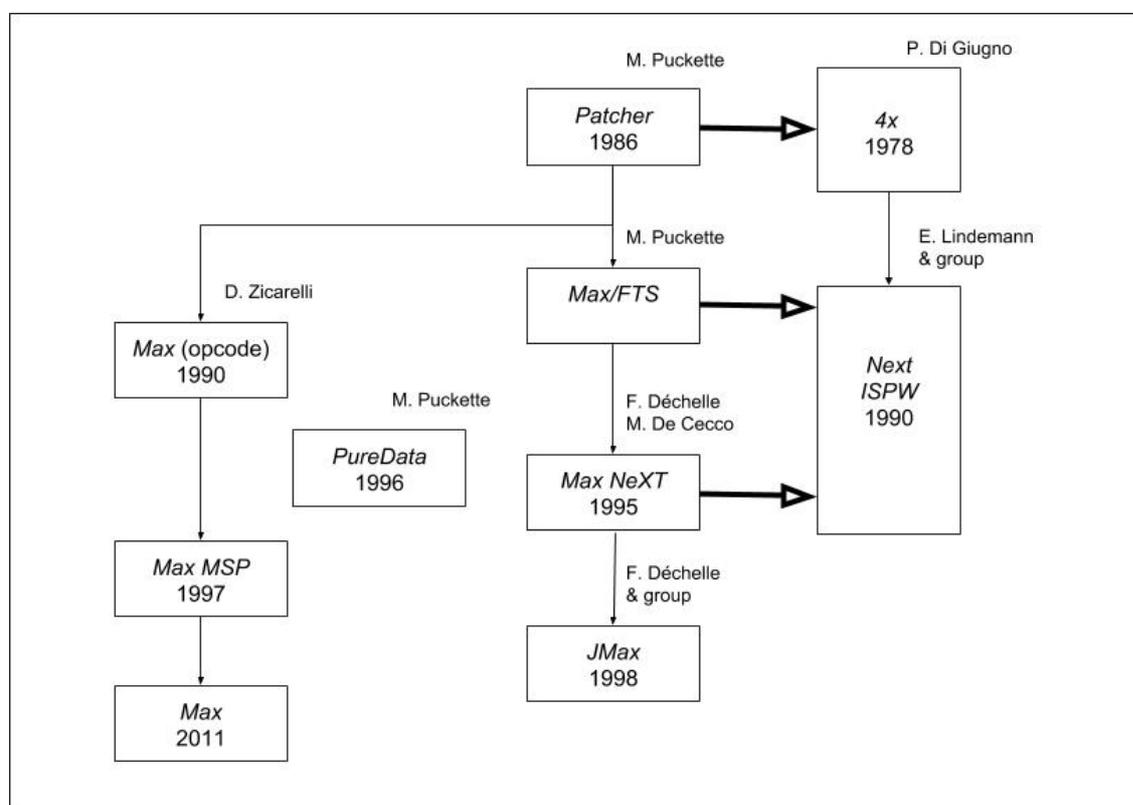


Figure 9 Arbre généalogique des logiciels Max et PureData³⁰⁴.

Ce long processus de développement logiciel (Figure 9) a eu des conséquences directes dans les pièces composées sous ce système. *Jupiter* et *Pluton* de Philippe

³⁰⁴ Schéma fondé sur base de <http://jmax.sourceforge.net/history.html> [lien vérifié 1 mars 2018].

Manoury, par exemple ont été soumis plusieurs fois à des portages de versions. Cela a transformé substantiellement les pièces elles-mêmes.

2.3.1. Dans *Jupiter* de Philippe Manoury

Jupiter (1987) a été l'une des premières pièces composées avec le logiciel Max, développée par Miller Puckette. De plus elle inaugure une nouvelle perspective de la composition électroacoustique grâce au puissant niveau interactif atteint par le système numérique. Dans cette pièce l'interaction entre l'instrument acoustique et électronique a atteint un niveau complexe sans précédents. Avant la composition de cette pièce, la collaboration entre le compositeur-chercheur Barry Vercoe et le flûtiste Lawrence Beaugard³⁰⁵ aboutit à un inventif système interactif. Il s'agit d'une flûte Midi, conçue comme un instrument étendu, avec quinze détecteurs sur les clés, couplés à un système logiciel suiveur de partitions : « L'association d'un suiveur de hauteur de la flûte avec un logiciel permettant le contrôle et la synthèse numérique en temps-réel par un flux d'événements provenant d'un instrument acoustique réel semble avoir été la principale inspiration de Manoury pour la composition de *Jupiter* »³⁰⁶. Dans *Jupiter*, ainsi que dans les autres pièces du compositeur, les interactions sont alors composées.

La même stratégie interactive se trouve dans *Pluton* (1988-89) pour piano et électronique temps-réel du même compositeur. Dans cette pièce, l'ordinateur détecte le piano de l'interprète via une interface MIDI. « Manoury explore l'idée d'utiliser l'interprétation de la partition par le pianiste pour contrôler divers paramètres des actions de l'ordinateur. Ces actions informatiques prennent la forme de la synthèse, du traitement des sons de piano et de la spatialisation »³⁰⁷.

³⁰⁵ La pièce est dédiée à la mémoire du flûtiste Lawrence M. Beaugard mort au cours du développement de la pièce.

³⁰⁶ Nous traduisons : “The combination of a flute pitch detector, with a piece of software allowing live electronic processing and synthesis to be controlled by an event stream from a live instrument, seems to have been Manoury's main inspiration in writing *Jupiter*”. PUCKETTE, Miller, et al, *PureData Repertory project: Philippe Manoury Jupiter*, 2003, via <http://msp.ucsd.edu/syllabi/206.15f/files/3/manoury-echo/doc/> [lien vérifié 1 mars 2018].

³⁰⁷ Nous traduisons : “The computer senses the performer's piano playing through a MIDI interface. This is used to synchronize the computer with the piano (using score following) and also as a source of additional control. Manoury explores the idea of using the pianist's interpretation of the score to control various

La méthode compositionnelle de Manoury reste fondée sur l'écriture instrumentale, comme il l'affirme dans la note de programme de *Jupiter* :

A partir de la partition instrumentale : j'ai conçu des programmes qui permettent de détecter des séquences rythmiques jouées par l'instrumentiste, qui sont mémorisées puis placées aux extrémités d'une séquence dont le rôle sera de transformer la première séquence rythmique en petites quantités jusqu'à ce qu'elle devienne identique à la seconde (interpolations). Cette partition de rythmes servira ensuite de support à une partition de synthèse expérimentant le même principe au niveau des échelles (compression et dilatation d'échelles par interpolations successives). Trois séquences d'interpolations serviront de centres autour desquels gravitera la forme de Jupiter³⁰⁸.

Les partitions synthétiques, appelées ainsi par le compositeur, agissent surtout par des scripts textuels, qui déclenchent temporellement des messages suivant un ordre d'événements. Cette méthode, toujours répandue, est obtenue avec un fichier texte *qlist*. L'électronique joue alors un rôle « d'accompagnateur synthétique » (selon le propre terme du compositeur). Le jeu instrumental déclenche, par le biais du suiveur de hauteurs, des messages attribuant des paramètres aux modules de synthèse pour la génération des « accords, des contrepoints, des arpèges autour de la mélodie de la flûte ». Les notes sont générées avec plusieurs méthodes numériques. Le patch de *Jupiter* contient vingt-quatre canaux voix de synthèse additive, plus vingt-huit canaux de synthèse additive avec des contrôles indépendants d'enveloppe spectrale. Manoury utilise également huit canaux de synthèse *paf* (*phase-aligned formant*) – une méthode de synthèse fondée sur la modulation d'un signal généré par *waveshaping pulse generator* avec deux signaux cosinus³⁰⁹. La *partition virtuelle* contient aussi des échantillons sonores de la flûte préenregistrée (également des échantillons obtenus via synthèse croisée), quatre voix *d'harmoniser*, un *frequency shifter*, un modulateur de bruit, un modulateur de phase (pour le traitement de la flûte), des *réverbérateurs* et *spatialisateurs*³¹⁰.

L'assemblage de ces modules suit une méthode fondée sur le *routing* via une matrice (Figure 10). À l'instar d'autres pièces du compositeur, dans *Jupiter*, les modules

parameters of the computer's actions. These computer actions take the form of synthesis, processing of the piano sounds, and spatialization". *Ibid.*

³⁰⁸ Manoury, dans la note de programme : <http://brahms.IRCAM.fr/works/work/10482/> [lien vérifié le 1^{er} mars 2018].

³⁰⁹ <http://msp.ucsd.edu/techniques/v0.11/book-html/node96.html> [lien vérifié le 1^{er} mars 2018].

³¹⁰ MAY, Andrew, *op. cit.*, 2006, p.140.

sont réunis dans une « grande centrale », où les messages déclenchés via *qlist* contrôlent le *routing* des signaux des traitements numériques cités ci-dessus. Grâce à cette méthode, l'arrangement des traitements numériques peuvent être à la fois en série et en parallèle. Cela peut générer un rendu sonore final complexe. Le *routing*, conçu par Manoury et Puckette, contribue considérablement à la composition morphologique singulière, ainsi qu'au contrôle précis global de la synthèse. L'assemblage en série, autrement dit, la liaison des différents signaux se succédant les uns aux autres (permettant ainsi des *bypass*), est un recours efficace pour éviter une excessive « écoute technique »³¹¹.

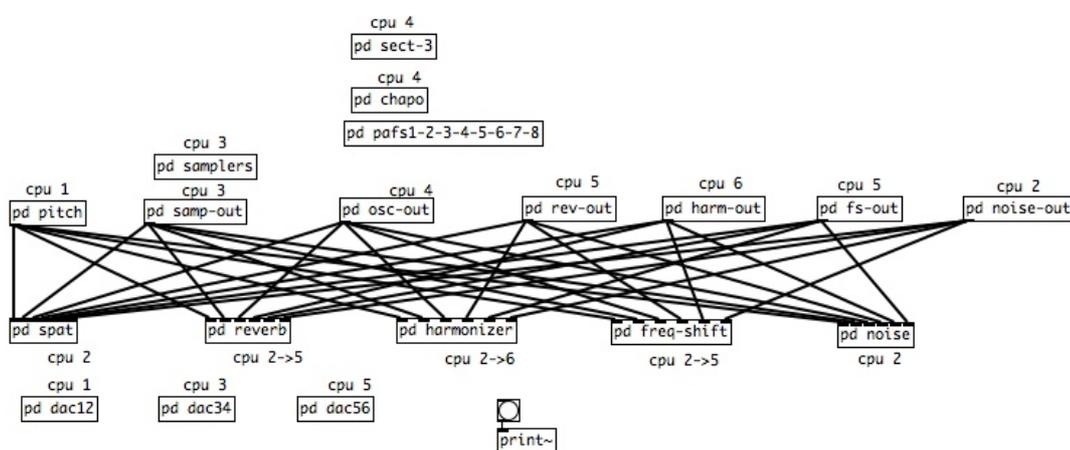


Figure 10 : Routing dans le patch PureData de Jupiter³¹².

Le parcours historique de la composition de *Jupiter*, ainsi que de toutes versions de cette pièce, se confond avec le développement des outils informatiques. Or, la pièce a évolué avec la dynamique technologique. Pour la première version, le système 4X avait besoin d'un temps précis pour le chargement de données. Manoury se sert ainsi d'une contrainte imposée par le médium pour organiser la macrostructure de la pièce. Dans la version de 1987, au moment où le système informatique chargeait les données, le compositeur avait prévu des passages solos de flûte. La structure de la pièce intercale ainsi des passages *solo* et *tutti*, renforçant le rôle orchestral de la partition virtuelle. Une

³¹¹ Voir CHION, Michel, *op. cit.*, 1982.

³¹² Le patch est disponible gratuitement à l'URL <http://msp.ucsd.edu/pdrp/latest/files/doc/> [lien vérifié le 1^{er} mars 2018].

fois la contrainte informatique surmontée, *l'accompagnement synthétique* a été ajouté aux passages solos. Dans cette musique, plus que jamais, le matériau technique n'est pas un objet neutre.

Malgré le fort potentiel morphologique, l'organisation compositionnelle de *Jupiter* reste assez traditionnelle. Les transformations et les opérations compositionnelles sont toujours fondées sur la tradition instrumentale. D'ailleurs, Manoury mentionne surtout les concepts de note, rythme et timbre dans ses textes³¹³. Cependant *Jupiter* a ouvert la voie à des interactions complexes en temps-réel qui génèrent des singularités morphologiques émergentes du système informatique. La *partition virtuelle* peut être alors vue comme un réseau, complexe et interactif, mettant ainsi en évidence le rôle compositionnel des outils informatiques : l'écriture numérique est aussi composée que la partie instrumentale.

³¹³ Surtout dans ses textes publiés dans le livre *La note et le son*, MANOURY, Philippe, *op. cit.*, 1998.

3. Vers une modélisation orientée objet-opératoire

Les trois modèles présentés ci-dessus montrent une partie importante du processus créatif musical de la deuxième moitié du XX^e siècle. Chacun à sa manière, ils reprennent et héritent des pressentiments autour du son organisé annoncés par Varèse. Les premières décennies de la période analysée avaient une tendance structuraliste qui a été fortement présente dans les recherches musicales. Toutefois, l'appel à la technologie, notamment les moyens numériques ont amené de plus en plus l'hégémonie du son lui-même. Cette constatation valide l'hypothèse varésienne de l'exploration du vocabulaire sonore. De plus, la quête technologique a été le grand atout de cette démarche. Or, c'est en grande partie grâce à l'informatique musicale que les dimensions internes du son ont été accessibles et manipulables. Le pluralisme des pratiques musicales dans cette pratique, constaté par les modèles analysés, a fait émerger des myriades de termes dont chaque courant revendique ses singularités. En effet, ce scénario confronte les chercheurs à une problématique étymologique. Certains termes, comme, *computer music*, *electronic music*, musique concrète, musique électroacoustique etc. sont soumis à des interprétations et réinterprétations culturelles et sémantiques. Par exemple, pour les anglophones le terme « électroacoustique » peut signifier « musique mixte ». Ce danger est encore plus problématique pour la « musique mixte », terme qui s'avère assez ambigu. Étant une expression issue de la langue française, sa traduction dégage des questions pertinentes pour sa pratique³¹⁴. En bref, le scénario met surtout en avant des stratégies de composition ayant le son comme matériau principal. Compte tenu de ce constat Leigh Landy propose l'expression *musique de son*³¹⁵ (*sound-based music*) : « le terme *sound-*

³¹⁴ TIFFON, Vincent, *Recherches sur les musiques mixtes*. Thèse de doctorat, Université de Provence, 1994. BITTENCOURT, Pedro, *Interprétation musicale participative : la médiation d'un saxophoniste dans l'articulation des compositions mixtes contemporaines*. Thèse de doctorat, Université Paris 8, 2015.

³¹⁵ Leigh Landy se réfère également à d'autres pratiques musicales, comme la musique populaire et les œuvres multimédias, qui ne seront pas exposées dans le cadre de cette recherche pour des raisons déjà mentionnées. Le terme *musique de son* a en effet une couverture plus large que celle abordée dans notre travail. LANDY, Leigh, *Understanding the Art of Sound Organization*, Cambridge, MIT Press, 2007, p.17.

based music désigne généralement l’art pour lequel le son, pas la note musicale, est l’unité de base »³¹⁶.

Cette définition soulève deux points essentiels pour la pratique de cette musique : D’abord, la suprématie du travail compositionnel sur le son (unité basique) en opposition au travail discret sur les paramètres traditionnels musicaux (Landy cite les notes, cependant cela s’applique également aux autres échelles musicales, comme les nuances et rythmes). Par conséquent et implicitement, la *musique de son* couvre l’organisation du son. Or, le son étant un matériau composable, d’innombrables questions se présentent, relativement à l’articulation, la manipulation et la génération proprement dite du son lui-même.

L’articulation à l’intérieur du son, en dessous de la notion de note, telle que proposée par Horacio Vaggione, relève des questions de temporalité multi-échelles pertinentes pour la *musique de son*. La composition du son lui-même implique un accès opératoire aux dimensions internes du sonore, comme des articulations microchirurgicales. Cette approche revendique la notion morphologique pluridimensionnelle déjà mentionnée :

J’ai le sentiment que la radicalisation de la dichotomie entre notes et sons ne peut ouvrir aucune nouvelle perspective pour nous. Au contraire, nous pouvons aller au-delà de cette vieille dualité en articulant les fonctionnalités particulières à chaque catégorie et en les faisant interagir. [...] Le développement détaillé des figures musicales au niveau macroscopique des notes tient désormais compte de la structure sonore qui se trouve en dessous de ce niveau, dans le domaine du micro-temps. Et, réciproquement, un travail sur la microstructure du son ne peut avoir un sens musical que s’il est réalisé avec le souci de le projeter dans des domaines de temps plus globaux³¹⁷.

Il en conclut :

Une fois sensible à l’approche multi-échelle de la composition, nous ne voyez plus la note comme une entité atomique - une brique élémentaire -, mais plutôt comme un objet stratifié contenant de nombreuses échelles temporelles interactives [...] ce qui est à composer n’est pas seulement une disposition d’entités atomiques de surface, mais c’est aussi le contexte multi-strate dans lequel sont placées les notes³¹⁸.

³¹⁶ Nous traduisons : “The term sound-based music typically designates the art from in which the sound, that is, not the musical note, is its basic unit”. *Ibid.*

³¹⁷ VAGGIONE, Horacio dans BUDON, Osvaldo, *op. cit.*, 2007, p.104.

³¹⁸ *Ibid.*, p.103.

Par rapport à la question de l'organisation structurale et la génération du son lui-même, Vaggione est opposé à la notion concrète d'« objet trouvé » qui présuppose l'action de le « rendre musical ». Or, les limites entre la structure et le matériau sont floues, le matériau étant déjà composable, par conséquent, le son est déjà musical :

Je considère que le son lui-même non pas comme déjà donné, mais comme devant être composé. Le son le plus infime a déjà une structure sur laquelle nous pouvons travailler, c'est-à-dire articuler, en projetant sur lui nos propres désirs musicaux. Par conséquent, je pense qu'il n'y a pas de différence de nature entre structure et matériau sonore³¹⁹.

Dans cette perspective, la composition du son lui-même est associée à la morphologie n-dimensionnelle : « La musique électroacoustique a provoqué un réel changement de paradigme en introduisant l'objet sonore et l'idée de multiplicité morphologique »³²⁰. Il ne s'agit pas d'une discrétisation du sonore. Au contraire, le son est représentable par un continuum dimensionnel, où toutes les représentations sont combinées. L'approche morphologique n'exclut pas les opérations paramétriques. Au contraire, les représentations dimensionnelles prévoient des données calculables qui leur sont propres. Le son est donc une entité pluridimensionnelle contenant un nombre indéfini de sous-ensembles. Cette définition nous dirige vers une approche systémique, selon laquelle un système se comporte comme un réseau interactif, où chaque ensemble est formé par des sous-ensembles. Dans cette perspective, un système comprend la notion de *frontière* (avec des limites plus ou moins perméables) ; *d'éléments* (qui peuvent être identifiés, dénombrés et classés) ; de *réseau de relation* (par lequel véhiculent des flux d'information) ; de *réservoirs* (dans lesquels sont stockés des fonctions)³²¹. Cette approche est sous entendue dans la composition orientée objet, proposée par Horacio Vaggione dans les années 1980. Concernant la syntaxe, sur l'organisation des sons proprement dite, Vaggione propose une conception musicale calquée sur les réseaux d'interaction des objets : « La création d'objet est à définir ainsi comme une technique de composition de relations syntaxiques entre des ensembles de symboles »³²². Les objets étant tous les matériaux numériques de la composition, « toutes ces catégories peuvent

³¹⁹ *Ibid.*

³²⁰ *Ibid.*

³²¹ DURAND, Daniel, *op. cit.*, 2013, p.13-14.

³²² VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 1998, p.187.

être imbriquées dans un objet, qui constitue un réseau d'objet de tous genres. Tout objet est donc un réseau, aussi bien que tout réseau est constitué d'objets »³²³. Une pièce comprise comme un réseau d'objets n'est donc pas loin du sens varésien de sons organisés. C'est l'interaction (organisation), sous plusieurs échelles temporelles, entre les objets (sons) dans cet ensemble qui atteste la cohérence musicale :

Le concept de composition avec des réseaux d'objets est surtout opératoire, son principal objectif étant de permettre le travail sur plusieurs échelles temporelles simultanées ; par conséquent, il relie des caractéristiques du micro-temps, qui ne sont pas toujours directement perceptibles, à une activité de "surface", où ces caractéristiques peuvent clairement montrer leur incidence sur les échelles temporelles plus grandes³²⁴.

Enfin, l'approche opératoire, telle que défendue par Vaggione, est contraire à la notion de *boîte noire*. L'approche informatique algorithmique chez lui « s'oppose aux processus purement calculatoires ("automatiques"), car, justement, ces derniers ne développent pas de catégories opératoires [...] dans une "musique de Turing" on met quelques données et l'on obtient un résultat, mais sans avoir la moindre interaction dans le chemin entre l'entrée et la sortie »³²⁵. D'ailleurs, ce constat a été également préconisé par Varèse.

La composition orientée objet n'est pas un sujet complètement récent. Cette approche a été développée dans les années 1980 et publiée à partir des années 1990 puis s'est relativement répandue dans la communauté. La tendance structuraliste vers la composition de notes semble être moins prédominante. Le rêve de l'automatisme musical semble avoir perdu sa force, il est donc presque sans importance, ou même « daté », de plaider en faveur de l'opératoire musical. Toutefois, le rapport du matériau composable, proposé par Vaggione, reste toujours pertinent. Des années 1980 à nos jours les systèmes technologiques, ainsi que le contexte musical ont changé. Depuis cette époque, des myriades de procédures numériques ont émergé ; avec ce développement, l'intérêt pour l'appropriation technologique du composable a également suscité des questions composables. L'articulation des singularités selon une approche multi-échelle dans le

³²³ *Ibid.*

³²⁴ VAGGIONE, Horacio dans BUDON, Osvaldo, *op. cit.*, 2007, p.107.

³²⁵ VAGGIONE, Horacio dans, *op. cit.*, 2003, p.229-230.

cadre du temps-réel s'avère aussi séduisante que problématique. La composition orientée objet dans un cadre multi-logiciel et pluri-temporelle a soulevé des questions intrinsèques à la composition, par exemple l'articulation dans l'espace, ainsi que des fonctions de contrôle orientées objet. Il ne s'agit cependant pas de proclamer l'approche opératoire comme un modèle commun de la *musique de son*, mais plutôt le plus approprié à notre pratique. Cela n'a pas été décidé *à priori*, mais constaté au cours de notre activité musicale.

3.1. Pour la composition

L'avènement du temps-réel a soulevé des questions importantes pour la *musique de son*. Comme l'affirme Risset, le temps-réel a beaucoup à offrir : « la performance, la variété, l'adaptation instantanée, le renouvellement, et même le défi du risque dans la performance »³²⁶. Considéré souvent comme une conquête technologique musicale irréfutable – or, le désir boulézien de la prolongation de l'écriture instrumentale par les technologies numériques avec le temps-réel a atteint un niveau opératoire unique - le potentiel musical du temps-réel a été mis en cause dès ses premiers résultats³²⁷. Jean-Claude Risset rédige en 1999 l'article *Composing real time* dans lequel il souligne les dangers du temps-réel : « L'utilisation musicale des traitements temps-réel devrait, de mon point de vue, être soigneusement réfléchie. Dans notre époque prédomine un désir de satisfaction immédiate. L'impatience favorise une réaction hâtive, aveugle et réflexive plutôt qu'une action documentée et réfléchie. »³²⁸. Cet article a été publié à une époque où le temps-réel était en pleine explosion, surtout dans les institutions comme l'IRCAM. Néanmoins, presque vingt ans après la parution de cet article, il est utile de revoir ses remarques d'un point de vue opératoire.

³²⁶ Nous traduisons : “The musical use of real-time processes should in my view be carefully pondered. Our epoch is too keen on immediate satisfaction. Impatience favors hasty, blind or reflex reaction rather than documented and thoughtful action”. RISSET, Jean-Claude, « Composing in Real-time », *Contemporary Music Review*, vol.18(3), 1999, p.36.

³²⁷ STROPPIA, Marco, « Live electronics or ... live music? Towards a critique of interaction », *Contemporary Music Review*, Vol. 18(3), 1999, p.41.

³²⁸ RISSET, Jean-Claude, *op.cit.*, 1999, p.36.

*Le temps-réel n'est pas la solution au difficile problème du mastering*³²⁹

Cela relève surtout d'un problème de temporalité. Il faut du temps pour tester le « mixage ». Cela s'avère un défi dans les cas de pièces mixtes. Or, l'instrumentiste n'est pas toujours présent lors des répétitions et les systèmes d'émulation de l'instrument (soit par des instruments virtuels, soit par des échantillons préenregistrés) ne sont pas toujours fiables. En revanche, pour les pièces acousmatiques (sans instrumentistes) temps-réel, la temporalité s'avère également un problème. Il est impossible de contrôler toutes les dimensions composables de la morphologie en temps-réel. Le compositeur doit alors « automatiser » certains comportements de certains paramètres dans un processus préalable. Ce qui confirme le constat ci-dessus qu'il faut concilier dans une même approche un contrôle « composé » préalablement avec le traitement temps-réel. Le problème du *mastering* dans *la musique de sons* dépasse donc le cadre de la temporalité compositionnelle. Car, pour une pièce composée en temps-réel ou en temps différé, cette problématique est toujours présente.

*Les systèmes temps-réel sont éphémères en raison de l'évolution rapide de la technologie*³³⁰.

Certes, il s'agit d'un problème assez connu de la musique temps-réel³³¹, cependant Risset voit le côté négatif de ce constat. L'évolution technologique peut en revanche mettre en évidence le caractère dynamique du musical ; pour cela, le compositeur doit engager certaines procédures pour être le moins possible dans l'éphémère. De plus, la pérennité des œuvres faisant appel à l'informatique est dépendante d'un grand effort musicologique (et aussi institutionnel, dans le cas des pièces composées dans les institutions comme l'IRCAM) pour le portage de versions des œuvres. Certains compositeurs comme Michael Jarrell trouvent que le portage de version « s'éloignait trop de l'original » (en raison de la migration de l'environnement informatique), alors que d'autres, comme Philippe Manoury, considèrent que les nouveautés technologiques

³²⁹ Nous traduisons : “Real-time is not the solution to the difficult problem of mastering”.

³³⁰ Nous traduisons : “Real-time are ephemeral because of the fast evolution of technology”.

³³¹ nous y reviendrons en détail dans le prochain chapitre. Voir *infra* 5 Analyser pour composer : vers la modélisation orientée objet-opératoire.

permettent « d’atteindre un résultat trop proche de l’ancienne version »³³². De plus, comme déjà mentionné ci-dessus³³³, les pièces, comme *Jupiter*, ont accompagné l’évolution de la technologie. Cela confirme le côté positif de l’évolution rapide de la technologie. Les plusieurs versions de *...explosante-fixe...* (1991-1993) de Pierre Boulez, couvrant plus de deux décennies, est un exemple réussi de ce scénario.

*La musique « pour bande » doit aussi être « interprétée » – mais elle n'est pas morte*³³⁴

Cela revient à une problématique abordée dans la deuxième partie de notre travail, concernant surtout l’analyse pour l’interprétation. Au-delà de la remarque de Risset, le temps-réel offre des possibilités interprétatives au répertoire électroacoustique « sur support » qui seront abordées plus loin en détail³³⁵.

*Les systèmes de synthèse en temps-réel offrent des possibilités moins flexibles que la synthèse logicielle [en temps différé]*³³⁶.

Risset ajoute : « plutôt qu’un choix complet à la carte, ils tendent à offrir quelques menus pour contrôler des paramètres sonores spécifiques à travers certains gestes [...] il est généralement impossible de spécifier en temps-réel tous les détails sur le son »³³⁷.

Cette remarque rejoint la même problématique que le point suivant.

*Tout système numérique ne peut atteindre qu’un niveau limité de complexité sonore en temps-réel*³³⁸.

³³² BONARDI, Alain, « Rejouer une œuvre avec l’électronique temps réel : enjeux informatiques et musicologiques ». *Genèses musicales*, Presses de l’Université Paris-Sorbonne, 2015, p.7.

³³³ Voir *supra* Dans *Jupiter* de Philippe Manoury p.107 chapitre. 2.3.1.

³³⁴ Nous traduisons : “Music “for tape” needs to be “performed” - but it is not dead.”

³³⁵ Voir *infra* 6 Modélisation orientée objet-opérateur pour l’interprétation musicale.

³³⁶ Nous traduisons : “The musical use of real-time processes should in my view be carefully pondered. Our epoch is too keen on immediate satisfaction. Impatience favors hasty, blind or reflex reaction rather than documented and thoughtful action.”.

³³⁷ Nous traduisons : “Real-time synthesis system provide less flexible possibilities than software synthesis”. *Ibid.*

³³⁸ Nous traduisons : “Any digital system can only attain a limited level of sound complexity in real-time”.

Nous ajoutons que le compositeur ne dispose pas, en temps-réel, de toute la liberté pour choisir le niveau de complexité qu'il veut atteindre. Cette pratique nécessite alors un système défini préalablement. Selon une perspective opératoire, il n'existe pas de processus complètement temps-réel. Or, étant donné que le code informatique a les mêmes propriétés qu'un objet sonore, il est également composable. Les algorithmes de contrôle définis préalablement sont alors aussi composés. Il faut considérer que pour une pièce temps-réel, le réseau numérique est rarement contrôlé en temps-réel dans sa totalité. Une démarche qui concilie des spécifications préalables avec le traitement du signal temps-réel est l'approche la plus courante. Risset avait comme référence, étant donné l'époque à laquelle cet article a été rédigé, les œuvres composées dans les années 1980 et au début de 1990. Pour ce répertoire, il est vrai que les moyens techniques étaient limités. Dans *Répons*, par exemple, le système 4X disposait d'un ensemble de *boîtes à outils* préprogrammés. Dans *Diadèmes* (1986) de Marc-André Dalbavie, le compositeur disposait des deux synthétiseurs Yamaha TX816 à modulation de fréquence et quatre boîtiers d'effets : deux Yamaha SPX1000 et deux Yamaha REV5 ³³⁹. Toutefois, l'avancement des programmes temps-réel modulaires comme Max et PureData ³⁴⁰ ont permis un usage flexible et dynamique. Plus récemment, des langages comme FAUST ³⁴¹, permettent un usage multi-langage, ouvrant une flexibilité quasiment illimitée. Sur l'usage des langages informatiques musicaux, Vaggione souligne cette propriété opératoire du matériau numérique :

Quant aux langages informatiques musicaux, ils ne sont pas dénués de flexibilité [par rapport à la notation musicale instrumentale], de degrés de liberté, ce qui confère à ces langages leur caractère musicalement opératoire. Ces langages informatiques permettent au compositeur d'interagir avec un système syntaxiquement rigoureux, mais qui n'est pour autant fermé à des actions musicales concrètes (autrement, ils seraient des « mauvais » langages informatiques, desquels il conviendrait de se détourner le plus vite possible) ³⁴².

Le temps-réel peut, en revanche, mettre en valeur le caractère émergent du musical. Comme l'affirme Vaggione : « l'œuvre musicale se constitue comme 'une

³³⁹ LEMOUTON, Serge, WEISSENBRUNNER, Karin, BONARDI, Alain, « A la recherche de *Diadèmes*, de Marc-André Dalbavie », in *Musimédiane*, numéro 6, 2001.

³⁴⁰ Voir *supra* Le modèle de l'électronique temps-réel selon Puckette et Manoury chapitre.2.3.

³⁴¹ <http://faust.grame.fr/> [lien vérifié le 1^{er} mars 2018].

³⁴² VAGGIONE, Horacio. « Représentations musicales numériques ». In : A. SOULEZ, H. VAGGIONE (éd.) *Manières de faire des sons*, Paris, L'Harmattan, 2010, p.54.

émergence' (une singularité), et non pas comme une simple globalité »³⁴³. La technologie informatique permet de fusionner les activités de composition et d'interprétation par une approche en boucle feedback action/perception. Or, le compositeur, (et l'instrumentiste dans le cas des pièces mixtes) ayant un retour sonore instantané, peut effectuer certains changements au cours du résultat sonore. Même la macrostructure, étant aussi émergente, se distingue des opérations selon des critères perceptifs fondés sur la boucle action/perception :

La forme globale est à considérer également comme un avatar d'un champ d'objet : un ensemble de morphologies - des singularités est déterminé - tant formellement que perceptuellement - et ouvre la voie à l'émergence, par agglutinations successives, d'une macro-enveloppe qui est à la fois le contenu et le contenant de toutes les singularités créées à tous les niveaux temporels plus restreints³⁴⁴.

Sur cette perspective il est donc nécessaire de revoir les systèmes de contrôle pour proposer une alternative à la logique linéaire du script temporel. Même s'il est aussi possible de concevoir un état dynamique – car les messages envoyés par le script peuvent contenir des paramètres globaux d'un système dynamique – cette logique privilégie une logique causale, car la liste de paramètres renvoie directement à un état donné prévisible. Le développement d'un système de contrôle orienté objet en temps-réel s'avère nécessaire.

Dans le cadre d'une musique mixte, l'ajout d'un agent dans le réseau composable renforce également le caractère émergent du musical. Il s'agit d'une perspective vers la « rencontre du 3^e type ». Toutefois, l'approche orientée objet, présentée dans ce travail, ne concerne pas exclusivement la composition de pièces mixtes. La problématique intrinsèque dégagée de l'approche opératoire concernant le matériau et la composition par des réseaux opératoires est liée au son lui-même. Par conséquent, il ne s'agit pas d'une application restreinte à un genre unique. Comme le signale Vaggione lui-même :

La musique électroacoustique a provoqué un réel changement de paradigme en introduisant l'objet sonore et l'idée de multiplicité morphologique. Ce changement a contaminé non seulement la musique générée électroniquement, mais aussi la musique jouée avec des instruments acoustiques ainsi que la musique combinant instruments acoustiques et extensions électroacoustiques³⁴⁵.

³⁴³ *Ibid.*, p.56.

³⁴⁴ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 1998, p.194-195.

³⁴⁵ VAGGIONE, Horacio dans BUDON, Osvaldo, *op. cit.*, 2007, p.103.

Les remarques de Risset ne montrent pas un point de vue négatif sur la pratique numérique temps-réel du XX^e siècle, au contraire, elles révèlent des problématiques concernant le *faire musical numérique* dans ces multiples formes : composition, analyse et interprétation. Cela revient directement à notre activité polyvalente qui trouve dans le contexte actuel un terrain fertile pour l'articulation de notre pratique musicale informatique fondée sur les réseaux d'objets.

Il ne s'agit pas de militer en faveur du temps-réel, mais plutôt de proposer une approche transversale pour tirer le bénéfice de chaque méthode en les faisant coexister. Comme l'affirme Risset, même les systèmes temps-réel peuvent être utilisés hors temps : « Certains systèmes en temps réel peuvent également fonctionner en temps différé, fournissant des ressources puissantes avec la possibilité de registrer le résultat accompli »³⁴⁶.

3.2. Pour l'analyse

La *musique de son* dégage plusieurs problèmes d'ordre analytique. Tout d'abord, les musiques « sur support » n'offrent pas une représentation équivalente à la partition traditionnelle. Cela a été la première problématique à laquelle s'est confronté le courant analytique issu de la musique concrète³⁴⁷. L'appropriation « d'outils analytiques » traditionnels, comme l'analyse formaliste, très répandue pour la musique tonale, est très peu adéquate à la *musique de son*. Or, étant donné que la structure et le matériau n'ont pas de différence de nature (en paraphrasant Vaggione), l'analyse de cette musique ne peut pas se réduire uniquement à une étude macroscopique.

La musique faisant appel à l'informatique musicale offre un avantage représentatif à cet égard : les codes informatiques peuvent contenir des informations structurelles de l'intérieur du son. Cela a été la clé pour la proposition d'une nouvelle, et toujours récente, perspective analytique génétique dont l'objectif est l'étude du processus

³⁴⁶ RISSSET, Jean-Claude, *op.cit.*, 1999, p.36.

³⁴⁷ Voir DELALANDE, François, et *al.*, *op. cit.*, 2013.

compositionnel à partir du recours objectif aux données informatiques³⁴⁸. Cette approche a été longuement abordée pour la préservation de ce répertoire. L'étude sur des codes originaux d'une œuvre permet le portage de versions à travers le recodage, intégral ou partiel, d'une pièce³⁴⁹.

Du point de vue opératoire, cette perspective analytique a un grand potentiel de recherche. Le code étant aussi composable, les données informatiques détiennent les matériaux compositionnels de la pièce. Néanmoins, la notion d'émergence pose un problème analytique fondamental : selon Vaggione, la forme d'une pièce – sur plusieurs échelles temporelles – est émergente, elle n'est donc pas réductible à ses parties. Une analyse, sur ce point de vue, ne sera donc jamais exhaustive.

De plus, la pertinence de l'analyse dépend fortement de l'objectif appropriatif que se fixe l'analyste. Comme mentionné par Emerson et Landy, l'une des questions essentielles pour cette pratique est de poser à « quels utilisateurs et avec quelles intentions »³⁵⁰ sert l'analyse. Comme mentionné ci-dessus, la pérennité du répertoire est l'une des intentions le plus répandues et acceptées pour la communauté musicologique. Cependant, traditionnellement, l'analyste est aussi un compositeur³⁵¹. Cette intentionnalité de l'analyse créative, est donc naturellement acceptée sans pour autant analyser ses dangers potentiels. Or, la notion d'émergence pose aussi une question de représentation analytique. Chaque pièce étant une singularité, une structure émergente, ses « règles » lui sont propres. De ce point de vue, l'analyse et la composition opèrent sur des représentations et dimensions distantes. Il est donc nécessaire de réévaluer le statut de l'analyse dans un cadre créatif.

³⁴⁸ ZATTRA, Laura, « Analysis and Analyses in Electroacoustic music », in *Proceedings SMC 05 (Sound and Music Computing)*, 2005.

³⁴⁹ Par exemple, dans : BATTIER, Marc, « A Constructivist approach to the analysis of electronic music and audio art – between instruments and faktura », *Organised Sound*, Volume 8, Issue 3, 2003.

BONARDI, Alain, *op. cit.*, 2015, et BAUDOUIN, Olivier, « La faktura, “outil conceptuel d'analyse” - Illustration avec Stria, de John Chowning », in *Journées d'informatique musicale*, Grenoble, ACROE, 2009.

³⁵⁰ EMMERSON, Simon, LANDY, Leigh, *Expanding the Horizon of Electroacoustic Music Analysis*, Cambridge University Press, 2016, p.11.

³⁵¹ Comme constaté par CHOUVEL, Jean-Marc, « Polyphonie/polysémie. Comment aborder la multidimensionnalité du temps musical ? », in J.-M. Chouvel, F. Lévy (éd.) *Peut-on parler d'art avec les outils de la science ?*, Paris, L'Harmattan/Ircam, 2002, et cité par COUPRIE, Pierre, *L'analyse musicale et la représentation analytique de la musique acousmatique, outils, méthodes, technologies*. Habilitation à diriger des recherches. l'Université Paris-Sorbonne, 2015.

Les rapports entre l'analyse et la composition constituent un sujet important pour nous, car nous menons une activité musicale polyvalente qui englobe l'étude musicologique (notamment l'analyse), l'enseignement, l'interprétation des œuvres du répertoire musical numérique et la composition musicale elle-même. En effet, c'est le concert, le moment du *faire musical numérique*, qui est le pilier fondamental de notre travail. Le concert se présente donc comme le terrain fertile de notre démarche et l'analyse comme le fil conducteur de nos activités. Pour comprendre la *musique de son*, plusieurs concepts compositionnels – comme l'écoute réduite, et la spectromorphologie – ont été utilisés dans le cadre analytique. Nous proposons donc l'application d'une approche opératoire, fondée sur la composition orientée objet, à notre activité musicale.

Dans la première partie de ce travail, ce sont les trois modèles d'organisation compositionnelle qui nous ont permis d'établir notre hypothèse. Nous avons fait référence à plusieurs analyses réalisées de ce répertoire qui nous ont permis de positionner notre propre recherche. De plus, notre toute première idée mise en réflexion (concernant la problématique de la mixité dans *Déserts* d'Edgar Varèse³⁵²) est issue d'une ébauche analytique. L'analyse est donc naturellement présente dans notre pratique. Notre travail part donc d'une approche analytique corrélée à la pensée d'Arnold Schoenberg :

Seule une connaissance approfondie des différents styles permet de prendre conscience de ce qui sépare le tien du mien. Et par suite on ne peut comprendre réellement le style de son époque que si l'on a démontré ce par quoi on se distingue des styles qui l'ont précédée [...] Le modernisme, dans le meilleur sens du terme, couvre une évolution dans les pensées et dans la façon de les exprimer. Ceci ne s'enseigne pas et n'a pas à être enseigné, mais peut venir naturellement à l'esprit de celui qui ne brûle pas les étapes et qui assimile progressivement les produits culturels de ses prédécesseurs³⁵³.

³⁵² Voir *supra* 1.1.2. De l'échec de Varèse vers les opérations sur la morphologie.

³⁵³ SCHOENBERG, Arnold, *op. cit.*, 2011, p.288-289.

II. L'analyse et la composition musicale orientée objet-opératoire

Nous rappelons d'emblée que l'approche orientée objet-opératoire est ainsi nommée par nous pour bien préciser la démarche spécifique du compositeur-chercheur Horacio Vaggione. Nous soulignons qu'il s'agit de notre initiative, car Vaggione lui-même ne l'a jamais mentionnée ainsi dans ses textes. Nous le jugeons nécessaire pour la différencier des approches orientées objet qui ne partagent pas les mêmes principes que celle qui fait l'objet de cette étude. En fait, depuis les années 1980, une grande vague de théories orientées objet ont vu le jour dans le domaine de l'analyse, aussi bien que dans celui de la composition musicale. La composition orientée objet de Nicolas Bernier, par exemple, s'appuie sur la théorie de Pierre Schaeffer pour le développement d'une nouvelle lutherie en conciliant la musique de sons fixés et la musique électroacoustique³⁵⁴. L'approche analytique orientée objet de Didier Guigue, quant à elle, vise à étudier la dynamique formelle de l'articulation d'objets sonores, ainsi que la relation entre les différents niveaux d'organisation du matériau d'une partition traditionnelle³⁵⁵. Cet auteur se réfère au paradigme orienté objet en empruntant la terminologie informatique de l'outil analytique PatchWork qu'il utilise. La programmation orientée objet (également nommée selon son acronyme POO), inventée dans les années 1960, tourne, contrairement à la programmation procédurale, autour du concept de l'objet, c'est-à-dire une unité associant une structure de données à un ensemble de traitements. La programmation est alors articulée par les relations entre les objets. La manière dont l'ensemble s'organise, ainsi que ses relations internes, définissent donc le comportement du programme.

La notion d'objet est très employée dans différents domaines scientifiques. En fait, il s'agit d'un terme polysémique, utilisé notamment en philosophie, notamment en

³⁵⁴ BERNIER, Nicolas, « Composition orientée objet », *Circuit*, 23(1), 2013, p.33–44.

³⁵⁵ GUIGUE, Didier, « Un environnement informatique pour une approche analytique orientée objets de la musique du xx^e siècle ». In : *3èmes journées d'informatique musicale. JIM96*, 16-18 mai, île de Tatihou, Basse Normandie, France, 1996.

épistémologie depuis des siècles. Au XX^e siècle, ce terme a gagné de nouvelles définitions, notamment dans les sciences cognitives. Dans ce domaine, par exemple, ce concept est lié à la dualité sujet/objet déjà présente dans les théories dès la philosophie grecque classique. Le livre *Le Système des objets* (1968) de Jean Baudrillard part d'une description d'un monde d'objets afin d'analyser la nature de l'objet elle-même. Dans cette analyse, les objets sont dépourvus de ces significations, ce qui permet l'élaboration de l'étude des rapports existant entre la société capitaliste de consommation et de cet ensemble³⁵⁶. Cette théorie repose sur une conception implicite de matière intrinsèque à l'objet, ainsi que l'idée de contexte dans lequel les objets sont placés.

Un objet, dans le sens informatique de la POO, contient des méthodes, c'est-à-dire des procédures et des fonctions qui traitent des données. Une fonction, dans le sens informatique, consiste en une partie de code encapsulée qui retourne une information suite à une opération³⁵⁷. Dans l'exemple ci-dessous, en langage informatique JavaScript, la fonction *addition*, créée par le programmeur lui-même, possède deux entrées *a* et *b*. Le résultat est la somme des valeurs *a* et *b*, réalisée grâce à l'opérateur « + ». Les membres d'un objet sont donc les méthodes et les propriétés (attributs).

```
fonction addition (int a, int b)
{
    return a + b;
}
```

La notion d'objet est liée à de celle de classe, car en programmation informatique un objet est compris comme une instance d'une classe. C'est-à-dire, lorsqu'un objet est créé, les informations contenues dans la classe sont incorporées dans l'objet. Dans l'exemple ci-dessous, en JavaScript, l'objet *somme* est créé avec l'opérateur *new* en instanciant la classe *math*. Ensuite, la fonction *addition*, membre de cette classe, est appelée.

³⁵⁶ BAUDRILLARD, Jean, *Le Système des objets*, Paris, Gallimard, 1968.

³⁵⁷ Les exemples ci-dessous ont comme objectif une explication par une démonstration simpliste du complexe paradigme orienté objet. Pour en savoir plus voir STROUSTRUP, Bjarne. *op. cit.*, 2013.

```
var somme = new math ;  
math.addition(1 ,2) ;
```

La classe *math* contient une série de fonctions, comme *addition*, *soustraction*, *multiplication* et *division*. Ces fonctions sont accessibles via l'objet. Dans un programme, plusieurs classes et objets sont utilisées.

```
class math  
{  
  addition(a,b) ;  
  soustraction(a,b) ;  
  multiplication(a,b) ;  
  division(a,b) ;  
}
```

Le grand atout de ce paradigme est la possibilité de générer des sous-classes ou classes dérivées. Cela se produit grâce à l'une des propriétés les plus importantes de la POO : l'héritage qui permet à une classe l'appropriation des fonctionnalités d'une classe mère. Dans l'exemple ci-dessous, en C++, la classe *complexe*, hérite des méthodes de la classe *basic*. La classe *complexe* dispose alors de toutes les fonctions et attributs de *basic*. De plus, deux nouvelles méthodes *reelle* et *imaginaire* sont ajoutées à la classe fille.

```

class basic
{
public :
addition(a,b) ;
soustraction(a,b) ;
multiplication(a,b) ;
division(a,b) ;

private :
}

class complexe : public basic
{
    public:
    reelle();
    imaginaire();
}

```

Le polymorphisme est une autre propriété puissante de la POO. Dans l'exemple ci-dessous, les classes *voiture* et *maison* ont toutes les deux la même méthode *cequoi*, cependant les résultats sont différents. Lorsque la méthode *cequoi* de *voiture* est appelée, il s'affichera « Ceci est une voiture », alors que si la même méthode *maison* est appelée pour une *maison*, on obtient le message « Ceci est une maison ». Le polymorphisme permet alors qu'une même méthode puisse générer deux résultats différents selon le contexte d'utilisation.

```

class voiture
{
public :
cequoi()
{
cout << "Ceci est une voiture." << endl;
}
}

class maison
{
public :
cequoi()
{
cout << "Ceci est une maison." << endl;
}
}

```

Ces propriétés du paradigme orienté objet sont présentes dans plusieurs langages comme C++, Java, C# etc. Ce qui fait que ces langages ont un énorme potentiel opérationnel. Contrairement aux langages procéduraux classiques, dans lesquels les commandes se suivent d'une ligne à l'autre, la POO permet une logique sous forme d'arbre : des branches et sous-branches forment ainsi un ensemble. L'un des avantages de ce paradigme est la possibilité d'utiliser les mêmes classes et sous-classes dans différents programmes ; cela facilite la programmation et rend le code plus lisible.

Dans le domaine de l'informatique musicale plusieurs approches orientées objet ont été réalisées dans les dernières décennies. Le programme de synthèse sonore numérique SuperCollider, développé dès 1996 par James McCartney, possède une syntaxe proche de celle des structures en C. Des modèles de représentation musicale ont été également développés, comme l'environnement de composition, performance et

analyse MODE/SMOKE en SmallTalk. Les logiciels PatchWork, OpenMusic et ses prédécesseurs, comme FORMES, suivent également une logique orientée objet. La bibliothèque de traitement temps-réel Odot, pour Max, développée au CNMAT, est un exemple d'environnement orienté objet destiné au contrôle interactif temps-réel.

Tout ce contexte informatique, qui émerge dès les années 1980, a nourri la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione³⁵⁸. En fait, il est « l'un des premiers compositeurs ayant complètement intégré l'informatique dans son projet compositionnel »³⁵⁹ ; de plus, chez Vaggione l'ordinateur n'est pas un simple outil compositionnel ni un support conceptuel. L'informatique est au cœur de son activité en tant que compositeur-chercheur : « le rôle qu'il prête à l'ordinateur n'est pas ancillaire, non plus qu'idéologique – ni simple outil, ni substitut de pensée, l'ordinateur est pour lui un atelier matériel autant qu'intellectuel, un partenaire favorisant l'émergence de situations musicales irréductibles au travers d'interactions élaborées »³⁶⁰. Du point de vue pratique, Vaggione a trouvé dans la technologie numérique la capacité de mémoriser les matériaux ainsi que les actions musicales par le biais d'algorithmes, selon lui cela était impossible avec la technologie analogique : « Les manipulations analogiques étaient assez imprécises et, plus important, impossibles à sauvegarder sous forme de codes afin de les reproduire et de les affiner. Ce que nous obtenions était seulement le résultat d'une opération et non la définition de l'opération elle-même en tant qu'entité symbolique »³⁶¹. De plus, l'ordinateur a été pour Vaggione l'outil compositionnel idéal grâce à sa « capacité de travailler avec des symboles discrets au niveau de la matière sonore et, en conséquence, de littéralement "écrire" des sons : cela permet de relier ce niveau à n'importe quel autre, appartenant à l'importe quelle échelle temporelle »³⁶². En bref, selon

³⁵⁸ En fait, Vaggione a travaillé avec les pionniers de l'informatique musicale dans les années 1960. Le compositeur-chercheur a eu un contact direct avec Lejaren Hiller, à Université de l'Illinois et ses travaux de composition assistée par ordinateur.

³⁵⁹ RISSET, Jean-Claude, « Horacio Vaggione : vers une syntaxe du sonore ». In : *Espaces composables. Essais sur la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione*, Paris, L'Harmattan, 2007, p.5.

³⁶⁰ *Ibid.*

³⁶¹ VAGGIONE, Horacio dans BUDON, Osvaldo, « Composer avec des objets, réseaux et échelles temporelles : Une interview avec Horacio Vaggione », in *Espaces composables : essais sur la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione*, Paris, L'Harmattan, 2007, p.102.

³⁶² *Ibid.*

Vaggione, l'informatique a apporté alors « un saut qualitatif, permettant à toute manipulation compositionnelle de devenir transparente et reproductible »³⁶³.

Dans cette deuxième partie de notre thèse de doctorat, nous allons, dans un premier temps, étudier l'approche orientée objet proposée par Horacio Vaggione. Ce compositeur se réfère exclusivement à la composition musicale. Cette lecture nous conduira au développement de notre propre interprétation de l'approche orientée objet-opératoire. Notre approche se divisera essentiellement en deux axes, la composition et l'analyse.

³⁶³ *Ibid.*

4. Composition orientée objet-opératoire

Par rapport à l'approche orientée objet selon Horacio Vaggione, lorsqu'il a été questionné par Osvaldo Budón – lors de l'entrevue dans la perspective de l'article *Composer avec des objets, réseaux et échelles temporelles : une interview avec Horacio Vaggione* – sur la différence entre son approche orientée objet et les autres approches algorithmiques, Vaggione répond :

En plus de ce que j'ai dit sur la manière de travailler avec des échelles temporelles différentes, appréhender des environnements de composition comme des réseaux d'objets présente un autre avantage, qui découle du fait que l'aspect purement fonctionnel et « déclaratif » des algorithmes (tout algorithme consiste en une série de fonctions véhiculant des instructions conditionnelles) est contrebalancé par une relation procédurale qui favorise ce qui est prospectif – en d'autres mots, des lignes parallèles et des détours entourant les possibilités qui se sont ouvertes grâce à un micro-monde qui a été défini par le compositeur. Il me semble que là se trouve le cœur du processus qui, seul, permet de dépasser la notion primitive de "composition automatique", puisque l'action du musicien ne se limite plus à la formulation de processus linéaires dont les implications doivent être pensées à l'avance³⁶⁴.

Dans la citation ci-dessus, l'approche orientée objet est comprise comme la composition de réseaux d'objets dans une perspective opératoire à multiples échelles. En fait, dans l'article fondateur de cette démarche³⁶⁵, lorsque le compositeur-chercheur définit sa notion d'objet, y compris les propriétés de l'objet informatique ci-dessus, il envisage dans sa démarche des réseaux d'objets. L'intérêt sous-entendu dans cette approche est lié directement au caractère opératoire de sa théorie. Or, il la considère comme une opposition aux approches « algorithmique automatiques », le réseau est donc composé par le biais d'algorithmes selon une approche interactive. L'interaction, quant à elle, mérite également une attention spéciale dans le contexte théorique musical de ce compositeur-chercheur. Dans un premier temps, cette idée est liée à l'interaction homme-

³⁶⁴ VAGGIONE, Horacio dans BUDON, Osvaldo, *op. cit.*, 2007, p.107.

³⁶⁵ VAGGIONE, Horacio, « Objets, Représentations, Opérations ». *Ars Sonora* n°2, 1995, p.33–51. <http://www.ars-sonora.org/html/numeros/numero02/02e.htm> [lien visualisé le 1 décembre 2017]. (Adaptation française révisée et augmentée de : VAGGIONE, Horacio, « A Note on Object-based Composition », in O. LASKE (éd.), *Composition Theory*, revue Interface vol. 20 n°3-4, 1991, p.209-216).

machine. Certes, l'opérateur présume un haut degré d'interaction entre le compositeur et son réseau compositionnel, mais, si l'on regarde ce concept plus en profondeur, la notion opératoire se réfère également aux interactions à l'intérieur du réseau, entre les objets eux-mêmes. L'opérateur est alors le mot-clef pour la compréhension de l'approche de Vaggione ; c'est pour cette raison que nous la nommons composition orientée objet-opératoire dans le cadre de notre recherche. L'idée d'objet et d'opérateur sont indissociables, car il n'y a pas d'opération s'il n'y a pas d'objet et il n'y a pas d'objet sans opérations : « Nous n'avons de production d'objets que si nous possédons – ou produisons – des systèmes articulés de description »³⁶⁶. De plus, chez Vaggione, toutes les échelles temporelles, du micro-temps au macro-temps sont opératoires, c'est-à-dire que le compositeur est capable d'opérer à tous les niveaux, étant tous accessibles grâce aux possibilités offertes par la technologie numérique. Il est donc possible de définir la démarche orientée objet-opératoire comme une approche compositionnelle opératoire multi-échelle temporelle formée par des réseaux d'objets. Comme affirme le compositeur-chercheur lui-même :

le concept de composition avec des réseaux d'objets est surtout opératoire, son principal objectif étant de permettre le travail sur plusieurs échelles temporelles simultanées ; par conséquent, il relie des caractéristiques du micro-temps, qui ne sont pas toujours directement perceptibles, à une activité de « surface », où ces caractéristiques peuvent clairement montrer leur incidence sur les échelles temporelles plus grandes³⁶⁷.

Étant donné que Vaggione développe sa notion de composition orientée objet dans les années 1980, dans le cadre de notre recherche, nous n'aborderons pas directement les travaux menés par Vaggione avant cette époque. Son séjour à l'Université de l'Illinois avec Lejaren Hiller, ainsi que le contact avec Herbert Brün (1928-2000), John Cage (1912-1992) et Heinz von Foerster (1911-1944) ne seront donc pas mentionnés, même si ces constats méritent une attention particulière. Nous nous limiterons à dire que toutes les expériences vécues par Vaggione avant les années 1980 sont sous-entendues et implicites dans son travail plus récent.

³⁶⁶ GRANGER, Gilles-Gaston, *Formes opérations objets*, Paris, Mathesis, 1994, p.184.

³⁶⁷ VAGGIONE, Horacio dans BUDON, Osvaldo, *op. cit.*, 2007, p.109.

Nous allons aborder maintenant notre interprétation de l'approche orientée objet d'Horacio Vaggione et surtout comment nous l'avons incorporée à notre pratique. Nous resterons plutôt attachés aux concepts compositionnels, car dans sa pratique la théorie est liée à la musique. Les préoccupations explicitées dans ses textes se projettent clairement dans ses pièces, cependant ses « textes restent loin des œuvres, ils donnent peu de précisions sur la facture et les spécificités de diverses musiques, ils ne permettent guère de les imaginer ou de les pressentir »³⁶⁸.

L'écriture de ce texte est donc fondée sur ses écrits, sur le partage entre Vaggione lui-même et nous lors de nos nombreux échanges oraux et surtout sur sa musique elle-même, car Vaggione « tient à ce que la musique reste maîtresse du jeu, il refuse de la subordonner à ou de la justifier par une discipline extérieure quelle qu'elle soit »³⁶⁹.

4.1. La pensée opératoire

La définition du terme « opératoire » dans la pensée d'Horacio Vaggione est souvent associée à la pensée de l'épistémologue français Gilles-Gaston Granger³⁷⁰. L'association Granger-Vaggione a été fortement mise en avant dès l'organisation des journées autour de la pensée opératoire qui se sont tenues à la Maison des sciences de l'Homme le 23 janvier puis à l'École normale supérieure, à Paris, le 24 janvier 2008. Ensuite la philosophe Antonia Soulez souligne « la frappante » proximité du livre *Formes, opérations, objets* de Granger avec les textes d'Horacio Vaggione : « La pensée d'Horacio est proche de celle de Granger en ce que, pour les deux, l'objet est un produit de l'opération. Pour Granger, l'acte de production de produits formels est fondamental : il n'y a pas d'objet à proprement parler – en philosophie, on ne se réfère à aucun objet – ils n'y a que des quasi objets en tant que produits d'opération »³⁷¹. Toutefois, Vaggione explicite le couplage de la propriété opératoire avec la notion d'objet dès 1991, avant

³⁶⁸ RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2007, p.14.

³⁶⁹ *Ibid.*

³⁷⁰ GRANGER, Gilles-Gaston, *op. cit.*, 1994.

³⁷¹ SOULEZ, Antonia dans VAGGIONE, Horacio, SOLOMOS, Makis, SOULEZ, Antonia, « De l'opératoire », in : *Formel/informel: musique-philosophie*, Paris, L'Harmattan, 2003, p.221.

même la publication du livre de Granger cité par Soulez ci-dessus³⁷². En effet, même s'il est possible d'identifier des points convergents entre les deux chercheurs, la pensée opératoire chez Vaggione est attachée à sa pratique compositionnelle et aux problèmes qui en découlent. Ainsi, comme presque tous les concepts employés par Vaggione (qu'ils soient philosophiques, épistémologiques ou techniques), la pensée opératoire atteint une proportion propre à son travail et reste indissociable de sa propre activité musicale.

Tout d'abord, Vaggione pondère la phrase ci-dessus de Soulez, en soulignant le potentiel danger de confusion entre l'opératoire et « l'instrumental » ou « l'instrumentalisme », c'est-à-dire que l'opératoire n'est pas synonyme d'« un causalisme primaire, à sens unique »³⁷³. Granger complète que le méta-concept opératoire doit s'éloigner de l'idée d'une simple « application cartésienne » :

Se donnant la notion d'*ensemble* et la notion d'*application*, on peut aisément formuler de l'opération une définition abstraite : qui est celle de l'application d'un produit cartésien d'ensembles d'opérandes dans un ensemble de résultats. Mais la question se pose alors de décider si la notion d'« application » elle-même ne relève pas du concept d'opération. Il semble donc que la mise en forme offerte par la théorie des Catégories analyse plus profondément le concept³⁷⁴.

Vaggione cite Granger pour conclure enfin que les objets et les opérations sont créés conjointement dans une action commune :

Granger nous dit : “ce n'est pas l'opération qui crée l'objet ; la pensée détermine conjointement l'opération et l'objet”. Certes, l'objet est un produit de l'opération, mais on ne saurait en aucun cas hypostasier l'opération sans tomber dans un instrumentalisme banal, qui ne rendrait pas son dû à la *pensée opératoire*³⁷⁵.

Le point-clef pour comprendre la notion d'opération chez Vaggione est qu'elle s'oppose directement aux processus purement calculatoires (« automatiques »), car ces derniers ne développent pas de catégories opératoires. Comme déjà souligné par Makis Solomos, la pensée théorique musicale de Vaggione diffère de l'approche de Xenakis, par exemple. Pour ce dernier, les concepts scientifiques sont intégrés dans la musique soit

³⁷² Ici, il ne s'agit pas d'affirmer que Vaggione a formulé une « théorie opératoire » avant Granger, car les deux chercheurs ont développé leurs pensées parallèlement, chacun dans son propre contexte scientifique. D'ailleurs, le livre *Formes opérations objets* s'agit d'un recueil de texte qui ont été écrits avant les années 1990s.

³⁷³ VAGGIONE, Horacio dans VAGGIONE, Horacio, SOLOMOS, Makis, SOULEZ, Antonia, « De l'opératoire », in : *Formel/informel: musique-philosophie*, Paris, L'Harmattan, 2003, p.224.

³⁷⁴ GRANGER, Gilles-Gaston, *op. cit.*, 1994, p.387.

³⁷⁵ VAGGIONE, Horacio dans, *op. cit.*, 2003, p.224.

par métaphore soit par transfert direct de modèle³⁷⁶. Selon Vaggione, l'opérateur s'oppose à toutes les approches conçues comme « boîte noire », c'est-à-dire, celles où il n'y a pas d'opération (ou à un niveau très faible) entre l'entrée des données dans un algorithme et la sortie du produit final, la composition musicale. Les exemples de démarche « boîte noire » dans le répertoire musical sont surtout les pièces du sérialisme intégral, d'Hillier, Barbaud et de Xenakis surtout dans *Gendy3* (1991) (composée avec le programme GENDYN) et la série *ST*.

La définition d'opérateur chez Vaggione est surtout négative, c'est-à-dire qu'elle s'oppose à toutes celles non-opératoires. Du fait, tout le répertoire musical peut être vu selon une approche opératoire. Le critère en question, concernant le point de vue de la composition musicale, est le niveau opératoire « développé » dans la composition :

La pensée opératoire s'opposerait à toutes les versions-monde qui ne sont pas de type opératoire : En fait, je ne peux même pas dire qu'elle s'opposerait à une approche de type émotionnelle, pathétique : je peux entendre Tchaïkovski dans ses opérations, même si sa musique n'est pas faite pour être entendue de cette manière. Bien sûr, je pense que ma version-monde et celle de Tchaïkovski ont plutôt des difficultés d'interaction - elles ne se "composent" pas très bien, dans le sens spinozien du terme³⁷⁷.

En bref, l'opérateur est, dans la pratique du compositeur, l'usage d'algorithmes pour la production de la musique en s'opposant à une démarche purement « automatique ». Il y a donc implicitement une notion d'interaction entre le compositeur et le matériau. Or, les catégories opératoires ne sont développées que si le compositeur conserve un niveau d'interaction intime avec ses matériaux :

Aujourd'hui, nous sommes dans une situation où le compositeur ne se limite plus à planifier un processus pour le regarder marcher tout seul, en attendant qu'il donne quelque chose : il interagit à tout moment avec lui, pour produire du formel. Même si c'est le compositeur lui-même qui a construit le système, il peut s'investir à tout moment dans une "performance" avec les données fournies par son système ; les sorties ne sont donc pas automatiques, mais du point de vue du système, *imprévisibles*. On peut dire donc qu'il produit ainsi des singularités³⁷⁸.

³⁷⁶ SOLOMOS, Makis, « Une introduction à la pensée musico-théorique d'Horacio Vaggione », in *Espaces composites : essais sur la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione*, Paris, L'Harmattan, 2007, p.63.

³⁷⁷ VAGGIONE, Horacio dans *op. cit.*, 2003, p.224.

³⁷⁸ *Ibid.*, p.229.

Le critère en question, pour atteindre ce niveau d'interaction opératoire, est le compositeur lui-même avec sa capacité perceptive. Comme affirme Vaggione lui-même, « toutes ses opérations sont des perceptions »³⁷⁹. Le compositeur développe alors une « écoute opératoire ». Ce concept a été lancé par Vaggione et puis repris par Bittencourt et Kollias, il s'agit d'une capacité inhérente au compositeur « d'avoir accès » et pouvoir opérer sur toutes les échelles temporelles différentes. C'est la perception donc qui impose le critère d'évaluation compositionnel :

un acte d'écoute musicale, en tout cas une « écoute opératoire », détaillée, et pas seulement « immersive », purement globale, comporte la possibilité de focaliser notre attention de façon variable, à volonté, en sautant d'une échelle temporelle à une autre. La musique se manifeste en tant que richesse morphologique perçue, et non pas comme une trajectoire balisée de régularité. *Le jeu des interactions entre les échelles temporelles présentes dans une musique est de toute évidence le champ où cette écoute détaillée se déploie*³⁸⁰.

La perception joue également un rôle décisif pour que l'auditeur puisse poursuivre à son tour les opérations inhérentes de la musique écoutée : « faire travailler l'auditeur veut dire ne pas le laisser seul avec sa version-monde, mais lui proposer une interaction à partir de laquelle peuvent émerger des opérations d'écoute qui, éventuellement, peuvent recouvrir, ou découvrir celles proposées par la musique même »³⁸¹.

L'insistance de Vaggione pour promouvoir une approche interactive opératoire, ayant la perception comme critère d'évaluation, a une raison historique. Ce compositeur a connu l'ordinateur dans les années 1960 à une époque où prédominait une pensée « algorithmique » absolue, c'est-à-dire la composition musicale selon une approche « boîte noire ». L'ordinateur, à cette époque, n'offrait pas assez d'option d'intervention de la part de l'utilisateur au cours du déroulement du calcul numérique. L'informatique ne pouvait donc rendre possible une approche interactive. Dans les années 1970, pour combler cette difficulté, Max Mathews et Richard Moore ont développé le système GROOVE – acronyme de *Real-time generated operations on voltage-controlled equipment*. Il s'agit un système hybride de synthèse et contrôle temps-réel qui, grâce au couplage de la technologie numérique avec un système analogique, permettait

³⁷⁹ *Ibid.*, p.227.

³⁸⁰ VAGGIONE, Horacio, « Représentations musicales numériques », in A. SOULEZ, H. VAGGIONE (éd.) *Manières de faire des sons*, Paris, L'Harmattan, 2010, p.51.

³⁸¹ *Ibid.*

l'interaction temps-réel dans un système complexe de synthèse³⁸². Même pour une musique complètement temps différé, l'interaction a lieu pour la création et l'évaluation des matériaux composés. Or, la démarche opératoire, selon Vaggione, prévoit que le compositeur puisse générer les matériaux en amont et travailler ainsi avec l'émergence de structures. Pour la composition de *Mutations* (1969) de Jean-Claude Risset, par exemple, le code a été écrit à la main, puis transféré vers des cartes perforées (l'utilisateur devait prendre rendez-vous pour utiliser une machine partagée très demandée, destinée à cet effet) pour ensuite lancer la compilation du code qui prenait plusieurs heures. La conversion numérique-analogique souvent ne se réalisait pas dans le même laboratoire, il fallait donc voyager, souvent dans une autre ville, pour enfin avoir le résultat perceptif de ce qui avait été composé. La pensée opératoire dans l'informatique musicale est donc directement liée au progrès de la technologie. « Au début de l'informatique, le degré d'interaction était très faible, des boîtes noires, aléatoires ou déterministes. Par contre, maintenant qu'elle est posée, en partie grâce à un glissement de paradigme dans l'informatique (allant du "structuré à ce qu'on appelle "programmation orientée-objet) »³⁸³. Dès les années 1980, avec les avancements des outils informatiques la situation a changé, il devenait possible de construire une interaction permanente.

Cette discussion autour de l'opératoire, comme une approche opposée à l'automatique, semble actuellement dépassée. Or, l'informatique musicale a pris un chemin notablement opératoire. Les logiciels de synthèse sonore graphiques, comme PureData et Max, offrent une syntaxe assez interactive dont la logique modulaire est parfaitement cohérente avec l'approche opératoire. Le *live coding*, en plein essor avec des logiciels comme SuperCollider, est d'une approche hautement interactive. De plus, les pratiques numériques d'improvisation sont peut-être l'exemple le plus abouti d'approche opératoire ayant la perception comme critère d'évaluation. Or, les opérations réalisées par les compositeurs-interprètes au cours de la pièce sont basées sur des critères auditifs. Ce constat prouve alors que Vaggione, dès les années 1980, a prévu que cette approche était le chemin le plus fertile et le plus cohérent avec la création musicale

³⁸² MATHEWS, Max, MOORE, Richard, « GROOVE: A Program to Compose, Store, and Edit Function of Time », *Communication of the ACM*, Vol. 13,12, 1970.

³⁸³ VAGGIONE, Horacio dans *op. cit.*, 2003, p.233.

numérique. De plus, le grand atout de sa pensée est le caractère multi-échelle. Or, toutes les échelles temporelles étant accessibles et opératoires, l'approche compositionnelle doit accéder et interagir à toutes les échelles, du micro au macro son. De ce point de vue, une composition par « collage » d'événements macro sonores représente un niveau opératoire limité, car le compositeur opère sur une plage temporelle limitée. Le compositeur doit, selon la perspective opératoire, avoir accès aux structures internes du son et pour cela, pouvoir aussi opérer sur le micro-temps. Ce niveau n'est possible qu'avec le développement de l'informatique musicale :

Je ne produis pas une musique à partir du son : je compose le son. Cela veut dire que le son n'est pas un objet tant qu'il n'est pas composé, musicalisé, c'est-à-dire absorbé par le formel. Cela veut dire aussi que, tout en rejetant une hypostase du son, ainsi qu'une hypostase de la manipulation, je ne peux pas séparer le formel du sensible, ni le sensible de l'opération³⁸⁴.

4.1.1. Les niveaux d'interaction – boucle feedback action/perception

Selon Vaggione, l'interaction est un « puzzle triangulaire, c'est-à-dire une relation à trois : entrée, sortie et opérateur »³⁸⁵. L'interaction est donc en cohérence avec l'approche opératoire. « C'est ce qui survient entre l'entrée d'un dispositif et la sortie. Dans une boîte noire, il n'y a pas d'interaction : si des transformations existent, elles résultent de la boîte elle-même. L'interaction, par contre, présuppose la présence constante de quelqu'un, l'opérateur, qui interagit avec le système »³⁸⁶.

L'interaction, en revanche, a une définition plus complexe que l'action compositionnelle entre les entrées et sorties de données. Dans un premier temps, l'opérateur est implicite dans le processus de création des données elles-mêmes à l'entrée du système. En fait, l'interaction est présente à toutes les étapes compositionnelles, cependant il n'est pas simple de définir les frontières des différents étages d'une création.

³⁸⁴ *Ibid.*, p.234.

³⁸⁵ *Ibid.*, p.230.

³⁸⁶ *Ibid.*

Un regard plus en profondeur révèle que l'interaction est également présente à un niveau interne du système, sans pour autant avoir un contact direct avec l'opérateur :

Le mot "interaction" ne désigne pas seulement une flexibilité logicielle au niveau de l'interface-utilisateur, ni le fait d'un dépassement de la dichotomie temps réel/temps différé ; plus profondément, il fait référence à une interrelation postulée entre divers paliers temporels et échelles de représentation. L'interaction correspond ici à une modalité interne à l'œuvre : une façon d'aborder la complexité du jeu de dimensions qui véhicule la composition musicale³⁸⁷.

Vaggione conclut que la notion de complexité à laquelle il se réfère correspond à la définition donnée par Lévy-Leblond : « un système où se manifestent des interactions mutuelles entre niveaux différents »³⁸⁸. Ces interactions internes et inhérentes aux structures elles-mêmes présupposent que dans une composition, les objets se connectent eux-mêmes sur un principe commun. Quels sont donc les critères d'interaction entre ces unités ? Le compositeur peut évidemment « construire » les interactions comme acte de composition. Celles-ci sont construites par association de natures de matériau ; par exemple, dans *Agon* (1998), Vaggione articule un son qui ressemble à une « petite cloche métallique [qui] constitue en effet le résultat d'une opération de convolution »³⁸⁹ avec d'autres objets sonores en constante mutation comme le « son qui évoque un coup de tom-tom »³⁹⁰. Les interactions sont produites également par traitements comme une simple transposition ou resynthèse, avec vocodeur de phase, convolution et distorsion non linéaire. L'articulation des objets par le biais de ces traitements crée des interactions fréquentielles et rythmiques, comme dans *Thema* (1985) pour saxophone et électronique³⁹¹. Toutes ces articulations ont lieu dans un espace multi-échelle, or ce sont des opérations à toutes les échelles temporelles qui permettent la convergence commune des entités de l'ensemble composé : « C'est plutôt l'aspect multi-échelle qui doit être

³⁸⁷ VAGGIONE, Horacio, « Son, temps, objet, syntaxe. Vers une approche multi-échelle dans la composition assistée par ordinateur », in A. SOULEZ, H. VAGGIONE (éd.) *Musique, rationalité, langage. L'harmonie : du monde au matériau*, revue Cahiers de philosophie du langage n° 3, 1998, p.171.

³⁸⁸ LEVY-LEBOLD, Jean-Marc, « La physique, une science sans complexe ? », in *Les théories de la complexité*, Paris, Seuil, 1991, p.128.

³⁸⁹ ROADS, Curtis, « L'art de l'articulation : la musique électroacoustique d'Horacio Vaggione ». In : *Espaces composites. Essais sur la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione*, Paris, L'Harmattan, 2007, p.81.

³⁹⁰ *Ibid.*

³⁹¹ JUSTEL, Elsa, « Un « thema », une image », in *Espaces composites. Essais sur la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione*, Paris, L'Harmattan, 2007, p.239.

considéré : l'approche granulaire correspond à une situation dans laquelle des échelles temporelles (de divers ordres de grandeur) sont définies et sont mises en interaction à l'intérieur d'une morphologie »³⁹². Par exemple, la convolution consiste à multiplier, dans le domaine fréquentiel de signaux. Cette opération est notamment réalisée à une échelle micro-temporelle, cependant le produit perceptif est audible au niveau du macro-temps, par la modification de la morphologie. La composition est « à concevoir, plus que jamais, comme un ensemble complexe d'interactions »³⁹³.

Il y a cependant des interactions émergentes qui ne sont pas souvent construites par le compositeur lui-même ; il s'agit plutôt des entités émergentes d'une représentation opératoire composée afin d'atteindre un champ d'action morphologique³⁹⁴ : « Les compositeurs sont concernés par la création de situations musicales qui émergent concrètement d'une interaction critique avec leurs matériaux, y compris leurs algorithmes »³⁹⁵. Contrairement à une approche unilatérale selon laquelle le compositeur applique une action afin d'avoir un produit (approche causaliste citée ci-dessus par Vaggione comme un potentiel malentendu de l'approche opératoire), l'approche opératoire prévoit des situations « expérimentales » dans le sens où l'acte de composition présume l'émergence : « Les processus musicaux ne sont pas, au moins du point de vue du compositeur, des situations préexistantes [*out there*] attendant d'être découvertes : bien au contraire, ces processus musicaux constituent ce qui est à composer (car ils n'existent nulle part avant d'être composés) »³⁹⁶.

Ces itérations émergentes sont inhérentes au processus créatif et cet aspect n'est pas toujours facile à expliquer ou même à être pris en compte. Vaggione cite souvent la fable du mille-pattes racontée par Schoenberg³⁹⁷, selon laquelle les processus ne sont pas toujours « conscients », et le manque d'explication explicite de ces processus n'invalide

³⁹² VAGGIONE, Horacio, « Notes sur *Atem* », in *Espaces composables. Essais sur la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione*, Paris, L'Harmattan, 2007, p.123.

³⁹³ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 2003, p.93.

³⁹⁴ VAGGIONE, Horacio, « Représentations musicales numériques », in A. SOULEZ, H. VAGGIONE (éd.) *Manières de faire des sons*, Paris, L'Harmattan, 2010, p.53.

³⁹⁵ VAGGIONE, Horacio, « Quelques remarques ontologiques sur les processus de composition musicale », in R. BARBANTI, E. LYNCH, C. PARDO, M. SOLOMOS (éd.), *Musiques, arts, technologies. Pour une approche critique*, Paris, L'Harmattan, 2004, p.331. (traduction française de : « Some Ontological Remarks about Music Composition Processes », *Computer Music Journal*, vol. 25 n°1, 2001, p. 54-61).

³⁹⁶ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 2004, p.332.

³⁹⁷ SCHOENBERG, Arnold, *op. cit.*, 2011, p.101.

pas leur qualité. Dans ces cas, le compositeur joue un rôle essentiel en vérifiant la pertinence de ces interactions internes avec sa propre perception. Vaggione nomme ce processus boucle *feedback action/perception* : « Les contraintes sont révélées à travers la perception. Elles doivent être entendues, en premier lieu, par le compositeur, qui est également un auditeur [...] Il s'agit de boucle de *feedback action/perception*, qui peut être définie comme une instance de validation propre aux processus musicaux »³⁹⁸.

Ce processus est un démembrement d'une approche opératoire, car elle se caractérise surtout par une opposition à une démarche « boîte noire ». L'approche opératoire vise à combler la difficulté de l'usage de l'ordinateur selon une approche algorithmique puisque « les compositeurs, particulièrement ceux qui utilisent l'ordinateur, ont appris – parfois, d'une manière douloureuse – que la rigueur formelle d'une fonction générative ne garantit pas d'elle-même la cohérence musicale du résultat »³⁹⁹. Selon le principe du processus de boucle de *feedback action/perception* « les compositeurs utilisent des ordinateurs en tant que partenaires interactifs, afin de réaliser des opérations dont le résultat dépend de leurs interventions – performances – “directes” ou “actuelles” »⁴⁰⁰.

Tous les compositeurs, voire tous les artistes, d'une manière ou d'une autre, explicitement ou implicitement, suivent une méthodologie similaire à la boucle de *feedback action/perception*. N'importe quel créateur vérifie le résultat de ses opérations : « le bon cuisinier doit goûter son plat ». Vaggione lui-même le reconnaît. Le point mis en question par le compositeur est l'importance de la perception dans l'acte de composer. Il faut tenir compte du fait qu'au début de sa formation, le compositeur vivait à l'apogée de la pensée structuraliste. L'ordinateur est ainsi un « partenaire interactif », plutôt qu'un outil compositionnel. D'ailleurs, l'informatique elle-même a été consciente de l'émergence liée au dialogue homme-machine. Dans les années 1930, Alan Turing a posé d'emblée le double rôle de l'ordinateur/calculateur. D'un côté la machine de Turing qui représente la force de calcul du côté des « boîtes noires » ; de l'autre le test de Turing, qui posait déjà l'importance de l'interaction homme-machine comme fondement de nouvelles

³⁹⁸ VAGGIONE, Horacio, *op cit.*, 2004, p.342.

³⁹⁹ *Ibid.*, p.332.

⁴⁰⁰ *Ibid.*, p.331.

formes créatives⁴⁰¹. Le rapport compositeur, ordinateur et matériau forme ainsi un grand réseau interactif dans un contexte complexe :

Composition dans un passage continu entre l'algorithmique et l'interactif, où l'ordinateur est considéré en tant que composante de systèmes complexes et où le compositeur, en tant qu'autre composante de ces systèmes complexes, est impliqué dans un réseau dans lesquels il peut agir, projeter et expérimenter des outils concrets et des situations musicales significatives⁴⁰².

4.1.2. Émergence

La musique concrète a trouvé dans le mot « émergence » une bonne définition de sa pratique créative. Jean-Christophe Thomas utilise ce terme, lors d'un séminaire de recherche du GRM en 1995, pour identifier l'une des figures classiques d'une « musicalité » électroacoustique⁴⁰³. Puis Delalande emprunte ce terme dans un cadre de l'analyse de la musique concrète⁴⁰⁴.

Parallèlement, dans les sciences cognitives, la notion d'« émergence » est développée dès les années 1970. Solomos affirme qu'une première définition de l'émergence, au sens cognitif, comprend « événement qui semble en discontinuité avec les événements antérieurs et qui n'est pas expliqué par ses constituants »⁴⁰⁵. Cette définition est en relation avec les théories de systèmes dynamiques donc le principe a fasciné des musiciens dès les années 1980. Une seconde définition se réfère surtout aux travaux du neurobiologiste Francisco Varela⁴⁰⁶. Celle-ci s'oppose au paradigme computationnel, selon lequel le cerveau fonctionnerait comme un ordinateur. Le paradigme de l'émergence, dans la perspective de Varela, « s'inspire du réseau neuronal, ce qui entraîne l'idée d'un fonctionnement sub-symbolique : le niveau "supérieur" (l'intelligence, le sens, etc.) *émergerait* du réseau lui-même. C'est pourquoi Varela est

⁴⁰¹ BONARDI, Alain, *Vers des environnements homme-machine pour ressaisir les intentions dans la création scénique*. Mémoire HDR, l'Université de Reims Champagne-Ardennes, 2008.

⁴⁰² VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 2004, p.332.

⁴⁰³ DELALANDE, François, *Analyser la musique, pourquoi, comment ?*. INA-GRM, 2013, p.79.

⁴⁰⁴ *Ibid.*

⁴⁰⁵ SOLOMOS, Makis, « Notes sur la notion d'« émergence » et sur Agostino Di Scipio », in *Proceedings of the JIM 2005*, Paris, 2005.

⁴⁰⁶ Notamment VARELA, Francisco, *Invitation aux sciences cognitives*, Paris, Seuil, 1996.

l'un des pionniers de la notion d'« autopoïèse » et, plus généralement, de la notion de systèmes autonomes dont l'auto-organisation conduirait à l'émergence »⁴⁰⁷. Enfin Solomos fait un lien entre les définitions de l'émergence ci-dessus et la musique du compositeur Agostino di Scipio sur trois aspects : la macro-forme comme émergence de second niveau ; les « écosystèmes » et l'idée de systèmes autorégulés (en relation avec « autopoïèse » de Varela ; et l'écoute comme une approche de l'énaction (terme proposé par Varela pour dire que « le monde et l'esprit » se constituent mutuellement dans un processus dynamique émergent⁴⁰⁸).

Les principes de l'énaction ont déjà été présentés dans les théories connexionnistes⁴⁰⁹, surtout par rapport au caractère dynamique de la connaissance et sa relation avec le contexte. L'énaction est une critique aux idées représentationnistes, selon lesquelles la représentation du monde signifie l'idée d'un monde prédéfini⁴¹⁰.

La théorie de l'énaction propose « une vision non-représentationniste car elle ne considère pas la connaissance comme un ensemble de “représentations” statiques reflétant passivement les caractéristiques du monde extérieur »⁴¹¹. Sur ce point de vue, « un symbole peut ne pas avoir toujours le même sens », car chaque situation est ouverte et incomplète. Pour la théorie de l'énaction, différentes configurations émergent à chaque instant, ainsi la connaissance est-elle considérée comme un processus en construction »⁴¹².

Dans ce contexte, Vaggione s'intéresse aux représentations opératoires (symboles, notations, écritures) qui sous-tendent la pratique de la composition musicale⁴¹³. Il revient à la critique herméneutique de la représentation en faisant un lien avec une critique de l'algorithmique linéaire. Il propose un processus fondé sur l'idée de réseau, ainsi que de la « granularité, car ces concepts impliquent un “changement de

⁴⁰⁷ SOLOMOS, Makis, *op. cit.*, 2005, p.2.

⁴⁰⁸ VARELA, Francisco, *op. cit.*, 1996.

⁴⁰⁹ BECHTEL, William, ABRAHAMSEN, Adele, *Le connexionnisme et l'esprit : introduction au traitement parallèle par réseaux*, Éditions La Découverte, 1993.

⁴¹⁰ GARCIA REYES, Juan Rodrigo, *L'énaction et l'art sonore numérique*, Thèse de doctorat, Université Paris 8. 2011, p.10.

⁴¹¹ *Ibid.*

⁴¹² *Ibid.*

⁴¹³ VAGGIONE, Horacio, « Composition musicale : représentations, granularités, émergences », In *Intellectica*, 2008/1-2, 48-49, 2008, p.155.

fonction de la fonction” : une révision de la logique du fonctionnalisme à partir d’une logique de l’émergence »⁴¹⁴. Cette position réaffirme le rôle de l’interaction dans le processus de composition et de l’algorithme et de l’informatique comme composants d’un système interactif complexe dont le compositeur fait également partie. L’approche granulaire est aussi proposée comme une alternative pour la composition musicale assistée par ordinateur grâce à son caractère *multi-échelle* :

L’interaction, précisément, va dégager l’argument également essentiel d’une révision (d’un recentrage) du rôle des algorithmes en tant que composantes de systèmes complexes. Le concept de réseau, critiqué dans sa version connexionniste, va nous fournir la base d’une organisation opératoire des représentations musicales. En outre, on évoquera, sans systématisme, la question de la « granularité » des représentations. Cette dernière question est pertinente dans le domaine de la composition musicale assistée par ordinateur, car elle a suscité le développement d’une approche *multi-échelle* ouvrant la voie à un « changement de fonction de la fonction », impliquant une révision de la logique du fonctionnalisme classique à partir d’une logique de l’émergence⁴¹⁵.

Par rapport à la critique de la représentation, Vaggione rappelle que lors de la composition musicale, les représentations numériques – codes informatique, patches graphiques, sections de station audionumérique etc... – sont aussi créées par le compositeur et non une entité définie *a priori*. Certes, la composition émerge d’une représentation, mais celle-ci est aussi composée⁴¹⁶. Dès lors, selon cette perspective, l’acte de « programmer un patch », par exemple est aussi un acte de composition. De plus, le compositeur Agostino di Scipio fait écho aux réflexions de Vaggione en affirmant qu’il ne compose pas directement le son, mais compose les interactions (avec les représentations musicales citées ci-dessus) qui permettent que les sons en émergent : « ce qui m’intéresse, c’est la composition d’interactions souhaitables entre composants ou éléments disponibles, de telle sorte que la musique soit entendue comme l’épiphénomène empirique de ce réseau d’interactions et non comme un discours abstrait écrit par moi et énoncé avec soin par d’autres »⁴¹⁷. Il faut cependant souligner que le compositeur reste attentif au produit résultant pour « que l’épiphénomène sonore soit fidèle d’une manière

⁴¹⁴ *Ibid.*

⁴¹⁵ *Ibid.*, p.156.

⁴¹⁶ VAGGIONE, Horacio, *op.cit.*, 2010, p.56.

⁴¹⁷ DI SCIPIO, Agostino, « *Due di Uno*. Une composition dédiée à Horacio Vaggione », in *Espaces composites. Essais sur la musique et la pensée musicale d’Horacio Vaggione*, Paris, L’Harmattan, 2007, p.292.

ou d'une autre à sa propre imagination sonore »⁴¹⁸. Ce processus est validé, consciemment ou inconsciemment, par un processus de boucle *feedback action/perception*. L'ordinateur est donc conçu comme un composant du système créatif opératoire :

ce moyen d'écriture [ordinateur] (présent sous forme de script, de patch, de fonction graphique) véhicule une pensée opératoire qui constitue le socle de l'*action-perception* musicale. C'est parce qu'il est possible de construire des *réseaux* de représentations diverses, relevant d'échelles temporelles multiples, situées entre le microtemps (la microstructure des sons) et le macrotemps (les figures musicales de diverses tailles) qu'on peut travailler *dans le composable*, intervenir à tout moment pour généraliser un détail, travailler une saillance, itérer des flux de données, et ainsi de suite. Une pensée opératoire musicale ne saurait en aucun cas se confondre avec un quelconque « mécanisme » formel qui ne tiendrait pas compte du contexte (interactif, ouvert, multi-échelle) du composable⁴¹⁹.

Si la représentation numérique (codes patches etc..) n'est pas concernée, selon Vaggione, par la critique de la représentation cognitive, existe-t-il une représentation quelconque préexistante lors du processus créatif ? Comme l'a déjà dit Vaggione, la composition n'est pas une « entité à découvrir » (une intention ou un schéma global défini *a priori* par le compositeur), mais plutôt un phénomène émergent. Cette position est proche de la notion « d'émergence » citée par les compositeurs de musique concrète. De plus, cette question remet en cause certains aspects de la pratique compositionnelle occidentale. L'idée traditionnelle de « l'écoute intérieure » est difficilement applicable dans ce contexte. Certes, un compositeur expérimenté est capable de « prévoir » le produit d'un traitement numérique donné, comme affirme Vaggione lui-même : « en tant que compositeurs, nous avons développé une sorte de nouvelle "écoute intérieure", puisque nous pouvons parfois imaginer ce que sera le résultat de nos manipulations »⁴²⁰, cependant il ne s'agit que d'une estimation, car les propriétés multidimensionnelles de la morphologie ont un caractère pluriel ayant plusieurs variables qui ne rendent pas possible une prévision fidèle du processus compositionnel numérique.

Une deuxième remarque concerne la définition *a priori* des structures compositionnelles. Pour Vaggione, composer consiste aussi à créer « des situations musicales en créant des contraintes [...] à l'intérieur desquelles un tissu de relations

⁴¹⁸ *Ibid.*

⁴¹⁹ *Ibid.*

⁴²⁰ VAGGIONE, Horacio dans BUDON, Osvaldo, *op. cit.*, 2007, p.102-103.

spécifiques est réalisé »⁴²¹. Le terme délicat « contraintes » est ici employé dans le contexte de la composition assistée par l'ordinateur comme « des suppositions à plusieurs niveaux qui, dans certains cas, peuvent être transposées en fonction finies et calculables (algorithmes) et, dans d'autres, ne peuvent être réalisées que par l'interaction (performance directe) du compositeur »⁴²². Vaggione souligne que, selon sa propre pensée, seulement une partie des contraintes peuvent être définies *a priori*, car le processus créatif prévoit que les structures émergent au cours du processus créatif :

Pouvons-nous dire que ces contraintes constituent des spécifications (des prescriptions *a priori*). Certainement, mais nous devons considérer avec attention le type de choses (de classes) qui est spécifié. D'un côté, les fonctions locales calculables, lorsqu'elles sont, selon la condition classique, consistantes, satisfont la spécification. De l'autre, nous avons des instances globales (acteurs) qui contrôlent la multiplicité de fonctions locales calculables à travers l'interaction selon la condition non classique de la consistance en tant qu'état de choses (situation) ; la spécification s'accomplit alors comme quelque chose qui n'est pas formellement garanti, mais qui doit être atteint à travers l'action : la consistance "réalisée" par le compositeur [...] Ainsi les contraintes ne constituent pas des catégories encapsulant des linéarités, mais des vecteurs de relations postulées qui peuvent ou non être satisfaites, en fonction d'une certaine correspondance interactive entre les données d'entrée et les résultats. Ici, le rôle du compositeur n'est pas d'activer un mécanisme et de le regarder fonctionner, mais de poser les conditions qui lui permettront de réaliser des actions musicales⁴²³.

Certes, les compositeurs doivent partir d'un point quelconque pour commencer la composition, cependant il ne s'agit que d'un point de départ, la suite du processus compositionnel émerge grâce à la propriété interactive opératoire du système dynamique créatif (y compris les actions du compositeur, la nature des opérations et la nature des matériaux eux-mêmes). Le point de départ peut être simplement lié à une question institutionnelle, une commande faite par un instrumentiste par exemple, ou simplement la curiosité du compositeur de travailler avec un matériau donné.

En guise de conclusion, Vaggione affirme que « l'œuvre musicale va se constituer comme une émergence (une singularité), et non pas comme une simple globalité, parce qu'elle se manifeste non pas comme ce qui constitue le produit des parties d'un tout, ni

⁴²¹ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 2004, p.337.

⁴²² *Ibid.*

⁴²³ *Ibid.*, p.338.

même comme l'épiphénomène de ses composantes, mais comme ce qu'elle est, sans réduction aucune »⁴²⁴.

Ce contexte de composition assistée par l'ordinateur, propre à Vaggione, remet en lumière l'émergence dans la pratique créative, aussi bien que l'importance de la perception. Les stratégies de programmation orientée objet surgissent dans ce contexte comme une alternative à la programmation linéaire centralisée – c'est-à-dire à un processus unilatéral, causal – car les objets sont des entités décentralisées capables d'encapsuler plusieurs échelles temporelles, celles-ci sont donc accessibles et opératoires. L'agencement des objets dans un contexte forme un réseau, celui-ci est opératoire et émerge du système opératoire dynamique complexe. La POO est donc le mécanisme idéal pour la réalisation pratique de la pensée opératoire musicale numérique :

Les stratégies de programmation orientée objet [...] peuvent aider à encapsuler des paliers syntactiques divers dans une entité (un objet) mult niveau capable d'intégrer un réseau compositionnel donné. Mais ce type de situation nécessite d'être constamment vérifié d'un point de vue musicale. La boucle de *feedback action-perception* constitue ici l'instance pertinent, dans laquelle cette situation peut être contrôlée et validée musicalement⁴²⁵.

4.2. Des réseaux d'objets

Selon Risset :

Pour Vaggione, la composition implique des réseaux d'objets – mais il ne s'agit pas d'objets sonores au sens schaefférien, opaques et difficiles à manipuler : il propose une définition dynamique de l'objet comme ensemble complexe plutôt que brique élémentaire, structure qu'on peut transformer et mettre en réseau – une catégorie opératoire, proche de la notion intervenant en informatique dans la programmation objet⁴²⁶.

Un premier regard sur cette citation engage une interprétation du réseau d'objet comme l'équivalent d'un « réseau des sons ». Cependant Risset est prudent en signalant que les objets, selon Vaggione, sont proches « de la notion en informatique dans la programmation objet » et ils ont donc une couverture plus large que la notion d'objet

⁴²⁴ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 2010, p.55.

⁴²⁵ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 2004, p.343-344.

⁴²⁶ RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2007, p.14.

sonore. En fait, ce malentendu est fréquemment commis. Solomos propose un lien direct entre les réseaux d'objet avec une approche polyphonique, en proposant que le mot « réseau » remplace le mot « polyphonie »⁴²⁷. Certes, Vaggione se soucie de la composition selon plusieurs couches sonores – une notion étendue du concept de polyphonie (mise en relation avec polysémie⁴²⁸) ; d'ailleurs Vaggione se réfère à la polyphonie dans sa thèse de doctorat – cependant la notion de réseau ne concerne pas que des sons, mais toutes les entités numériques, objets, utilisés lors de la composition (y compris les algorithmes et sons). En bref, le réseau consiste en tout l'ensemble des matériaux utilisés lors de la composition, comme l'affirme Vaggione lui-même dans une première ébauche de l'application de l'idée de réseaux d'objets :

Je suis très intéressé à la création de systèmes de composition dans lesquels la partie logicielle est basée sur une collection d'objets musicaux autonomes, c'est-à-dire des modules qui contiennent un certain type de connaissance musicale spécifique, et qui sont donc capables d'exécuter des tâches définies. Ces modules peuvent être disponibles de façon permanente pour former des réseaux de fonctions. Un seul message peut activer n'importe quel module, et celui-ci répondre en envoyant des messages à d'autres modules concernés⁴²⁹.

L'affirmation que le réseau est un « étage supérieur à l'objet » est délicate⁴³⁰, car selon une approche systémique, tous les objets sont aussi des réseaux. De plus, du point de vue opératoire, toutes les échelles temporelles étant composables, il n'est pas facile et peu pertinent de délimiter un étage spécifique comme étant « supérieur » au réseau composable. La définition de réseau est donc couplée avec celle d'objet :

La création d'objets est à définir ainsi comme une technique de composition de relations syntaxiques entre des ensembles de symboles correspondant à des attributs et des fonctions très diversifiés. Ainsi les objets peuvent être des fonctions (algorithmes), des listes des paramètres (partitions), des scripts (des chaînes d'actions à réaliser), ou des sons (des produits aussi bien que des sources) ; en fait, toutes ces catégories peuvent être imbriquées dans un objet, qui constitue en soi un réseau d'objets de tous genres. Tout objet est donc un réseau, aussi bien que tout réseau est constitué d'objets [...] Tout objet, étant un réseau, est

⁴²⁷ SOLOMOS, Makis, *op. cit.*, 2007, p.62.

⁴²⁸ CHOUVEL, Jean-Marc, « Polyphonie/polysémie. Comment aborder la multidimensionnalité du temps musical ? », in J.-M. CHOUVEL, F. LEVY (éd.) *Peut-on parler d'art avec les outils de la science ?*, Paris, L'Harmattan/Ircam, 2002.

⁴²⁹ SOLOMOS, Makis, *op. cit.*, 2007, p.59. cite VAGGIONE, Horacio, dans ROADS (éd), *Computer Music Journal*, vol. 10 n° 2, p.67-70, 1985.

⁴³⁰ SOLOMOS, Makis, *op. cit.*, 2007, p.61.

continuellement reconfigurable, comme l'est également le macro-réseau qui le contient⁴³¹.

Le réseau opératoire n'est alors pas défini *a priori* ou imposé par le compositeur, il émerge au cours de la composition. Cela implique que les opérations qui ont lieu dans cet espace interactif collaborent à la définition de sa nature. L'une des opérations citées par Vaggione est le fenêtrage, cette transformation morphologique consiste à « extraire des saillances et former ainsi des sous-objets et cette descente peut être conduite très loin du point d'origine »⁴³². En effet, comme mentionné ci-dessus, l'algorithme utilisé pour réaliser cette opération est aussi un objet, et celui-ci est directement responsable de la nature morphologique produite⁴³³. Cette opération peut se répéter plusieurs fois. Ainsi, il en émergera un ensemble d'objets dont chacun « peut à son tour être considéré comme objet-source d'où on pourra dériver, par fragmentation et traitement, des nouveaux sous-objets, et ainsi de suite »⁴³⁴.

La technique de fragmentation devient une procédure d'agglutination, lorsque les objets sont sous-posés formant ainsi des entités complexes : « le fenêtrage est à la fois une technique d'enrichissement de l'objet, si les sous-objets résultants des transformations sont “incrustés” dans l'objet-source, à la place des fragments originaux prélevés ou mélangés avec eux. Ainsi cette technique de fragmentation devient également procédure d'agglutination »⁴³⁵. Ce processus peut ainsi générer des complexités singulières qui, dans leur totalité, correspondent à l'œuvre musicale elle-même : « par mélange d'objets, puis par fenêtrage de ces mélanges, transformation, nouveaux mélanges, nouveaux fenêtrages, et ainsi de suite, on agglutine en effet des matières de plus en plus étendues, jusqu'à contenir la totalité de la durée de l'œuvre »⁴³⁶.

La pièce acousmatique en huit pistes *Octuor* (1982) – composée avec le langage de programmation MUSIC 10 implémenté dans l'ordinateur DEC PDP-10 de l'IRCAM – a été bien documentée et demeure l'une des premières témoignant de la composition orientée objet. L'on peut considérer que l'idée primaire « les spécifications, les

⁴³¹ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 2008, p.187-188.

⁴³² VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 1995.

⁴³³ ROADS, Curtis, *Microsound*, Cambridge, MIT Press, 2001, p.89.

⁴³⁴ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 1995.

⁴³⁵ *Ibid.*

⁴³⁶ *Ibid.*

prescriptions *a priori* » – d'*Octuor* « était de produire une œuvre musicale d'une complexité timbrique considérable à partir d'un ensemble limité de matériaux sonores »⁴³⁷. Ensuite, le compositeur génère « cinq fichiers synthétisés utilisant la synthèse additive et la modulation de fréquence (FM) »⁴³⁸, pour ensuite « analyser, transformer, multiplier et combiner leurs éléments avec des manipulations logicielles relativement simples »⁴³⁹. Le compositeur utilise le programme S (un objet opératoire numérique), avec les commandes SHAPE pour appliquer des enveloppes d'amplitude (opérations numériques) ; MIX pour mélanger les objets sonores dans les entités (objets sonores numériques) ; et KEYS pour avoir un accès en temps-réel aux sons synthétisés (boucle *feedback action/perception*). Avec tout cet ensemble opératoire le compositeur raconte alors la genèse d'*Octuor*.

À l'aide de ces programmes, les fichiers sonores furent segmentés en petites portions, regroupés en plusieurs familles de figures et de timbres, traités et mixés pour former des textures plus larges. Le produit de ces opérations compositionnelles fut stocké en tant qu'ensemble de nouveaux fichiers d'objets sonores. Puis, utilisant le programme KEYS, ces fichiers furent organisés et joués automatiquement dans une polyphonie de huit canaux selon une partition qui spécifiait la forme d'ensemble de la pièce⁴⁴⁰.

Ce riche témoignage permet déjà d'avoir une première idée de l'approche orientée objet. De plus, dans cet exemple l'interaction du compositeur avec les matériaux dans le système opératoire complexe fait cohabiter le contrôle formel algorithmique et l'intervention directe. Cette stratégie sera présente dans toute sa production. Une autre caractéristique de sa musique est déjà présente : l'approche granulaire apparaît comme un aboutissement pour la composition multi-échelle temporelle :

Les durées étaient généralement très brèves. Des silences de durée différente étaient placés entre les événements. La densité (ou vitesse de succession) était très élevée : plus de 20 événements par seconde. Ce taux dépasse la limite d'application de la loi de Poisson, qui est valable pour contrôler des distributions sonores dont la densité est inférieure à 10-20 événements par seconde. Au-delà de 20 événements par seconde, on n'a plus affaire à des sons en tant qu'entités individuelles. Cependant, en construisant cette structure linéaire combinant une densité élevée de sons avec des valeurs paramétriques hautement contrastées,

⁴³⁷ ROADS, Curtis, *op. cit.*, 2007, p.71. cite (trad. SOLOMOS) VAGGIONE, Horacio, « The Making of *Octuor* », *Computer Music Journal* vol. 8 n° 2, 1984, p.149-155.

⁴³⁸ *Ibid.*

⁴³⁹ *Ibid.*

⁴⁴⁰ *Ibid.*

l'objectif était de créer une texture manifestant une sorte de comportement "intérieur" kaléidoscopique⁴⁴¹.

La composition d'*Octuor* atteste la mise en pratique de l'approche opératoire étudiée jusqu'ici. Le compositeur articule à tout moment en interaction avec ses matériaux, des algorithmes (le programme S avec ses commandes, les modules de synthèse FM etc.), ainsi que des objets sonores composés eux-mêmes. Le processus en boucle *feedback action/perception* pour la validation des opérations est à tout moment manifesté (avec la commande KEYS). La stratégie opératoire consiste fondamentalement à composer les objets (dans le cas d'*Octuor* avec la synthèse additive et la modulation de fréquence) et à les *fragmenter* avec des processus de fenêtrage (avec la commande SHAPE). Les objets produits sont donc rassemblés par processus d'*agglutination* (avec la commande MIX). Le compositeur opère à tout moment selon une approche multi-échelle temporelle, l'approche granulaire est ainsi la stratégie la plus appropriée à cette perspective. La composition orientée objet suit alors une stratégie similaire à la composition multi-étage proposée par Roads⁴⁴². Étant donné la proximité de cet auteur avec la pensée et la musique de Vaggione, il est donc compréhensible que celui-ci envisageait, implicitement ou explicitement, la musique de Vaggione comme l'une des références pour l'élaboration de cette proposition. Cela montre d'ailleurs que l'approche de Vaggione n'est pas la seule à suivre ces étapes. D'ailleurs, ce que Vaggione nomme « réseaux d'objets » est assez similaire à ce que Risset nomme « composer avec des arbres généalogiques ». Toutefois, la pensée de Vaggione dégage des questions pertinentes et uniques surtout en rapport avec le caractère opératoire multi-échelle de l'objet et l'émergence de « saillances ». Si l'on compare *Sud* (1985) de Jean-Claude Risset⁴⁴³ et *Octuor* (1982) d'Horacio Vaggione – en plus de ces différences techniques qui ont une influence directe dans les pièces (la première composée avec le système Syter et la deuxième avec MUSIC 10) – l'un des aspects qui les différencie est la nature des objets eux-mêmes. Dans *Sud*, Risset compose avec des sons échantillonnés de la nature ; dans *Octuor*, Vaggione utilise avant tout des textures sur plusieurs couches granulaires. Évidemment cette comparaison est assez réductrice et ne convient pas à la pensée

⁴⁴¹ *Ibid.*

⁴⁴² Voir *supra* 2.2 Processus de composition électronique multi-étage.

⁴⁴³ Voir *supra* 2.1.2 *Mutations* (1969) de Jean-Claude Risset et *Turenas* (1972) de John Chowning.

opératoire de Vaggione. Les différences entre la musique de Risset et de Vaggione dépassent un cadre purement conceptuel, puisque les actions et les choix (y compris les natures des sons articulés dans les pièces) font partie du système interactif complexe. Tout cet ensemble opératoire consiste à créer des singularités (faire émerger des « saillances »). Du point de vue de Vaggione, tout cela signifie donc composer.

4.2.1. L'objet opératoire numérique

Vaggione rappelle encore une fois que l'objet opératoire n'est pas nécessairement sonore : « Lorsque nous parlons d'objet [...] il ne s'agit pas nécessairement d'objets sonores, mais d'opérations diverses de production musicale qui se trouvent assemblées dans une entité opératoire : quelque chose qu'on peut nommer, manipuler, faire circuler dans un réseau »⁴⁴⁴. Lors de la première publication de *On object-Based Composition* de 1991, Vaggione donne deux exemples d'objet, qui seront omis dans la version francophone publiée quatre ans après. Le premier exemple est un objet sonore numérique, il s'agit d'un son de clarinette enregistré et numérisé qui, grâce à la représentation graphique tridimensionnelle, contient des partiels internes avec des propriétés dynamiques interdépendantes ; le deuxième est un code algorithmique qui réalise la fonction d'instanciation d'un objet.

Le code CMusic partiel ci-dessous (Figure 11) est l'un des rares exemples pratiques de la composition orientée objet. Il s'agit d'une partie de *Tar* (1987) pour clarinette et électronique. Cette image a été publiée par Curtis Roads et figure dans son article *L'art de l'articulation : la musique électroacoustique d'Horacio Vaggione*⁴⁴⁵. Cet exemple est divisé en trois parties (trois objets)⁴⁴⁶ : (a) : une partie du code de *l'orchestre* dans lequel sont définies les variables globales, comme le taux d'échantillonnage et les fichiers sonores chargés par le programme ; (b) : un exemple *d'instrument* qui effectue l'opération de *fenêtrage* ; (c) : une liste de *notes* qui ont la propriété de script temporel.

⁴⁴⁴ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 2003, p.224.

⁴⁴⁵ ROADS, Curtis, *op. cit.*, 2007, p.76.

⁴⁴⁶ Pour en avoir plus d'informations sur la syntaxe des langages dérivés de la série MUSIC N, voir *infra* 6.3.1 La synthèse sonore numérique dans *Songes* : le programme MUSIC V.

Ainsi, comme dans *Octuor*, mentionné ci-dessus, le processus commence avec l'assemblage des objets sonores numériques : les objets pères. En revanche, dans *Tar*, ces objets n'ont pas été générés par des méthodes de synthèse numérique (comme la synthèse additive ou la synthèse FM), mais il s'agit plutôt des échantillons numériques enregistrés de la clarinette.

Étant donné que *Tar* est une pièce mixte, il est courant de manipuler des objets sonores ayant comme origine l'instrument acoustique utilisé dans la pièce⁴⁴⁷. Le nom de chaque objet père donne déjà des pistes de la nature de chaque échantillon. Les objets *Keyfig1*, *Keyfig2* et *Keyfig3* sont supposés être des bruits de clef, alors que *Harmoa*, *Harmob* et *Harmoc* sont des sons « harmoniques ». L'instrument *b* réalise deux opérations, le fenêtrage et la composition de l'espace. Le module **seg**^{448 449} génère une enveloppe qui sera ensuite multipliée, avec **mult**⁴⁵⁰, par l'objet sonore joué par **sndfile**⁴⁵¹. Le produit de cette opération est un son fragmenté ayant les propriétés morphologiques de l'objet père, cette manipulation génère alors des objets enfants ayant hérité des propriétés de l'objet d'origine. Le code *c* est la *partition*, le script en charge de déclencher les opérations de *l'orchestre*. Même si les programmes de la série MUSIC N utilisent la commande **note** pour l'instanciation, en allusion à la partition musicale traditionnelle, dans la pratique de Vaggione ces commandes ne fonctionnent pas comme des notes, mais plutôt comme des figures⁴⁵² à l'intérieur d'un objet. Ce court extrait de code contient douze figures, chacune correspondant à un objet sonore. Chaque instance contient des valeurs différentes de durée, d'amplitude et de localisation spatiale. L'ensemble de ces figures forme un autre objet, ayant la propriété de réseau interactif.

⁴⁴⁷ Nous y reviendrons plus tard pour expliquer le concept de vectorisation commune.

⁴⁴⁸ Dans cette thèse, afin de rendre plus facile la lecture du texte, nous allons noter en **gras** les parties concernant les codes informatiques.

⁴⁴⁹ Les syntaxes ci-dessous CMusic se trouvent à MOORE, Richard, *Elements of Computer Music*, Prentice Hall, 1990, p.498-537.

seg out[b] amp[bnpv] table[fnpv] sum[dpv] incr [npv]

⁴⁵⁰ **mut** out [b] in[bnpv] ;

⁴⁵¹ **sndfile** out[b] amp[bnpv] incr[bnpv] filename[s] channel [npv] startframe [bnpv] endframe [bnpv] pos [bdnpv] ptr[d] ;

⁴⁵² Par rapport au terme figure nous reviendrons plus tard. Pour le moment, il suffit de comprendre qu'une figure est le produit sonore d'une opération.

```

(a)
set srate 44.100;
set quad
var 0 s1 "/snd/2371/keyfig1";
var 0 s2 "/snd/2371/keyfig2";
var 0 s3 "/snd/2371/keyfig3";
var 0 s4 "/snd/2371/harmoa";
var 0 s5 "/snd/2371/harmob";
var 0 s6 "/snd/2371/harmograve";
var 0 s7 "/snd/2371/flowbis";
var 0 s8 "/snd/2371/specat1";
var 0 s9 "/snd/2371/specat2";
var 0 s10 "/snd/2371/specat3";
var 0 s11 "/snd/2371/harmograve2";
var 0 s12 "/snd/2371/flowbis2";
var 0 s13 "/snd/2371/stonetext1";

(b)
ins 0 keyfig1;
seg b7 1 fl d 0.01sec 0 0.01sec;
sndfile b1 b2 p5 s1 1 91511 106537 d d;
mult b4 b1 p6;
mult b5 b1 p7;
mult b6 b1 p8;
mult b7 b1 p9;
out b4 b5 b6 b7;

end;

(c)
; start duration amp location
note 0. keyfig1 .58. 1. 0 0 1 0;
note 0. specat1 .43 .8 1 0 0 1;
note .5 keyfig2 .34 .5 0 1 0 0;
note .5 flowbis .16 1. 1 0 1 0;
note .8 keyfig3 .50 4. 0 1 0 1;
note .1 harmoa .16 1. 0 0 1 0;
note .3 specat3 .58 1. 0 0 1 0;
note .9 specat1 .43 .6 1 0 0 1;
note .5 flowbis .8. .5 0 1 0 0;
note .5 flowbis2 .19 .8 0 0 1 0;
note .5 keyfig3 .50 .9 0 0 0 1;
note .7 harmob .16 1. 0 0 1 0;

```

Figure 11 code partiel de *Tar* (1987) par clarinette basse et électronique.

En fait, ces manipulations consistent en des procédures de fragmentation (dans le code b) et d'agglutination (dans le code c). Celle-ci consiste à mixer, selon le jargon de la musique assistée par l'ordinateur. L'attribution de valeurs indépendantes de localisation spatiale et d'amplitude donnent de la profondeur. Dans *Schall* (1994), par exemple, une méthode similaire est utilisée pour créer un « dialogue polyphonique entre

le proche et le lointain »⁴⁵³, un rapport entre premier plan et arrière-plan. D'ailleurs, par rapport à l'espace, dans *Tar*, il est possible de visualiser l'un des points les plus significatifs de la musique du compositeur. L'espace est composé et il s'agit d'une dimension morphologique. L'objet sonore produit est alors une entité complexe ayant plusieurs strates internes. Tout cet ensemble, ce réseau, forment alors l'objet.

Cet exemple montre bien la convergence d'une approche algorithmique avec les manipulations directes « manuelles ». Même si le code fonctionne par le biais d'algorithme, les « collages » des figures à l'intérieur de l'objet sont réalisés selon une méthode directe, c'est-à-dire que le compositeur lui-même choisit la place de chaque figure et ses propriétés. Cette caractéristique marquera toute la musique du compositeur, étant toujours une approche algorithmique opératoire. Par exemple dans *Schall* (1994), *Nodal* (1997), *Agon* (1998), *Préludes Suspendus I et II* (1999 et 2000) et *24 Variations* (2001) le compositeur concilie une approche algorithmique avec des manipulations directes en générant des « textures scintillantes, composées d'agglomérations plus ou moins denses de grains de brève durée »⁴⁵⁴.

Le cas de *Tar* éclaire assez bien la démarche orientée objet, cependant il ne correspond qu'à un exemple parmi beaucoup d'autres. Depuis le début de sa carrière, le compositeur étendait déjà son discours compositionnel vers l'échelle micro-temporelle. « Dans *Modelos de Universo* (1971) et *Movimiento Continuo* (1972), par exemple, il utilise l'ordinateur pour générer jusqu'à 20 sons par seconde et ceci sur quatre voix »⁴⁵⁵. Une démarche de micromontage, similaire à celle de *Tar*, se trouve aussi dans *Thema* (1985). Dans *Fractal A* (1983), sans doute sa pièce la plus « algorithmique », composée avec le langage AWK (un sous-ensemble de C), le compositeur se sert de l'ensemble triadique de Cantor – « un ensemble de points obtenus dans un intervalle donné en enlevant le tiers central et en réitérant l'opération sur les intervalles restants »⁴⁵⁶ – pour la génération d'une « tapisserie multi-couches de micro-sons »⁴⁵⁷. Dans *Fractal C* (1984),

⁴⁵³ ROADS, Curtis, *op. cit.*, 2007, p.78 cite VAGGIONE, Horacio, *Musiques pour piano et électroacoustique*, Compact disc, Chrysopée Électronique Bourges LCD 278 1102. 1995.

⁴⁵⁴ ROADS, Curtis, *op. cit.*, 2007, p.78.

⁴⁵⁵ *Ibid.*, p.70.

⁴⁵⁶ *Ibid.*, p.73.

⁴⁵⁷ *Ibid.*

le compositeur reprend l'approche partagée entre l'algorithmique et la manipulation directe d'*Octuor*. Dans *Schall*, le matériau échantillonné du piano est « transformé par des méthodes de convolution, la distorsion non linéaire [waveshaping] et le vocodeur de phase »⁴⁵⁸. Dans *Till*, le compositeur utilise également des sons échantillonnés du piano et les opérations sont aussi similaires à *Schall*⁴⁵⁹. Dans *Préludes Suspendus*, prédominant des techniques d'analyse-resynthèse (la pièce est dédiée à Jean-Claude Risset) et des sons échantillonnés instrumentaux de cuivres et percussions.

Till (1990) signale l'émergence d'une nouvelle direction vers l'usage des ordinateurs personnels. Le compositeur se servira alors des stations de travail audionumériques ayant une interface graphique, basées sur une représentation linéaire du temps. Cet outil a changé la nature de la composition électroacoustique, entre autres, le processus de boucle *feedback action/perception* est devenu plus facile et pratique. Avec ces logiciels, ce processus est une pratique courante et inhérente à presque tous les compositeurs électroacoustiques. De plus, les « programmes graphiques d'édition et mixage sonore offrent une perspective multi-échelle. On peut voir les détails intimes du matériau sonore, ce qui permet une microchirurgie sur des points d'échantillon individuels. En montant vers l'échelle temporelle des objets, on peut éditer l'enveloppe d'un son jusqu'à ce qu'il atteigne le poids et la forme appropriés au sein d'une phrase »⁴⁶⁰. Par rapport à *Schall*, Vaggione raconte à Roads les techniques de micromontage utilisées dans cette pièce :

Elles impliquaient l'arrangement de micro-sons grâce à l'utilisation d'un programme de mixage sonore ayant une interface graphique en ce qui concerne la ligne du temps. Il chargeait un catalogue de micro-sons édités précédemment dans la librairie du programme. Puis, il sélectionnait des éléments dans la librairie et les collait sur une piste à des endroits particuliers de la ligne du temps allant de gauche à droite sur l'écran. En collant une seule particule plusieurs fois d'affilé, les particules fusionnaient en un objet sonore d'un ordre temporel plus élevé. Chaque opération de collage était comme un coup de pinceau en peinture, ajoutant à chaque fois plus de couleur. La collection de micro-sons de la librairie constituait la palette de couleurs. Puisque le programme permettait à l'utilisateur de zoomer dans le temps, le compositeur pouvait coller et éditer à des échelles temporelles différentes. Le nombre de pistes simultanées était en principe illimité, ce qui

⁴⁵⁸ *Ibid.*, p.77-78.

⁴⁵⁹ LALIBERTÉ, Martin, *op. cit.*, 2007, p.174-176.

⁴⁶⁰ ROADS, Curtis, *op. cit.*, 2007, p.79.

permettait une riche interaction d'événements, même si cela ne se passait pas en temps réel⁴⁶¹.

La figure ci-dessous⁴⁶² (Figure 12) correspond à *24 Variations* (2001) dont la deuxième version a été composée avec un *standalone* en Max/MSP de micromontage et de manipulation de fichiers sonores développé par Carlos Caires (la première version avait été composée avec SuperCollider II et Max/MSP). L'organisation des fragments sonores dans le temps est visible. L'exemple montre un exemple d'application graphique similaire au script en code textuel de *Tar*.

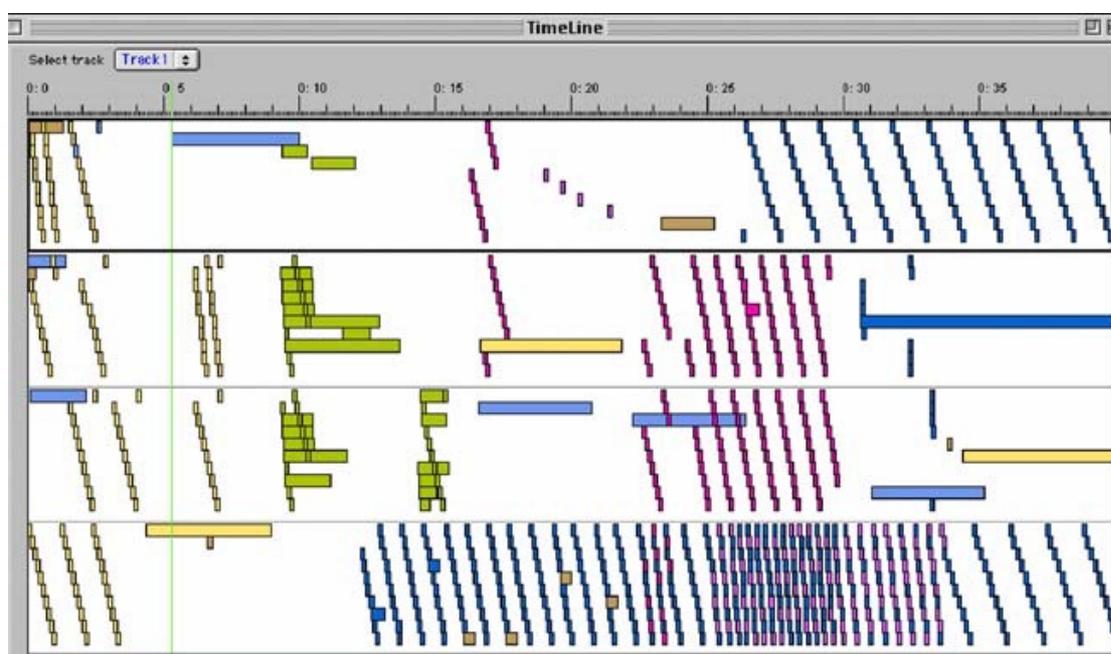


Figure 12 Extrait d'une section IRIN de *24 Variations*.

Dans tous ces exemples, les propriétés de l'objet logiciel sont sous-entendues. Ces caractéristiques de la POO concernent l'objet auquel Vaggione fait référence : clôture, héritage et polymorphisme.

Clôture : il s'agit de la propriété d'encapsulation, c'est-à-dire, un « linkage d'un ensemble de propriétés et de comportements en vue de la création d'un objet »⁴⁶³. En fait, c'est cette

⁴⁶¹ *Ibid.*

⁴⁶² *Ibid.*, p.85.

⁴⁶³ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 1995.

propriété qui permet de définir l'objet lui-même en tant qu'entité musicale ; car à l'intérieur de l'objet sont encapsulées les données de toutes les dimensions morphologiques de l'objet comme « des attributs, des évolutions temporelles, des échelles de grandeur, des chaînes de conditions, etc., ». Vaggione raconte que⁴⁶⁴, dans le langage CMusic, les commandes **merge** et **endmerge** permettaient d'« emboîter » des bouts de code – notamment des listes de notes – sur une seule unité. Ensuite, cette unité peut être instanciée plusieurs fois au cours de la pièce. Cet avantage du langage CMusic a fortement aidé le compositeur à comprendre la propriété de clôture. Dans les langages graphiques plus récents, il est aussi possible d'encapsuler des portions de code. Dans Max et PureData, par exemple, il est pratique d'organiser le patch principal sous forme de sous-patches. Cette pratique permet de concevoir le code informatique comme un ensemble de modules, c'est-à-dire, des unités contenant des éléments concourants à une même fonction (un module de synthèse granulaire, par exemple).

Héritage : il s'agit de construire « l'arbre généalogique » opératoire. Cette propriété se « réfère de façon générale à toute relation entre un ensemble et un sous-ensemble (une classe et une sous-classe) d'objets »⁴⁶⁵. Dans l'exemple de *Tar* ci-dessus, les objets pères échantillonnés sont soumis à des opérations, le fenêtrage par exemple ; après celle-ci, une série de nouveaux objets est créée, ayant hérité des propriétés morphologiques de l'objet racine : « un objet dérive ainsi d'un autre objet par héritage de certains attributs qui affirment son appartenance à une classe d'objets. Mais les classes elles-mêmes peuvent être restreintes ou extrêmement larges et ramifiées. Ainsi des objets de plus en plus éloignés de leurs “racines” sont créés à partir de leurs propres saillances »⁴⁶⁶. Les objets algorithmiques ont également cette propriété. Cela se vérifie lorsqu'un module est appliqué d'un contexte créatif à l'autre. Un exemple simple : un module de synthèse granulaire stéréo est appliqué à une pièce quadraphonique, le module doit alors être modifié tout en héritant de ses propriétés.

⁴⁶⁴ Lors de l'un de nos échanges oraux.

⁴⁶⁵ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 1995.

⁴⁶⁶ *Ibid.*

Polymorphisme : il s'agit sans doute de la propriété la plus énigmatique de l'objet logiciel selon cette approche opératoire. Vaggione l'introduit dans les deux articles fondateurs de cette démarche, ensuite elle est rarement mentionnée. Par exemple dans l'article *Son, temps, objets, syntaxe. Vers une approche multi-échelle dans la composition assistée par ordinateur*, contrairement aux autres propriétés d'héritage et de clôture, le polymorphisme est à peine cité. Dans tout le livre *Espaces composables : essais sur la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione*, ce terme n'est jamais mentionné (y compris dans le très complet entretien dans lequel Vaggione explicite bien sa démarche). Vaggione la définit comme la propriété qui fait que « des objets recevant des messages identiques peuvent produire des résultats tout à fait différents (puisque ces mêmes messages activeront, pour chaque objet, des propriétés et des méthodes spécifiques) »⁴⁶⁷. Cette définition ne correspond pas complètement à la définition originare de la POO qui est la capacité à une même fonction de recevoir des messages de syntaxes différentes. Ce constat confirme que Vaggione est prudent en définissant les propriétés de l'objet logiciel dans un cadre compositionnel. Il a d'ailleurs développé cette approche dans des environnements informatiques qui n'étaient pas orientés-objets. Il est donc inutile de procéder à une comparaison pragmatique avec les langages purement informatiques orientés objets.

4.3. Articulation multi-échelle et multidimensionnelle du réseau d'objets

Les processus de composition des pièces citées ci-dessus sont des exemples, chacun à leur façon, d'articulation dans un réseau multi-échelle. Ces articulations sont évidemment opératoires et les démarches complémentaires soit algorithmiques, soit de manipulation directe, ont comme but principal l'opération morphologique, celle-ci contenant plusieurs dimensions opératoires. Avec l'informatique, il devenait possible, pour réaliser ces opérations, d'atteindre le micro-temps et pouvoir ainsi articuler dans

⁴⁶⁷ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 1995.

cette échelle. Les travaux de Jean-Claude Risset, sur la synthèse numérique de la trompette, dans les années 1960, marquent ainsi la genèse d'une syntaxe du son : composer le son lui-même⁴⁶⁸.

L'approche morphologique concrète, quant à elle, « dérivée des hypothèses qualitatives (non paramétriques) de Pierre Schaeffer a franchi la barrière temporelle, ayant eu accès au contrôle de la micro-temps depuis le développement du système numérique »⁴⁶⁹. De plus, l'accès à cette échelle permet aux musiciens « de descendre au micro-temps et de découvrir des phénomènes qu'il ignore quand il se contente de remuer des surfaces sonores sans tenir compte de leurs substrats »⁴⁷⁰.

Les opérations de fragmentation et d'agglutination mentionnées ci-dessus sont générées par la production et la transformation de figures. Une figure est considérée, selon Vaggione lui-même, comme « le produit d'articulations singulières, véhiculant des propriétés morphologiques, sur lesquelles on peut réaliser des opérations diverses. Elle est couplée, dans ma propre pratique, avec le concept d'objet, ce dernier étant une catégorie qui permet d'inclure et de faire circuler des figures dans un réseau d'opérations compositionnelles »⁴⁷¹.

Les transformations morphologiques sous-entendent un travail sur le son lui-même. Cela veut dire que le compositeur n'opère pas « seulement sur des variables paramétriques mais sur des saillances, non seulement sur des éléments mais sur des multiples : des entités articulées, véhiculant des propriétés formelles spécifiques »⁴⁷². Par rapport au terme « saillances » (les détails morphologiques) Vaggione les définit ainsi :

Les "saillances" sont des qualités (formes) locales qui émergent dans la tension du présent composé et qui peuvent donner lieu à une analyse morphologique approfondie afin de les faire rebondir en tant que porteuses de forme, en créant des classes qui accueillent et propagent leur spécificité : des détails morphologiques,

⁴⁶⁸ VAGGIONE, Horacio, « Articulating Micro-Time », *Computer Music Journal*, vol. 20 n°1, 1996, p.34.

⁴⁶⁹ *Ibid.*

⁴⁷⁰ VAGGIONE, Horacio, « Transformations morphologiques : quelques exemples », *In Actes des Journées d'Informatique Musicale (JIM) 1998*, LMA-CNRS, Marseille, 1998, p.98-118.

⁴⁷¹ VAGGIONE, Horacio, « Vers une approche transformationnelle en CAO », *in Actes des Journées d'Informatique Musicale (JIM) 1996*, Les cahiers du GREYC, CNRS- Université de Caen, 1996.

⁴⁷² VAGGIONE, Horacio, « Composition/Diffusion en Musique Électroacoustique, Actes de l'Académie Internationale de musique électroacoustique », *in Actes de l'Académie internationale de musique électroacoustique*, vol. III, Bourges, Éditions Mnémosyne, 1997, p.182-186.

en somme, qu'on peut faire ressortir et projeter dans d'autres localités, ici et là, dans le jeu de vecteurs de l'œuvre⁴⁷³.

L'approche paramétrique reste cependant utile dans cette perspective. Vaggione lui-même a « utilisé des stratégies paramétriques (élémentaires) et morphologiques (figuratives) combinées dans le même processus de composition pour lier des caractéristiques appartenant à différents domaines temporels »⁴⁷⁴.

Le micromontage, opérations « directes » manuelles, les opérations morphologiques et paramétriques, par le biais des approches algorithmiques, et la décorrélation microtemporelle, qui consiste en une approche à la fois « directe » et algorithmique, sont des exemples très éclairants des opérations compositionnelles visant la « complexité par la discontinuité et le feuilletage (étirements, repliements, itérations) aussi bien que par la modulation (distortion, vectorisation) dans le champ de la modélisation et la synthèse sonore »⁴⁷⁵. Ces opérations se placent donc dans le sens d'une mise en place d'une approche morphologique qui contribue « à générer certains types de singularités sonores »⁴⁷⁶.

4.3.1. Le micromontage

Le micromontage est sans doute la méthode la plus ancienne que Vaggione conserve jusqu'à maintenant. Dans les pièces acoustiques plus anciennes comme *Triadas* (1968) pour orchestre, le compositeur a travaillé manuellement, sur une partition classique, pour créer une dense polyphonie sonore.

Ensuite, dans l'une de ses premières pièces *Modelos de Universo IV* (1972), par exemple, le compositeur utilise de simples algorithmes pour l'écriture directe dans la notation musicale conventionnelle. Il compose ainsi des figures qui sont ensuite ajoutées

⁴⁷³ VAGGIONE, Horacio, « Composition musicale et moyens informatiques : questions d'approche » dans *op. cit.*, 2003, p.107.

⁴⁷⁴ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 1996, p.35.

⁴⁷⁵ VAGGIONE, Horacio, « Vers une approche transformationnelle en CAO », in *Actes des Journées d'Informatique Musicale (JIM) 1996*, Les cahiers du GREYC, CNRS- Université de Caen, 1996, p.24-23.

⁴⁷⁶ VAGGIONE, Horacio, « Décorrélation microtemporelle, morphologies et figurations spatiales », in *Actes des Journées d'Informatique musicale (JIM) 2002*. Marseille: GMEM. Reprinted in A. Sedes (Ed.), *Espaces sonores. Actes de recherche*. Paris, Editions transatlantiques, 2002.

à d'autres figures, créant ainsi « des agglutinations dans des séquences ayant des contours bien définis ». Ce procédé crée ainsi des séquences denses « d'éléments discrets produisant des phénomènes sonores continus dans la frontière entre des représentations corpusculaires et ondulatoires, en incluant des modulations de transitoires, des sons différentiels, des repliements et ainsi de suite »⁴⁷⁷. Après avoir transcrit l'algorithme dans une partition musicale traditionnelle, le compositeur la traduit, sous cartes perforées, dans un langage informatique. Ces données sont ainsi traitées par l'ordinateur en produisant les sons de synthèse. Le manque d'interaction homme/machine temps-réel à cette époque pour agencer une *boucle feedback action/perception* a motivé le compositeur à procéder de cette manière : la composition d'une partition traditionnelle pour ensuite la traiter sur langage machine afin de procéder la synthèse numérique⁴⁷⁸.

Tar et *24 Variations* mentionnées ci-dessus montrent des exemples de micromontage avec un langage textuel et graphique respectivement. Dans les deux approches logicielles le compositeur agit minutieusement, dans une approche multi-échelle, afin d'« agglutiner » les objets. À l'écoute, le processus de micromontage et la granulation sont souvent indifférenciés. Par rapport à la différence entre ces deux approches, Roads l'explique :

La meilleure manière pour distinguer la granulation et le micromontage consiste peut-être à constater que la granulation constitue inévitablement un procédé automatique : le pinceau du compositeur devient un vaporisateur raffiné de couleur sonore. Au contraire, un artiste sonore peut réaliser du micromontage en travaillant directement à la manière d'un peintre pointilliste : particule par particule. Le micromontage demande donc une patience inhabituelle. Bien entendu, le micromontage et les techniques de granulation peuvent se mélanger sans heurts⁴⁷⁹.

Dans ses pièces, Vaggione concilie l'application de ces deux approches. Un fichier produit par le biais de la synthèse granulaire (avec l'un des logiciels de synthèse sonore comme Max, CSound, SuperCollider), par exemple, est normalement assemblé, dans une perspective de micromontage, avec d'autres fichiers dans une section multipiste (avec un logiciel de station audionumérique, comme ProTools, ou même avec un script temporel dans CSound) :

⁴⁷⁷ ROADS, Curtis, *op. cit.*, 2007, p.71-72 cite VAGGIONE, Horacio, *La composition musicale comme processus interactif*, rapport interne, Paris, IRCAM, 1982.

⁴⁷⁸ *Ibid.*

⁴⁷⁹ ROADS, Curtis, *op. cit.*, 2007, p.74.

Toute intervention directe peut être considérée comme la déclaration d'un attribut particulier d'une entité quelconque; cet attribut peut dès lors être généralisé à toutes les instances successives de cette entité, et non pas rester isolé dans la localité d'une seule instance - au moins que soit ceci le cas désiré. Ainsi une action locale d'écriture a bien la possibilité de s'intégrer dans un processus algorithmique, de la même façon dont, symétriquement, le produit d'un processus algorithmique peut être transformé localement par une action d'écriture directe [...] On peut commencer une œuvre en écrivant manuellement, en notation musicale ou alphanumérique, selon les situations, une collection de figures-objets auxquelles on appliquera par la suite le type de contraintes dont on désire maintenir la présence aux fins de créer de la variété contrôlée. On peut également adopter la démarche opposée, et générer des matériaux par propagation de contraintes pour les sur-qualifier après coup au moyen d'interventions directes⁴⁸⁰.

Cette pratique dégage deux considérations. Tout d'abord, dans une approche multi-échelle, la pratique multi-logiciel est fréquente. Deuxièmement, dans cette perspective, les opérations sont souvent réalisées sur des représentations différentes, cela a une influence directe sur l'échelle temporelle dans laquelle le compositeur est en train d'opérer. Il existe donc des représentations appropriées pour des échelles différentes :

Certains types de représentations valables pour un niveau perdent leur pertinence lorsqu'ils sont transposés dans un autre niveau. Ainsi, les relations – si l'on veut qu'elles soient composées – sont à définir à travers leur contenu d'interaction qui, contrairement à une relation linéaire d'un à un, n'exclut pas les fractures, les distorsions, les disjonctions entre niveaux temporels. Reconnaître la réalité de ces disjonctions n'a rien de paralysant ; au contraire, celles-ci nous donnent la possibilité d'explorer les passages entre des niveaux différents, permettant de les articuler dans un réseau syntactique recouvrant tout l'éventail des relations composables⁴⁸¹.

4.3.2. Approche transformationnelle : opérations morphologiques

Pour ces pièces, Vaggione fait appel à plusieurs approches transformationnelles comme les techniques de distorsion non linéaire *waveshaping* et la convolution. Ces techniques opèrent dans le domaine du macro et du micro-temps ; or les phénomènes perceptibles au niveau des hauteurs et des durées macroscopiques, par exemple,

⁴⁸⁰ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 1996.

⁴⁸¹ VAGGIONE, Horacio dans BUDON, Osvaldo, *op. cit.*, 2007, p.111.

dépendent essentiellement de conditions et opérations réalisées à des échelles temporelles minuscules⁴⁸².

Un exemple d'opération morphologique transformationnelle est donné par Vaggione, Il s'agit de la *waveshaping*, la distorsion non linéaire. Dans le *Catalog of computer synthesized sounds* de Jean-Claude Risset, l'instrument 150 comporte une « onde sinusoïdale modulée par “une fonction non linéaire” dont le contrôle en amplitude “détermine la quantité de distorsion réalisée sur l'onde sinusoïdale” »⁴⁸³. Vaggione mentionne une technique formalisée ensuite par Daniel Arfib à l'aide des polynômes de Tchebychev⁴⁸⁴. Dans cette technique, les critères en question sont principalement morphologiques. Il s'agit d'un signal modulé par une fonction de transfert (une table d'onde). « L'aspect morphologique s'exprime à travers sa “double articulation” entre les fonctions et les index, ces derniers étant des enveloppes (dynamiques, dissipatrices d'énergie) qui agissent sur “évolution corrélée des “shapes” temporelles et de la distribution de l'énergie »⁴⁸⁵. Vaggione utilise cette technique pour la composition de *Thema* (1985) par exemple. Dans cette pièce, le compositeur réalise des « transformations numériques de sons d'origine instrumentale, en utilisant des fonctions tirées d'analyses spectrales de ces sons, couplés avec des enveloppes d'amplitude (fonctionnant comme des index de modulation) extraits également de ces mêmes analyses »⁴⁸⁶.

La convolution, quant à elle, est un exemple d'approche transformationnelle dépendant de la nature morphologique temporelle des signaux opérés. Or, étant une technique fondée sur l'interaction de morphologies, le résultat est essentiellement dépendant des conditions initiales du processus de croisement, c'est-à-dire de ses morphologies. Il s'agit d'une formulation mathématique concernant la combinaison de deux signaux en vue d'en former un troisième. Dans le domaine fréquentiel, une onde, étant la source, est multipliée par l'autre, l'impulsion modulante. Les fréquences

⁴⁸² VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 1998.

⁴⁸³ *Ibid.* Vaggione cite RISSET, Jean-Claude, *An Introductory Catalogue of Computer Synthesized Sounds*, New Jersey, Murray Hill, 1969.

⁴⁸⁴ ARFIB, Daniel, « Digital synthesis of complex spectra by means of non-linear distorted sine wave ». In *Proc. ICMC 1978*, ICMA, San Francisco, 1978.

⁴⁸⁵ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 1998.

⁴⁸⁶ *Ibid.*

communes seront donc renforcées et les aspects temporels seront inter-modulés⁴⁸⁷. Dans *Myrs-S* (1995), pour violoncelle et électronique, par exemple, Vaggione utilise la convolution pour créer des morphologies « figurales », ayant comme source des objets instrumentaux (le compositeur utilise une technique similaire au niveau symbolique, c'est-à-dire dans la partition instrumentale, nous y reviendrons lorsque nous parlerons de ses pièces mixtes). Cette technique est également utilisée pour le déphasage de signal en créant ainsi un « espace virtuel ». Il s'agit, en fait, de la décorrélation microtemporelle, une méthode chère à Vaggione. Cette technique est générée par le biais d'une approche algorithmique, avec la convolution, mais aussi selon une approche directe « manuelle ». Cette méthode montre alors la myriade de formes de l'approche transformationnelle. De ce fait, cet ensemble reflète bien ce que Vaggione appelle approche complémentaire *paramétrique et morphologique* :

Ainsi les figures (et les objets qui les portent) peuvent être non seulement considérées dans le sens de leurs paramètres mais aussi travaillées dans leurs "parties". Ces deux modes d'approche, que nous pouvons caractériser respectivement de *paramétrique* et de *morphologique*, sont, bien entendu, complémentaires : on peut isoler des saillances contenues dans une figure pour en créer d'autres, en les utilisant en tant que modulateurs affectés à des paramètres choisis⁴⁸⁸.

4.3.3. L'espace composable : décorrélation microtemporelle

Contrairement à de nombreux compositeurs de musique électroacoustique, Vaggione n'utilise pas de dispositifs de spatialisation globale « standards ». L'espace est, chez lui, plutôt une dimension morphologique composable : « je considère la dimension spatiale du son comme devant être composée, comme faisant partie de chaque morphologie »⁴⁸⁹. Les opérations sur l'espace ne sont pas réalisées avec des techniques « canoniques » comme la réverbération ou « le *panning* ». Même s'il existe des exemples très réussis de l'usage de ces méthodes, comme dans *Turenas* (1972) de John Chowning

⁴⁸⁷ *Ibid.*

⁴⁸⁸ *Ibid.*

⁴⁸⁹ VAGGIONE, Horacio dans BUDON, Osvaldo, *op. cit.*, 2007, p.114.

et dans *Songes* (1979) de Jean-Claude Risset, Vaggione fait appel à des techniques de décorrélation microtemporelle pour composer l'espace. La décorrélation joue ainsi avec l'ambiguïté et la précision spatiale pour faire apparaître des espaces « virtuels » par une perception de multiplicité concernant l'espace et le mouvement.

La notion de décorrélation à laquelle Vaggione se réfère va dans le même sens énoncé par Kendall⁴⁹⁰ : « un processus dans lequel un signal-source audio est transformé en des multiples signaux en sortie qui apparaissent comme étant visuellement différents les uns des autres, mais qui sonnent identiquement à la source ». Cette démarche se fonde sur *interaural time delay*. Il s'agit d'un principe issu de la psychoacoustique selon laquelle l'information concernant la phase est d'une importance cruciale pour déterminer la direction des sons. Cette procédure est réalisée par manipulation directe (« arbitraire ») de la forme d'onde ou même par le principe d'analyse/resynthèse, comme la convolution mentionnée ci-dessus.

La méthode directe se fait par la duplication d'un fichier sonore. Ensuite, les formes d'onde sont divisées en deux canaux stéréo (cela empêche, entre autres raisons, que cette procédure donne des effets secondaires dans le domaine fréquentiel, comme le *phasing* ou le *flanging*). Chaque canal est éloigné avec un intervalle qui va d'environ 5 µsec à 1.5 millisecondes, parfois l'écart dépasse cette valeur et atteint même l'ordre de 30 millisecondes (cela est fait afin de créer une directionnalité souhaitée pour des raisons musicales). L'intervalle d'écart doit être dynamique pour accentuer l'effet spatial. Le critère pour réaliser cette méthode doit prendre en compte les phases des signaux décorrélés afin d'éviter des effets de distorsion. Cette procédure forme alors des séquences à plusieurs fichiers stéréo qui sont ainsi mixés :

Avant mixage, chaque fichier stéréo est décorrélé — ou désynchronisé, ou déphasé — à divers moments, avec des valeurs différentes et dynamiques; ces décorrélations avaient été placées à des endroits spécifiques en raison de critères morphologiques [...] Chaque décorrélation était réalisée en agissant sur deux paramètres: le temps de décalage entre les canaux (toujours de l'ordre des millièmes de seconde) et la direction de celui-ci dans le plan de l'azimut (une "incision" pratiquée dans un canal produira un mouvement à partir de ce canal vers l'autre)⁴⁹¹.

⁴⁹⁰ KENDALL, Gary, « The decorrelation of audio signals and its Impact on spatial imagery », *Computer Music Journal* 19 (4), 1995, p.72-87.

⁴⁹¹ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 2002.

Cette procédure se passe dans l'échelle du micro-temps ; or, en modifiant un paramètre temporel (exprimé en secondes) dans la dimension spatiale de la morphologie, on provoque des conséquences concernant d'autres catégories et dimensions composables (hauteur, durée, densité, etc.). Si cette procédure est réalisée avec des écarts temporels sensiblement plus grands (de l'ordre du macro-temps), les effets d'espace ne se produiront pas, mais cela rendra plutôt perceptible la formation de figures rythmiques. La décorrélation ne peut donc se séparer des caractéristiques morphologiques des sources. Par exemple : « les composantes graves auront plus tendance à créer un espace diffus, tandis que les aiguës créeront des points de localisation plus précis »⁴⁹².

La décorrélation et les autres techniques transformationnelles mentionnées ci-dessus ont donc « des effets perceptibles à toutes les échelles temporelles possibles d'une composition, tout en restant ancrée, comme procédure, dans le domaine du microtemps »⁴⁹³.

4.4. Musique mixte : vers une vectorisation commune

La composition de pièces mixtes, c'est-à-dire des pièces qui intègrent un ou plusieurs instruments acoustiques sur scène avec une bande enregistrée électroacoustique, correspond à une partie importante du répertoire musical de Vaggione. Le compositeur réalise des procédures en temps différé, la partition instrumentale ainsi que le fichier sonore électroacoustique sont générés avant le concert selon une approche multi-échelle de va-et-vient entre les différentes représentations et niveaux opératoires. Le temps-réel du processus en boucle *feedback action/perception* ne concerne pas la génération, c'est-à-dire la synthèse sonore, de la musique au moment du concert⁴⁹⁴. Cette perspective se différencie de celle de compositeurs faisant appel à la synthèse temps-réel, comme dans

⁴⁹² *Ibid.*

⁴⁹³ *Ibid.*

⁴⁹⁴ Par rapport à des opérations d'interprétation électroacoustique avec la boucle *feedback action/perception* au moment du concert, nous reviendront plus tard.

le cas déjà mentionné de Philippe Manoury⁴⁹⁵. De plus, l'approche mixte de Vaggione est plus similaire à celle de l'école concrète selon laquelle « la tendance est d'intégrer les instruments acoustiques dans le domaine électroacoustique plutôt que d'ajouter quelques sons électroacoustiques à une partie instrumentale "normale" »⁴⁹⁶.

Ainsi comme dans le cas d'une pièce électroacoustique, selon l'approche opératoire avec des réseaux d'objet ci-dessus, la composition d'une pièce mixte commence par la génération de matériau, c'est-à-dire les objets sonores. Dans ce cas la source est essentiellement la même que l'instrument acoustique :

Pour la partie électroacoustique (bande ou séquences audio) [d'une pièce mixte], j'utilise généralement comme matériau des sons échantillonnés provenant des instruments joués en direct, pour les traiter par des moyens numériques, utilisant le plus souvent des techniques d'analyse-resynthèse [comme la convolution mentionnée ci-dessus]. La principale raison d'être de ce procédé est de permettre aux instruments-sources d'entrer dans le monde électroacoustique, c'est-à-dire d'étendre l'étendue et la palette de leurs possibilités virtuelles, parfois en les amenant jusqu'à rupture avec leur origine)⁴⁹⁷.

Les échantillons sonores sont déjà des figures singulières composées ; or les objets enregistrés ne sont pas seulement des notes. Il s'agit de « très singulières et courtes figures, qui ont déjà une syntaxe implicite, comportant diverses strates ou divers niveaux d'articulations. Ainsi, ces échantillons sont déjà des objets sonores composés, qui peuvent être manipulés en tant que tels et mis en circulation dans un réseau d'objet numériques »⁴⁹⁸. La composition d'une pièce mixte, dans un cas pratique, commence par l'élaboration d'une partition instrumentale (pour l'instrument pour lequel la pièce est composée), ensuite un instrumentiste (normalement le même qui jouera la pièce) enregistre les figures de cette partition, en suivant les instructions verbales du compositeur : « ces figures ont une double fonction : d'une part, elles constituent le noyau des figures développées dans la partition instrumentale de l'œuvre ; d'autre part, elles servent de matériau sonore destiné à la partie électroacoustique »⁴⁹⁹. Cette double articulation, entre les source acoustique et électroacoustique, est l'essence de ce que le compositeur nomme la « vectorisation commune ». Il s'agit d'une convergence, une

⁴⁹⁵ Voir *supra* 2.3.1 Dans *Jupiter* de Philippe Manoury.

⁴⁹⁶ VAGGIONE, Horacio dans BUDON, Osvaldo, *op. cit.*, 2007, p.112.

⁴⁹⁷ *Ibid.*

⁴⁹⁸ *Ibid.*

⁴⁹⁹ *Ibid.*, p.112-113.

même situation musicale entre les domaines acoustique et électroacoustique, qui « implique l'inclusion des sons instrumentaux dans le champ morphologique où se jouent – se composent – des articulations d'ordre spatial »⁵⁰⁰, un espace composable commun entre les deux sources, acoustiques et électroacoustique. La vectorisation commune signifie donc : « opérer une intégration perceptuelle qui soit, bien entendu, aussi structurelle que phénoménique. Cependant, ceci n'est pas donné automatiquement. Pour accéder à cette intégration, il faut qu'elle-même soit pensée comme faisant partie, à part entière, du champ du composable »⁵⁰¹. Le compositeur souligne l'importance de l'amplification pour que les sources cohabitent dans le même espace et éviter le caractère sommaire des techniques basiques comme la ligne retard avec des valeurs plus ou moins fixes dont le résultat sonore est pauvre en raison de sa prévisibilité perceptive⁵⁰².

Dans le cas d'*Atem* (2003), pour cor, clarinette basse, piano, contrebasse et dispositif électroacoustique Vaggione explicite le principe essentiel de la vectorisation commune dans la musique mixte :

Certaines figures électroacoustiques sont assez proches de celles qui sont énoncées par les sources instrumentales, conservant des caractéristiques liées à leurs causalités physiques, tandis que d'autres s'en éloignent, ayant suivi de profondes transformations morphologiques. On y trouve aussi des myriades de figures intermédiaires, dans lesquelles l'aspect énergétique des sons instrumentaux est préservé, bien que la structure sonore soit transformée [...] Les sons émis par les instruments en direct doivent se mélanger très étroitement avec les sons de la partie électroacoustique, spécialement avec les variantes plus ou moins littérales des mêmes figures instrumentales, disposées dans le temps avec divers degrés de décalage. Quand les deux types de figures se trouvent ainsi mélangées, il se produit une espèce d'iridescence particulière, résultant de leurs interactions⁵⁰³.

L'analyse de *Till* (1991) pour piano et électronique réalisée par Martin Laliberté révèle plusieurs catégories de « vectorisation commune » propres à la musique du compositeur :

L'analyse de la pièce [*Till*] permet de retrouver de nombreux vecteurs. Effectuons une typologie générale, avant de vérifier leurs applications communes à différents niveaux. On peut regrouper les principaux vecteurs soit dans la catégorie des signaux, soit dans la catégorie des enveloppes et par couples complémentaires [...]

⁵⁰⁰ VAGGIONE, Horacio, « L'espace composable : sur quelques catégories opératoires dans la musique électroacoustique », in J. M. CHOUVEL, M. SOLOMOS (éd.), *L'espace : musique-philosophie*, Paris, L'Harmattan, 1998, p.165.

⁵⁰¹ *Ibid.*

⁵⁰² *Ibid.*

⁵⁰³ VAGGIONE, Horacio, « Notes sur *Atem* », dans *op. cit.*, 2007, p.122.

certaines regroupements sont de plus caractéristiques. Le plus significatif est la concaténation de l'accent et de la descente : ce groupe est, tout à la fois, la forme acoustique du son de piano élémentaire, le geste percussif archétype, le grain de son élémentaire des *q-car et cliquetis*, et une figure musicale de base. Il serait encore à remarquer les dialogues fréquents de la bande et du piano, souvent entre le piano et les *q-bast* ou les *bombes* et les clusters écrits du piano, sans oublier la complémentarité fréquente des densités et des différentes couches sonores⁵⁰⁴.

Certes, la « vectorisation commune » contribue à la richesse de la musique mixte, cependant il y a certains dangers potentiels à cette pratique. Pour la composition de *Myr-S* (1996) pour violoncelle et électronique, le compositeur opère des transformations morphologiques propres au domaine électronique, comme la convolution, à un niveau symbolique, macroscopique, c'est-à-dire celui de la partition instrumentale du violoncelle. Ce procédé peut se faire de deux façons, avec un algorithme agissant directement sur les paramètres globaux d'une partition (avec le logiciel OpenMusic, par exemple), ou par la transcription de processus réalisés dans le domaine sonore. Cette dernière impose un passage entre deux échelles différentes, par conséquent, deux représentations différentes. Cela peut représenter des risques, car le transfert d'échelle n'est pas toujours linéaire, c'est-à-dire qu'une opération réalisée dans un domaine donné (le sonore, par le biais d'une transformation morphologique) ne garantit pas que le résultat audible de la transcription (dans le domaine d'une partition instrumentale traditionnelle) sera équivalent à celui du premier domaine. Toutefois, ce danger potentiel n'empêche pas la réalisation de ce procédé ; au contraire, si le compositeur est conscient des disjonctions entre différents niveaux de représentation, le résultat pourra être assez satisfaisant, car les deux domaines sont dans le musical. Le point le plus important c'est que le transfert d'opération, d'une représentation à l'autre, ne garantit pas en soit la pertinence de l'opération ; il faudra toujours la vérifier par un processus en boucle *feedback action/perception*. Par rapport au transfert d'opération d'un domaine à l'autre, Vaggione complète :

je propose n'est pas une simple "équivalence" de type one-to-one entre des modalités qui, bien qu'ayant en commun le fait de leur codification discrète, relèvent néanmoins d'"ontologies régionales" différentes (que ces modalités soient, comme je l'ai dit, inextricablement liées ne signifie pas qu'elles soient en tout point semblables): il s'agit plutôt, à partir de ces conjonctions et disjonctions, d'organiser leur vectorisation commune. Bien évidemment, des opérations en

⁵⁰⁴ LALIBERTE, Martin, *op. cit.*, 2007, p.221.

principe similaires appliquées à des domaines différents auront des résultats aussi caractéristiques à chaque domaine. Mais un fois le principe opératoire de leur vectorisation commune posé, nous assisterons à la mise en place de corrélations formelles évidentes⁵⁰⁵.

4.5. Perspectives créatives de l'approche orientée objet-opératoire

Concernant la composition d'*Atem*, Vaggione lui-même rapporte sa démarche créative dans le cadre d'une pièce mixte. Nous pouvons le comprendre comme un résumé de la démarche orientée objet (en prenant toutefois avec toutes les précautions possibles ce genre de déclaration) :

D'un point de vue opératoire, il s'agit d'un ensemble de transformations morphologiques réalisées au moyen de techniques numériques, appliquées à l'écriture des sons électroacoustiques ainsi qu'à celle de la partition instrumentale. Ces transformations couvrent une variété d'échelles temporelles situées entre micro-temps et macro-temps. Dans cette pièce, certains phénomènes sonores, perceptibles au niveau macroscopique, dépendent essentiellement de conditions et opérations réalisées à des échelles temporelles minuscules⁵⁰⁶.

D'emblée, il se vérifie que l'approche orientée objet est purement compositionnelle, il ne s'agit pas d'une approche logicielle. Certes, ce constat a été maintes fois expliqué par le compositeur, cependant le risque de malentendu demeure. L'approche orientée objet chez Vaggione n'est ni une approche poétique, ni abstraite, ni métaphorique, ni conceptuelle (dans le sens où la POO a inspiré superficiellement sa démarche). L'interprétation terme-à-terme s'avère assez délicate dans son contexte, comme déjà mentionné ci-dessus, les notions issues d'autres domaines ont un rapport assez attaché à sa musique. Contrairement à une idée purement poétique, l'objet chez Vaggione est bien concret (dans le sens large du terme « concret », c'est-à-dire le contraire d'abstrait. Il n'est pas concret dans le sens de Pierre Schaeffer), et plus que cela il est représenté discrètement par la technologie numérique. La POO est au cœur de sa démarche à la fois comme opposition aux approches « boîte noire », grâce à l'ouverture

⁵⁰⁵ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 1996.

⁵⁰⁶ *Ibid.*, p.131-132.

des objets, à la fois comme une alternative à la composition séquentielle, grâce à la mise en œuvre orientée objet non-linéaire. Par rapport à cette dernière, une méthode de contrôle orientée objet, en langage JavaScript, a été proposée par le compositeur-chercheur Alain Bonardi, pour un système temps-réel permettant de « s'affranchir des listes statiques et séquentielles de valeur du type *cue-list* ou *patrrstorage* »⁵⁰⁷.

Bonardi s'intéresse au paradigme orienté objet dans la création de musique mixte. Pour la composition de *Pianotronics 3* (2016) pour piano et électronique temps-réel et pour d'autres pièces, « allant de la conception du traitement temps-réel à son contrôle sous la forme de classes-instruments ou encore son déploiement dans l'activité de composition, menée par généralisation/spécialisation de ces classes »⁵⁰⁸. Cette méthode propose alors une alternative à la conception du patch comme « un orchestre numérique » du compositeur Philippe Manoury, par exemple, car le contrôle orienté objet permet des réglages globaux ou locaux et l'association mobile des traitements élémentaires en rendant des rendus sonores très variés. Or, le compositeur compose à l'intérieur d'une classe, celle-ci ayant accès à plusieurs dimensions morphologiques.

Par rapport aux approches transformationnelles et aux opérations morphologiques, la compositrice-chercheuse Anne Sèdes part du principe que la décorrélation est la conséquence spatiale des approches granulaires et microsoniques de la composition en prenant en compte le potentiel musical des transformations morphologiques comme la convolution. Elle a ainsi proposé un modèle compositionnel en ambisonie d'ordre supérieur avec la bibliothèque HOA – *High Order Ambisonics Library*⁵⁰⁹ – avec le logiciel de synthèse numérique temps-réel Max, pour la décorrélation et la convolution. Cette bibliothèque offre, comme l'un des traitements sur les harmoniques circulaires, la possibilité d'attribuer une valeur de retard individuelle à chaque harmonique, ou une valeur globale fractionnée à chacun des harmoniques⁵¹⁰. Dans le contexte de la musique mixte, par exemple dans *Ouverture* (2015) d'Anne Sèdes pour

⁵⁰⁷ BONARDI, Alain, « composition mixte à base de traitements et contrôles orientés objet : exemple de mise en œuvre dans *Pianotronics 3* », in *Actes des Journées d'Informatique Musicale 2016*, Mar 2016, Albi, France, p.32-36.

⁵⁰⁸ *Ibid.*

⁵⁰⁹ <http://hoalibrary.mshparisnord.fr/> [lien vérifié le 27 juin 2018].

⁵¹⁰ SEDES, Anne, « Approche musicale de la décorrélation microtemporelle dans la bibliothèque HOA », in *Actes des Journées d'Informatique Musicale (JIM 2015)*, Montréal, OICRM, 2015.

grosse caisse et électronique temps-réel, la valeur du facteur de diffusion (permettant de varier de façon dynamique entre champ sonore directe et champ sonore diffus⁵¹¹) peut être contrôlée dynamiquement avec un suiveur d'enveloppe d'amplitude, par exemple. Cela contribue à une vectorisation commune en articulant le jeu instrumental avec le comportement électronique. Cette version de la bibliothèque offrait également le module *dephaser* fondé sur de la FFT, réalisé par Pierre Guillot, qui permet de réaliser « un décalage de phase de chaque harmonique [et] produit une décorrélation très fine de la localisation du son »⁵¹².

Notre activité compositionnelle s'insère dans les mêmes perspectives des exemples ci-dessus. Nous proposons des modèles composables fondés sur le couplage FAUST et JavaScript, le premier pour la synthèse numérique et le deuxième pour le contrôle orienté-objet. Le logiciel de synthèse numérique temps-réel Max est la représentation choisie pour intégrer tous les niveaux opératoires. Dans notre perspective, l'espace est aussi compris comme une dimension morphologique à travers l'approche granulaire et les traitements numériques en ordre supérieur⁵¹³.

Ainsi comme les exemples scientifiques-musicaux de Bonardi et Sèdes, notre terrain d'expérimentation concerne le traitement musical numérique temps-réel. Cela implique d'élever le statut de l'émergence au temps-réel, c'est-à-dire, articuler les interactions logicielles pour en faire découler de la synthèse numérique au moment du concert. Pour cela, il faudra placer la boucle *feedback action/perception* dans le domaine temps-réel. Cette proposition n'est pas complètement nouvelle. Garcia Reyes s'intéressait à l'« énaction sonore » en présentant « un outil servant à la réalisation de performances, d'improvisations sonores, d'installations interactives, et à la création du matériau en “temps-réel” pour la composition d'œuvres électroacoustiques »⁵¹⁴. De plus, l'émergence et la boucle *feedback action/perception* sont sous-entendues dans presque toutes les

⁵¹¹ Par rapport à la théorie de l'ambisonie d'ordre supérieur voir COLAFRANCESCO Julien, *Spatialisation de sources auditives étendues - Applications musicales avec la bibliothèque HOA*, Thèse de doctorat, Université Paris 8, 2015.

⁵¹² *Ibid.*

⁵¹³ GUILLOT, Pierre, *Les traitements musicaux en ambisonie*, Mémoire de Master 2, Université Paris 8, 2013.

⁵¹⁴ GARCIA REYES, Juan Rodrigo, *L'énaction et l'art sonore numérique*, Thèse de doctorat, Université Paris 8, 2011.

performances temps-réel, soit par le compositeur lui-même, soit par l'interprète dans le cas de pièces mixtes. Cependant, le fait d'en être conscient et de l'élever à un statut composable, c'est-à-dire pouvoir composer avec l'émergence selon un critère perceptif, peut contribuer à de nouvelles propositions singulières.

Des questions pratiques importantes se dégagent de ce contexte. Dans le cadre de la musique mixte temps-réel, le réseau compositionnel n'est pas complet lorsque tous les agents sont en activité, c'est-à-dire, lorsque l'instrumentiste et le système informatique marchent ensemble. Cela implique que le compositeur peut seulement composer s'il est en collaboration avec un instrumentiste lors de plusieurs séances d'essai. Le compositeur peut cependant travailler en amont sans forcément avoir un véritable retour fidèle de la pièce. Certes, de nombreux instruments virtuels sont disponibles dans le marché, mais étant donné que l'objectif de cette démarche est de composer des figures singulières, ces jeux ne sont pas toujours donnés par ces instruments (en général, ils priorisent une écriture de « note »). De plus, vu la nature complexe des morphologies avec laquelle nous travaillons, ces outils ne rendent pas toujours un résultat sonore satisfaisant. Le moment des répétitions s'avère alors d'extrême importance, car il s'agit de l'un des seuls moments de retour « fidèle » du réseau en composition. Étant donné le contexte musical professionnel actuel, l'agenda des musiciens, des ensembles et des orchestres ne sont pas toujours compatibles avec le propos d'une composition interactive en amont. La perspective de la composition participative se montre alors une alternative fertile et efficace⁵¹⁵.

Même si les exemples de projection des idées musico-théoriques d'Horacio Vaggione cités ci-dessus ont priorisé la musique mixte, notre problématique dépasse cette classification de sous-genres électroacoustiques. Certes, la musique mixte, avec la riche problématique de la vectorisation commune, propose un cadre fertile d'interaction en plusieurs niveaux (homme-machine, compositeur-instrumentiste, acoustique-électroacoustique etc.), cependant notre problématique se place au cœur de la

⁵¹⁵ Par rapport à l'interprétation participative nous reviendrons. BITTENCOURT Pedro, *Interprétation musicale participative — la médiation d'un saxophoniste dans l'articulation des compositions mixtes contemporaines*, Thèse de doctorat, Université Paris 8, 2015.

composition du son lui-même en tenant compte de sa morphologie plurielle et des manières de les articuler dans un réseau opératoire interactif.

Le fait de l'étendre au temps-réel ne signifie pas que nous le préférons au détriment d'une méthode temps différé. Or, vu la propriété multi-échelle et multi-logiciel de cette proposition, le clivage entre temps-réel et temps différé n'est plus approprié. Nous pouvons cependant parler de la synthèse temps-réel au moment du concert. Plutôt que de donner le « pouvoir » et le « contrôle total » aux instrumentistes, cela accentue le potentiel émergent de notre proposition.

5. Analyser pour composer : vers la modélisation orientée objet-opératoire

Edgard Varèse affirme que « l'analyse est stérile »⁵¹⁶. Jean-Claude Risset conclut son article sur l'analyse de la musique faisant appel à l'informatique en affirmant que « analyser est apprendre à composer »⁵¹⁷. Les deux positions, apparemment discordantes, sur la pertinence de l'analyse pour la composition, viennent de deux figures majeures de la musique du XX^e siècle qui partagent des caractéristiques musicales convergentes, ainsi qu'un lien d'amitié. Horacio Vaggione, quant à lui, suit la direction de son directeur de thèse Daniel Charles en se plaçant plutôt dans la perspective de Varèse. Vaggione omet délibérément de donner des exemples dans ses textes afin de ne pas donner des recettes pré-fabriquées au lecteur en stimulant la découverte de ses propres chemins compositionnels. La conservation et la mise à disposition des « recettes musicales informatiques » est la démarche proposée par Risset pour l'apprentissage de la composition faisant appel à l'informatique musicale. D'un point de vue similaire à Risset, Agostino Di Scipio a publié de nombreux ouvrages sur la musique de Xenakis, Berio et Risset. L'héritage de ce corpus analytique est clair et explicite dans son approche compositionnelle⁵¹⁸. Pierre Boulez, dans une même perspective, considère l'analyse comme une potentielle source d'une œuvre nouvelle, car « l'analyse est créatrice pour autant qu'elle se rapporte au caractère problématique de l'œuvre, qui comme un potentiel à partir duquel le compositeur déduira une œuvre sans commune mesure pourtant avec la précédente »⁵¹⁹.

Ce désaccord montre, dans un premier temps, que des figures musicalement proches, ne sont pas forcément toujours en accord sans autant perdre le respect mutuel.

⁵¹⁶ VARESE, Edgard, *Ecrits*, (ed.) Hirbour L, Paris, Christian Bourgois, 1983, p.40.

⁵¹⁷ RISSET, Jean-Claude, *Composer le Son : repères d'une exploration du monde sonore numérique*, *Écrits*, vol 1. Paris, Hermann, 2014 [Cet ouvrage republié RISSET, Jean-Claude, « Problèmes posés par l'analyse d'œuvres musicales dont la réalisation fait appel à l'informatique », in *Analyse et création musicale*, Paris, L'Harmattan, 2001], p.220.

⁵¹⁸ DI SCIPIO, Agostino, « Systems of Embers, Dust, and Clouds: Observations after Xenakis and Brün », *Computer Music Journal*, 26 (1), 2002, p.22-32.

⁵¹⁹ BOISSIERE, Anne, « Geste, interprétation, invention selon Pierre Boulez », *Déméter*, 2002, p.3.

De plus, ce scénario ouvre un panorama épistémologique riche et dynamique dans lequel plusieurs perspectives sont envisageables.

En premier lieu, ces positionnements opposés vis-à-vis de la pertinence créative de l'analyse relèvent surtout d'un aspect polysémique du terme « analyse » lorsqu'il est appliqué dans le domaine musical. Par exemple, le concept d'*analyse par synthèse* proposé par Risset⁵²⁰ est mentionné par Baudouin⁵²¹ comme une méthode analytique pour la reconstruction de *Stria* (1977) de John Chowning. En fait, le premier chercheur se réfère à l'analyse dans un contexte de l'analyse du signal sonore, c'est-à-dire une synthèse imitative dont le but est d'atteindre un résultat sonore similaire aux éléments analysés⁵²². Risset utilise comme exemple ses recherches sur la synthèse des sons pseudo-instrumentaux dont l'objectif principal est d'acquérir plus de flexibilité technique pour le traitement du son et ainsi pouvoir réaliser des transformations sonores intimes⁵²³. La démarche de Baudouin, au contraire, consiste à analyser une pièce du répertoire musical, *Stria* (1977) de John Chowning. L'analyste se réfère à la méthode *analyse par synthèse* comme une tentative de synthétiser le son (de l'œuvre analysée) avec le langage CSound en la comparant, avec le sonagramme de la source originale⁵²⁴. L'objectif de cette démarche est donc de « cloner » la pièce analysée dans un format de haute qualité, ainsi que de produire une version interactive dans laquelle le lecteur peut modifier les paramètres de la version originale. L'approche méthodologique de Baudouin est en convergence avec celle de Risset, cependant dans un contexte différent. Dans ce cas, la référence de Baudouin au concept de Risset est pertinente, cependant l'insuffisance d'attention dans le contexte avec laquelle le terme « analyse » est utilisé représente un potentiel danger méthodologique. La célèbre phrase de Varèse « l'analyse est stérile » est paraphrasée couramment sans faire référence au contexte dans lequel Varèse la prononce. En effet, la critique de Varèse concerne plutôt un aspect de l'analyse qui ne serait que

⁵²⁰ RISSET, Jean-Claude, « Timbre Analysis by Synthesis: Representations, Imitations, and Variants for Musical Composition », in *Representations of Musical Signals*, 7–43. Cambridge, MIT Press, 1991, p.7.

⁵²¹ BAUDOUIN, Olivier, « A Reconstruction of 'Stria' », *Computer Music Journal*, vol. 31, no. 3, p.75–81, Oct 2007, p.76.

⁵²² RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 1991.

⁵²³ *Ibid.*, p.19.

⁵²⁴ BAUDOUIN, Olivier, *op. cit.*, 2007, p.76.

purement descriptive en surface, au détriment d'une assimilation (de la pièce) purement auditive :

La musique n'est ni une histoire, ni un tableau, ni une abstraction psychologique ou philosophique. Elle est tout simplement la musique. Elle a une structure bien déterminée qui peut être appréhendée d'une façon bien plus juste en l'écoutant qu'en essayant de l'analyser. Je répète ce que j'ai déjà écrit : l'analyse est stérile. Expliquer la musique en l'analysant, c'est décomposer, mutiler l'esprit de l'œuvre. Elle n'a pas plus d'importance que le titre d'une partition qui sert tout au plus à classer l'œuvre⁵²⁵.

L'analyse telle que défendue par Risset et Di Scipio n'est, en aucun cas, préférée à l'écoute. Bien au contraire, les deux compositeurs sont unanimes en privilégiant l'écoute au détriment d'une formulation abstraite d'un tableau psychologique ou philosophique de l'œuvre. Comme déjà mentionné dans notre thèse, l'écoute était le critère d'évaluation des recherches menées par Risset pour la synthèse des sons pseudo-instrumentaux. De plus, il se réfère à l'analyse comme une « description structurelle », à la fois prospective et créative, qui suscite des réflexions permettant par exemple d'approfondir certains aspects de la pièce, notamment des approches techniques⁵²⁶. Denis Lorrain, pour l'étude *d'Inharmonique* (1977), pour soprano et bande synthétisée pour ordinateur de Risset, a réalisé une analyse en suivant la définition ci-dessus⁵²⁷. Il s'agit d'une méthodologie pionnière qui a comme objet analytique principal les codes originaux, en langage MUSIC V. L'analyste réalise, en effet, une reconstruction, permettant au lecteur de produire des variantes en modifiant les valeurs de certains paramètres. La démarche analytique de Baudouin citée ci-dessus se place dans la même perspective méthodologique de celle de Lorrain.

L'analyse n'est donc pas une matière singulière, il s'agit plutôt d'un sujet complexe et changeant qui a connu différentes fonctions et démarches au cours de l'histoire et selon le contexte dans lequel elle a été utilisée. L'instauration de l'analyse dans le contexte institutionnel est assez récente. En France, l'analyse « n'existe pas

⁵²⁵ VARESE, Edgard, *op. cit.*, 1983.

⁵²⁶ RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 1991.

⁵²⁷ LORRAIN, Denis, « *Inharmonique* : analyse de la bande magnétique de l'œuvre de J.C. Risset », Rapport IRCAM n°26, Paris, Centre G. Pompidou, 1980, disponible via <http://articles.ircam.fr/textes/Lorrain80a/> [lien vérifié le 27 juin 2018].

comme discipline avant le dernier tiers du XX^e siècle »⁵²⁸. Toutefois, dès le XIX^e siècle, l'analyse est un instrument descriptif ayant un but pédagogique. Cette pratique est plus proche d'un « guide d'écoute » destiné au « grand public »⁵²⁹. Varèse, dans la citation ci-dessus, se réfère probablement à ce genre d'analyse.

Au tournant des XIX^e et XX^e siècles, l'analyse musicale a acquis des caractéristiques scientifiques à une époque où se développait un courant structuraliste. Les noms les plus cités de cette période sont Hugo Riemann (1849-1919) et Heinrich Schenker (1868- 1935). Cette perspective a trouvé un terrain fertile au XX^e siècle, surtout avec Allen Forte (1926-2014). La grammaire générative de Fred Lerdahl et Ray Jackendoff⁵³⁰, par exemple, sont « pour une grande part [...] une réécriture adroite et modernisée des théories schenkériennes et de ses méthodes graphiques, assorties d'une traduction en règles d'inspiration linguistique. La construction ne génère pas des phrases musicales mais une structure assimilée à la perception de l'auditeur »⁵³¹. L'avènement de l'informatique a permis la formulation de modèles pour l'analyse comme dans les démarches de Marcel Mesnage et André Riotte⁵³². Les formalismes mathématiques – courant initié par Milton Babbitt (1916-2011) qui a développé dès 1955 un travail à base mathématique sur le système dodécaphonique – ont vu émerger une communauté de compositeur-analystes (ou compositeur-auto-analystes) : Pierre Barbaud (1911-1990), Iannis Xenakis (1922-2001), Michel Philippot (1925-1996) ; ce dernier a appliqué des techniques mathématiques à l'analyse de ses propres pièces, ainsi qu'à la composition avec des outils mathématiques. Ces travaux utilisent, de manière prédominante, les paramètres d'une partition traditionnelle comme source analytique. Par exemple, André Riotte a développé un premier travail informatique visant à calculer exhaustivement une classe de séries à double contraintes (hauteurs et intervalles).

⁵²⁸ CAMPOS, Rémy, « L'analyse musicale en France au XX^e siècle : discours, techniques et usages » *In Analyser l'analyse ? , L'analyse musicale, une pratique et son histoire* (Rémy Campos et Nicolas Donin, éd.), Genève, Droz-Conservatoire de Genève, 2009, p.353.

⁵²⁹ *Ibid.*

⁵³⁰ LERDHAL, Fred, JACKENDOFF, RAY, *A Generative Theory of Tonal Music*, MIT Press, Cambridge, 1983.

⁵³¹ MESNAGE, Marcel, RIOTTE, André, « Modélisation informatique de partitions, analyse et composition assistée », *Les Cahiers de l'Ircam: La composition assistée par ordinateur* 1(3), juin 1993.

⁵³² RIOTTE, André, « L'utilisation de modèles mathématiques en analyse et en composition musicales », *Actes du Quadrivium Musique et Sciences*, I.P.M.C., Metz, 1991.

En France, Jean Barraqué (1928-1973) a été l'un des premiers musicologues à s'être spécialisé dans l'analyse, en plus de son activité de compositeur. Sa démarche analytique, pour ses analyses célèbres de *La mer* de Debussy et de la *Cinquième symphonie* de Beethoven, est fondée sur l'étude des paramètres musicaux représentés sur la partition. L'analyste réduit ainsi l'œuvre à « quelque dénominateur commun »⁵³³. D'ailleurs, Barraqué s'intéresse au contexte où sont placés les fragments analytiques. Contrairement à des chercheurs comme Jacques Chailley (1910-1999), qui se limitent à réaliser une approche harmonique, il privilégie les interférences entre paramètres. L'analyse, de ce point de vue, correspond à la définition canonique de Ian Bent dans l'article « analyse » de *New Grove Dictionary of Music and Musicians* : « L'analyse musicale est la résolution d'une structure complexe en éléments constitutifs relativement plus simples »⁵³⁴. Cette définition est reprise couramment sans réserve par une partie de la communauté musicologue, mais aussi citée par les chercheurs intéressés à réévaluer la place de l'analyse dans la pratique musicale actuelle⁵³⁵. La définition cartésienne de Bent est, dans un premier temps, incompatible avec l'idée d'analyse cognitive⁵³⁶, car selon cette définition, analyser constitue une étude de « la musique en soi plutôt que les facteurs qui lui seraient externes »⁵³⁷. Cela s'oppose également à une approche analytique tournée vers la sémiologie, comme le modèle tripartite de Jean Molino, repris par Jean-Jacques Nattiez. De plus, avec l'avènement de l'informatique musicale et surtout de la musique électroacoustique (dont son fondateur, Pierre Schaeffer, disait que « la musique est faite pour être entendue »), la définition de Bent est de plus en plus désuète, comme l'affirme Donin :

on s'efforcera plutôt de comprendre à quoi tient que cette définition ait été consensuelle au point d'être si souvent reprise sans réserves pendant un quart de siècle. Bien qu'elle paraisse au premier abord tout à fait minimale dans sa façon de déplier l'idée d'« analyse » (et l'idée de « musique »), rien n'interdit en effet de considérer que ce minimalisme et sa généralité nous en apprennent déjà beaucoup

⁵³³ CAMPOS, Rémy, *op. cit.*, 2009, p.356.

⁵³⁴ BENT, Ian, DRABKIN, William, *l'analyse musicale : histoire et méthodes*, (Trad.) Annie Cœurdevey et Jean Tabouret. Nice : Main d'œuvre, 1998, p.9.

⁵³⁵ Nous soulignons, François Delalande, Pierre Couprie, Nicolas Donin et Rémy Campos, Jean-Marc Chouvel, Laura Zattra, pour ne citer que ceux mentionnés directement dans notre recherche.

⁵³⁶ CHOUVEL, Jean-Marc, « L'analyse cognitive : décentrement méthodologique ou malentendu épistémologique ? », in *L'analyse musicale aujourd'hui. Music Analysis Today*, Sampzon, Delatour, 2015, p.39.

⁵³⁷ *Ibid.*

sur l'analyse musicale à l'époque de son institutionnalisation - y compris par opposition avec ce que l'analyse est devenue entre-temps et qui fait que la définition de Bent ne peut plus nous parler aussi directement aujourd'hui. Car les « éléments constitutifs » que manipule une analyse computationnelle sont-ils forcément « relativement plus simples » que la structure de base de l'objet analysé ? Les fonctions des éléments à analyser sont-elles toujours définies depuis « l'intérieur » de la structure ? Et jusqu'à quel point sont-ce des « structures » que l'on analyse, par exemple dans le domaine de l'analyse d'interprétation ? La définition de Bent précédait, suivant l'usage du dictionnaire auquel elle était destinée, un historique des méthodes analytiques à travers les siècles; elle se devait donc d'exposer le plus petit dénominateur commun capable de les introduire. Ce dernier s'avéra essentiellement structuraliste — non seulement par l'adoption des notions de structure, d'élément et de fonction, mais aussi par ce qu'il taisait. Restaient en effet à l'extérieur de la définition tant la question de savoir ce qui est musical et ce qui ne l'est pas (la musicalité de la structure considérée apparaissait comme un donné préalable), que la question de la valeur de l'œuvre, ou enfin celle des modalités d'expression de l'analyse (obéit-elle à un genre ? à une logique discursive ? Se laisserait-elle formuler de façon entièrement non verbale ?⁵³⁸.

Les limitations de cette définition sont aussi soulignées par Chouvel⁵³⁹ qui affirme que les descriptions linéaires des phénomènes musicaux, par exemple, sur le modèle du langage sont réductrices. Même l'analyse paradigmatique, proposée par Nicolas Ruwet, qui respecte mieux l'intégrité du texte musical, se limite essentiellement à la monodie⁵⁴⁰ : « Réduire le phénomène musical à un flux monodique n'est ni conforme à la réalité du monde, où nous sommes baignés sans cesse de mille effluves sonores, ni à la réalité de notre perception »⁵⁴¹.

Dans le cas de la *musique de sons* – spécialement de la musique électroacoustique, plus spécifiquement des musiques étudiées dans le cadre de notre thèse – certains projets ont comme but de réévaluer le rôle de l'analyse de la musique électroacoustique dans la pratique musicologique actuelle. Le projet de recherche *New Multimedia Tools for Electroacoustic Music Analysis*⁵⁴² a commencé, en octobre 2010 au *Music, Technology and Innovation Research Centre* de l'Université de Montfort de Leicester, avec Simon Emmerson et Leigh Landy comme responsables, associant Mike Gatt et Pierre Couprie comme chercheurs. Ce projet a duré trois années et répondait à trois objectifs principaux :

⁵³⁸ DONIN, Nicolas, « Analyser l'analyse ? », in *L'analyse musicale, une pratique et son histoire* (Rémy Campos et Nicolas Donin, éd.), Genève, Droz-Conservatoire de Genève, 2009, p.23.

⁵³⁹ CHOUVEL, Jean-Marc, « Polyphonie/polysémie. Comment aborder la multidimensionnalité du temps musical ? », in J.-M. Chouvel, F. Lévy (éd.) *Peut-on parler d'art avec les outils de la science ?*, Paris, L'Harmattan/Ircam, 2002, p.309.

⁵⁴⁰ *Ibid.*

⁵⁴¹ *Ibid.*

⁵⁴² http://www.pierrecooprie.fr/?page_id=798 [lien vérifié le 26 avril 2018].

(1) étudier la musique électroacoustique à travers l'analyse d'œuvres et l'évaluation de méthodes d'analyse ; (2) développer un logiciel pour l'analyse de la musique électroacoustique ; (3) créer une plateforme en ligne afin de fédérer une communauté de musicologues et publier des analyses musicales⁵⁴³. Le logiciel d'analyse électroacoustique, EAnalysis, de Couprie, est né du projet. Cet outil rassemble des méthodes existantes avec la possibilité d'ajout de la part de l'utilisateur de nouvelles fonctionnalités. De ce projet provient également *l'Electroacoustic Resource Site*⁵⁴⁴ – réalisée et maintenu par Leigh Landy, Pierre Couprie, Rob Weale et Simon Atkinson – afin de fournir des ressources à tous ceux qui souhaitent réaliser des recherches dans le domaine de la musique électroacoustique. Ce projet prend en compte alors le caractère pluriel de ce répertoire, en plus d'offrir une représentation multimédia pour l'analyse de ce répertoire avec le logiciel EAnalysis.

La musique électroacoustique, à travers ses manifestations les plus diverses, pose des contraintes technologiques complexes au musicologue. Les formats de fichiers allant de l'audio aux environnements de programmation, les modes de production très diversifiés intégrant aussi bien l'écriture musicale que l'improvisation, l'usage du multimédia ou l'intégration dans une pratique interartistique, les modes de diffusion couvrant des dispositifs très variés, la prise en compte de lieux spécifiques autres que les salles de concert sont autant de variables du processus de création qui demandent à être prises en compte dans l'analyse musicale⁵⁴⁵.

Simon Emmerson et Leigh Landy, responsables de ce projet, ont explicitement souligné le caractère pluriel de ce répertoire en posant quatre questions fondamentales pour la définition méthodologique de l'analyse de ce répertoire : (1) pour quels utilisateurs ? ; (2) pour quelles pièces/genres ? ; (3) avec quelles intentions ? ; (4) avec quels outils et approches ?⁵⁴⁶.

Dans le cadre de notre recherche, nous nous intéressons à la l'analyse du répertoire musical faisant appel à l'informatique musicale du point de vue du compositeur et par conséquent pour la création musicale. Notre activité polyvalente impose également

⁵⁴³ COUPRIE, Pierre, *L'analyse musicale et la représentation analytique de la musique acousmatique Outils, méthodes, technologies*, Mémoire HDR, Université Paris-Sorbonne, 2015, p.59.

⁵⁴⁴ <http://www.ears.dmu.ac.uk/> [lien vérifié le 26 avril 2018].

⁵⁴⁵ COUPRIE, Pierre, *op cit.*, 2015, p.17.

⁵⁴⁶ Nous traduisons : « For which users ? For which works/Genres ? With what intentions ? With which tools and approaches ? » EMMERSON, Simon, LANDY, Leigh, *Expanding the Horizon of Electroacoustic Music Analysis*, Cambridge University Press, 2016.

l'usage de l'analyse pour l'interprétation et pour l'enseignement. La réponse à la question trois est alors multiple. Nous avons d'emblée la réponse aux trois premières questions, la quatrième mérite, quant à elle, une réflexion plus en profondeur. L'analyste-compositeur est en général intéressé par les opérations réalisées dans la pièce analysée. Dans cette perspective, la question la plus pertinente, posée par l'analyste-compositeur, est « comment », plutôt que « pourquoi », même si la deuxième est souvent implicite dans la première. En bref, le compositeur-analyste souhaite manipuler les matériaux ayant comme objet de comprendre les aspects structuraux de la pièce analysée. Le compositeur a également le désir de connaître le répertoire, même si ce sentiment est souvent caché. L'analyste-compositeur a donc un regard sur le répertoire du point de vue d'un créateur qui analyse le répertoire en se posant des questions comme si lui-même était le compositeur. Agostino Di Scipio, qui est d'abord compositeur, pour l'analyse de *Contours* (1982) de Jean-Claude Risset, tente donc de « décomposer, reconstruire et finalement interpréter les stratégies de structuration sonore adoptées par Risset dans le domaine de la représentation sonore »⁵⁴⁷. Pour cela, l'analyste-compositeur opère directement les codes du programme MUSIC V utilisés dans la pièce analysée, car les partitions MUSIC V permettent de reconnaître des traits compositionnels significatifs d'une structure sonore⁵⁴⁸. Du point de vue de notre activité musicale, notre démarche rejoint celle de Di Scipio, car ce sont les opérations sur le code informatique, avant tout, qui nous permettent de réaliser la création et l'analyse. Nous utilisons une représentation commune, précisément le code informatique. D'ailleurs, cette approche analytique prend ses racines dans l'analyse pionnière de la musique faisant appel à l'informatique musicale, celle d' *Inharmoniques* (1977) de Jean-Claude Risset, réalisée par l'analyste-compositeur Denis Lorrain.

Afin de réévaluer l'analyse dans notre activité, avec les fondements méthodologiques mentionnés ci-dessus, nous avons eu recours à deux articles, datant presque de la même époque, écrits par les deux compositeurs fondamentaux de cette

⁵⁴⁷ DI SCIPIO, Agostino, « A story of emergence and dissolution - analytical sketches of J.C. Risset's *Contours* », in T. Licata, ed., *Electroacoustic music : analytical perspectives*, Greenwood Press, Westport, CT, 2002 [DI SCIPIO, Agostino, « An Analysis of Jean-Claude Risset's *Contours* », *Journal of New Music Research*, vol. 29 n°1, 2000], p.152.

⁵⁴⁸ *Ibid.*, p.151.

thèse : *Singularité de la musique et analyse : l'espace d'intersection* d'Horacio Vaggione et *Problèmes posés par l'analyse d'œuvres numériques dont la réalisation fait appel à l'informatique* de Jean-Claude Risset. Le premier de 1996, publié dans les actes de l'académie internationale de musique électroacoustique, souligne les dangers potentiels de l'analyse menée dans un but créatif. Le deuxième, de 1995, originaire d'une communication pour le troisième congrès européen d'analyse musicale, est un article repris à plusieurs reprises concernant l'analyse de la musique faisant appel à l'informatique : l'auteur identifie et exemplifie les difficultés méthodologiques. Il souligne également l'importance de l'analyse pour les compositeurs.

5.1. L'analyse et le compositeur

L'analyse musicale comme outil d'apprentissage compositionnel est une ressource récurrente dans l'histoire de la musique occidentale. En France, les cours tenus au Conservatoire de Paris par Olivier Messiaen (1908-1992) suivaient la méthodologie d'écoute et d'analyse des œuvres canoniques du répertoire musical ; cette démarche pédagogique était également pratiquée dans la classe de Vincent d'Indy (1851-1931) à la fin du XIX^e siècle. Cette méthodologie est toujours employée dans les classes de composition dans les conservatoires et universités du monde entier. Le compositeur Philippe Leroux (1959-), par exemple, affirme qu'il a appris principalement la composition en analysant les œuvres des compositeurs du passé, notamment dans la classe d'analyse de Claude Ballif (1924-2004) au Conservatoire de Paris⁵⁴⁹. De plus, à partir de l'analyse des « œuvres des compositeurs du passé », Leroux commente son rôle d'analyste de ces propres œuvres :

Un deuxième objet sur lequel porte l'analyse dans la composition est l'œuvre elle-même : l'œuvre particulière, mais au service d'une vision globale. Il s'agit ici de se placer au-dessus d'elle et d'essayer d'adopter un regard extérieur : celui de la troisième personne. Il faut jouer à être cet autre qui recevrait la pièce, vierge de toute connaissance poétique et de tout savoir sur l'archéologie de sa création. Cela

⁵⁴⁹ LEROUX, Philippe, « De Voi(rex) à Apocalypsis : essai sur les interactions entre composition et analyse », *L'inouï, revue de l'Ircam*, n° 2, 2006, p.44.

seul peut permettre de trouver ce que Hanks Keller appelle “l’arrière-plan” : ce qui est trop évident dans l’esprit du compositeur pour être formulé⁵⁵⁰.

Dès lors, il est possible de distinguer deux approches différentes de l’analyse du répertoire musicale menées par un compositeur : celle des compositeurs du passé, c’est-à-dire, l’analyse du répertoire proprement dit ; et celle des propres pièces du compositeur, l’auto-analyse. Cette différenciation est nécessaire, car elle aide à éclairer le vrai objet analytique ainsi qu’à cibler la méthodologie et la pertinence analytique selon les quatre questions élaborées par Emmerson ci-dessus. Or, l’analyse du répertoire est historiquement et principalement pédagogique et les outils et méthodologies dépendent directement de la nature de la pièce analysée, alors que l’auto-analyse est un processus intrinsèque de la composition, surtout de la recherche-crédation, car tous les compositeurs, explicitement ou implicitement, la mettent en œuvre. De fait, l’auto-analyse a été classée selon Donin comme une alternative à la théorisation par certains compositeurs de la deuxième moitié du XX^e siècle. Cela se produit bien évidemment lorsque le compositeur extériorise cette analyse⁵⁵¹. Arnold Schoenberg et Pierre Schaeffer, par exemple, réalisent l’auto-analyse de manière différentes. Le premier produit une réflexion sur sa propre musique sous un critère analytique (plus proche de la citation ci-dessus de Leroux), alors que Schaeffer écrit une sorte de journal, en décrivant les étapes du processus compositionnel⁵⁵². Toutefois, pour de nombreux autres compositeurs, l’auto-analyse est réalisée selon une méthodologie plus proche de la description, ou du guide d’écoute, avec un caractère prédominant réductif. Cette catégorie n’est pas envisagée dans le cadre d’une étude théorique – soit compositionnelle, soit analytique – car il ne s’agit pas d’une analyse proprement dite, comme souligné par Vaggione :

Les écrits des compositeurs font souvent état de leur recherche “connective” [...] ainsi que de tentatives de description de type réductif, où ils s’efforcent de signaler leurs propres découpages formels. Ces écrits [...] ne constituent pas des analyses au sens strict, mais de comptes-rendus, des “rapports”⁵⁵³.

⁵⁵⁰ *Ibid.*, p.47.

⁵⁵¹ DONIN, Nicolas, « L’auto-analyse, une alternative à la théorisation ? », in : *Théories de la composition musicales au XXe siècle*, Lyon, Symétrie, 2013.

⁵⁵² *Ibid.*

⁵⁵³ VAGGIONE, Horacio, « Singularité de la musique et analyse : l’espace d’intersection », *Analyse en Musique Électroacoustique, Actes de l’Académie internationale de musique électroacoustique*, vol. II, Bourges, Éditions Mnémosyne, 1996, p.80.

Dans le cadre de la *musique de sons*, le compositeur a une relation intime et essentielle avec l'analyse. Dans la plupart des opérations compositionnelles, le compositeur est l'analyste de son propre matériau compositionnel. Ce constat a été observé par Leroux, lorsque le compositeur affirme que le premier objet d'analyse est le matériau sonore lui-même :

j'utilise principalement des harmonies et des rythmes issus de l'analyse de phénomènes sonores. Il s'agit à un premier niveau d'analyser le spectre ou les rythmes internes de ces phénomènes, pour en tirer des conduites ou des réservoirs harmoniques et rythmiques qui seront ensuite projetés dans l'espace instrumental⁵⁵⁴.

D'ailleurs, les compositeurs *spectraux*, se servent davantage et explicitement de l'analyse selon ce sens pour la composition. Cela est le cas de Tristan Murail, mentionné dans la première partie de cette thèse. De fait, Vaggione a une opinion similaire à celle de Leroux, selon ce compositeur-chercheur :

Il faudrait distinguer les analyses qui font partie de ce processus de composition de celles dont la musique est pour ainsi dire leur objet externe [...] Composer est toujours analyser : analyser le matériau, analyser les relations possibles, ainsi que celles qu'y ont été déjà déterminées. Et ceci à toutes les échelles de temps auxquelles le compositeur peut avoir accès. La "Microanalyse" rendue possible grâce à l'avènement de l'informatique [...] L'analyse du compositeur peut être des codificateurs et des convertisseurs d'informations musicales (par exemple, en puisant dans des structures spectrales des données qui peuvent être converties en structures de surface, ou vice-versa : ou bien en transformant des données fréquentielles en données spatiales les analyses, et les synthèses qui en découlent, font circuler ces informations dans un réseau compositionnel⁵⁵⁵.

Certes, le rôle de l'auto-analyse est implicite dans l'activité du compositeur, cependant en revenant sur l'analyse du répertoire, c'est-à-dire, l'analyse des œuvres dont le compositeur n'est pas le compositeur-analyste lui-même, la pertinence et la valeur de cette pratique dans un cadre créatif n'est pas toujours évidente. Selon Vaggione, cela est possible seulement si la définition d'analyse de Bent ci-dessus est complètement écartée, car la réduction est incompatible avec la contextualisation étant le possible point de liaison entre l'analyse et la composition. Comme Vaggione affirme, en mentionnant Strawson⁵⁵⁶ :

⁵⁵⁴ LEROUX, Philippe, *op. cit.*, 2006, p.46.

⁵⁵⁵ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 1996, p.79.

⁵⁵⁶ STRAWSON, Peter Frederick, *Analyse et métaphysique*, Paris, Vrin, 1985.

La place de l'analyse dans le processus de composition - qui n'est pas celle d'une "auto-analyse" mais d'un outil productif - ne se clarifie que dans la mesure où l'idée-même d'analyse est amplifiée, signifiant une mise en œuvre de procédures non seulement de type *réductif* mais aussi *connectif*. [...] L'importance d'une forme d'analyse qui, au lieu de réduire son objet à des éléments les plus simples, révèle sa tâche dans la recherche d'un *contexte*. La stratégie de toute analyse, selon Strawson, devrait être à la fois descendante et ascendante, parce que, si réduction il y a, c'est uniquement pour mieux connecter⁵⁵⁷.

Dès lors, « la recherche d'un *contexte* » devient un critère méthodologique essentiel pour l'analyse créative. Cette idée rejoint celle de Chouvel ci-dessus, puisque la réduction d'un phénomène musical à une seule structure est essentiellement non contextuelle. La liaison entre l'analyse et la composition par son contexte, comme défini par Vaggione ci-dessus, amène à se demander *de quel contexte commun il s'agit ?* D'une manière générale, le compositeur-analyste cherche à contextualiser sa musique dans le répertoire et vice-versa. Ainsi, l'analyse par le compositeur est souvent tendancieuse, car le compositeur-analyste a une tendance à chercher des « analogies avec ses propres obsessions ». Même si « l'analyse type » est difficilement définie vis-à-vis de la pluralité de cette matière.

Cette faculté d'imaginer, puis de concrétiser des formes en marche rend le compositeur enclin à interroger, à des périodes clefs de son évolution, d'autres œuvres musicales (ou non) où il pressent des analogies avec ses propres obsessions. Il les démonte alors et cherche à dégager les forces en jeu, ce qui le rend analyste d'occasion, mais avec des partis pris, des paresse : tel procédé sera examiné à la loupe, alors que telle section sera négligée. C'est pourquoi, sauf exceptions notoires (la Mer de Barraqué, le Sacre de Boulez), le compositeur n'est pas l'analyste type⁵⁵⁸.

En plus de la contextualisation, la notion de singularité chère à Vaggione, est incompatible avec la méthodologie d'application compositionnelle terme-à-terme des modèles issus d'un processus analytique. Les compositeurs-analystes qui ont fait appel à des méthodes d'intelligence artificielle pour la simulation de style des compositeurs du passé, notamment les essais de David Cope⁵⁵⁹ et celui des chorals de Bach, réalisés par Kemal Ebcioglu⁵⁶⁰, ont échoué autant dans le domaine de la composition que de l'analyse.

⁵⁵⁷ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 1996, p.79-80.

⁵⁵⁸ MESNAGE, Marcel, RIOTTE, André, *op. cit.*, 1993.

⁵⁵⁹ COPE, David, *Computers and musical style*. Madison, Wi : A-R Editions, 1991.

⁵⁶⁰ EBCIOGLU, Kemal, *An Expert System for Harmonisation of Chorales in the Style of J.S. Bach*, University of Buffalo, 1986.

Or, l'application de modèles terme-à-terme n'ont produit qu'une « démarche pédagogique, voire comme une curiosité, l'aspect parodique prenant le pas sur l'aspect explicatif »⁵⁶¹. De manière générale la musique n'est plus singulière s'il s'agit de l'application d'un modèle, ou de règles, qui ne lui sont pas propres⁵⁶².

Wittgenstein nous rappelle ce qui, du point de vue cognitif, fait la singularité de l'œuvre musicale : elle constitue en quelque sorte "une solution" sans qu'on puisse "identifier le problème" auquel elle répond, autrement qu'en termes spécifiquement musicaux [...] De plus, si l'œuvre musicale s'affirme elle-même en tant que singularité, ses modes d'engendrement sont également singuliers, sans toutefois se confondre avec elle. Au contraire de la modélisation scientifique, qui tend, du moins idéalement, à une équivalence entre processus et résultat, tout se passe comme si, pour la musique, la rigueur du processus d'engendrement ne saurait nullement garantir la cohérence musicale de l'œuvre⁵⁶³.

Malgré ces dangers, l'analyse du répertoire est cependant implicite dans le travail du compositeur. Fréquemment, le compositeur s'intéresse aux œuvres du répertoire avec un point de vue différent d'un musicologue. Comme déjà abordé ci-dessus, le compositeur est attentif aux opérations compositionnelles, ses « lois internes ». D'une certaine manière, l'analyste-compositeur cherche à se mettre à la place du compositeur et avoir un regard sur les matériaux comme s'il était lui-même le compositeur.

Pour un compositeur, l'analyse d'une œuvre autre que la sienne met en jeu une façon de voir différente de celle d'un musicologue. Le compositeur se projette dans l'œuvre analysée comme s'il l'avait composée lui-même. Il est non seulement en face d'un objet, comme le musicologue, mais il doit assimiler la façon dont a été construite la pièce, et pour cela il est obligé de se mettre à la place du compositeur. Comme un enfant se glisse dans la peau d'un chevalier pour s'en approprier les gestes⁵⁶⁴.

La citation de Leroux, ci-dessus, souligne le désir du compositeur-analyste de « se mettre dans la peau du compositeur », cette expression a été introduite par Jacques Chailley pour définir l'analyse. Cet auteur se réfère plutôt à une démarche analytique descriptive⁵⁶⁵ : « l'analyse consiste à "se mettre dans la peau" du compositeur et à

⁵⁶¹ MESNAGE, Marcel, RIOTTE, André, *op. cit.*, 1993.

⁵⁶² Toutefois, dans certains cas, comme pour le compositeur François Pachet, la réécriture des systèmes de règles harmoniques a donné de bons résultats.

⁵⁶³ *Ibid.*, p.74.

⁵⁶⁴ LEROUX, Philippe, *op. cit.*, 2006, p.45.

⁵⁶⁵ MALT, Mikhail, « Quelques propriétés des représentations, le cas de la notation musicale », *Revista do Conservatório de Música da UFPel Pelotas*, no 3, 2010, p.3.

expliciter ce qu'il a senti en écrivant »⁵⁶⁶. Sur cette perspective analytique, Vaggione est prudent en affirmant que la définition de Chailley est utopique, car la notion d'émergence impose que le compositeur tout seul ne détient pas toutes les informations contenues dans la musique. Or, lors de la composition les opérations « explicites » réalisées par le compositeur ne concernent qu'une partie des opérations repérables d'une musique. Ce constat révèle également que l'auto-analyse a le même risque fragmentaire d'une analyse du répertoire, car le compositeur-auto-analyste n'est pas toujours capable d'interpréter exhaustivement sa propre musique.

En musique, seulement une partie des contraintes [...] sont définies hors-temps, avant la composition : le "reste" émerge pendant celle-ci, de l'interaction critique du compositeur avec le matériau. Il ne pourrait être autrement, car l'action du compositeur est un cheminement qui vise la création d'un contexte singulier - une "instauration de nouvelles significations [...] Cette action [émergence] est, par nature, ouverte à chaque instant à ce qui pourrait être et n'est pas encore, action donc incertaine parce qu'elle intègre l'imprévu qui émerge de l'interaction des contraintes et des choix instantanés. Nous sommes confrontés à une incertitude procédurale qui semble être constitutive du travail de composition [...] Ce qu'un compositeur sait, ce qu'il contrôle, il doit à son artisanat (aux approches techniques qu'il s'est forgées au cours de son activité productive), artisanat qui émane de ses assomptions esthétiques, artisanat orienté mais dont le déploiement présent, ainsi que le terme ultime, sont inconnus⁵⁶⁷.

Selon Vaggione l'analyse est donc toujours non exhaustive, essentiellement fragmentaire, car elle ne peut concerner qu'une partie du matériel analytique. De plus, les méthodologies analytiques privilégient très souvent des structures découpées au détriment des opérations constitutives, c'est-à-dire les traces de singularité de l'œuvre analysée :

L'analyse musicale, en tant qu'activité de modélisation, privilégie très souvent les formes découpées par l'analyste en laissant de côté les informations concernant les opérations constitutives qui se sont cristallisées dans l'œuvre. Non sans raison d'ailleurs, vue l'impossibilité de les reconstituer étant donné la complexité et la non-linéarité de leur nature. Si le problème qui se pose au compositeur est en grande partie "indéfini" malgré les contraintes qu'il s'est fixé lui-même, incertain parce qu'ouvert à un devenir de l'œuvre, alors il serait vain de chercher un mirage dans l'analyse des opérations constitutives, à supposer qu'on soit en possession de toutes les traces, ce qui est également vain d'espérer. En d'autres mots, l'analyse d'une œuvre ne saurait être une reconstruction du processus d'engendrement⁵⁶⁸.

⁵⁶⁶ CHAILLEY, Jacques, *Traité historique d'analyse musicale*, Paris, Alphonse Leduc, 1951, p.104.

⁵⁶⁷ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 1996, p.77.

⁵⁶⁸ *Ibid.*, p.78.

La fragmentation inhérente de l'analyse est aussi accentuée par le fait que chaque analyse est singulière, au sens que chaque analyste a une méthodologie et des outils différents : « Il est vrai qu'une analyse "exhaustive", définitive, ne peut exister, puisque le sens d'une œuvre s'enrichit des préoccupations, outils et découvertes de chaque génération nouvelle, et que les liens qu'elle tisse ne sont pas limitatifs »⁵⁶⁹. L'analyste doit alors cerner son objet analytique : « Au fond, vouloir tout voir et tout entendre à la fois, c'est s'aveugler et s'assourdir [...] l'analyste est sans doute condamné à tracer successivement des profils dont la simultanéité ne constitue peut-être même pas un succédané de l'œuvre »⁵⁷⁰.

Toutefois, Vaggione pondère que l'analyse n'est pas complètement inutile, elle joue sûrement un rôle pédagogique important :

Cela ne veut pas dire qu'un effort de recherche et d'herméneutique des traces ne soit pas utile : les cahiers d'esquisses de Beethoven, par exemple, peuvent nous éclairer sur une certaine dynamique d'engendrement, mais à condition de ne pas perdre de vue non seulement le caractère nécessairement fragmentaire, dans un sens d'inachèvement, mais surtout ce qu'on pourrait appeler littéralement recherche musicale⁵⁷¹.

Même dans un cadre purement pédagogique, l'analyse en tant que matière d'apprentissage de la composition musicale présente des dangers lorsque des structures étudiées au cours d'un processus analytique sont employées mot-à-mot dans un processus compositionnel, c'est-à-dire lorsque le compositeur « imite » un modèle analytique :

Les règles qu'on apprend au conservatoire sont de nature pédagogique : leur finalité est de décrire, de modéliser une certaine pratique musicale afin de pouvoir l'imiter. Elles doivent être collectivement comprises et validées, sinon partagées. Souvent les analystes suivent - parfois inconsciemment - cette approche - ceci étant à la racine des confusions courantes sur le rôle de l'analyse [...] C'est le genre de question que se posent beaucoup d'étudiants de conservatoires qui veulent devenir compositeurs. Il nous faudra donc distinguer aussi soigneusement que possible les règles "collectives" des déterminations "privées" du compositeur, ces dernières faisant partie de ce qui est à composer⁵⁷².

Par conséquent, pour « apprendre à composer » (créer des singularités) il ne faut pas appliquer mot-à-mot les règles « collectives ». Certes, les règles pédagogiques font

⁵⁶⁹ MESNAGE, Marcel, RIOTTE, André, *op. cit.*, 1993.

⁵⁷⁰ CHOUVEL, Jean-Marc, *op. cit.*, 2009.

⁵⁷¹ VAGGIONE, Horacio, *op. cit.*, 1996, p.78.

⁵⁷² *Ibid.*, p.77.

partie de l'apprentissage du compositeur, mais il faut que l'apprenti s'émancipe des « canons stylistiques » pour ainsi faire paraître des « règles privées », autrement dit créer des singularités. L'enseignement de la composition dans les conservatoires de musique est surtout fondé sur l'analyse du répertoire, cependant il faut souligner que dans des institutions comme le GRM, le système d'enseignement était orienté surtout vers la pratique, l'expérimentation et les notions théoriques, plutôt que l'analyse du répertoire⁵⁷³. Lors du « grand stage » organisé par Pierre Schaeffer et Luc-Ferrari en 1959, les séances s'organisaient autour de l'apprentissage des techniques essentielles, surtout concernant le maniement du magnétophone ; des techniques d'ingénierie du son ; et des exposés plus théoriques fondés sur les principes du solfège schaefferien. D'autre part, le tout récent *Traité d'écriture sur support* de la compositrice concrète Annette Vande Gorne suit une approche plus « conservatrice » (d'ailleurs, il s'agit d'un ouvrage qui recueille l'ensemble du matériel utilisé pour l'enseignement de cette musique au conservatoire en Belgique). L'auteure classe plusieurs méthodes, comme l'espace, la réverbération en citant des œuvres du répertoire⁵⁷⁴.

L'application terme-à-terme des « produits » analytiques est dangereuse. Toutefois, comme souligné par Vaggione, la notion de contexte est essentielle pour l'analyse du répertoire. L'application d'une structure donnée repérée par le biais de l'analyse peut générer, grâce aux interactions avec les autres éléments du système, des significations singulières. Par exemple, un compositeur du XIX^e siècle qui apprend la forme sonate en analysant les œuvres de Mozart, va sûrement appliquer la structure apprise à sa façon en mettant son empreinte musicale. Le résultat musical est alors dans un certain niveau singulier. Dans cet exemple, la musique tonale est comprise d'un point de vue opératoire. Or, comme déjà souligné par Vaggione, il y a des opérations « à l'intérieur des contraintes du système tonal ». Ces contraintes sont donc conventionnelles, construites et non naturelles, les contraintes elles-mêmes sont des opérations⁵⁷⁵. Pour la *musique de sons*, comme déjà abordé dans la première partie de cette thèse, la notion de

⁵⁷³ FERREYRA, Beatriz, « Fragments d'un enseignement de la musique concrète de Pierre Schaeffer au GRM dans les années 1964-1970 », in *Musique et Technologie – éveiller, enseigner, créer. Portraits polychromes*. Paris, INA-GRM, 2014.

⁵⁷⁴ VANDE GORNE, Annette, *Traité d'écriture sur support*, LIEN Musiques & Recherches Vol VIII, 2017.

⁵⁷⁵ VAGGIONE, Horacio dans VAGGIONE, Horacio, SOLOMOS, Makis, SOULEZ, Antonia, « De l'opératoire », in *Formel/informel: musique-philosophie*, Paris, L'Harmattan, 2003, p.230.

structure et de morphologie est complexe, l'application d'une structure impose des conséquences dans plusieurs dimensions sonores. Dans ce cas, l'application terme-à-terme des résultats analytiques atteint une dimension plus globale qui impose des contraintes dangereuses pour la composition de singularités. Il faut surtout prendre en compte que les opérations analytiques ne sont pas de la même dimension que la composition. Ce sont des relations non-linéaires, car elles sont de nature différente. La musique, dans son ensemble, ne saurait être « déduite », la déduction est par définition stricte, tandis que le processus de composition ne l'est pas.

Les questionnements de Vaggione résumés ci-dessus rejoignent, même implicitement, la démarche analytique-créative de certains compositeurs, comme Pierre Couprie qui se questionne sur la pertinence de la création et l'analyse du répertoire : « quels liens existent-il entre la pratique de l'improvisation électroacoustique et le développement informatique d'outils d'aide à l'analyse musicale ? »⁵⁷⁶. Le compositeur-chercheur s'intéresse désormais à étudier « de nouveaux champs dans le domaine de l'analyse musicale, de la représentation, de la création et de l'interprétation »⁵⁷⁷. L'analyse et la création s'articulent déjà naturellement dans le travail antérieur de Couprie : « L'expérience que nous avons acquise depuis nos premières recherches à la fin des années 1990 s'est constamment nourrie de notre pratique artistique. Cette dernière porte en germe des concepts forts que nous avons retrouvés durant nos recherches sur l'analyse musicale »⁵⁷⁸. La recherche-crédation n'est pas abordée explicitement par le compositeur ; cependant le rôle de compositeur n'a jamais été séparé de celui de musicologue : « Si nous n'avons jamais pratiqué la recherche-crédation, nous avons quelques fois utilisé nos œuvres musicales ou nos performances improvisées afin d'expérimenter des méthodes d'analyse ou valider des formes de représentations »⁵⁷⁹. Pour Couprie, la création musicale est indissociée de son activité de recherche scientifique, y compris de l'analyse musicale.

Dans notre pratique, l'articulation entre la composition, l'analyse et l'interprétation rejoint, en partie, la problématique de Couprie. Notre activité en tant que

⁵⁷⁶ COUPRIE, Pierre, *op. cit.*, 2015, p.87.

⁵⁷⁷ *Ibid.*

⁵⁷⁸ *Ibid.*

⁵⁷⁹ *Ibid.*

compositeur est intimement liée à notre activité de recherche scientifique dans le sens où tous ces travaux se rencontrent lors des concerts. La notion de contexte dans un cadre analytique, soulignée par Vaggione ci-dessus, se montre dans notre activité un facteur essentiel pour délimiter notre champ d'activité. Or, c'est dans le contexte du concert, du *faire musical*, que la création et l'analyse se rejoignent. Évidemment, la notion de contexte mentionnée par Strawson et reprise par Vaggione, se réfère plutôt à un niveau plus spécifique à l'œuvre analysée elle-même. C'est-à-dire qu'il est possible d'analyser une pièce en interprétant l'ensemble des éléments structuraux, ainsi que leurs liaisons internes. Cette définition ressemble plutôt à une modélisation systémique dont l'objet d'étude est un réseau interactif. Dans le cadre de notre étude, nous préférons donc nous référer à des « modélisations » plutôt qu'à des « analyses ». Même si le deuxième terme n'est pas complètement abandonné pour une question d'adéquation à des nomenclatures plus globales (comme pour le projet *Analyses* auquel nous participons⁵⁸⁰).

La notion de modélisation dans le cadre de l'analyse musicale a pris une grande dimension surtout avec l'avènement de la *musicologie computationnelle*. Dès les années 1980, les chercheurs André Riotte et Marcel Mesnage ont réalisé des recherches sur la modélisation informatique des partitions⁵⁸¹. Leur objectif, dans un premier temps, était de réaliser une « simulation compositionnelle comme démarche d'analyse assistée par ordinateur, et cela de façon radicale puisqu'ils [Riotte et Mesnage] ont pris le parti de construire des modèles de partitions complets, dans le sens d'une restitution exhaustive des partitions étudiées »⁵⁸². Les compositeurs-chercheurs Damien Keller et Brian Ferneyhough ont mené une démarche similaire pour l'analyse de *ST/10-1 080262* (1952-62) de Xenakis. Étant une pièce algorithmique, le produit musical final peut être considéré comme l'une des nombreuses réalisations possibles d'un même modèle compositionnel⁵⁸³. Pour l'analyser cette pièce, il faut donc étudier le modèle lui-même, afin de comprendre ses mécanismes internes et les conditions préalables pour analyser la

⁵⁸⁰ <http://brahms.ircam.fr/analyses/> [lien vérifié le 26 avril 2018].

⁵⁸¹ ANDREATTA, Moreno, *Méthodes algébriques en musique et musicologie du XXe siècle : aspects théoriques, analytiques et compositionnels*, Thèse de doctorat, EHESS/IRCAM, 2003, p.56.

⁵⁸² MESNAGE, Marcel, RIOTTE, André, *op. cit.*, 1993.

⁵⁸³ KELLER, Damián, FERNEYHOUGH, Brian, « Analysis by Modeling: Xenakis's ST/10-1 080262 », *Journal of New Music Research*, 33:2, 2010, p.161-171.

pièce elle-même. Ces compositeurs-chercheurs ont nommé cette démarche « analyse par modélisation » [*analysis by modeling*]⁵⁸⁴.

Notre approche est plus globale, visant un répertoire musical numérique n'étant pas nécessairement issu d'un processus algorithmique décrit ci-dessus⁵⁸⁵. Nous nous approchons alors de la notion de modélisation du courant systémique selon lequel, la modélisation, contrairement à l'analyse, vise à théoriser les actions afin de « réfléchir pour mieux agir »⁵⁸⁶. Cette prise de position est le point central de la recherche-crédation⁵⁸⁷. Les modèles sont alors une représentation accessible et relativement facile, utile pour cette étude. La modélisation à laquelle nous nous référons ressemble plutôt à celle déjà mentionnée par Emmanuel Kant (1724-1804) : « la construction d'un modèle n'est ni neutre ni objective. Un modèle est construit par un homme [ou par une femme] (ou un groupe d'hommes [ou par un groupe de femmes]) en fonction de la structure de son esprit et du processus de perception et d'assimilation de la réalité. Le modèle n'est pas la réalité et l'expérience tirée du réel montre que la réalité est plus complexe que le modèle »⁵⁸⁸. Le modèle n'est donc jamais exhaustif et ne peut comprendre que le point de vue de l'analyste.

5.2. L'analyse de la musique électroacoustique

Depuis l'avènement de la *musique de sons*, spécialement de la musique électroacoustique, l'analyse de ce répertoire devient un sujet récurrent de la musicologie moderne. Contrairement à la musique tonale, notée sur une partition traditionnelle, pour

⁵⁸⁴ *Ibid.*

⁵⁸⁵ Même si l'application de la notion de modélisation selon Riotte et Mesnage est possible pour le répertoire non algorithmique, nous cherchons une notion de modèle *connective* (au sens de Vaggione ci-dessus) et non réductive à un algorithme.

⁵⁸⁶ LE MOIGNE, Jean-Louis, *La théorie du système général: théorie de la modélisation*, Collection Les Classiques du réseau intelligence de la complexité, 1994.

⁵⁸⁷ Voir aussi VALÉRY, Paul, *Introduction à la méthode de Léonard de Vinci*, 1894, Paris, Ed. Gallimard, 1957 (coll. « Idée »). Ouvrage cité systématiquement par Anne Sèdes lors du son séminaire Composition et Recherche à l'Université Paris 8.

⁵⁸⁸ JARROSSON, Bruno, *Invitation à la philosophie des sciences*. Paris, Seuil, 1992, p.177.

cette musique le manque de représentation commune et la pluralité des matériels ont posé de nombreux problèmes méthodologiques. D'autre part, ce nouveau champ a fait émerger de nouvelles pratiques analytiques qui ont révélé un vaste et fertile potentiel méthodologique vis-à-vis de l'étude scientifique de ce répertoire. Dès lors, une pratique interdisciplinaire qui concilie l'intérêt musicologique avec la science informatique a vu le jour. Dans cette perspective, de nouveaux outils, comme les descripteurs audio, ont permis un nouveau regard sur le matériau musical, et se sont avérés un outil puissant pour l'analyse du répertoire musical.

La pluralité du répertoire électroacoustique pose d'emblée une difficulté méthodologique. En fait, « l'analyse de musique électroacoustique est une discipline complexe et hétérogène »⁵⁸⁹ qui comprend une grande « typologie de sous-genres : la musique concrète, la musique sur bande, la musique mixte, la musique en temps-réel etc.. »⁵⁹⁰. Par conséquent, cette diversité associe des méthodes analytiques différentes. En relation avec les quatre questions proposées par Emerson, les critères analytiques sont directement liés à la nature du matériel musical, ainsi que la finalité et le profil de l'analyste. Le processus analytique doit commencer alors par la délimitation du champ analytique – la microstructure ou la macrostructure – ainsi que par la définition de l'objet d'étude – la partition ou l'image sonore, l'image mentale du compositeur ou sa performance. Dans le cas de la musique électroacoustique, la différence de matériau est fondamentale pour le choix méthodologique. En général, les outils d'analyse électroacoustique ne font pas de différence entre le support analogique et numérique⁵⁹¹, alors qu'il en existe. Les processus analogiques ne laissent pas de trace génétique (à l'exception des esquisses et commentaires du compositeur)⁵⁹² ; en revanche, le code numérique peut contenir les informations détaillées du processus créatif. Ce document

⁵⁸⁹ ZATTRA, Laura, « Analysis and Analyses in Electroacoustic music », in *Proceedings SMC 05 (Sound and Music Computing)*, 2005.

⁵⁹⁰ *Ibid.*

⁵⁹¹ L'analyse graphique, à l'instar des approches fondées sur l'écoute, est l'un des outils le plus utilisé pour l'analyse du répertoire électroacoustique. Notamment les logiciels Acousmographe et EAnalysis.

⁵⁹² Par trace génétique, nous entendons toute inscription numérique de l'activité de composition : programmes, logs, scripts etc. Voir : BACHIMONT, Bruno, *Ingénierie des connaissances et des contenus : le numérique entre ontologies et documents. Science informatique et SHS*, Hermès, Paris, 2007.

VINCENT, Antoine, BONARDI, Alain, BACHIMONT, Bruno, « Étude des processus compositionnels : un langage pour représenter les processus de production sonore », *Actes des 19e Journées d'Informatique Musicale (JIM 2013)*, Université Paris 8, 13-15 mai 2013.

peut ainsi servir aux analystes comme objet d'étude. Cette approche, appelée génétique⁵⁹³ cherche à comprendre comment la pièce analysée fut composée ; les codes constituent un important objet analytique. Une autre approche, apparemment contraire à la génétique, mais aussi complémentaire, est fondée sur l'écoute de l'œuvre. Dans cette perspective, « l'analyse musicologique auditive [*listening musicology*] est fondée sur l'idée que la musique électroacoustique ne bénéficie pas d'un code de représentation unifié contenant des informations directes du travail compositionnel. Pour cette raison, la représentation de l'expérience d'écoute devient le seul moyen de comprendre et d'étudier cette musique. La littérature musicologique montre des analyses individuelles, faites par des musicologues ou des compositeurs »⁵⁹⁴. L'analyse génétique, au contraire est fondée sur l'étude des informations contenues dans un code, notamment un code informatique. Évidemment, cette perspective a gagné en force avec l'avènement de l'informatique musicale. Pour *l'analyse du processus créateur*, un musicologue suit le processus de composition « en temps-réel »⁵⁹⁵, en analysant pas à pas la démarche du compositeur. Le concept de *faktura* introduit par le compositeur-chercheur Marc Battier⁵⁹⁶, se réfère plutôt à une démarche génétique pour l'analyse du répertoire électroacoustique numérique⁵⁹⁷ d'un point de vue également créatif. Cette notion permet que « les artistes recréent la technologie selon leur vision artistique, en imaginant pour les techniques de leur époque des applications que leurs inventeurs n'ont pas prévues »⁵⁹⁸. La *faktura* emploie le principe de l'ingénierie inverse, c'est-à-dire « l'analyste parcourt le chemin inverse du compositeur, chemin qui va de l'œuvre finale aux idées et matériaux initiaux »⁵⁹⁹. Le résultat d'une analyse génétique peut être la reconstitution d'une pièce, comme dans le cas de la démarche d'Olivier Baudouin pour l'analyse et reconstruction de *Stria* (1977) de John Chowning, en 2008, ou pour l'exploitation d'un matériel pédagogique pour

⁵⁹³ ZATTRA, Laura, *op. cit.*, 2005.

⁵⁹⁴ *Ibid.*

⁵⁹⁵ DONIN, Nicolas, « Vers une musicologie des processus créateurs », *Revue de Musicologie*, vol. 98, no 1, 2012, p.5-14.

⁵⁹⁶ BATTIER, Marc, « A Constructivist Approach to the Analysis of Electronic Music and Audio Art – Between Instruments and Faktura », *Organised Sound*, vol. 8, n° 3, Cambridge University Press, 2003, p.249-255.

⁵⁹⁷ Bien qu'il soit aussi possible de l'appliquer dans le cadre d'une analyse du répertoire analogique.

⁵⁹⁸ BAUDOIN, Olivier, « La faktura, "outil conceptuel d'analyse" - Illustration avec *Stria*, de John Chowning », *Journées d'informatique musicale*, Grenoble, ACROE, 2009, p.77-83.

⁵⁹⁹ *Ibid.*

« livrer potentiellement ses secrets de fabrication », comme dans le cas du projet l'*interactive aural analysis* mené par Michael Clarke et son équipe⁶⁰⁰. Dans ce cas, les produits analytiques issus de ce projet permettent aux lecteurs de pouvoir eux-mêmes entrer « dans les procédés de composition, les expérimenter, leur faire subir des variations »⁶⁰¹. Le projet de Clarke, est normalement classé selon les principes de l'analyse auditive⁶⁰² ; cependant le lien avec le concept de la *faktura* montre qu'une approche croisée entre une méthode génétique et auditive est possible et envisageable.

Il y a de nombreux compositeurs-analystes du répertoire électroacoustique qui mènent des recherches analytiques auditives, cependant le point de vue analytique du compositeur est plus proche d'une analyse *du processus créateur*. Autrement dit, le compositeur-analyste préfère étudier *comment* la pièce est produite. Ainsi, l'analyse génétique se montre plus pertinente.

Nous, en tant que compositeur-analyste, envisageons dans le cadre de notre thèse, une démarche analytique créative, c'est-à-dire, une méthode ayant comme finalité la création. L'élaboration de la méthode présentée dans cette thèse s'est produite lors de notre recherche de master, lorsque que nous avons analysé la pièce *Círculos Ceifados* (1997) du compositeur brésilien Rodolfo Caesar (1950-) composée en langage CSound. Un livre éponyme écrit par le compositeur lui-même apporte des informations-clés sur la composition de l'œuvre ainsi que des extraits des codes CSound d'origine⁶⁰³. En nous appuyant sur les publications du compositeur, nous avons repéré la source principale de l'œuvre : la bioacoustique, qui est un domaine interdisciplinaire qui étudie les sons produits par les êtres biologiques. Chez Caesar, la bioacoustique fournit le matériau et les idées pour extraire des sons d'animaux et les émuler en utilisant la synthèse numérique. Les opérations sont fondées sur la synthèse par simulation d'une source réelle (les sons des animaux) ; pour cela le compositeur se sert de la spatialisation (limitée à la stéréo) pour émuler un environnement naturel et des traitements et manipulations des données de l'analyse des sons synthétisés. Caesar émule numériquement les sons des animaux en

⁶⁰⁰ <https://research.hud.ac.uk/lorem/legacy/institutes-centres/iaa/> [lien vérifié le 26 avril 2018].

⁶⁰¹ *Ibid.*

⁶⁰² COUPRIE, Pierre, *op. cit.*, 2015 p.14.

⁶⁰³ CAESAR, Rodolfo, *Círculos Ceifados*, Rio de Janeiro, 7 Letras. v. 1, 2007.

utilisant des traitements granulaires ; au cours de la pièce le compositeur manipule les paramètres de la synthèse en construisant un discours musical. Notre analyse a divisé le réseau opératoire en trois catégories : émulation d'une source naturelle, spatialisation et synthèse numérique granulaire⁶⁰⁴. Après avoir étudié la manière dont le compositeur opère chaque catégorie individuellement, nous avons proposé diverses applications du même modèle en exploitant chaque catégorie dans des contextes différents. Nous avons utilisé plusieurs sources réelles pour l'émulation numérique, chacune proposait différentes méthodes de synthèse. Pour la spatialisation, nous avons appliqué des traitements en ambisonie d'ordre supérieur avec la bibliothèque HOA (*High Order Ambisonics library*)⁶⁰⁵. Pour chaque composition, le modèle opératoire nous a conduit à des manipulations de données numériques différentes en produisant des pièces originelles, chacune avec sa propre identité. Il en résulte trois compositions que nous avons réalisées : *Turdus* (2013) pour flûte et électronique en temps-réel, *M1910* (2014), pièce acousmatique en octophonie et *Les âmes remerciées* (2014) pour quatre percussions et électronique en temps-réel. La motivation à poursuivre cette ligne de recherche était essentiellement due à la réussite des résultats créatifs. Les trois compositions sont les résultats d'une réflexion sur les traces génératives d'une pièce analysée avec les codes originaux et les publications du compositeur analysé. L'analyse est donc une source créative pour la réflexion du processus compositionnel par le compositeur-analyste qui résulte en une pièce originelle.

Pour la suite de cette démarche, nous envisageons la consolidation d'une méthodologie créative que veut aborder le matériau génétique du répertoire afin de nous en servir comme un outil créatif. La proximité avec la théorie et la musique du compositeur-chercheur Horacio Vaggione nous a incité à chercher un modèle analytique ayant comme pilier théorique le principe opératoire orientée objet. Nous proposons donc la modélisation orientée objet opératoire qui consiste à interpréter un code (entier ou partiel) d'une pièce du répertoire musical numérique en générant un réseau d'objets

⁶⁰⁴ L'analyse complète a été publiée dans SVIDZINSKI, João, BONARDI, Alain. « L'analyse orientée objet-opératoire de "Círculos Ceifados" de Rodolfo Caesar ». *MUSICA THEORICA - Revista da Associação Brasileira de Teoria e Análise Musical*, TeMA, 2016, 1 (2), p.68-98.

⁶⁰⁵ <http://hoalibrary.mshparisnord.fr/> [lien vérifié le 26 avril 2018].

opératoire (modèle). Pour cela, le code originel, ainsi que les publications (journal de composition) du compositeur-chercheur analysé sont utilisés comme sources analytiques.

5.2.1. Analyse génétique du répertoire musical numérique

Jean-Claude Risset conclut sa communication au Congrès européen d'analyse Musicale, en 1995 avec un appel aux compositeurs et analystes à faire un effort spécial afin d'assurer que l'analyse des pièces utilisant l'informatique musicale ne soit pas oubliée. Dans le même ouvrage, l'article de Marco Stroppa⁶⁰⁶ sur l'analyse de la musique électronique lance une réflexion sur les difficultés à analyser la musique électroacoustique, particulièrement celle composée en utilisant le support numérique. Dans l'approche de Stroppa, Risset souligne deux points concernant l'analyse de ce répertoire : le contenu arbitraire des représentations graphiques du son et le défi du décodage des codes originels.

Comme une option pour résoudre le premier point, Risset propose un nouveau modèle, fondé sur sa propre recherche de la synthèse du timbre. Malgré son effort, sa proposition n'aboutit pas à un résultat applicable à tous les cas analytiques. Une représentation graphique ne sera jamais un outil exhaustif pour l'analyse du répertoire numérique. Même si cette méthode permet la visualisation des certaines opérations musicales (comme le comportement spectral, par exemple), cela a plusieurs limites, comme la représentation des opérations de micro-échelle.

Par rapport à la deuxième remarque, Stroppa introduit deux points importants qui vont influencer la musicologie électroacoustique moderne. Selon l'auteur, les codes numériques sont, d'une part, incompréhensibles aux non-spécialistes et d'autre part, éphémères, car les machines et les logiciels changent sans cesse.

Il est important de souligner que l'article de Stroppa date de 1984. À ce moment-là, les musiciens avaient une relation différente à l'informatique : l'accès à l'informatique

⁶⁰⁶ STROPPA, Marco, « Sur l'analyse de la musique électronique », *L'ircam, une pensée musicale*, Paris, Editions des Archives Contemporaines, 1984.

n'était pas aussi facile qu'aujourd'hui et les langages de programmation n'étaient pas un sujet d'étude répandu. Ils semblaient vraiment incompréhensibles aux analystes venant de la tradition classique. Aujourd'hui, l'informatique est accessible à tous et un compositeur qui souhaite travailler avec ce support doit la maîtriser. Le développement des nouveaux outils informatiques est même accessible aux non-programmeurs. Par exemple, le *Framework JUCE*⁶⁰⁷ offre un système accessible, même pour les non-programmeurs.

Le deuxième point est toutefois controversé. Même si actuellement il y a une tendance à standardiser les représentations numériques, cet effort n'a pas encore donné de résultat satisfaisant. Le projet FAUST (Functional Audio Stream)⁶⁰⁸, toujours en développement, est un exemple de tentative de conception d'un méta-langage. Conçu pour le traitement et la synthèse du son temps-réel, le langage permet de générer des applications de haute performance et des plug-ins pour une grande variété de plateformes (Max, PureData, CSound, SuperCollider, etc...). Cet outil a été utilisé dans le cadre du projet ASTREE⁶⁰⁹ pour la reconstruction de *Turenas* (1972) de John Chowning et *En Echo* (1993-94) de Philippe Manoury.

Étant donné que les logiciels sont constamment mis à jour, y compris les bibliothèques externes, dans le cas d'un portage d'un fichier vers différentes versions, la préservation des données ne garantit pas le fonctionnement des pièces dépendant d'un système numérique. Il faut prendre en compte que le code informatique est un support dynamique, différent de la partition musicale traditionnelle. Dans le domaine numérique, une fois composée, la partie électronique n'est pas définitive. Le compositeur, ou un analyste, doit la mettre à jour pour deux raisons : pour la garder jouable et pour la mettre à jour avec les nouveautés technologiques en constant développement qui produiront un résultat plus conforme aux souhaits du compositeur et les implications inhérentes à l'œuvre. En suivant cette démarche, Pottier a envisagé la reconstruction de *Turenas* (1972) de John Chowning en une version interactive ; originellement la pièce est pour

⁶⁰⁷ <https://juce.com> [lien vérifié le 28 juin 2018].

⁶⁰⁸ <http://faust.grame.fr/> [lien vérifié le 26 avril 2018].

⁶⁰⁹ <http://www.agence-nationale-recherche.fr/Projet-ANR-08-CORD-0003> [lien vérifié le 26 avril 2018].

bande fixe sur quatre pistes⁶¹⁰. La documentation de la part du compositeur est la solution proposée par Risset qui reste encore la plus fiable pour la conservation des données et l'analyse fondée sur le code :

Le compositeur peut jouer un rôle décisif en livrant ses clés – s'il le veut (Varèse et Jolivet ne le souhaitaient pas toujours). Le travail d'analyse est facilité si le musicien tient un journal de sa création. [...] Il n'est pas souhaitable que le compositeur soit son seul analyste : il serait partial et partiel. L'idéal serait qu'il fasse l'effort de transmettre les données et notations techniques et musicales en les présentant de la façon la plus claire possible. Pour pouvoir approfondir certains aspects, il est préférable que les analystes eux-mêmes soient au fait des techniques informatiques de la musique⁶¹¹.

5.2.2. La reconstruction

L'une des approches analytiques pionnières du répertoire musicale numérique qui suit la pensée de Risset (cité ci-dessus) est celle de Denis Lorrain qui analyse, via une reconstruction, *Inharmonique* (1977) de Jean-Claude Risset⁶¹². Cette pièce pour voix de soprano et électronique, fut composée à l'Ircam avec une version du logiciel MUSIC V. Concernant cette démarche, Risset affirme lui-même :

Lorrain a choisi les séquences les plus caractéristiques de la bande, il a reconstitué des partitions qui fonctionnaient à partir des miennes qui étaient périmées (le programme n'avait pas pris sa forme finale au moment de la composition), il les a élaguées, présentées de manière plus cohérente, plus lisible, en expliquant très clairement les processus sonores mis en œuvre : tâche difficile qu'il a pu mener à bien parce qu'il est compositeur et expert en programmation musicale. Son travail permet de diffuser l'information sur la « microstructure » de la pièce : je lui en suis très reconnaissant, en ayant moi-même bénéficié⁶¹³.

Récemment, cette même perspective méthodologique a été utilisée pour l'analyse des œuvres faisant appel à des langages informatiques désuets. Les approches de Baudouin⁶¹⁴ et Dahan⁶¹⁵ aboutissent à la reconstruction de *Stria* (1977) de John

⁶¹⁰ POTTIER, Laurent, « 'Turenas' (1972) de John Chowning, vers une version interactive », *Musimediane*, vol. Numéro 6, 2011.

⁶¹¹ RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p.220.

⁶¹² LORRAIN, Denis, *op. cit.*, 1980.

⁶¹³ RISSET, Jean-Claude dans Lorrain, Denis, *op. cit.*, 1980.

⁶¹⁴ BAUDOUIN, Olivier, « A Reconstruction of 'Stria' », *Computer Music Journal*, vol. 31, no. 3, p. 75–81, Oct. 2007.

⁶¹⁵ DAHAN, Kevin, « Surface Tensions: Dynamics of 'Stria' », *Computer Music Journal*, vol. 31, no. 3, p.65–74, Oct. 2007.

Chowning. Les deux articles, qui racontent les reconstructions de cette pièce, font partie d'un volume de la revue *Computer Music Journal* commémorant le 30^{ème} anniversaire de la pièce analysée. Cette composition pionnière fut réalisée avec les langages désormais désuets SIAL et MUSIC 10. L'effort de Baudouin et Dahan était de la reconstruire en utilisant les langages actuels, notamment CSound. Ainsi comme Risset sur l'analyse de Lorrain, l'avis de Chowning fut également positif.

J'ai cru qu'il était impossible de reconstruire la nouvelle version enregistrée [de *Stria*]. Elle est en multi-canaux, parfaite, sans bruits de quantification causés par les bandes analogiques et le 12-bits 25.6 kHz converti 30 ans après. C'est une version de *Stria* que j'ai toujours présentée en format en quatre canaux en concert, et c'est l'unique version que j'ai réalisée et que j'ai fournie à ceux qui me l'ont demandée. Mais la qualité de ce nouvel enregistrement est bien meilleure en d'autres termes également⁶¹⁶.

La reconstruction a été surtout pratiquée sur les pièces pionnières du répertoire numérique, composées avec des langages désuets, comme MUSIC V dans *Inharmonique* et MUSIC 10 dans *Stria*. Mais c'est également le cas avec les langages moins utilisés par la communauté électroacoustique, comme KYMA dans le cas des pièces du compositeur Agostino di Scipio. Même s'il s'agit d'une plateforme puissante et efficace pour accomplir les opérations compositionnelles, les langages dérivés de la série MUSIC N (y compris les langages textuels comme CSound et graphiques comme Max et PureData développés par Miller Puckette) appartiennent à la tradition électroacoustique, facilitant ainsi la perpétuation de l'œuvre. La reconstruction des codes d'une pièce ou d'une partie d'une pièce est utile pour le compositeur-analyste d'un point de vue pédagogique. Le fait de tester et de manipuler un code peut donner des idées aux compositeurs et ainsi susciter un intérêt créatif. De plus, le compositeur-analyste peut recréer des codes sans avoir le code original, ayant une référence auditive. En appliquant le principe d'ingénierie inverse, il est possible de trouver un moyen technique numérique pour produire le même

⁶¹⁶ Nous traduisons : "The new recording is one that I had assumed to be impossible to reconstruct. Yet here it is, multi-channel, pristine, free of the artifacts and quantization noise imposed by the analog tapes and 12-bit, 25.6 KHz converters of 30 years ago. It is the version of *Stria* that I have always presented in four-channel format at concerts, and the one I have always made available to those who have asked. But this new recording is of far better quality in other ways as well" CHOWNING, John, « 'Stria': Lines to Its Reconstruction », *Computer Music Journal*, vol. 31, n° 3, p. 23–25, Oct. 2007.

résultat sonore. Cette méthode est semblable à celle théorisée par Risset qu'il nomme *analyse par synthèse*, ainsi que le principe conceptuel *faktura*, mentionnés ci-dessus.

5.3. Modélisation orientée objet-opérateur

Dans le cadre de cette thèse doctorale nous présentons la modélisation orientée objet-opérateur : une proposition créative pour l'analyse du répertoire musical numérique. Nous faisons référence à la *composition orientée objet* du compositeur Horacio Vaggione. Dans notre proposition, nous nous servons du rapport intime et singulier du compositeur avec le matériau compositionnel numérique ainsi que de sa notion de réseau d'objets. La notion opératoire que Vaggione explicite dans sa démarche compositionnelle est aussi une référence importante dans notre approche analytique : l'objet logiciel comme catégorie opératoire. Notre notion de modélisation n'est ni une *boîte noire*, ni un algorithme, mais plutôt un réseau opératoire, contenant plusieurs échelles temporelles et dimensions morphologiques.

Dans une publication récente⁶¹⁷, Vaggione se penche spécifiquement sur les représentations musicales numériques de l'approche orientée-objet, c'est-à-dire l'aspect technique de la composition musicale numérique du point de vue opératoire. Le compositeur considère les patchs graphiques (comme dans le logiciel Max) « comme des ensembles de scripts alphanumériques encapsulés dans des objets graphiques qui constituent leurs abstractions »⁶¹⁸ : plusieurs patchs (ou sous-patchs) concourant à une même fonction peuvent être assemblés dans une unité, appelée module, qui possède un rôle spécifique (par exemple, un module de traitement granulaire). L'ensemble des modules correspond, selon Vaggione, « à la totalité d'un dispositif donné »⁶¹⁹. Les modules sont donc des unités opératoires dont le fonctionnement s'établit à l'intérieur d'un réseau d'interactions. Un compositeur-analyste qui désire analyser une pièce faisant appel à l'informatique musicale cherche plutôt à comprendre comment la pièce

⁶¹⁷ VAGGIONE, Horacio, « Représentations musicales numériques », in A. SOULEZ, H. VAGGIONE (éd.) *Manières de faire des sons*, Paris, L'Harmattan, 2010, p.52.

⁶¹⁸ *Ibid.*

⁶¹⁹ *Ibid.*

fonctionne. Le réseau d'interactions (l'ensemble d'un patch) peut donc contenir des informations capitales pour une approche analytique créative. Comme le dit Jean-Claude Risset « l'analyse est un moyen de s'apprendre à composer : il est important de pouvoir étudier de telles "partitions" si l'on s'intéresse à composer le son lui-même »⁶²⁰. Dans une approche analytique orientée objet, même s'il est possible d'isoler un module pour comprendre son fonctionnement, c'est le contexte, c'est-à-dire les niveaux d'interaction dans un réseau opératoire qui déterminent l'étude analytique.

En vue de l'analyse et du recodage de la pièce *En Echo* (1993-94) de Philippe Manoury, dans le cadre du projet ASTREE⁶²¹, Alain Bonardi a suivi les étapes suivantes pour étudier le module *harmonizer* du patch : localiser et extraire le module, tester, documenter, modéliser (modélisation en langage FAUST avec des améliorations), greffer la nouvelle version du module dans le patch. Ensuite, une nouvelle version du patch a été diffusée, avec un module actualisé dont le rendu sonore est plus clair et qui diminue la consommation du processeur informatique. Dans un second temps, au niveau créatif, la modélisation de ce module joue un rôle important dans le cycle *Pianotronics* du même compositeur-analyste⁶²².

La méthodologie discutée dans cet article est fortement liée à la notion de compositeur-chercheur. L'analyse-création est réalisée par un compositeur-chercheur sur l'œuvre composée par un autre compositeur-chercheur, formant ainsi un réseau communautaire systémique, dans une ligne de recherche liant l'art, la science et la technologie. La formulation et l'application d'une méthodologie analytique créative est dépendante d'une phase ultérieure pour l'accomplissement d'une pensée scientifique musicale. Il faut que l'étape qui suit l'analyse, celle de la création, soit utile et surtout fertile pour la consolidation de la pensée compositionnelle du compositeur-analyste. C'est l'appropriation et l'exploration de l'objet compositionnel à un niveau créatif qui aboutira

⁶²⁰ RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p.219.

⁶²¹ BONARDI, Alain, « Compte-rendu de virtualisation/migration de l'œuvre *En Echo* de Manoury », version 1.2, documentation du projet ANR ASTREE, Paris, Equipe ICM/IRCAM, 2011.

BONARDI, Alain, « Analyser l'orchestre électronique interactif dans les œuvres de Manoury », *Analyser la musique mixte*, Sampzon, Delatour, 2017.

⁶²² BONARDI, Alain, « Composition mixte à base de traitements et contrôles orientés objet - Exemple de mise en œuvre dans *Pianotronics 3* », *Actes des Journées d'Informatique Musicale 2016*, GMEA, Albi, 2016.

à un processus scientifique musical. Toutefois, il faut toujours prendre en compte que la composition musicale a une valeur en elle-même et que sa réussite dépend de la manière dont le compositeur se l'approprie. Ce qui justifie l'application de la modélisation orientée objet opératoire est le niveau de modification et d'approfondissement de l'objet compositionnel dans le cadre d'un processus créatif, c'est-à-dire le fait que le compositeur-analyste s'approprie une analyse pour trouver sa propre théorie compositionnelle. De plus, grâce à l'explicitation du processus compositionnel, la discussion au sein de la communauté est possible. De fait, cette approche est une démarche scientifique musicale. Le compositeur-chercheur fait donc un travail en boucle création-recherche dans une communauté scientifique musicale où émergent de nouveaux concepts. C'est justement cette propriété de la recherche musicale qui a contribué à la réussite de *Resonant Sound Space* (2001-02) du compositeur Jean-Claude Risset⁶²³.

Les liaisons entre l'analyse et la création émergent naturellement dans un contexte opératoire commun dans l'activité du propre compositeur-analyste. L'appropriation naturelle de l'analyse pour la composition a été déjà signalée par Arnold Schoenberg, lorsqu'il fait référence à ses analyses des œuvres de Mozart, Schubert et d'autres pour expliquer l'irrégularité comme étant l'un des principes de l'organisation musicale. De plus, il signale qu'en lisant son analyse, le lecteur peut comprendre mieux sa musique ainsi que la musique de Mozart. L'analyse par un compositeur a ainsi un double sens :

Ceux qui analysent ma musique devront prendre acte de tout ce que je dois personnellement à Mozart. Et ceux qui me regardent d'un œil sceptique, croyant de ma part à une plaisanterie de mauvais goût quand je me dis "un élève de Mozart", vont maintenant comprendre mes raisons. Cela ne les aidera pas à bien juger ma musique, mais à comprendre Mozart. Et cela apprendra aux jeunes compositeurs quels sont les enseignements essentiels qu'il faut recueillir des maîtres et comment on peut se mettre à leur école sans rien perdre de sa personnalité⁶²⁴.

D'après nos références bibliographiques et les réflexions sur l'état de la recherche analytique créative consacrée au répertoire musical numérique, spécialement les textes de Horacio Vaggione et de Jean-Claude Risset, en corrélation avec notre activité

⁶²³ RISSET, Jean-Claude, ARFIB, Daniel, DE SOUSA DIAS, Antonio, LORRAIN, Denis, POTTIER, Laurent, « De Inharmonique à Resonant Sound Spaces : temps réel et mise en espace », in *actes des Neuvièmes journées d'informatique musicale, Marseille, 29-31 mai 2002*, p.83-88.

⁶²⁴ SCHOENBERG, Arnold, *Le style et l'idée*, Buchet/Chastel, 2011, p.320.

musicale, nous proposons les six principes fondamentaux de la modélisation orientée objet-opératoire :

1. La modélisation est opératoire ; c'est-à-dire, elle permet que l'analyste puisse accéder au matériau analytique (sous toutes les échelles et dimensions) par le biais du code informatique. L'analyste ne se limite pas à changer les paramètres du code original, comme dans la démarche de Clarke, mais peut aussi avoir accès à l'intérieur du code générateur et l'opérer.
2. La finalité de la modélisation est créative ; même s'il est possible d'avoir une cohérence intrinsèque de la modélisation pour mieux comprendre le répertoire analysé, l'objectif principal est de s'en servir pour la génération d'un matériel créatif, soit pour la composition d'une nouvelle pièce originale, soit pour l'interprétation, soit pour le recodage de la propre pièce analysée.
3. Le contexte est plus important que les éléments isolés ; étant donné que la modélisation orientée objet privilégie le réseau opératoire, ce sont les interactions entre les objets (même si d'un point de vue systémique chaque objet est un réseau en soit) qui garantissent la singularité de la pièce et par conséquent, qui contiennent les traces génétiques pertinentes à l'étude du compositeur-chercheur.
4. La modélisation n'est jamais exhaustive ; les nombreuses limitations et les difficultés méthodologiques – accès au code original, problème de portage de version etc.. – ainsi que la propre nature fragmentaire de la modélisation, impliquent que ce processus ne représente qu'un point de vue choisi délibérément par le compositeur-analyste.
5. La modélisation et la composition ne sont pas dans la même dimension : c'est-à-dire, l'application de structures termes-à-termes n'est pas envisageable. Même si dans certains cas le contexte est suffisant pour la garantir une singularité de la

création, l'application stricte d'un objet obtenu par le biais de la modélisation ne garantit pas la valeur ni de l'analyse, ni de la composition.

6. Il n'existe pas de méthode unique : vu la pluralité de ce répertoire, concernant notamment les matériaux et les ressources analytiques disponibles, pour chaque cas, ainsi que pour chaque finalité, la méthode doit s'adapter aux conditions de viabilité, sans pour autant négliger les cinq points ci-dessus.

En plus des questions méthodologiques mentionnées ci-dessus, la pertinence de l'analyse pour la composition reste toujours un sujet vague. Certes, l'aspect pédagogique est important pour la formation d'un jeune compositeur, mais comment définir l'appropriation de l'analyse pour des compositeurs déjà avérés ? Comment expliquer alors le cas des analystes-compositeurs Alain Bonardi et Antonio de Sousa Dias. Bonardi, par exemple, utilise le savoir-faire acquis lors du codage des *harmoniseurs* de l'analyse de Philippe Manoury pour la composition de ses pièces, notamment la série *Pianotronics*. Antonio de Sousa Dias, quant à lui, a une démarche créative fondée sur la composition à l'intérieur du son à travers des opérations dynamiques des structures internes du son, approche sûrement influencée par ses analyses des œuvres de Jean-Claude Risset. Tout d'abord, dans le cas des compositeurs-analystes expérimentés, le choix du répertoire analysé passe d'abord par un clivage. Le compositeur-analyste choisit, implicitement ou explicitement, un répertoire qui, en général, a une affinité avec son style compositionnel⁶²⁵. Cela fait qu'il « contextualise » l'analyse avec sa propre production créative, afin d'avoir un regard transversal sur l'ensemble des pièces. Le compositeur-analyste peut ainsi « voir plus loin » en analysant les pièces du répertoire. Il s'agit d'un processus naturel et non défini *a priori*. Il « choisit » rarement d'analyser un répertoire pour ensuite « s'approprier » la composition. Par conséquent, l'application stricte d'un produit analytique dans un cas créatif n'est en aucun cas une garantie de réussite de la nouvelle pièce composée. Cela rejoint le constat déjà observé par Risset concernant la

⁶²⁵ Dans certains cas, l'analyste est cependant contraint d'analyser des œuvres auxquelles il ne porte pas d'intérêt particulier, Cela arrive lorsqu'une analyse est commandé par une revue ou par une institution, par exemple. Ces cas restent toutefois rares.

recherche musicale au sens large : « L'adhésion rigoureuse à une règle ou un processus n'ont pas valeur de justification : comme pour une recette de cuisine, la preuve est dans la dégustation »⁶²⁶. Tout se passe donc naturellement dans un espace commun d'interaction, un contexte. Dans notre activité, le concert, le *faire musical*, est l'espace commun dans lequel s'articulent la création et l'analyse.

⁶²⁶ RISSET, Jean-Claude dans GUILLOT, Matthieu, *Du Songe au son*, Paris, L'Harmattan, 2008, p.115.

6. Modélisation orientée objet-opératoire pour l'interprétation musicale

L'interprétation de la musique électroacoustique est fortement liée à la diffusion spatiale⁶²⁷. Depuis le premier concert de musique concrète en 1950, la diffusion spatiale est devenue une méthode d'interprétation en temps-réel⁶²⁸. L'espace a été le paradigme principal de l'interprétation de la musique acousmatique dans les premières décennies de l'histoire de ce répertoire et la spatialisation reste une pratique actuelle⁶²⁹. Pour la musique mixte, l'interprétation est plus complexe, car l'instrumentiste ajoute une composante externe à la bande fixe qui doit être articulée dans un réseau complexe d'interactions afin de composer un ensemble unique.

L'essor de l'informatique musicale, en convergence avec la synthèse en temps-réel, a fait émerger une nouvelle problématique concernant l'interprétation de ce répertoire. Par conséquent, la pérennité et l'archivage des œuvres musicales faisant appel à l'informatique ont été fortement liés aux caractéristiques du support informatique. La reprise des pièces de ce répertoire est donc dépendante d'un réseau professionnel pour la constante mise à niveau des outils de performance et de la pièce elle-même. La vitesse de développement des outils informatiques exige un haut niveau de pérennité.

Dès la création des centres de recherche en musique et informatique musicale, comme l'IRCAM à Paris, une nouvelle catégorie professionnelle a émergé, celle des RIM – réalisateurs en informatique musicale. Ce professionnel assume, en binôme avec le compositeur, la production de la pièce. Son rôle est, entre autres attributions, de faire l'intermédiaire entre le compositeur et les outils informatiques lors de la composition du

⁶²⁷ AUSTIN, Larry, SMALLEY, Denis, « Sound Diffusion in Composition and Performance: An Interview with Denis Smalley », in *Computer music Journal Vol. 24, No 2*, The MIT Press, 2000.

⁶²⁸ ROADS, Curtis, *Composing electronic music a new aesthetic*, New York, Oxford University Press, 2015, p.244.

⁶²⁹ VANDE GORNE, Annette, « L'interprétation spatiale. Essai de formalisation méthodologique », *Déméter*, 2002.

code numérique⁶³⁰. Serge Lemouton, RIM à l'IRCAM, donne un compte rendu d'une de ses expériences par rapport à sa relation avec l'interprétation de ce répertoire :

C'est cette part d'interprétation qui est pour moi essentielle au métier de réalisateur en informatique musicale. Elle consiste en l'interprétation des intentions du compositeur, diffusion du son pendant les représentations, et aussi tous les ajustements qui permettent à la partie électro-acoustique de s'intégrer parfaitement à la mise en scène, l'architecture et l'acoustique des théâtres dans lesquelles ces opéras sont représentés⁶³¹.

Les recherches récentes soulignent une distinction entre le RIM, qui collabore avec le compositeur pour la réalisation de la partie électronique d'une œuvre, et le « régisseur » en informatique musicale qui, contrairement au RIM, n'a pas nécessairement participé à l'élaboration de la partie électronique mais doit s'assurer de son bon fonctionnement lors d'une représentation⁶³². Ce dernier est appelé MEL – Musicien à l'électronique live. Le développement et l'activité des RIM et des MEL est un objet d'étude en plein essor actuellement⁶³³ ; cela s'avère nécessaire étant donné l'importance de ce rôle, les difficultés inhérentes et les dynamiques propres de ce répertoire. Dans notre recherche, nous préférons nous présenter comme interprète de la musique faisant appel à l'informatique musicale, car notre activité est menée en binôme avec les interprètes instrumentistes, dans le cas de la musique mixte, et pour les musiques acousmatiques – c'est-à-dire, généralement une musique faisant appel à l'informatique en l'absence d'un instrument acoustique – notre défi reste similaire à celui de l'interprétation musicale au sens large du terme.

De plus notre activité, y compris d'interprète de la partie électronique, est généralement différente de celle du RIM ou du MEL, car étant compositeur, nous souhaitons, même si parfois inconsciemment, laisser notre empreinte créative lors de l'exécution du répertoire, soit celui composé par nous-mêmes, soit celui du répertoire. Nous nous référons alors à une interprétation créative. Cette perspective n'est pas

⁶³⁰ ZATTRA, Laura, « Les origines du nom de RIM (Réalisateur en informatique musicale) », *Actes des Journées d'Informatique Musicale*, Saint-Denis, 2013, p.113-120.

⁶³¹ LEMOUTON, Serge, *Vingt ans de pratique de la Réalisation en Informatique Musicale : Enjeux, perspectives et état des lieux d'un métier en devenir*, Mémoire de Master, Université Paris-Est, 2012, p.10.

⁶³² PLESSAS, Peter, BOUTARD, Guillaume, « Transmission et interprétation de l'instrument électronique composé », *Actes des Journées d'Informatique Musicale*, Montreal, QC, 2015.

⁶³³ POLETTI, Manuel, MAYS, Tom, FAIA, Carl, « Assistant musical ou producteur ? Esquisse d'un nouveau métier », *Actes des Journées d'Informatique Musicale*, Marseille, 2002.

complètement inédite, vu les nombreuses recherches menées sur l'interprétation des œuvres du passé. Dans cette perspective, on peut remarquer le travail de Nikolaus Harnoncourt (1929-2016) sur l'interprétation de la musique ancienne⁶³⁴. Gilles-Gaston Granger, lorsqu'il décrit le méta-concept d'opération, donne de manière surprenante comme exemple l'interprétation musicale ; pour l'épistémologue cette activité consiste en un double niveau opératoire, selon lequel l'interprète a aussi un rôle créateur :

L'interprétation d'une œuvre [musicale] consiste en effet à doubler les opérations du créateur par d'autres opérations qui en soit des variantes stylistiques. C'est que l'objet esthétique suscité par l'artiste, quoique parfaitement *concret*, comporte pourtant une liberté de réalisation, un jeu d'éléments non-pertinents dont la détermination est évidemment nécessaire à cette incarnation de l'œuvre, mais sans que les singularités en soient imposées à l'interprète. Aussi le travail de celui-ci doit-il se présenter comme produisant lui-même une œuvre d'art, qui est bien toujours l'*objet* même créé par l'auteur, mais se trouve alors corrélatrice d'un système opératoire distinct, individuel, exprimant aussi quelque chose de l'artiste-interprète⁶³⁵.

L'idée de « doubler les opérations du créateur par d'autres opérations » n'est pas forcément compatible avec l'idée « classique » que l'interprétation consiste à « transmettre la pensée du compositeur au spectateur »⁶³⁶. Cette citation de Granger a été mentionnée par la philosophe Antonia Soulez lorsqu'elle faisait le lien Granger-Vaggione autour de la notion d'objet et d'opération. Vaggione, quant à lui, ajoute à ce constat que cette problématique est aussi une question de différentes échelles temporelles : « Le problème de l'interprétation [...] est multiple, et relève d'instances sémantiques et syntaxiques : parmi ces dernières, nous trouvons des opérations réalisées par l'interprète à des échelles temporelles distinctes, à des ordres de grandeur temporels divers »⁶³⁷.

Granger mentionne également que les « singularités » opératoires, de la part de l'interprète, ne sont pas « imposées ». Cela veut dire que l'interprète dispose d'une « liberté », même si conditionnée par l'œuvre elle-même, ce qui justifie le caractère opératoire et singulier de son activité. Dès lors, l'on peut parler de *degrés de liberté* pour l'interprétation musicale. À l'extrême d'une ligne continue se trouvent les pièces

⁶³⁴ HARNONCOURT, Nikolaus, *Le discours musical : pour une nouvelle conception de la musique*, Paris, Gallimard, 1984.

⁶³⁵ GRANGER, Gilles-Gaston, *op. cit.*, 1994, p.388.

⁶³⁶ CLASS, Olivier, « Quand un compositeur interprète l'œuvre d'un autre... par le jeu ou l'écriture », in *Filigrane. Musique, esthétique, sciences, société. Vers une éthique de l'interprétation musicale*, 2018.

⁶³⁷ VAGGIONE, Horacio, dans, *op. cit.*, 2003, p.224.

« libres », comme l'improvisation libre, sur laquelle il y a très peu voire aucune indication interprétative. De l'autre côté, se trouvent des pièces dont l'interprétation est très stricte, puisque l'interprète doit suivre toutes les indications du compositeur pour réussir à les jouer de manière conforme ; les pièces du compositeur Brian Ferneyhough (1943-) se placent dans cette dernière catégorie.

Dans notre pratique, nous nous confrontons à un répertoire qui se place spécialement au milieu de ces deux extrêmes. Or, même lorsque nous interprétons des pièces sur bande fixe, nous disposons d'une certaine liberté pour l'adapter au contexte où elle sera jouée, notamment la nature de la salle de concert. Pour cela, nous articulons deux niveaux opératoires dont chacun révèle ses propres singularités. Un premier niveau est la pièce elle-même, et par conséquent son réseau d'objets opératoires. Un deuxième est l'ensemble des opérations inhérentes à l'interprétation, c'est-à-dire les manipulations réalisées par l'interprète. Dans notre pratique, nous avons remarqué que l'articulation entre les deux niveaux (toujours en prenant en compte la remarque ci-dessus de Vaggione, que chaque niveau est constitué de plusieurs échelles) s'est révélée comme la conjonction entre l'activité analytique et interprétative de la part de l'interprète-analyste. Or, en tant qu'interprète, nos opérations, même inconsciemment, sont indissociables de notre activité de compositeur-chercheur ; par conséquent la modélisation orientée objet-opératoire est la méthode fondatrice de toute notre activité.

Dans le premier niveau, les propriétés singulières d'une œuvre peuvent ainsi être repérées par le biais d'une modélisation par l'interprète-analyste. Même dans le cas où les pièces sont déjà terminées, au deuxième niveau opératoire, l'interprétation sur ce point de vue s'avère nécessaire pour l'adapter au contexte interprétatif donné. Autrement dit, les objets et les opérations forment le réseau opératoire interprétatif. L'analyse du code originel, ainsi que les autres documents de la pièce (comme la partition instrumentale) permettent à l'interprète la prise en main des opérations pour la formulation d'un réseau opératoire interprétatif.

Concernant le deuxième niveau, c'est-à-dire celui de l'interprétation, la boucle *feedback d'action/perception* s'est montrée importante pour notre approche interprétative. Bien que Vaggione se réfère à une pratique compositionnelle, les mêmes principes sont utilisés pour l'interprétation numérique. Par ailleurs, l'écoute est aussi un concept

profondément développé pour l'interprétation musicale. La perception est déjà reconnue comme un principe important dans la pratique numérique, en studio et lors des concerts. Une vérité implicite de la pratique de la régie de concert pose la perception comme le principal instrument du régisseur sonore.

De plus, l'écoute opératoire a été l'un des fondements de l'interprétation participative, proposée par le saxophoniste-chercheur Pedro Bittencourt⁶³⁸. Cette approche interprétative prévoit que l'interprète dispose d'une « perception active » multi-échelle, c'est-à-dire, une écoute qui est attentive aux multiples échelles temporelles pouvant ainsi entrer « dans le son » afin de réaliser ses opérations interprétatives. De plus, les notions de réseau et d'émergence sont au cœur de l'interprétation participative, car selon cette approche, la pièce (mixte) émerge d'un réseau interactif entre le compositeur et l'interprète. Bittencourt explique cette démarche :

[l'interprétation musicale participative] est concentrée sur les processus de production musicale, fondés sur les interactions à long terme entre un [interprète] et plusieurs compositeurs, ainsi que leurs implications dans les choix d'interprétation musicale des pièces. Nous prenons en compte le chemin, ou le cheminement conjoint (la progression) plutôt que le résultat final (la partition, l'enregistrement). L'interprétation musicale participative va de la conception des pièces (avant l'écriture de la partition), aux adaptations faites au fur et à mesure, jusqu'à la création en concert et des enregistrements de versions en studio. On réalise des essais, des tests, des improvisations et toutes les expériences nécessaires avec l'instrument et les outils électroniques demandés par les compositeurs. C'est comme un nouveau conditionnement pour les instrumentistes, assistés par les compositeurs. Dans certains cas, l'inverse peut aussi être valable⁶³⁹.

Bittencourt propose cette méthodologie du point de vue de l'interprète instrumentiste (dans son cas, le saxophone). Lors de notre travail interprétatif, nous avons remarqué que ces principes sont aussi valables pour l'interprétation numérique. Même dans le cas où le compositeur n'est pas présent, et par conséquent pas participant à ce réseau, notre interprétation émerge d'une articulation multi-niveaux selon laquelle l'écoute opératoire et la boucle *feedback action/perception* sont au centre de notre activité. Nous comprenons alors l'interprétation comme l'ensemble des opérations

⁶³⁸ BITTENCOURT, Pedro, *Interprétation musicale participative – la médiation d'un saxophoniste dans l'articulation des compositions mixtes contemporaine*, Thèse doctorale, Université Paris 8, 2015, p.30.

⁶³⁹ *Ibid.*, p.5.

réalisées pour mettre en évidence les propriétés singulières d'une œuvre lors d'une représentation dans un contexte donné.

Nous proposons donc un schéma professionnel moins paradigmatique que le RIM ou le MEL et plus orienté vers le *faire musical* participatif, collaboratif et polyvalent. Nous comprenons le *faire musical* comme toutes les actions qui convergent vers la diffusion de la musique numérique : composition, reprise et interprétation. Lors des concerts auxquels nous avons participé, les rôles de compositeur et d'interprète numérique ont parfois été joués par la même personne. Toutefois, pour différentes raisons, le compositeur n'est pas toujours présent lors du concert. L'activité de l'interprète de la partie électronique s'avère alors nécessaire ; même lorsqu'un compositeur est présent au concert, un deuxième professionnel assure les questions techniques qui sont aussi liées à des opérations musicales nécessaires à l'exécution de la pièce au concert.

Le réseau professionnel concernant le binôme compositeur-RIM, même s'il est considéré comme caractéristique de la nouvelle pratique de la musique numérique, n'est pas un modèle universel. Dans certains pays, la réalité ou le modèle économique ne permettent pas l'embauche des tous ces professionnels⁶⁴⁰. Dans cette conjoncture, des institutions privilégient une activité polyvalente, où la définition de chaque rôle professionnel n'est pas fixe. C'est le cas de notre activité au CICM et à la MSH PN. Entre 2014 et 2016, le projet « Circulation de dispositifs numériques et mixtes en recherche et création, pour un axe franco-brésilien dans un réseau interuniversitaire international »⁶⁴¹ a suscité plus d'une dizaine de concerts programmant des œuvres composées par des étudiants de l'Université Paris 8, des doctorants de l'Université de Montréal, de l'Université de São Paulo et de l'Université de l'État de São Paulo. Entre 2016 et 2018 nous avons été le porteur du projet « La dynamique de l'œuvre musicale dans le contexte de la pratique numérique » qui a encadré la création française de la pièce *Shifting Mirrors* (2016) d'Horacio Vaggione et la création et reprise de nos pièces, comme *Taurus* (2015-

⁶⁴⁰ À l'Université de Montréal, le développement d'un nouvel environnement informatique de synthèse a été proposé pour combler l'absence de RIM lors d'un processus compositionnel. MICHAUD et al. « Le projet Q- Live » *Actes des Journées d'Informatique Musicale*, Montréal, 2015.

⁶⁴¹ Projet soutenu par le conseil scientifique de la MSH PN et coordonné par Anne Sèdes, que nous nommerons dans la suite de la thèse réseau franco-brésilien, pour simplifier.

2017) et *Tyqué* (2016-2018)⁶⁴². À ces projets s'ajoute notre participation, en tant qu'enseignant de composition faisant appel à l'informatique entre 2016 et 2017⁶⁴³, aux concerts de « l'Atelier de composition » 2016 et 2017 sous la direction de José Manuel Lopez-Lopez et du projet « Musique mixte » qui a lieu à la MSH PN, sous la forme d'un partenariat avec le Conservatoire de Saint-Denis sous la direction d'Alain Bonardi et d'Amélia Mazarico.

Nous allons donner trois exemples de notre approche interprétative créative fondée sur la modélisation orientée objet-opératoire. D'abord, un exemple de reprise d'une pièce jouée dans le cadre du réseau franco-brésilien. Ensuite, deux pièces de compositeurs consacrés du répertoire électroacoustique, *Shifting Mirrors* (2016) pour saxophone et électronique d'Horacio Vaggione, dont nous avons assuré, avec le compositeur lui-même, l'interprétation électronique ; et *Songes* (1979) pièce acousmatique de Jean-Claude Risset qui a été jouée à plusieurs reprises lors de nos projets.

6.1. Circulations des œuvres mixtes dans un réseau

L'objectif du réseau franco-brésilien était de construire un réseau international entre les communautés universitaires française, brésilienne et québécoise sur la thématique des dispositifs numériques, électroacoustiques, mixtes et inter-média mis en œuvre dans des projets de recherche et création musicale à l'université. Cela servait ainsi à examiner le potentiel des dispositifs numériques électroacoustiques, mixtes et de l'inter-media, dans un cadre d'enseignement de recherche et de création musicale à l'université⁶⁴⁴. Dans le cadre de ce projet, plus d'une dizaine de concerts ont eu lieu à Paris, au Québec et au Brésil. La programmation de ces concerts, en particulier ceux

⁶⁴² Par rapport à nos pièces, nous allons l'aborder dans la partie suivante, 7 Modélisation orientée objet-opératoire pour la composition musicale.

⁶⁴³ Nous étions chargé de cours à l'Université Paris 8 pour le séminaire de master « Musique et outils informatiques 2 » et le cours de licence « Composition électroacoustique 2 ».

⁶⁴⁴ Pré-rapport interne MSH PN.

réalisés au CICM, combinait des pièces directement impliquées dans cette problématique et des reprises de pièces (mixtes et acousmatiques) de compositeurs déjà reconnus.

Toutes les pièces ont été jouées à l'auditorium de la MSH PN. Cette salle dispose de 15 haut-parleurs MeyerSound (dont deux sub-woofers) et est équipée avec le système numérique Dante⁶⁴⁵. Cette configuration a suscité une discussion sur la valorisation et la mise en espace dans ce contexte. La bibliothèque HOA⁶⁴⁶ – *High Order Ambisonics* – destinée à l'ambisonie d'ordre supérieur, a été utilisée comme outil pour la diffusion des œuvres sur support. Jusqu'alors, ce potentiel de la bibliothèque était peu valorisé, mais elle s'est montrée très efficace pour cela. L'interprétation des pièces s'est appuyée sur un matériel de performance constitué du code, de l'ensemble de la documentation et des discussions orales selon une approche collective et collaborative entre les divers participants du réseau.

L'une des pièces jouées dans ce projet⁶⁴⁷, pour guitare et électronique temps-réel, a été composée par un compositeur brésilien en stage au CICM – Université Paris 8. La pièce a été d'abord créée dans le cadre du projet « Musique mixte » en collaboration avec le Conservatoire de Saint-Denis. Un élève de troisième cycle a joué la pièce sous la supervision de son enseignante. La création a eu lieu en mars 2014.

⁶⁴⁵ Dante est un produit *Audionate*. <http://www.audionate.com> [lien vérifié le 27 juin 2018].

⁶⁴⁶ <http://hoalibrary.mshparisnord.fr/> [lien vérifié le 27 juin 2018].

⁶⁴⁷ Comme il s'agit d'un exemple de pièce composée dans un cadre pédagogique, nous avons choisi d'omettre le nom de la pièce afin de préserver le compositeur. Ces informations n'ont aucune importance, car la problématique de cet exemple est valable pour plusieurs autres exemples dans la même perspective.

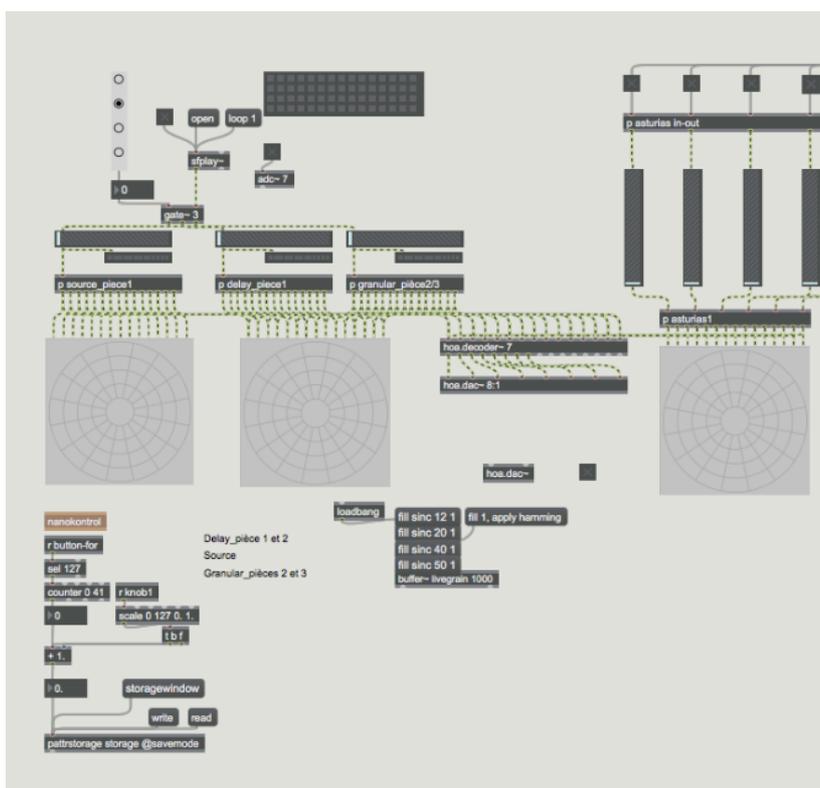


Figure 13 Patch Max de la pièce reprise.

Le patch ci-dessus (Figure 13) a été réalisé sur le logiciel Max avec la bibliothèque HOA version 1.0. La pièce est divisée en quatre mouvements. Les trois premiers emploient un traitement en temps-réel et le dernier, des échantillons d'une pièce représentative du répertoire de guitare⁶⁴⁸. Chaque mouvement est fondé sur un objet algorithmique. Le premier module (de gauche à droite) encode l'amplification directe de la guitare à l'ordre sept ; le deuxième est un module de *delay* dans le domaine ambisonique ; le troisième est un module de granulation dans le domaine ambisonique ; le quatrième est un déclencheur des échantillons préenregistrés. Le *delay* est utilisé dans le premier mouvement et la granulation pour le deuxième et le troisième mouvement. Les paramètres des modules sont stockés dans un objet *patrstorage*.

Pour la reprise de la pièce, en mars 2016, le patch a été repris tel qu'il a été joué lors de la création en 2014. Dans un premier temps, les échantillons ont été réenregistrés

⁶⁴⁸ Nous avons également choisi d'omettre le nom de cette pièce, car il n'est pas utile dans le cadre de notre étude.

(ceux-ci ne faisaient pas partie du dossier contenant le patch). Pour cela, le compositeur nous a fourni les informations nécessaires pour la prise de son. Ensuite, un travail de mise à jour a été réalisé. Comme la pièce a été composée avec la bibliothèque Hoa v1.0, tous les modules ont été complètement refaits pour être compatibles avec la version 2.2. Ces changements ont rendu incompatibles les paramètres stockés de la première version du patch avec la nouvelle version. Il a donc fallu un deuxième stockage des paramètres. Cette étape a été réalisée en essayant différentes valeurs paramétriques avec le jeu de la guitare et selon une approche *feedback action/perception*. Le module de *delay* a été plus facilement mis à jour, puisque le compositeur l'a également utilisé dans une autre pièce pour saxophone qui a été également jouée et interprétée par nous.

Les objets-opérateurs qui traversent un corpus d'œuvres – comme dans le cas du module *delay*, qui est en fait un objet algorithmique, une classe opératoire, sont vus dans la perspective interprétative comme une catégorie pour l'interprétation. L'émulation⁶⁴⁹ d'un objet – l'une des propriétés de l'objet-opérateur, à travers plusieurs œuvres d'un même compositeur est conçue ici comme une opération interprétative.

Le processus de composition a été plus proche de l'interprétation musicale participative, car la pièce a été construite au fur et à mesure de la collaboration entre le compositeur et l'élève guitariste. Toutefois, une deuxième étape importante dans cette approche n'a pas été achevée, la partition ne contenait pas assez d'information concernant l'interprétation. Comme les deux interprètes (le compositeur et le guitariste) ont participé à tout le processus de création, les indications interprétatives étaient implicites. Pour la reprise, nous avons fait des choix lors d'un travail collaboratif entre la guitariste, l'auteur et le coordinateur du projet, Alain Bonardi. Cette démarche dépasse le cadre d'une interprétation au sens strict, car les changements faits dans le patch et dans la partition ont abouti à une nouvelle version de la pièce. Le processus interprétatif lors de la reprise de l'œuvre était créatif mais aussi compositionnel. Même si les changements peuvent créer un nouveau résultat compositionnel, la pièce est reconnue comme étant la même

⁶⁴⁹ L'émulation dans le cadre de notre étude signifie la réappropriation d'un objet. C'est-à-dire l'application d'un réseau à l'autre. Ce réseau peut être soit une autre pièce du même auteur, soit une pièce d'un autre compositeur.

qu'à la création et l'interprétation a respecté son authenticité. De plus, le compositeur lui-même a autorisé les modifications et par conséquent il détient toujours les droits d'auteur.

L'importance de la documentation pour l'interprétation a été déjà abordée par Bittencourt dans une pratique participative. Les commentaires interprétatifs sont un document précieux pour la reprise de la pièce. Cela est aussi valable pour l'interprétation du code numérique. Lemouton⁶⁵⁰ cite aussi l'importance de la documentation interprétative car elle est enrichie à chaque reprise de la pièce (par les différents interprètes). La documentation du code est également indispensable pour la prise en main de l'interprète numérique. Jusqu'alors, la communauté musicale numérique a privilégié une documentation technique interprétative du code, soit les informations nécessaires pour jouer le code. Cela est logique si le code est déjà prêt à jouer, cependant dans le cadre de notre travail et aussi dans le cadre de nombreux exemples de reprises des œuvres – par exemple les mises à jour faites au cours de reprises de *Voi(r)ex* de Philippe Leroux⁶⁵¹, un long travail de reconstruction et de mise à jour a été fait directement sur le code.

L'ensemble du matériel utilisé lors de tout le processus (versions du patch, de la partition et de la documentation) joue également un rôle important pour la pérennité de l'œuvre. Pour les possibles performances ultérieures, l'accès à ces documents permettra la poursuite de la vie de la pièce.

Cette pratique interprétative à plusieurs mains n'est pas toujours souhaitée par les compositeurs. Ils ne désirent pas toujours partager et accepter une collaboration participative. Pour l'application de l'approche orientée-objet, il faut que le compositeur, ainsi que toute la communauté, soient d'accord pour une pratique collaborative. C'est la mise à disposition d'informations, livrées par le compositeur et par l'équipe collaborative, qui permettra la valorisation et la pérennité du répertoire musical numérique.

⁶⁵⁰ LEMOUTON, Serge, *op. cit.*, 2012.

⁶⁵¹ PLESSAS, Peter, BOUTARD, Guillaume, *op.cit.*, 2015.

6.2. *Shifting Mirrors* d'Horacio Vaggione

Shifting Mirrors (2016) pour saxophone et électronique a été commandée pour le festival Ibermúscas lors de la résidence artistique du compositeur au CMMAS – Centro Mexicano para la Música y Artes Sonoras – à Morelia, Mexique⁶⁵². La pièce a été créée, par le saxophoniste Pedro Bittencourt (également en résidence artistique) le 7 octobre 2016. Ensuite nous l'avons programmée dans le cadre de nos projets : la création française a eu lieu le 27 septembre 2017 à Paris à l'auditorium de la MSH PN. Parmi les pièces récentes de Vaggione, celle-ci est l'une des plus jouées. Dès sa création, *Shifting Mirrors* a été jouée plusieurs fois dans différents pays, comme le Brésil, le Chili, l'Espagne et la Chine.

Ainsi, comme les autres pièces mixtes du compositeur (comme *Thema* et *Tar*), la partie électronique a été composée avec le matériau même de l'instrument acoustique. En fait, Vaggione a utilisé les échantillons sonores de la base de données, avec différents modes de jeu du saxophone, disponible en annexe dans la thèse doctorale de Bittencourt⁶⁵³. Ces matériaux ont été générés lors de la composition des œuvres en vue de l'enregistrement de l'album du saxophoniste : *Enlarge your sax*⁶⁵⁴. Ensuite Vaggione, ainsi que d'autres compositeurs, se sont servis de ce matériau pour la composition d'autres pièces.

D'ailleurs, le titre de cette pièce renforce ce principe compositionnel (la composition par réseau d'objets opératoires). La sonorité de la partie électronique a été faite avec des échantillons très courts de saxophone qui constituent un *réseau de miroirs* [*Mirror network*], la structure de ce réseau fonctionne comme une élaboration « prismatique » grâce aux relations rythmiques et spatiales. Pour la partie instrumentale, le saxophoniste doit « entrer » dans ce réseau composé et suivre son développement.

À partir de cette idée génétique de la composition, Vaggione compose d'abord la partie électronique. Lorsqu'il a été sur le point de composer la partition instrumentale, il a constaté que le processus de composition de la pièce suivait les principes de

⁶⁵² https://www.cmmas.org/cmmas_eventos.php?lan=es&id=1314 [lien vérifié le 27 juin 2018].

⁶⁵³ BITTENCOURT, Pedro, *op. cit.*, 2015.

⁶⁵⁴ <https://de.schott-music.com/shop/enlarge-your-sax-no326544.html> [lien vérifié le 27 juin 2018].

l'interprétation participative (puisque Bittencourt était le saxophoniste engagé pour la création) et que cela pourrait l'aider à poursuivre son travail. Il place donc l'instrumentiste au cœur du processus créatif en lui fournissant une partition unique qui laisse de la place à l'instrumentiste pour réaliser ses propres opérations créatives. Le réseau interprétatif est alors nourri par les opérations réalisées par Vaggione en articulation avec les opérations interprétatives, mais aussi créatives, de l'instrumentiste. Il ne s'agit cependant pas d'une improvisation ; la partition possède des contraintes claires qui doivent être respectées.

La partition consiste en deux pages d'indications écrites avec 38 pages de copies d'écran de session ProTools de la partie électronique (Figure 14). Il n'y a pas de notes, ni de durées, ni d'intensités écrites en notation conventionnelle. L'interprète dispose donc d'un moyen de visualiser, les 32 pistes de *Shifting Mirrors*. Le compositeur lui a également mis à disposition une session Reaper, avec les fichiers sonores de chaque piste de la pièce. L'interprète a aussi la possibilité d'écouter les 32 pistes et, grâce aux fonctionnalités de ce logiciel multipiste (comme le *mute* et le *solo*), il peut les écouter individuellement. Cela lui permet d'entrer dans le son afin d'articuler selon une approche multi-échelle.

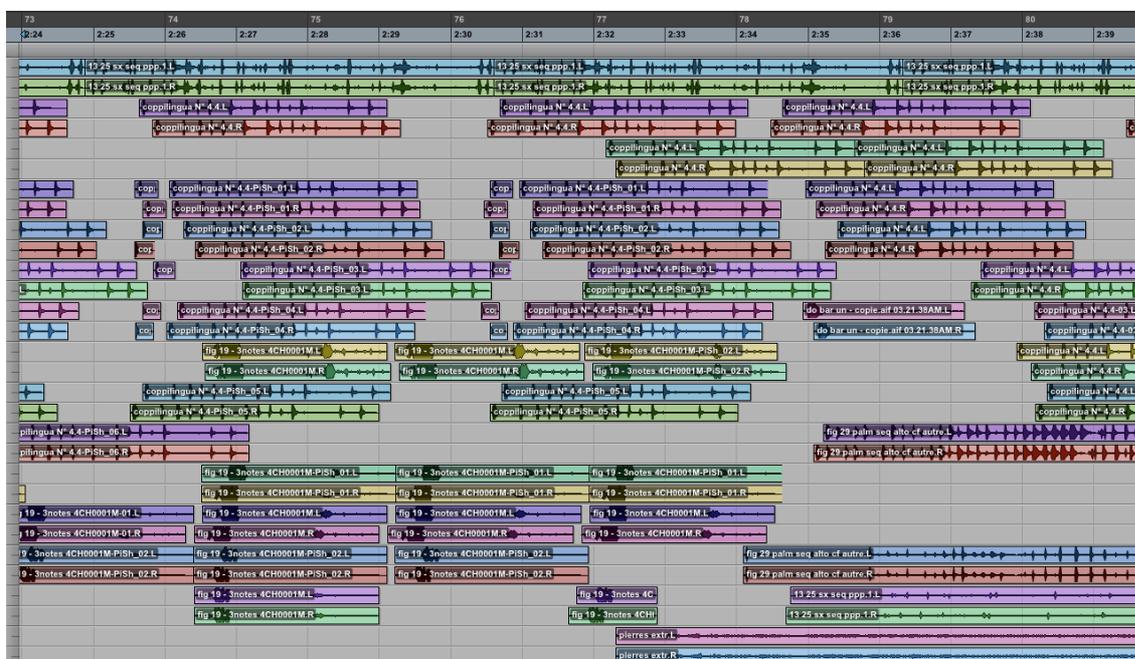


Figure 14 Page 10 de la partition de *Shifting Mirrors*.

Dans la figure ci-dessus (Figure 14), la richesse du réseau composé par Vaggione apparaît clairement. La session ProTools affiche le nom de chaque fichier sonore donnant ainsi des pistes sur l'origine du matériau (l'objet père, dans les annexes de la thèse de Bittencourt) et des méthodes de traitement numérique utilisées. Les indications de mode de jeu sont prioritaires pour l'interprète qui doit les suivre *à la lettre*. L'instrumentiste dispose donc d'une multitude de matériaux, ce qui lui donne un degré de liberté lui permettant de trouver son propre « chemin » interprétatif. Ces opérations sont alors réalisées au cours d'une écoute opératoire multi-échelle qui se déplace entre les différentes strates et échelles temporelles. Les durées, les notes et les intensités ne sont pas totalement libres, le saxophoniste doit interpréter l'aspect graphique de la forme d'onde de la bande en confrontation auditive directe avec la boucle *feedback action/perception*. Les hauteurs doivent être celles qui se trouvent dans le fichier sonore, et pas d'autres, de même pour les durées et intensités. L'interprétation doit donc être précise dans tous ces aspects : l'interprétation doit « se caler absolument sur ce qui sonne déjà sur le support ». Vaggione précise également que tous les silences globaux de la partie électronique doivent être strictement suivis par le saxophoniste. Par rapport au rythme, les figures jouées par l'instrumentiste doivent se synchroniser strictement avec la grille métrique de l'électronique. Le saxophoniste dispose cependant d'un grand degré de liberté, car il « peut ajouter — phrasé, groupages et silences locaux selon des critères de respiration et d'articulation, ainsi que de choix de certains parcours plutôt que d'autres — seront incorporés à la composition sans contredire le sens des morphologies composées »⁶⁵⁵.

Vaggione avait composé deux pièces pour saxophone et électronique : *Thema* (1985) et *Champs Parallèles* (1998). *Thema* et *Shifting Mirrors* ont des points communs. Le compositeur a utilisé le même matériau du saxophone basse pour la composition de la partie électronique (pour *Thema*, le compositeur a enregistré des échantillons joués par le saxophoniste Daniel Kientzy). Cependant, pour cette pièce les deux sources (acoustique et électroacoustique) ne sont pas toujours fusionnées, même si les deux sont toujours dans

⁶⁵⁵ Vaggione dans la partition de *Shifting Mirrors*.

un même vecteur commun. L'articulation mixte se fait alors par une méthode de fusion et de complémentarité⁶⁵⁶.

The image shows a musical score for 'Thema'. It is divided into two main sections: 'SAXOPHONE BASS' (top) and 'BAND' (bottom). The saxophone part is labeled 'SON DE TAUREAU' and includes a dynamic marking 'ppp'. The band part is labeled 'BAND' and includes a dynamic marking 'ppp'. The score is marked with time points: 49", 1', 1'12", and 1'14". There are also dynamic markings 'ff' and 'fz'. The saxophone part includes a section labeled '(RÉGÉRVOLA)'. The score is published by Editions Salabert S.A. in Paris, 1984.

Figure 15 Première page de la partition de *Thema*.

La partition de *Thema* est graphique (Figure 15), caractéristique qui pourrait faire penser qu'il s'agit d'une « forme ouverte ». Cependant, pour cette pièce, toutes les informations sont écrites et l'interprète doit les suivre, même s'il dispose toujours d'une certaine liberté. La partie du haut correspond à la partition du saxophone, alors que la partie du bas est relative à la bande. Du début de la pièce jusqu'à 1'12", le saxophone joue le son « taureau » – c'est-à-dire, un « barrissement », une technique développée par Kientzy dont le son est produit par le souffle sans le bec qui génère des partiels instables et inharmoniques – alors que la bande est constituée de trois structures, les deux premières

⁶⁵⁶ Nous préférons complémentarité à « divergence » (comme a été mentionnée par JUSTEL, Elsa, *op. cit.*, 2007.), car même si la nature apparente du matériau instrumental (c'est-à-dire, le mode de jeu) n'est pas la même que sur la bande, les deux agents sont dans un flux commun, une vectorisation commune, car ils opèrent dans un réseau commun. Les morphologies, acoustiques et électroniques, ne sont donc pas « divergentes » mais plutôt complémentaires : *Thema* est une œuvre mixte dont l'hypothèse de base est la convergence perceptuelle.

de traitements du son de « taureau » et la troisième de *tongue-ram*⁶⁵⁷. Cette dernière structure de la bande anticipe la morphologie du saxophone à partir de 1'14''. À ce moment-là, les deux agents jouent des figures *tongue-ram*. Dans les premières minutes de *Thema*, la démarche d'articulation mixte entre fusion et complémentarité est déjà claire.

Tar (1987), composée à Berlin, pour clarinette basse et électronique, partage certaines caractéristiques de *Thema*. En effet, les deux pièces font partie d'une même époque (milieu des années 1980) où le compositeur développait une méthode orientée objet commune à tous ces pièces. À cet ensemble s'ajoute *Scir* (1988), pour flûte basse et électronique.

La partition de *Tar* (comme de *Scir*) est aussi graphique. Cependant, l'approche de la mixité suit une tendance différente vers la fusion totale, comme dans *Shifting Mirrors*. Pour cette pièce, le compositeur affirme que « l'ensemble des sources est conçu pour former une seule image perceptuelle »⁶⁵⁸. En fait, *Tar* a été composée à la demande du clarinettiste Harry Sparnaay qui désirait une notation très flexible pour pouvoir se plier à la partie électroacoustique. La partition graphique est alors volontairement ambiguë, en laissant un grand degré de liberté à l'instrumentiste.

Le processus compositionnel de cette pièce s'est appuyé sur les principes de l'interprétation musicale participative. Le compositeur composait des parties en constant *feedback* avec le clarinettiste. La partition contient des signes choisis par le compositeur lui-même et l'interprète (Figure 16). De fait, le code est clair pour le clarinettiste qui a créé la pièce. Mais, en cas de reprise l'interprète doit consacrer du temps pour identifier chaque signe avec le matériau de la bande. Même si la partition rappelle une œuvre ouverte, il ne s'agit pas d'improvisation. La partition graphique contient les mêmes signes pour les objets de la bande (portée du bas) et pour les indications destinées au clarinettiste (portée du haut). Dans la première page de la pièce, il est clair que l'instrumentiste « suit » la morphologie de la partie électronique. Comme dans *Shifting Mirrors*, la mixité forme un *réseau de miroirs*.

⁶⁵⁷ Selon l'analyse de JUSTEL, Elsa, *op. cit.*, 2007, p.242.

⁶⁵⁸ Notice du CD Cultures Électroniques 3-GMEB/UNESCO/CIME-Laureats, 1988 (cité par JUSTEL, *op. cit.*, 2007).

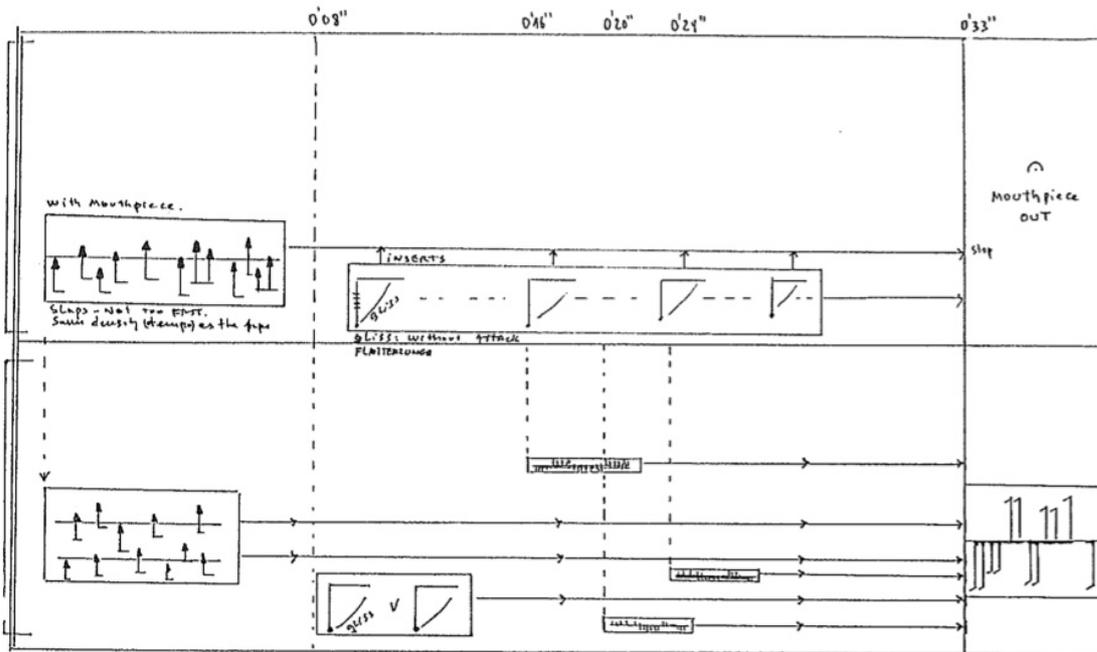


Figure 16 Première page de la partition de *Tar*.

Tout comme dans *Shifting Mirrors*, les silences globaux doivent être respectés. Dans la partie de 2'54'', par exemple (Figure 17), lorsque la bande comporte un silence, la clarinette doit s'arrêter également. Ce genre de silence global est récurrent dans la production du compositeur, ils sont normalement suivis d'un geste « brutal » qui transmet l'idée d'un redémarrage. Les silences sont donc expressifs et par conséquent, jouent un rôle opératoire. Il s'agit de silences opératoires.

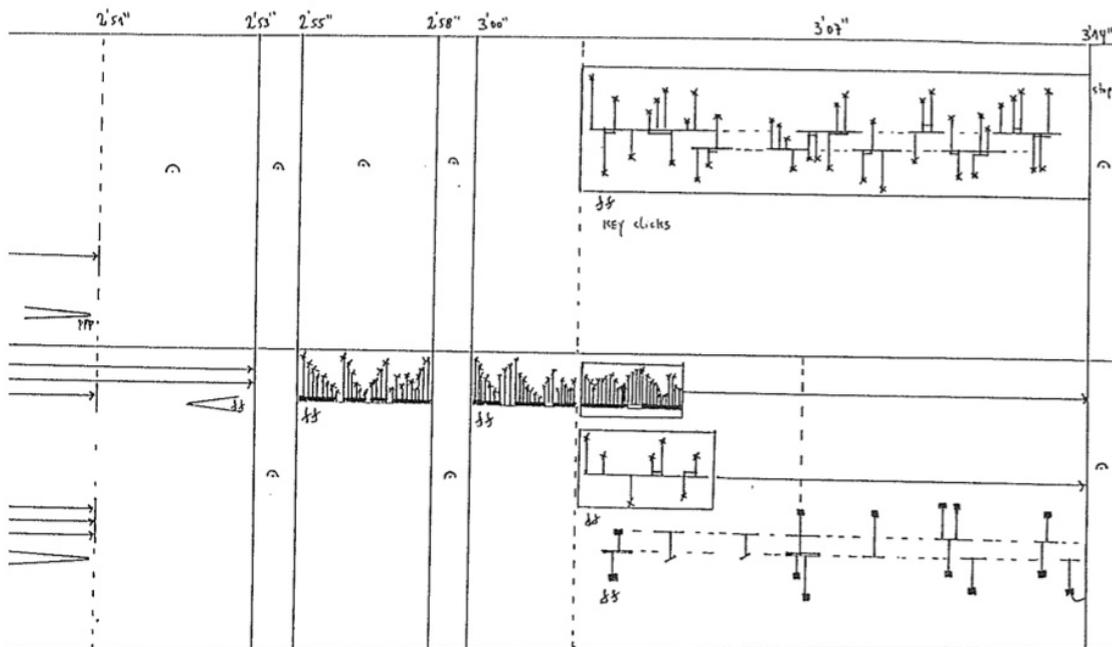


Figure 17 Silence « opératoire » dans *Tar*.

Le processus d'interprétation de *Tar* doit donc suivre une approche en *feedback d'action/perception*, car l'interaction avec la bande doit surtout suivre le réseau opératoire de la partie électronique. Le clarinettiste doit aussi jouer en lien avec les fréquences des événements de la bande et suivre les morphologies et les figurations de la partie électroacoustique. Vaggione nous dit que, d'après sa propre expérience, pour bien jouer cette pièce il faut placer l'oreille (écoute opératoire) sur la bande pour suivre les hauteurs des morphologies électroniques, sinon l'interprétation manque de contrôle et la vectorisation commune est mise en échec. Certes, la partition est indispensable, car il s'agit d'un guide chronométrique des morphologies et figures, mais c'est essentiellement l'écoute qui impose les contraintes composées. L'interprète doit donc comprendre les indications de la partition, mais aussi se familiariser et imiter les morphologies suggérées par la partie électronique.

Contrairement à *Shifting Mirrors*, l'interprète ne peut pas écouter séparément chaque strate de la partie électronique. Même s'il est possible de guider l'écoute sur plusieurs échelles temporelles, une écoute plus fine qui favorise une échelle spécifique

est rarement possible. Le clarinettiste dispose donc d'une écoute prioritairement « de surface », sur les méso-structures.

Paradoxalement, lorsque Pedro Bittencourt a interprété *Shifting Mirrors*, même en ayant à sa disposition les 32 pistes, le saxophoniste a préféré une écoute globale, c'est-à-dire, de la meso-structure. Bittencourt se servait du fichier stéréo puis du fichier 6 pistes, utilisé au concert, déjà mixés. Sa stratégie était de filer la pièce du début à la fin pour s'habituer à une macro-forme. Dans une première étape, cela s'avérait plus important que de travailler chaque partie individuellement.

Le même matériel interprétatif (partition, session Reaper, fichiers individuels) nous a été fourni par le compositeur afin que nous puissions l'interpréter dans le contexte de la MSH PN. Contrairement à Bittencourt, notre attention a été portée vers l'écoute des multi-strates du réseau sonore composé afin de pouvoir « prendre l'ascenseur et descendre dans le micro-temps »⁶⁵⁹. Ce matériel constitue l'un des rares exemples de traces génétiques fournies par Vaggione. Nous avons donc pu avoir l'accès aux sources primaires qui nous ont aidé à comprendre la composition orientée objet ; cela s'est montré essentiel pour notre modélisation opératoire et finalement, pour l'interprétation électroacoustique de l'œuvre.

6.2.1. L'approche opératoire de *Shifting Mirrors*

Shifting Mirrors correspond bien à la description donnée par Risset des œuvres du compositeur : « La musique d'Horacio Vaggione est d'une vivacité mercurielle. Bouillonnante. Turbulente. Intense. Urgente. Jaillissante. Foisonnante. Effervescente. Pulvérisations cristallines, poudres de lumière, rarement en repos »⁶⁶⁰.

⁶⁵⁹ VAGGIONE, Horacio, « Articulating Micro-Time », *Computer Music Journal*, vol. 20 n°1, 1996.

⁶⁶⁰ RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2007, p.17.

Le début de cette pièce est similaire à d'autres œuvres du compositeur. Par exemple, on retrouve le geste brutal, le *big-bang*, du début de *Till*⁶⁶¹. Par rapport aux débuts caractéristiques⁶⁶² des pièces de Vaggione, Risset affirme :

Elles [les pièces de Vaggione] commencent souvent par une impulsion assez brutale, une perturbation, une sorte d'explosion, suivie de l'émergence d'une sorte de résonance ou d'*after-effect* au comportement plus soutenu. Une telle succession peut faire penser au lien qui existe dans le domaine physique entre le comportement libre d'un système linéaire dissipatif à l'équilibre et la réponse de ce système à une excitation, sa susceptibilité à une contrainte⁶⁶³.

La citation ci-dessus nous incite à penser que ces gestes brutaux proviennent d'une opération fondée sur la cause et la conséquence. Mais il s'agit plutôt d'articulations, soigneusement construites, dont la structure, au lieu d'être fondée uniquement sur une excitation et une résonance, est l'articulation à l'intérieur d'un grand réseau composé. Même si l'une des propriétés de l'objet opératoire numérique est la clôture, dans ces pièces il n'est pas facile de bien délimiter les frontières de chaque objet, soit par l'écoute, soit par la visualisation de formes d'onde d'une session logiciel multipiste. L'articulation est plus complexe et les relations se forment grâce à des interactions inhérentes du matériau musical sur plusieurs échelles et dimensions. Dans la pièce acousmatique *24 Variations* (2002), par exemple, l'articulation des dimensions morphologiques est le fondement de l'organisation sur différents plans : « chaque geste de premier plan se dissout dans l'arrière-plan, alors que l'arrière-plan masqué émerge au premier plan »⁶⁶⁴. Une fois le réseau sonore établi, il est difficile et peu approprié de le diviser en parties, ou en structures individuelles, car les objets sont indissociables et la singularité est dépendante du contexte où ils sont insérés. La dichotomie geste-texture⁶⁶⁵ est, au moins du point de vue opératoire, peu pertinente dans un cadre analytique, car il s'agit surtout de figures dont la morphologie peut porter des attributs caractéristiques qui peuvent suggérer une disposition spatiale du premier plan ou de l'arrière-plan.

⁶⁶¹ MEAD, Philip, *op. cit.*, 2007, p.228.

⁶⁶² Il y a cependant des pièces de Vaggione qui ne commencent pas « brutalement ». Dans *Ash* et *Schall* par exemple, le début est calme et la texture se densifie au cours d'un processus graduel.

⁶⁶³ *Ibid.*, p.15.

⁶⁶⁴ ROADS, Curtis, *op. cit.*, 2007, p.85.

⁶⁶⁵ Dans le sens spectromorphologique.

Étant conscient de ce caractère très particulier de la musique de Vaggione, notre étude de *Shifting Mirrors* n'était pas fondée sur une analyse « classique » dont la méthodologie est la compréhension structurelle par la stratification des parties individuelles. Même si certaines analyses de la musique de ce compositeur sont attentives à la nature du matériau et aux opérations, la plupart priorise une analyse formelle dont l'articulation étudiée s'attache de manière prédominante à la surface, à la méso et macrostructure⁶⁶⁶. Par contre, notre approche favorise les relations internes de l'objet, c'est-à-dire les articulations morphologiques multi-échelles. Évidemment, pour une étude qui prend en compte cette propriété opératoire, il faut avoir en main des sources gardant des traces génétiques, et ce genre de matériel est difficilement accessible⁶⁶⁷. Pour notre interprétation de *Shifting Mirrors*, nous avons accès aux matériels décrits ci-dessus, ce qui a été essentiel pour notre étude de modélisation interprétative.

Plutôt que de vouloir décrire la pièce, ou donner des « clefs d'écoute », nous avons réalisé une étude multi-échelle afin de comprendre les structures internes de la pièce. La macro-structure n'a pas vraiment attiré notre attention, bien qu'il s'agisse d'une échelle opératoire composable. En effet, à travers l'écoute opératoire, avec le va-et-vient entre les échelles temporelles, la macrostructure n'était toujours pas comprise comme un agencement des structures, mais plutôt comme un flux continu. Après plusieurs représentations en concert de cette pièce, une séance d'enregistrement en studio et de nombreuses répétitions, nous n'avons toujours pas une idée « structurée » de la macro-forme de *Shifting Mirrors*, car l'écoute multi-échelle fait émerger toujours des significations macro-structurelles différentes.

La première minute de *Shifting Mirrors* est suffisamment riche pour pouvoir étudier l'approche compositionnelle orientée objet. La figure ci-dessous (Figure 18) montre la première page de la session ProTools qui correspond au début de la pièce jusqu'à 0'14''. La quantité de matériau composé dans un espace d'à peu près dix secondes est remarquable. Sur l'image, nous pouvons voir les premiers gestes de la pièce. Il s'agit de quatre pistes stéréos, il y a donc huit pistes monos.

⁶⁶⁶ Nous nous référons aux analyses déjà mentionnées ci-dessus, notamment JUSTEL, Elsa, *op. cit.*, 2007 et LALIBERTE, Martin, *op. cit.*, 2007.

⁶⁶⁷ Ainsi comme Edgard Varèse, Vaggione n'aime pas partager ses « cuisines », pour des raisons déjà mentionnées dans cette thèse.

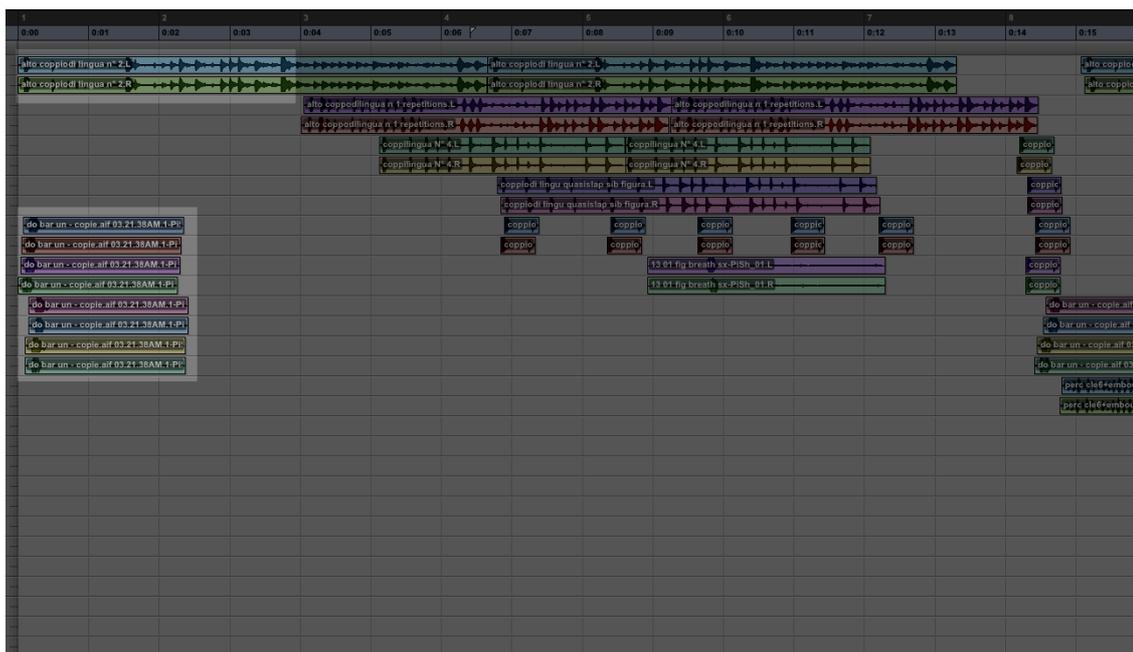


Figure 18 Première page de session ProTools de la partition de *Shifting Mirrors* (de haut en bas, les fichiers stéréos 1-2, 3-4, etc. jusqu'à 31-32)⁶⁶⁸.

Vaggione compose toujours avec plusieurs pistes stéréos (16 pistes stéréos dans le cas de *Shifting Mirrors*), ensuite les sessions multipistes sont mixées selon une approche *mix down*, c'est-à-dire que les pistes sont assemblées sous un format stéréo, ou multicanaux. La version concert de *Shifting Mirrors* comprend six canaux. Pour l'enregistrement studio, une version stéréo a été utilisée. La session multipiste (comme celle de la partition ci-dessus) correspond à l'assemblage de plusieurs fichiers stéréo (le logiciel ProTools affecte une couleur différente à chacun des fichiers) ; ceux-ci sont normalement les produits des transformations morphologiques et l'assemblage est réalisé par le biais de manipulations directes, y compris des micromontages. Dans chaque fichier stéréo, le matériau sonore est dupliqué et décalé de quelques millisecondes afin de générer des décorrélations microtemporelles. La figure ci-dessous montre un détail (un *zoom* de l'ordre de 10 millisecondes) du deuxième fichier du passage souligné dans la partition ci-dessus (les pistes stéréos 9-10). L'on voit que le signal de gauche (en haut) est la copie du signal de droite (en bas) décalé de 32 millisecondes.

⁶⁶⁸ Voir fichier multimédia : F Annexe : 1.5 Shifting Mirrors1

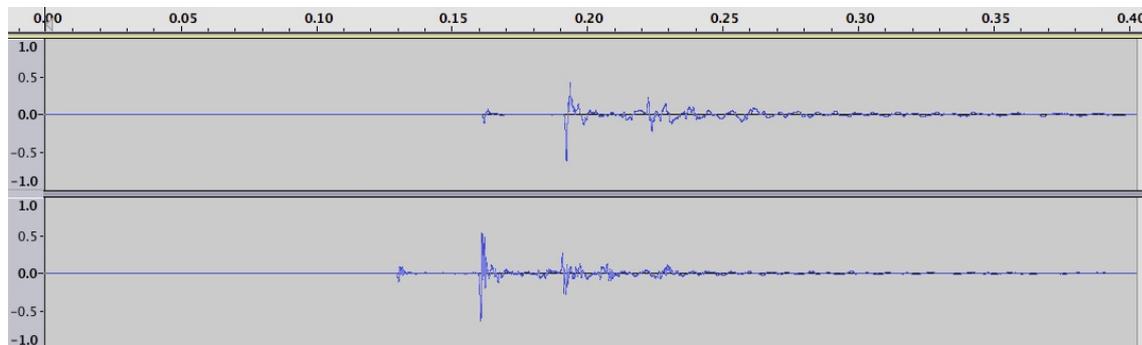


Figure 19 Approximation de l'un des fichiers stéréo (9-10) du début *Shifting Mirrors* (avec le logiciel Audacity).

En effet, ce fichier stéréo est le produit d'une manipulation directe sur quatre fichiers monos. C'est-à-dire qu'un même signal mono a été reproduit et décalé quatre fois, générant ainsi deux fichiers stéréos (pistes 9-12). Un procédé similaire a été réalisé sur les pistes 13-16. L'oreille interprète ces huit pistes comme un seul ensemble. En fait, les deux groupes (de la piste 9-12 et 13-16) sont des sous-classes d'un même objet. Ils héritent donc des mêmes traces génétiques. Ils se distinguent par une valeur paramétrique différente de la méthode transformationnelle morphologique *pitch shifting* couplée avec une autre opération morphologique (probablement une synthèse-croisée). L'objet père de ces deux classes est un échantillon d'une note *do* grave du sax baryton. Le nom du fichier nous permet d'établir cette hypothèse.

Dans la version six pistes de concert, les trois pistes stéréos sont disposées comme dans la figure ci-dessous (Figure 20). Comme le public reste dans un demi-cercle, entouré des haut-parleurs, les manipulations directes de décorrélations microtemporelles créent un effet d'espace.

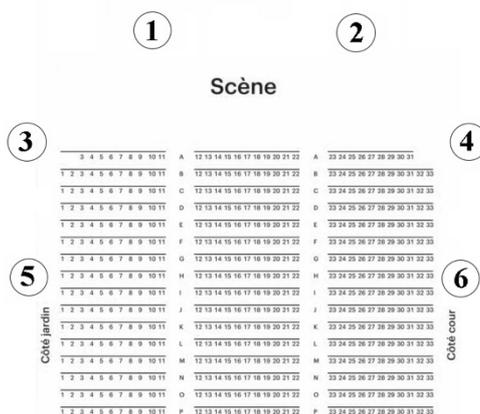


Figure 20 Disposition idéale des haut-parleurs pour la version de concert six pistes de *Shifting Mirrors*.

Dans la figure ci-dessous (Figure 21), la version de concert est affichée dans une session Reaper. Il s'agit, de haut en bas, des signaux assignés de 1 à 6 et envoyés aux haut-parleurs selon la disposition de la figure ci-dessus. On remarque alors que le premier geste commence par un même son fort dans les haut-parleurs 1 et 2, en face du public. Simultanément, une figure spatiale suit une direction de l'arrière (5 et 6) jusqu'en face (1 et 2) ; cette directionnalité spatiale est obtenue grâce à la méthode de décorrélation microtemporelle. En revenant sur la session ProTools ci-dessus (Figure 18), on distingue deux groupes de fichiers stéréo décalés : premier groupe (11-10 et 9-10) et deuxième (13-14 et 11-12). Après le *mix down*, ces morphologies sont assemblées produisant la version six pistes de la figure ci-dessus. Le décalage à l'intérieur de chaque piste stéréo (3-4 et 5-6) génère également un effet de déplacement progressif de droite à gauche.

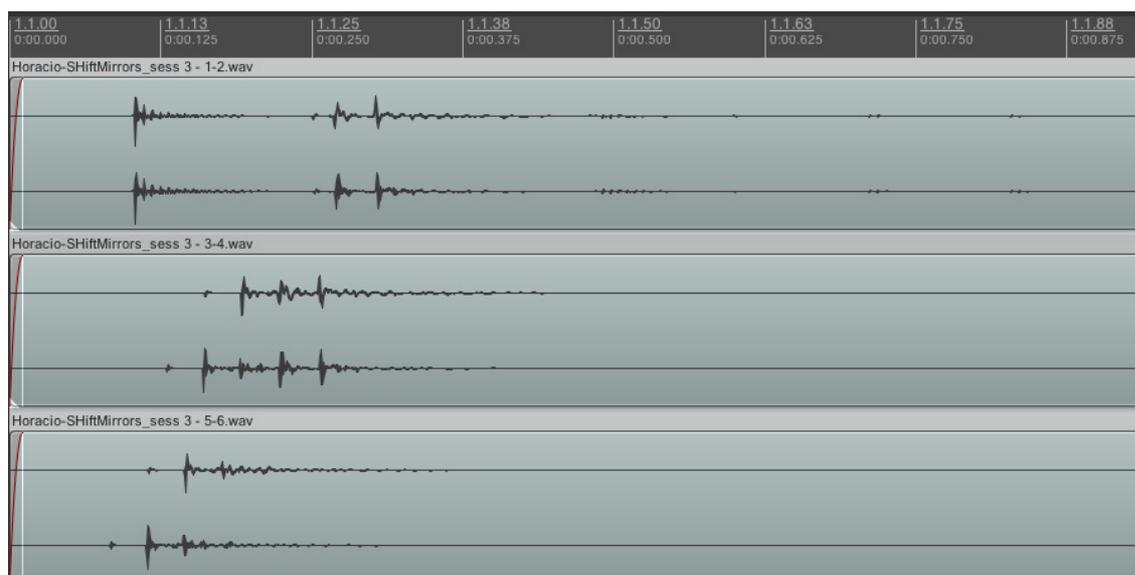


Figure 21 Session Reaper de la première seconde de la version six pistes de *Shifting Mirrors*.

En regardant la forme d'onde de la figure ci-dessus, une similitude entre la morphologie des pistes stéréos 5-6 et 3-4 et la deuxième morphologie de la piste 1-2 (vers 250 milliseconde dans la *timeline*) apparaît. Il est donc probable que la morphologie des pistes 9 à 16 (dans la session ProTools) ait été générée par des méthodes de synthèse croisée, probablement par la convolution. L'on suppose que cette méthode consisterait à multiplier les signaux de l'enregistrement du *do* grave du saxophone baryton (comme laisse supposer le nom du fichier) avec la morphologie des pistes 1 et 2. À l'écoute, ce constat est vérifié : la morphologie de 9 à 16 porte la forme de 1 et 2.

Les morphologies des pistes 1-2 sont des échantillons du mode de jeu *coppio di lingua* que le compositeur utilise dans toute la pièce. Dans les premières secondes de la pièce, cette morphologie est utilisée presque sans transformation, qu'elle soit directe ou par des techniques numériques. Pour l'interprète saxophoniste, cette morphologie doit s'articuler parfaitement avec son jeu. Alors, l'effet de miroir est assez évident. Dans certaines pièces mixtes de Jean-Claude Risset, notamment *Voilements* (1987) pour saxophone et électronique, le début de la pièce suit la même stratégie. Le compositeur articule les échantillons de l'instrument acoustique avec un geste similaire dans l'électronique. Pour que cette corrélation se réalise, une articulation spatiale est aussi nécessaire, car l'effet visuel doit suivre la même articulation auditive. Dans *Shifting*

Mirrors, la morphologie *coppio di lingua* est placée dans les pistes 1-2 dont la disposition idéale la diffuse derrière l'instrumentiste, à l'arrière scène. Cela force l'auditeur à avoir un repère à la fois auditif et visuel.

Ce passage de fusion stricte, entre acoustique et électronique, ne dure que quelques instants. Après quatre secondes, une transformation directe permet d'opérer un effet d'agglutination. Dans la figure ci-dessous (Figure 22), les pistes 3-4, 5-6 et 6-7, des objets de la même classe que la morphologie de *coppio di lingua* des pistes 1-2 sont superposés selon une approche d'agglutination. En fait, chaque sous-objet a été soumis à des opérations de *pitch shifting* et ensuite décalé par rapport à l'objet père. Dans les pistes 9-10, un même objet est répété à plusieurs reprises, il s'agit d'une fragmentation d'un seul geste de l'objet des pistes 1-2. Cette opération a été réalisée manuellement. Pour le *mix down*, les morphologies produites par agglutination sont placées dans les canaux 3 à 6. Grâce à la décorrélation, le public est entouré d'une myriade de micro-articulations internes de courts événements sonores.

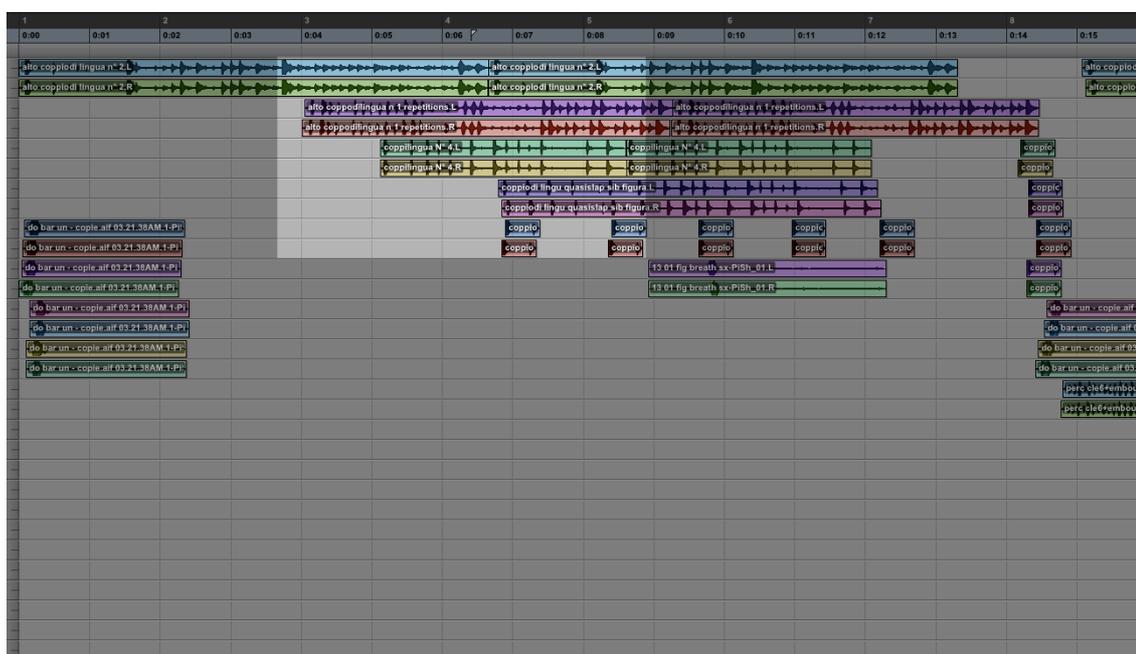


Figure 22 Session ProTools des premières secondes de *Shifting Mirrors*. L'opération d'agglutination est soulignée dès la quatrième seconde de la *timeline*⁶⁶⁹.

⁶⁶⁹ Voir fichier multimédia : F Annexe : 1.6 Shifting Mirrors2

Au début de la pièce, l'articulation avec le *coppio di lingua* émerge du geste électronique. De fait, la figuration d'arrière-plan émerge au premier plan. Ensuite, l'articulation stricte du début de la pièce entre acoustique et électroacoustique, de premier plan se dissout à l'arrière-plan, lorsque l'agglutination a lieu. Ce jeu entre les plans et les articulations qui sont sous-entendus est l'une des particularités fortes de la musique de Vaggione.

L'agglutination, quant à elle, se dissout dans l'arrière-plan lorsqu'une nouvelle classe apparaît à 0'24'' (Figure 23). Sur les pistes 13 à 28 (deuxième carré en bas), deux gestes sont imbriqués (les deux cercles dans le carré). Ces objets sont formés par deux morphologies, une première courte et un peu plus grave qui est le produit de plusieurs opérations⁶⁷⁰, suivie d'un sous-objet hérité d'un échantillon de bruit de clef. Ce même geste est répété quelques millisecondes après le premier, mais avec une piste de moins. Cela produit un effet de relief, car le deuxième geste est moins intense et avec les opérations de décorrélation, l'oreille l'interprète comme un « rebondissement », une sorte d'« écho » en émergence du premier geste.

⁶⁷⁰ Nous n'avons pas identifié les méthodes utilisées des transformations. Afin de ne pas donner des fausses pistes (qui ne sont que des spéculations), nous nous limitons à dire qu'il s'agit d'opérations morphologiques au sens général du terme.

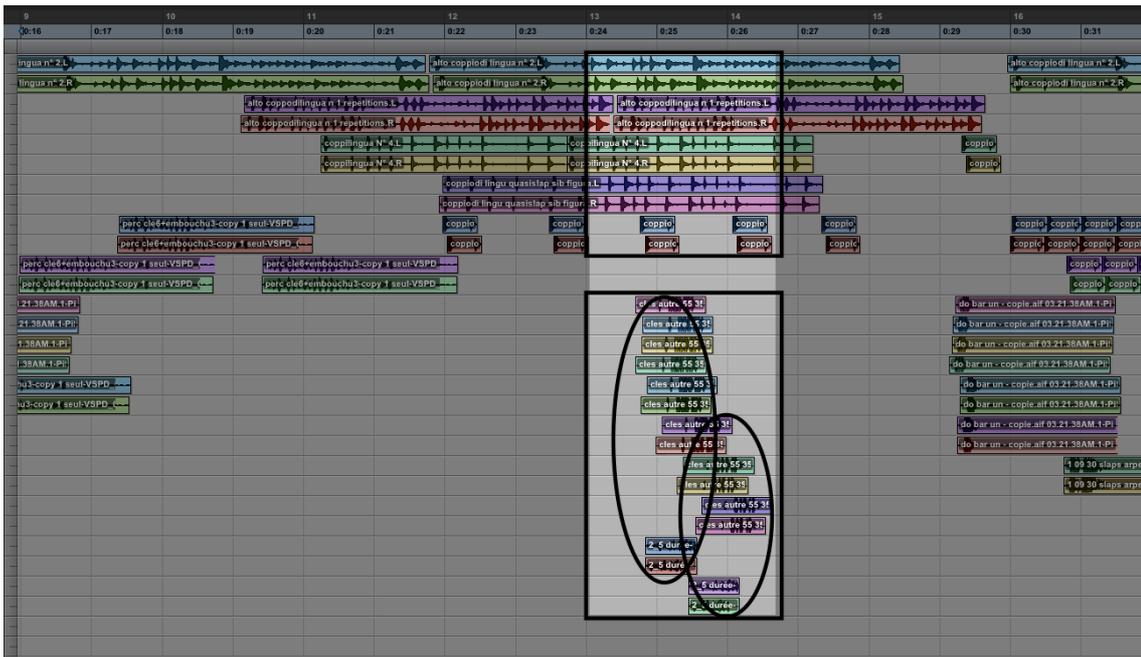


Figure 23 Session ProTools du moment 0'24'' de *Shifting Mirrors*⁶⁷¹.

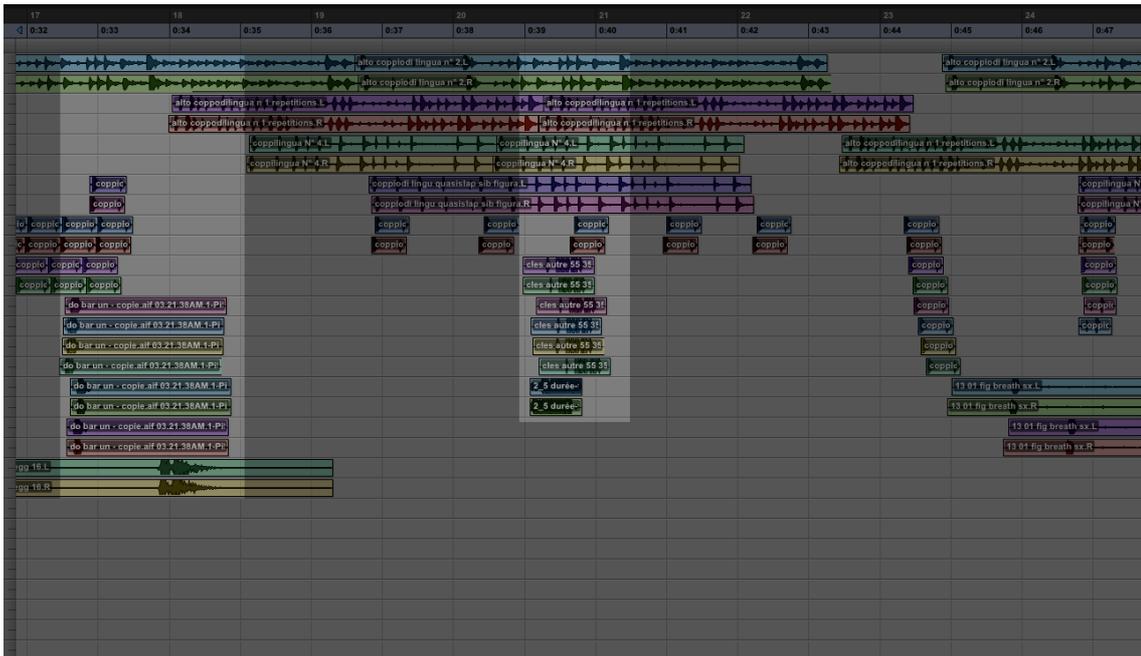


Figure 24 Session ProTools du moment 0'32'' de *Shifting Mirrors*.

⁶⁷¹ Voir fichier multimédia : F Annexe : 1.7 Shifting Mirrors3

Les trois classes montrées jusqu’alors – le geste initial, l’agglutination, et le geste avec les bruits de clef – sont articulées mutuellement à partir de 0’32’’ (Figure 24). D’abord, le geste initial (première partie soulignée, à gauche) est suivi de l’agglutination puis du deuxième geste (deuxième partie soulignée, à droite). Le saxophoniste quant à lui, peut suivre le chemin qu’il désire (selon les indications de la partition), dans n’importe quelle strate morphologique. Mais Bittencourt, ainsi que d’autres saxophonistes, ont préféré garder la même morphologie du *coppio di lingua*. Évidemment, ce choix est justifié, car sur les pistes 1-2, cette morphologie est jouée en continu. De plus, les micro-articulations internes de la partie électronique construisent une mise en relief en positionnant le soliste au premier ou à l’arrière-plan, ce qui contribue à un dynamisme interne avec une vectorisation commune entre les deux agents de la mixité.

Dans les quarante premières secondes de *Shifting Mirrors* étudiées ici, il est déjà possible de remarquer les caractéristiques compositionnelles principales d’Horacio Vaggione : (1) la complémentarité d’une approche morphologique transformationnelle et manuelle directe ; (2) la décorrélation microtemporelle, soit l’approche de l’espace comme une dimension morphologique ; (3) la mixité, vers une vectorisation commune. Tous ces traits forment ce qu’il appelle « composer avec un réseau d’objets ». Dans notre étude, nous nous sommes concentré les matériels interprétatifs fournis par le compositeur. Cependant, dans toute notre approche, l’écoute de la pièce elle-même a été sous-jacente. L’un des principes de la modélisation orientée objet-opératoire est l’analyse des codes informatique originaux. Pour l’étude de *Shifting Mirrors*, l’accès à ces documents était limité. Cependant les sessions ProTools, et Reaper, contiennent des traces génétiques remarquables qui nous permettent de comprendre l’ingénierie interne de la pièce. Le caractère créatif de cette ébauche de modélisation opératoire sera le fondement dans un premier temps de notre interprétation électroacoustique de *Shifting Mirrors*.

6.3. *Songes* de Jean-Claude Risset⁶⁷²

La pièce acousmatique *Songes* (1979) de Jean-Claude, composée à l'IRCAM, a été choisie par le compositeur lui-même pour intégrer le programme du concert « Carte blanche à Jean-Claude Risset » qui a eu lieu à la MSH PN le 8 octobre 2015 ; ensuite, cette pièce a été programmée lors de plusieurs autres concerts dans le cadre de nos projets. Parallèlement, cette pièce nous a été suggérée (lors du concert d'inauguration de la nouvelle MSH PN le 15 avril 2015) par le compositeur lui-même comme un exemple d'œuvre pertinente dans le cadre de notre recherche. Le compositeur nous a fourni les codes MUSIC V qui ont été la source principale pour la modélisation orientée objet-opératoire.

La mention de *Songes* dans les nombreux textes, articles ou interviews de Jean-Claude Risset ne donne que des informations d'ordre poétique, sans jamais réellement entrer dans le détail de l'articulation entre les outils de création et les choix compositionnels. Par ailleurs, et paradoxalement – au regard de l'intérêt que suscite cette œuvre dans la communauté scientifique-artistique de l'informatique musicale – cette pièce n'a été l'objet que d'une seule très courte analyse⁶⁷³ ou d'un projet d'analyse avorté⁶⁷⁴. La modélisation orientée objet-opératoire vise alors – en plus de nous servir pour l'interprétation électronique de la pièce – à rendre compte, des processus compositionnels et à promouvoir l'accès au sensible par la compréhension du langage de la musique faisant appel à l'informatique musicale, notamment l'articulation art/science.

Songes est l'accomplissement du désir du compositeur Jean-Claude Risset de « marier » la richesse et la variété des sons enregistrés par microphone avec le contrôle

⁶⁷² La base de ce chapitre a été le texte (en cours de publication) écrit par nous en collaboration avec Vincent Tiffon dans le cadre du projet analyses de l'IRCAM <http://brahms.ircam.fr/analyses/> [lien vérifié le 27 juin 2018].

⁶⁷³ KOBLYAKOV, Lev, « Jean-Claude Risset : *Songes*, 1979 », *Contemporary Music Review* vol. 1 n°1, 1984, p. 183-185. Traduit en français par Marie-Stella Pari, paru dans *L'IRCAM, une pensée musicale*, Paris, Editions des Archives Contemporaines, p.183-185.

⁶⁷⁴ STROPPA, Marco, « Sur l'analyse de la musique électronique », *L'IRCAM, une pensée musicale*, Paris, Editions des Archives Contemporaines, 1984, p.187-93, traduit en anglais dans “The Analysis of Electronic Music”, in *Musical Thought at Ircam*”, *Contemporary Music Review*, 1, 1, p.175-180.

très précis de la musique électronique sous forme numérique⁶⁷⁵. Par ailleurs, cette pièce représente l'apogée d'une théorie compositionnelle riche et multiforme déjà présente dans les œuvres antérieures à *Songes*. Nous soulignons les pièces instrumentales de jeunesse comme *Prélude* (1963) pour orchestre, les œuvres fixées sur support magnétique réalisées par ordinateur telles que *Computer Suite for Little Boy* (1968) et *Mutations* (1969) ainsi que les pièces mixtes comme *Dialogues* (1975) ou *Inharmonique* (1977). À cette époque, entre 1965 et le début des années 1980, Risset développe ce qui constituera, selon les commentateurs comme lui-même, l'archétype de son œuvre : « la composition du son-lui-même »⁶⁷⁶. Cette recherche, telle qu'on la retrouvera quelques années plus tard avec la musique spectrale, semble provenir de la rencontre en 1962 avec André Jolivet, lors de l'Académie d'Été du Centre Français d'Humanisme Musical à Aix-en-Provence. Ce dernier avouait d'ailleurs composer avec des sons en plus de composer avec des notes, suite à sa rencontre avec Varèse. Ainsi, on peut faire une filiation Varèse-Jolivet-Risset dans ce rapport de la note et du son, à travers cette tension vers l'exploration de l'intérieur des sons – que l'on retrouve également chez l'anglais Jonathan Harvey, et la plupart des musiciens dits « spectraux ». À la suite de cette rencontre Risset/Jolivet, une pièce orchestrale est jouée en 1963 par l'orchestre de Marseille. Jolivet encourage par la suite le jeune Risset, qui poursuit alors des études d'écriture, d'harmonie et de contrepoint avec Suzanne Demarquez, et de composition et d'orchestration avec Jolivet. Dans la même logique du rapport note/son, Risset s'intéressait à cette époque à la possibilité d'innover en matière de timbre. C'est pourquoi il s'intéressait aussi aux innovations technologiques appliquées au son. Le manque de qualité sonore de la technologie utilisée dans le cadre de la musique électroacoustique a dissuadé Risset d'investir davantage dans ce domaine, notamment celui de la musique concrète. La même année, en 1963, une publication de Max Mathews dans la revue *Science*⁶⁷⁷, abordant le potentiel de l'informatique musicale,

⁶⁷⁵ RISSET, Jean-Claude, *Interview Concert Multiphonie*, 2017 <https://www.youtube.com/watch?v=-pkTEdxKfRg> [lien vérifié le 27 juin 2018].

⁶⁷⁶ RISSET, Jean-Claude, « Composer le son : expériences avec l'ordinateur, 1964-1989 », *Contrechamps* n°11, 1990, p.107-126.

⁶⁷⁷ MATHEWS, Max, « The Digital Computer as a Musical instrument », *Science*, New Series, Vol. 142, no.3592, 1963 p.553-557, republié dans le livret de *The Historical CD of Digital Sound Synthesis*, WERGO « Computer Music Currents 13 », 1995, WER 2033-2 282 033-2.

a attiré l'attention de Risset qui, grâce à sa double activité scientifique et musicale⁶⁷⁸, rejoint Mathews aux *Bell Telephone Laboratories* en 1964. Il entame alors un travail de recherche sur l'imitation des sons cuivrés dont le premier résultat est l'objet de sa thèse de doctorat : l'intérêt de ces premiers travaux est autant scientifique que musical⁶⁷⁹. À la suite de cette recherche, Risset s'intéresse davantage à la création musicale dans une perspective d'alliance art/science/technologie.

Entre 1968 et 1969, il réalise par synthèse numérique deux œuvres substantielles, *Computer suite for Little Boy* (1968) et *Mutations* (1969), cette dernière étant une commande de l'INA-GRM. Dans ces pièces, le compositeur propose, comme matériau des sons quasi-instrumentaux (imitatifs), des sons paradoxaux et des arpèges harmoniques qui émanent d'un accord. D'une facture très voisine, ces deux pièces utilisent les mêmes matériaux, issus du même catalogue de sons numériques⁶⁸⁰, lui-même étant le résultat d'expériences de synthèse sonores réalisées aux *Bell Telephone Laboratories*. Dans la lignée de ces deux pièces initiales, d'autres pièces mixtes sont créées plusieurs années plus tard : *Dialogues* (1975), *Inharmonique*, *Moments Newtoniens* (1977) et *Mirages* (1978). En 1979, *Songes* suit cette même perspective, d'autant que les derniers sons de cette pièce – si caractéristiques en ce qu'ils évoquent des sons d'oiseaux – reprennent ceux du dernier mouvement des *Trois Moments Newtoniens* et de *Mirages*. Dans *Songes*, Risset poursuit l'exploration de notions compositionnelles déjà présentes dans les œuvres précédentes, notamment la simulation de gong par le biais des codes du catalogue de sons. Cependant, on relève une nouvelle direction compositionnelle dans le début de la pièce, qui reprend les motifs de la partie électronique de l'œuvre mixte *Mirages*, ainsi que l'algorithme de la coda. Les interactions entre les sons de synthèse et les sons acoustiques, par le biais des traitements numériques,

⁶⁷⁸ Risset était agrégé de physique à l'École Normale Supérieure à Paris ; Risset mène des recherches mêlant sa formation scientifique avec ses projets de compositeur, premières bases d'une articulation art/science aidée en cela par les progrès technologiques de l'époque.

⁶⁷⁹ RISSET, Jean-Claude, « Computer Study of Trumpet Tones », New Jersey, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1966.

⁶⁸⁰ Le « catalogue des sons » a été écrit à la demande de John Chowning en 1969 pour un cours d'introduction à la synthèse par ordinateur que Chowning donnait à l'Université Stanford en Californie. Le catalogue a été republié en 1995 par Wergo.

sont aussi présentes dans *Sud* (1985) et *Invisible* (1996)⁶⁸¹. Dans *Contours* (1982), Risset reprend le processus algorithmique de la coda de *Songes*⁶⁸². Dans *Songes*, les avancées récentes de l'informatique musicale ont permis l'incorporation des sons de synthèse de son catalogue avec les objets sonores de sa pièce antérieure *Mirages* (1978), créant ainsi une unité musicale unique.

6.3.1. La synthèse sonore numérique dans *Songes* : le programme MUSIC V

Avant d'aborder l'analyse de *Songes* en détail, il est nécessaire de décrire la syntaxe du code du programme MUSIC V utilisée pour la composition de cette pièce⁶⁸³.

La logique de ce langage est analogue à la manière « classique » de faire de la musique. Le code peut être divisé en deux parties basiques : *l'orchestre* et la *partition* (score). La première décrit les paramètres globaux (la fréquence d'échantillonnage, par exemple) et les objets algorithmiques. La deuxième partie décrit les notes : des instructions paramétriques qui font appel aux instruments de l'orchestre. En bref, c'est l'entité numérique qui produit le son, jouant ainsi le même rôle qu'un instrument dans un orchestre classique. Dans la *partition*, un script temporel définit les paramètres des instruments (comme la fréquence et l'amplitude) et ordonne l'exécution en suivant un script temporel de chaque instrument, ainsi que la durée de chaque instance.

⁶⁸¹ RISSET, Jean-Claude, « Realworld Sounds and Simulacra in my Computer Music », *Contemporary Music Review*, Vol. 15 Part 1-2, 1996, p.29-48.

⁶⁸² DI SCIPIO, Agostino, « An analysis of Jean-Claude Risset's *Contours* », *Journal of New Music Research*, vol. 29-1, 2000, p.1-21.

⁶⁸³ Nous rappelons que dans toute cette thèse les lignes des codes seront soulignées en **GRAS**, afin de faciliter la lecture.

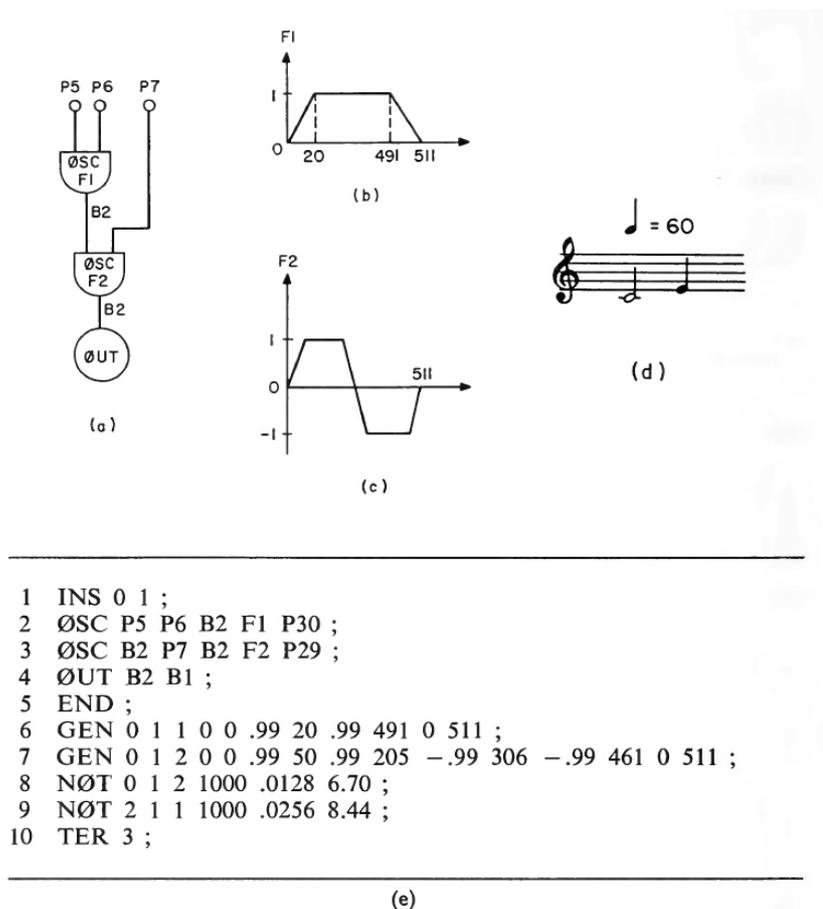


Figure 25 Exemple de code MUSIC V (a) diagramme de bloc ; (b) représentation d'une enveloppe ; (c) forme d'onde ; (d) partition « classique » ; (e) code MUSIC V.

L'exemple ci-dessus (Figure 25) est un exemple de code MUSIC V réalisé par Max Mathews et publié dans la documentation référence du programme⁶⁸⁴. Dans cet exemple, l'algorithme (e) correspond à l'instrument (entre les lignes 1 et 5 – l'instruction **INS 0 1** définit le début et **END** la fin). L'instrument joue simplement une note avec une amplitude et fréquence contrôlable. Un oscillateur (**OSC**, dans la ligne 2) contrôle l'amplitude, et le deuxième oscillateur (ligne 3) la fréquence. Ensuite, le signal de sortie du deuxième oscillateur est orienté vers la sortie audio du programme (module **OUT**, ligne 4) générant ainsi le son. Dans les lignes 6 et 7, le module **GEN** génère les formes d'onde (f) et (g). Finalement, dans les lignes 8 et 9, le module **NOT**, déclenche l'instrument 1. La ligne 8, par exemple – **NOT 0 1 2 1000 .0128 6.70** – 0 signifie que

⁶⁸⁴ MATHEWS, Max et al., *The Technology of Computer Music*, Cambridge, MIT Press, 1969, p.54.

l'action commence à l'instant 0 seconde ; 1 signifie qu'il s'agit de l'instrument 1 (défini dans la ligne 1) ; 2 correspond à la durée en seconde ; 1000 l'amplitude relative ; .0128 la fréquence de l'oscillateur d'amplitude (ligne 2) ; 6.17 la fréquence de l'oscillateur de fréquence (ligne 3).

Pour la compilation du programme, l'ordinateur n'a besoin que du code MUSIC V (e). Pour une question de visualisation mais aussi pédagogique, il est utile de générer un diagramme de bloc (e), ou même la partition classique (e). Le diagramme est un schéma qui illustre un instrument, les modules, les entrées et sorties. Le flux complet du système est ainsi aisément identifiable.

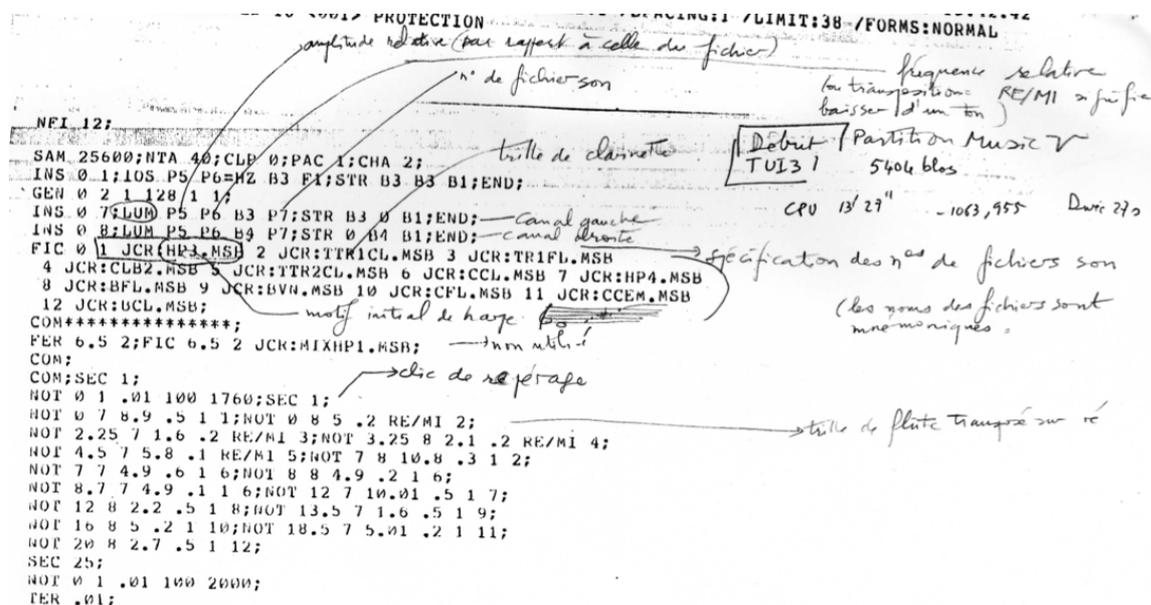


Figure 26 Code MUSIC V du début de *Songes*.

La figure ci-dessus (Figure 26) correspond à la première page de code MUSIC V d'une version stéréo de *Songes* (avec les annotations à la main au crayon de Risset). La deuxième représentation de ce passage (Figure 27) est une transcription manuelle de Jean-Claude Risset lui-même, en notation traditionnelle. Cette transcription est purement illustrative afin de fournir une meilleure visualisation du passage.

Début de *Songes*
 (Mirages III)

g TUI 3 1

Figure 27 Partition représentant le passage du code MUSIC V du début de *Songes*.

Le titre *Songes* suggère un univers onirique, le passage graduel d'un monde instrumental à un monde illusoire :

Dans le cadre de *Songes*, j'ai lié cette idée à une thématique de passage au rêve : au fur et à mesure que la pièce se développe, les éléments sonores deviennent de moins en moins réalistes, de plus en plus oniriques. Non seulement ils évoquent de moins en moins clairement des instruments distincts, mais ils donnent aussi l'impression d'échapper aux limitations physiques⁶⁸⁵.

La première partie de la pièce *Mirages* correspond donc à la partie *réaliste* qui est transformée progressivement en un monde *illusoire*. Risset rapproche deux mondes sonores en apparence très différents : celui de sons instrumentaux et celui de la synthèse sonore numérique. Malgré les mondes apparemment opposés, l'écoute de *Songes* est très fluide. Certes, dans le passage de cloches ainsi que dans la coda, l'univers est clairement illusoire, mais l'unité de la pièce est garantie par la transition entre les deux mondes. Dans

⁶⁸⁵ RISSET, Jean-Claude dans GUILLOT, Mathieu, *Du Songe au son*, Paris, L'Harmattan, 2008, p.128.

la première partie de la pièce, les sons instrumentaux sont facilement reconnaissables. Cependant, il ne s'agit pas de sons réels. Aussi, les sons des échantillons numériques de *Mirages* sont déjà illusoire. Nous n'écoutons pas le son de harpe au début de la pièce, mais un objet numérique résultant de traitements numériques. Ainsi, même si l'univers sonore du début de la pièce est une représentation du réel, il se trouve dans le même réseau numérique de transformations et d'opérations que le reste de la pièce.

Le traitement de l'espace joue un rôle essentiel pour l'unité de l'œuvre (surtout dans la version quadriphonique), car son usage est présent dans toute la pièce. Dans le début de *Songes*, les objets sont joués alternativement entre la droite et la gauche, avec des réponses à l'arrière. Vers la fin de la pièce, les sons circulent dans l'espace, notamment en spirale, selon les effets d'illusion de hauteur tels que Risset les a développés antérieurement dans ses travaux d'acoustique et de psychoacoustique⁶⁸⁶. Ainsi, l'illusion d'espace (telle qu'imaginée initialement par Chowning et composée par Risset dans *Songes*) participe largement au passage du monde réaliste au monde illusoire.

Dans la première partie du code (Figure 26), les paramètres globaux sont définis, comme la fréquence d'échantillonnage (correspondant à 25.600 Hz - **SAM 25600**) et le nombre de canaux (2 canaux, **CHA 2**). Ensuite, deux instruments jumeaux sont définis (**INS 0 8** et **INS 0 7** – le premier pour la gauche et le deuxième pour la droite), ceux-ci réalisant la même tâche, à savoir la lecture de fichiers chargés dans la mémoire de l'ordinateur. **LUM** – module développé par Jean-Louis Richer⁶⁸⁷ – permet de jouer les fichiers chargés par le module **FIC** – les fichiers sont définis comme **JCR:HP3.MSB**, par exemple. Finalement, une liste d'instances permet de jouer les fichiers temporairement. La ligne de code **NOT 0 7 8.9 .5 1 1**, par exemple, exécute à l'instant 0 seconde l'instrument 7 (l'instrument de droite) qui jouera dans 8.9 secondes le fichier **JCR:HP3.MSB** (motif initial de la harpe) avec un facteur multiplicatif d'amplitude de .5 et un facteur multiplicatif de fréquence de 1 (c'est-à-dire, la moitié de l'amplitude de

⁶⁸⁶ RISSET, Jean-Claude, *Paradoxes de hauteur*, Paris, Rapport IRCAM n°10/78, 1978, accessible via <http://articles.ircam.fr/textes/Risset78c/index.html> [lien vérifié le 27 juin 2018].

RISSET, Jean-Claude, *Hauteur et timbre de sons*, Paris, Rapport Ircam, 11/78, 1978, disponible via <http://articles.ircam.fr/textes/Risset78a/index.html> [lien vérifié le 27 juin 2018].

⁶⁸⁷ Jean-Louis Richer était chercheur à l'IRCAM (entre 1977 et 1981), notamment lors de la composition de *Songes*.

l'échantillon originel et la même fréquence). La ligne de code **NOT 0 8 5 .2 RE/MI 2** montre un exemple de changement de fréquence, le trille de clarinette (**JCR:TT1CL.MSB**) est transposé sur la note ré⁶⁸⁸.

NFI 12: TUI32 465 TUI3
 SAM 25600;NTA 40;CLP 0;PAC 1;CHA 2;
 INS 0 1;IOS P5 P6=HZ B3 F1;STR B3 B3 B1;END;
 GEN 0 2 1 128 1 1;
 INS 0 7;LUM P5 P6 B3 P7;STR B3 0 B1;END;
 INS 0 8;LUM P5 P6 B4 P7;STR 0 B4 B1;END;
 FIC 0 1 JCR:TRIAL.MSB 2 JCR:CBCL.MSB 3 JCR:CBCL2.MSB
 4 JCR:TR2AL.MSB 5 JCR:TRIVN.MSB 6 JCR:TRICE.MSB
 7 JCR:CHB4.MSB 8 JCR:TR4AL.MSB 9 JCR:CCL.MSB
 10 JCR:ATB.MSB 11 JCR:TR3AL.MSB 12 JCR:FH3.MSB;
 COM;
 COM;SEC 1;
 NOT 0 1 .01 100 1760; SEC 1; → rewritten = de Not 0 1 .01 100;
 NOT 0 7 5.4 .15 1 2; NOT 0 7 5 .3 1 3;
 NOT 3.2 7 4.1 .1 RE/MI 4; NOT 3.3 8 4.1 .1 RE/MI 4;
 NOT 6 8 1.3 .1 RE/MI 5; NOT 6.15 7 1.3 .05 RE/MI 5;
 NOT 7 7 2.4 .08 RE/MI 6; NOT 7.1 8 2.4 .07 RE/MI 6;
 NOT 7 7 4.51 .4 1 7;
 NOT 8.8 8 4.9 .2 1 9;
 NOT 8.8 7 3 .1 RE/MI 8; NOT 8.95 8 3 .1 RE/MI 8;
 NOT 10 7 5.1 .2 1 10;
 NOT 10.7 7 5.1 .1 RE/MI 11; NOT 10.9 8 5.1 .1 RE/MI 11;
 NOT 12 8 5.1 .1 1 12;
 FER 12 1 2 3 4 5 6 7;
 FIC 12 1 JCR:TB2.MSB 2 JCR:CCE.MSB 3 JCR:BHB.MSB
 4 JCR:HP4.MSB 5 JCR:TRICL.MSB 6 JCR:CFL.MSB
 7 JCR:CHB4.MSB;
 NOT 13 7 9.01 .2 RE/MI 1;
 NOT 16 8 5.1 .3 1 2;
 NOT 17 7 2.6 .3 1 3;
 NOT 18 8 10.1 .4 1 4;
 NOT 22 8 5 .1 RE/MI 5; NOT 22.2 8 5 .1 RE/MI 5; → superposition du son
 NOT 23 7 4.9 .1 1 0.

Figure 28 Exemple de tuilage dans la première partie de *Songes*.

Dans le deuxième passage de la première partie de *Songes* (Figure 28), les fichiers sont mixés en tuilages allongeant ainsi la durée du passage. L'effet d'espace est très présent dans ce passage, dans la ligne **NOT 3.2 7 4.1 .1 RE/MI 4; NOT 3.3 8 4.1 .1 RE/MI 4**, le même fichier est lu - **JCR.TR2AL.MSB**, un trille d'alto – par l'instrument de gauche et de droite avec un léger décalage de 100 millisecondes – l'instrument 7 (celui de la gauche) est déclenché à l'instant 3.2 secondes, alors que l'instrument 8 (de la droite) est déclenché à 3.3 secondes.

⁶⁸⁸ Voir fichier multimédia : F Annexe : 1.2. Songes1

Il est important de noter que pour charger différents fichiers au cours du code, il faut libérer l'espace dans la mémoire. Par exemple, le passage démarre avec le fichier **JCR:TRIAL.MSB** occupant la place 1 (**FIC 0 1**) ; à l'instant 12 secondes (**FIC 12 1**) à la même adresse de mémoire, le fichier **JCR:TB2.MSB** remplace l'ancien. Cela était nécessaire, car à l'époque, cette procédure (de chargement et de lecture des fichiers) était coûteuse en termes de CPU.

6.3.2. Relations intervalliques génératrices de timbres

Dans *Songes*, une partie du matériau correspond à certains passages enregistrés de la pièce instrumentale *Mirages* (Figure 29) : les trilles (a) – qui sont beaucoup exploités dans le passage de tuilage (Figure 28) – et des motifs (b). Les trilles ont été enregistrés par tous les instruments – violon, violoncelle, alto, harpe, corne, basson, flûte, hautbois, trombone et clarinette – alors que certains objets seulement pour un instrument spécifique, la flûte par exemple (c).

La logique intervallique de ces objets est le mode 2 1 2 1 (d). Il s'agit de la gamme octatonique, utilisée dès le XIX^e siècle, par des compositeurs comme Rimsky-Korsakov ou encore Olivier Messiaen. Ce mode comporte un total de huit notes, alternant tons et ½ tons (selon deux modes). En commençant par la note *ré*, la note suivante est un ton au-dessus, *mi* ; la note suivante un demi-ton au-dessus, *fa* ; la suivante est un ton au-dessus, *sol* etc.

Cependant, Risset ne s'intéresse pas à la relation d'intervalle comme structure mélodique, mais comme composante du timbre. On retrouve cette même idée antérieurement dans *Mutations*, où la série quasi dodécaphonique n'est pas un système, mais une logique génératrice de timbres.



Figure 29 Matériau échantillonné de *Songes* : (a) les trilles ; (b) motifs ; (c) motifs de la flûte ; (e) mode 2 1 2 1.

6.3.3. Carte de son, espace de timbre

Pour « composer le son » et poursuivre dans la perspective initiée dans les années 1960, Risset s’intéresse à de nouvelles manières de composer non seulement le timbre lui-même, mais avec le timbre comme paramètre compositionnel. En 1978, au moment de la composition de *Mirages*, Risset prend connaissance du travail réalisé par les deux chercheurs de l’IRCAM John Grey et David Wessel, à travers notamment un « Rapport IRCAM »⁶⁸⁹ sur le concept d’espace de timbre. David Wessel et Bennett Smith ont développé un logiciel, nommé ESQUISSES, pouvant servir de « cahier de brouillon », pour une composition avec des timbres. « Le programme ESQUISSES, initialement dénommé SKETCHPAD [...] permet au musicien d’obtenir une représentation des relations subjectives qu’il perçoit lui-même entre éléments musicaux, et [...] se prête à être aussi un cahier d’esquisses »⁶⁹⁰. Grâce à ce logiciel, il devient possible de tracer dans un plan cartésien, la représentation de plusieurs exemples sonores (bien que la représentation selon plusieurs dimensions soit possible, deux dimensions étaient suffisantes pour la plupart des cas). Les premiers essais, réalisés par David Wessel, utilisaient 24 échantillons, correspondant à l’enregistrement d’un même exemple sonore – avec la même note *mi* ♭ dans le médium, la même durée et la même intensité – mais

⁶⁸⁹ WESSEL, David, « Timbre Space as a Musical Control Structure », *Rapport Ircam*, 12, 1978. disponible via <http://articles.ircam.fr/textes/Wessel78a/> [lien vérifié le 27 juin 2018].

⁶⁹⁰ RISSET, Jean-Claude, « Musique, recherche, théorie, espace, chaos », *InHarmoniques* 8/9, 1991, p. 279.

avec des instruments différents. D'un point de vue auditif, il était possible de classer les échantillons, entre 0 et 10, selon une échelle subjective (de 0 pour des sons identiques à 10 pour des sons très différentes) et également selon une échelle de niveau d'attaque. L'axe vertical est lié à la distribution d'énergie spectrale (« brillance »), et l'axe horizontal à la nature du transitoire (« attaque »).

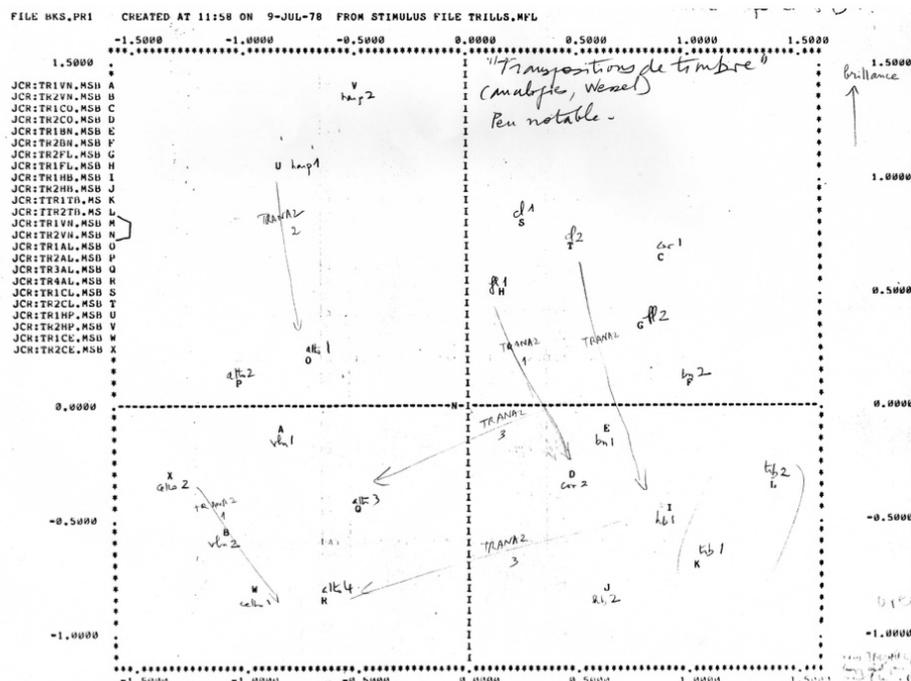


Figure 30 La carte de son utilisée dans *Songes* à l'aide du logiciel ESQUISSES.

La figure ci-dessus (Figure 30) montre l'emploi de la carte de son utilisée dans *Mirages* puis dans *Songes*. Risset place dans le bi-plan les échantillons de trilles (Figure 29 (a)) ; chaque point correspond donc à l'objet sonore joué par un instrument différent. Le point V, par exemple, qui correspond à la harpe, occupe la place la plus haute selon l'axe vertical, car s'agit du son le plus « brillant ». En opposition, le point K, qui correspond à l'alto, occupe la place la plus basse en termes de brillance. Le point L, qui correspond au trombone, occupe la place la plus à droite sur l'axe horizontal, mais l'une des plus basses selon l'axe vertical ; cela veut dire qu'il s'agit d'un son avec beaucoup de transitoires d'attaque mais relativement pauvre en brillance. D'une manière générale, tous les instruments à cordes – harpe, violon, alto et violoncelle – occupent la moitié gauche

de la carte, correspondant donc aux sons avec « moins d'attaque », alors que les instruments à vent – flûte, hautbois, clarinette, basson – correspondent plutôt à des sons avec beaucoup d'attaque.

L'intérêt musical de Risset pour l'utilisation de cette carte était de considérer le timbre comme un paramètre musical, comme c'est le cas pour les hauteurs, par exemple. Autrement dit, l'idée est de pouvoir transposer une mélodie de timbres, une *Klangfarbenmelodie* comme l'on peut transposer une mélodie de hauteurs. Pour cela, il fallait tracer des « intervalles de timbres » et les transposer en gardant le même écart. Par exemple, dans la carte ci-dessus (Figure 30), on observe que Risset a dessiné une ligne, un vecteur, entre les points U (Harpe) et O (alto), qui correspond à un « intervalle de timbres ». Ce même *intervalle* peut être tracé entre les points H (flûte) et D (cor). Cette transposition de timbres fonctionne analogiquement comme une transposition de hauteurs.

Le résultat compositionnel de la carte de timbre n'a finalement pas donné satisfaction à Risset, car les transpositions de timbres n'étaient pas perceptibles à l'oreille aussi clairement qu'une transposition de hauteurs. Selon Risset⁶⁹¹, il n'est donc pas possible de pouvoir structurer un discours musical en fonction de ce critère. Dans la musique de Risset, le timbre n'est donc pas un seul paramètre, mais une entité complexe multidimensionnelle, dotée d'une morphologie singulière. L'écoute, chez Risset, reste toujours le moyen le plus efficace de valider une opération musicale⁶⁹².

6.3.4. La morphologie d'une cloche : Du simulacre de cloches aux textures fluides

Le simulacre de cloche est sans doute l'une des images sonores les plus marquantes de Risset. Dès les premiers essais de synthèse sonore numérique réalisés par le compositeur dans les années 1960, il a cherché à comprendre le comportement spectral des sons « réels », en étudiant les cuivres (la trompette notamment) et les cloches. Les

⁶⁹¹ RISSET, Jean-Claude dans GUILLOT, Mathieu, *op. cit.*, 2008, p.86.

⁶⁹² RISSET, Jean-Claude, « Perception, environnement, musiques », *In Harmoniques*, n°3, Paris, IRCAM / Christian Bourgois, 1988, p.10-42.

objets sonores issus de cette recherche sont présents dans ses compositions au cours de toute la production créatrice de Risset, de *Computer Suite for Little Boy* (1968) à *Resonant Sound Spaces* (2002). La publication des codes originaux (à travers certains articles et du catalogue par le compositeur lui-même) et les analyses de pièces faisant appel à la documentation informatique⁶⁹³ ont permis d'étudier la morphologie de ces objets, ainsi que l'évolution du codage et de l'appropriation des objets dans les particularités de chaque pièce.

a

```

##### 11### 12
##### 11### 12
COM STEREO BELL DEMO;
COM LARGER PASS 2;
CHA 2;
SV3 0 10 0;COM AMPLIT CONVERSION:SV2 0 99 1;
COM INHSV1 PARAMETERS FOR BELLS WITH PLF5;
COM AS OF BELLA2 NO 2 12/11/76;SAM 10000;
COM CATALOG430 BELL;
SV1 0 1100 8 1200 RE 3 D 15 300 GS 10 200 CS*2 8 200 F*2 6 200 B*3 4 200
SV1 0 1150 8 700 RE 3 D 10 300 F 8 200 GS 6 200 B 3 200 CS*2 5 200
E*2 2 200 G*2 1 1.5 200 AS*2 1 200;
SV1 0 1210 11 1400 226 3 224 20 150 225 18 100 368 13 150
389.7 11 270 476 6.5 400 680 7 250 800 5 220 1094 4 200
1200 3 200 1504 2 150 1628 1.5 200;
COM CATALOG420 GONG;
SV1 0 1250 7 450 394 3 240 10 150 277 9.5 125 385 8.5 150 605 5 100
100 7 50 670 5.5 50 812 4 50;
COM TUBE BELL SOLD;
SV1 0 1280 9 975 349 3 675 24 200 124 16 200 346 22 200 1108 17 200
1634 6 200 2249 3 200 2941 2 200 3700 1.5 200
4504 .8 200;
COM CLOCHE POEM NO 3 DE BELL1;
SV1 0 1320 11 2000 590 3 58 25 200 62 22 150 102 20 100 293 25 600
293.5 20 200 349 17 400 347 15 300 440 13 200 583 11 100
670 5 100 930 3 300;
COM GG TEMPERE 2E DE BELL1;
SV1 0 1360 11 1600 470 3 466 20 500 465 18 300 622 15 300
624 14 100 784 10 200 933 7 400 943 7 200 1108 4 200 1318 3 100
1566 2 150 1760 2.5 200;
COM GG NON TEMPERE NO 1 DE BELL1;
SV1 0 1400 11 1600 465 3 464 20 500 463.2 16 300 605 15 300
607 11 100 775 10 200 933 7 400 943 5 200 1080 4 200 1240 3 11
1560 2.5 150 1720 3 200;

```

b

```

SEC 1;
PLF 0 6 1 1320 0 0 0 0 3;NOT 0 1 0 500 1680;
PLF 0 6 1 1360 0 0 0 0 5;NOT .02 1 0 600 1318;
PLF 0 6 1 1400 0 0 0 0 4;NOT .035 1 0 600 1319;
PLF 0 6 3 1625 0 0 0 0 3;NOT 4 1 0 400 DO#*2;
NOT 4.4 1 0 400 LA#*2;NOT 5.7 1 0 500 FA;
PLF 0 6 3 1625 0 0 0 0 3;NOT 4 1 0 400 DO#*2;
NOT 4.4 1 0 400 LA#*2;NOT 5.7 1 0 500 FA;
PLF 0 6 3 1625 0 0 0 0 5;NOT 4.15 1 0 500 RE;
NOT 5.3 1 0 500 SOL#;NOT 5.6 1 0 400 SI*2;
PLF 0 6 1 1100 0 0 0 0 3;NOT 10 1 0 400 RE*2;
PLF 0 6 1 1100 0 0 0 0 5;NOT 10.01 1 0 400 LA#*2;
PLF 0 6 1 1360 0 0 0 0 3;NOT 10.0115 1 0 200 LA#*2;
PLF 0 6 1 1360 0 0 0 0 6;NOT 10.02 1 0 200 LA#*2.02;
PLF 0 6 3 1500 0 0 0 0 5;NOT 12.5 1 0 300 SOL*2;
NOT 12.83 1 0 500 SI;NOT 13.1 1 0 600 RE;
PLF 0 6 4 1525 0 0 0 0 3;NOT 12.63 1 0 300 DO#*2;
NOT 12.74 1 0 300 MI*2;NOT 12.91 1 0 400 FA;
NOT 13 1 0 400 SOL#;
PLF 0 6 1 1150 0 0 0 0 5;NOT 13.11 1 0 500 RE;
PLF 0 6 1 1625 0 0 0 0 3;NOT 13.114 1 0 400 RE;
PLF 0 6 1 1800 0 0 0 0 3;NOT 13.09 1 13 100 73;
PLF 0 6 2 1280 0 0 0 0 3;NOT 16 1 0 100 SOL#;
NOT 16.2 1 0 100 FA;
PLF 0 6 2 1250 0 0 0 0 5;NOT 16.4 1 0 200 SI;
NOT 16.55 1 0 200 DO#*2;

```

Figure 31 Code MUSIC V de la deuxième partie de *Songes*.

Le code original ci-dessus (Figure 31) correspond au début du passage de la simulation de la cloche dans *Songes* [vers 1'37" stéréo ; 1'39" quadriphonie]⁶⁹⁴. Selon la syntaxe du langage MUSIC V, l'organisation du code est divisée en deux parties basiques : dans un premier temps (a) les objets sont définis, puis les commandes (b) pour le déclenchement temporel des objets. Dans la première partie (a), le compositeur fait

⁶⁹³ LORRAIN, Denis, *Inharmonique : analyse de la bande magnétique de l'oeuvre de J.C. Risset*, Rapport IRCAM n°26, Paris, Centre G. Pompidou, 1980, disponible via <http://articles.ircam.fr/textes/Lorrain80a/> [lien vérifié le 27 juin 2018].

⁶⁹⁴ La version stéréo de référence correspond à celle du CD Wergo WER 2013-50. La version quadriphonie correspond à celle que le compositeur lui-même nous a fournie et que nous avons utilisée lors de nos concerts.

référence (à travers des commentaires dans le texte, *via* le module **COM**) à deux cloches du catalogue de 1969⁶⁹⁵, *430 Bell* et *420 Gong*.

Ces objets sont des exemples de la recherche menée par Risset au cours des années 1960, offrant ainsi une contribution importante à la recherche en psychoacoustique. La synthèse additive, technique qui permet la création de sons comme somme de partiels, est le fondement de la morphologie des objets sonores chez Risset. Au XIX^e siècle, des chercheurs comme Helmholtz, Ohm et Hermann ont développé l'idée que l'oreille est capable d'analyser finement du « spectre » des sons : une vibration périodique de fréquence peut se décomposer en une somme de composantes sinusoïdales avec des valeurs d'amplitudes indépendantes qui déterminent le « timbre » du son. Cependant, cette conception est incomplète. Risset a démontré que les transformations du spectre dans le temps pouvaient jouer un rôle essentiel dans l'identification d'un son réel. La figure ci-dessous (Figure 32), réalisée par Patrick Sanchez et citée par Risset, illustre ce phénomène. Il s'agit d'une analyse tridimensionnelle d'un son de synthèse imitant la cloche : dans le plan horizontal, le temps est exprimé en secondes et la fréquence en Hertz. La dimension verticale correspond à l'amplitude. Il est facile d'observer que chaque partiel a un comportement temporel indépendant, avec une allure énergétique différente les uns des autres.

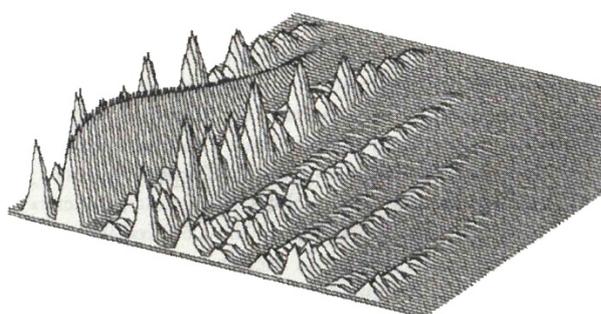


Figure 32 Analyse tridimensionnelle d'un son de synthèse de cloche⁶⁹⁶.

⁶⁹⁵ RISSET, Jean-Claude, *An Introductory Catalogue of Computer Synthesized Sounds*, New Jersey, Murray Hill, 1969, réédité dans le livret de *The Historical CD of Digital Sound Synthesis*, WERGO « Computer Music Currents 13 », 1995, WER 2033-2 282 033-2.

⁶⁹⁶ RISSET, Jean-Claude, *op. cit.*, 2014, p. 210.

6.3.4.1. Cloche 1280

Le code permettant la synthèse de ces comportements fait appel à des structures, le module **SV1**, soit une fonctionnalité de MUSIC V qui permet d'encapsuler des données pour la définition des objets sonores complexes. L'objet ci-dessous (Figure 33) correspond à une structure inharmonique numérotée 1280, qui comporte 9 composantes ; l'amplitude globale est de 975, la hauteur perçue 349, elle doit être jouée par l'instrument n° 3 ; la première composante a pour fréquence, durée et amplitude, respectivement 675 Hz, 24 s, 200 (unités arbitraires), la deuxième composante a pour fréquence, durée et amplitude respectivement de 124 Hz, 16 s, 200, et ainsi de suite ; la durée globale correspond à la durée de la composante la plus longue, soit 24 secondes⁶⁹⁷.

```
Com...
structure n°."1280" : "cloche".
Format de définition :
```

	nbr. de compos.	/	amplitude globale	/	fréquence de référence (résultante subjective)	/	instr. n°.	composantes		
								/	fréq.	durée
SV1 0 1280	9		975		349		3	675	24	200
								124	16	200
								346	22	200
								1108	17	200
								1634	6	200
								2249	3	200
								2941	2	200
								3700	1.5	200
								4504	0.8	200 ;

Figure 33 Code MUSIC V (réalisé par Denis Lorrain d'après l'original de Risset) de l'objet sonore 1280 dans *Inharmoniques* (1977).

C'est l'instruction **PLF 0 6** (Figure 31 (b)) qui définit les instanciations (diversement transposées) de la structure 1280 (Figure 33) avec un contrôle de durée, fréquence et amplitude. La ligne de code (fin de la Figure 31 (b)) **PLF 0 60 2 1280 0 0 0 0 3; NOT 16 1 0 100 Sol#; NOT 16.2 1 0 100 FA**; reprend la structure 1280 pour deux instructions **NOT**. La première jouera à l'instant 16 et la deuxième à 16.2 avec l'instrument 1, sans transposition (par défaut, la durée 0 indique la durée définie, et

⁶⁹⁷ RISSET, Jean-Claude et al. « De *Inharmonique* à *Resonant Sound Space* : temps réel et mise en espace », in *Proceeding of XIX Journées d'Informatique Musicale*, Marseille, 29-31 mai 2002, disponible via http://jim.afim-asso.org/jim2002/articles/L10_Risset.pdf [lien vérifié le 27 juin 2018].

éventuellement modifiée en fonction des transpositions), avec l'amplitude globale 100 (les amplitudes des composantes définies dans l'instruction **SV1 0 1280** seront donc multipliées par 100/975). Finalement, la première sera transposée sur un *sol#* et la deuxième sur *fa* (hauteur perçue de la première correspondant à 415.3 Hz pour le *sol#*, et la deuxième à 349 Hz pour le *fa* - toutes les fréquences des composantes de la première seront multipliées par 415.3/349, et par 349/349 pour les fréquences des composantes de la deuxième).

Avec les codes originaux et avec les informations partagées par le compositeur, il est possible de programmer les mêmes fonctionnalités dans un langage informatique courant (le programme MUSIC V n'étant plus utilisé depuis les années 1980 quand ce langage est devenu obsolète et a été remplacé par d'autres programmes comme CMusic et CSound). Pour la composition de *Resonant Sound Spaces* (2002), Risset utilise un patch Max réalisé par Antonio de Sousa Dias⁶⁹⁸, qui a réalisé un portage du code original MUSIC V permettant ainsi la synthèse en temps-réel, intuitive (le patch Max propose une représentation visuelle) des sons du catalogue. Suivant la même perspective, l'application web ci-dessous, que nous avons codée dans le cadre de cette modélisation de *Songes*, permet la synthèse en langage FAUST des objets sonores développés par Risset⁶⁹⁹.

⁶⁹⁸ RISSET, Jean-Claude, ARFIB, Daniel, DE SOUSA DIAS, Antonio, LORRAIN, Denis, POTTIER, Laurent, « De Inharmonique à Resonant Sound Spaces : temps réel et mise en espace », in *actes des Neuvièmes journées d'informatique musicale*, Marseille, 29-31 mai 2002, p.83-88.

⁶⁹⁹ Voir code FAUST complet : A Annexe : Code FAUST – Cloche 1280 et F Annexe : 2.1. Cloche 1280

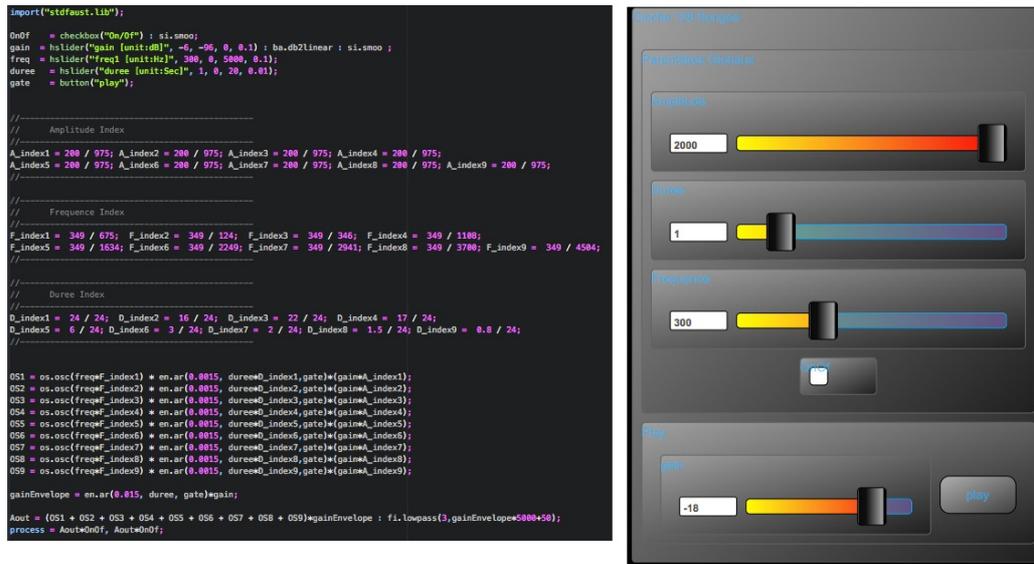


Figure 34 À gauche : le code FAUST de la Cloche 1280 ; à droite : l'application FAUST Web.

6.3.4.2. Cloche « mirages »

Au début de l'informatique musicale, la création des sons s'avérait très peu confortable. Les ordinateurs *mainframes* étaient lents et d'un maniement difficile. Dans les premières décennies de la pratique de la synthèse numérique des sons, l'interaction homme/machine se déroulait en temps différé : il pouvait se passer beaucoup de temps entre l'ordre donné à la machine via un système de carte perforée pour l'entrée, le chargement des données numériques et des mémoires de masse, et l'écoute du résultat compilé. Cette contrainte d'utilisation a influencé la manière dont les compositeurs pratiquaient la synthèse sonore numérique. Il était courant de réutiliser les mêmes cartes sans aucun changement dans des pièces différentes. Le code, représenté par les cartes perforées, devient ainsi une entité qui encapsule des données numériques ainsi que des algorithmes.

Les objets sonores encapsulés avec les structures **SV1** ainsi que les routines algorithmiques **PLF 6**, qui permettent la lecture et la réalisation d'instances des structures, n'ont pas subi de modification considérable au cours de la production du compositeur, même quand les cartes perforées sont devenues obsolètes. Dans la production musicale

du compositeur, des morceaux de code sont donc réutilisés d'une pièce à l'autre, sans aucun changement. Les objets sonores dans *Songes* comme les structures 1210, 1250, 1280, 1320, 1360, 1400 sont identiques à ceux trouvés dans la pièce *Inharmonique* (1977) dans le passage BELLSB, analysé par Denis Lorrain⁷⁰⁰. Toutefois, dans *Songes*, on trouve deux objets absents de la pièce *Inharmonique*, les objets 1100 et 1150. Il s'agit de deux objets composés en suivant les relations intervalliques du mode 2 1 2 1. Nous les nommons ainsi ces objets : *Cloche Mirage 1* et 2 (Figure 35 et Figure 36).

Cloche Mirage 1			Nbr. de compos	Amplitude globale	Fréquence de référence	Instr n°	Composants		
							fréq	durée	ampli
SV1	0	1100	8	1200	RE	3	D	15	300
							GS	10	200
							CS*2	8	200
							F*2	6	200
							E*2	4	200
							GS*2	2	200
							AS*2	1.5	200
							B*2	1	200

Figure 35 Objet SV1 0 1100 (code incomplet) – Cloche Mirage 1.

Cloche Mirage 2			Nbr. de compos	Amplitude globale	Fréquence de référence	Instr n°	Composantes		
							fréq	durée	ampli
SV1	0	1150	8	700	RE	3	D	10	300
							F	8	200
							GS	6	200
							B	3	200
							GS*2	5	200
							E*2	2	200
							G*2	1.5	200
							AS*2	1	200

Figure 36 Objet SV1 0 1150 – Cloche Mirage 2.

⁷⁰⁰ LORRAIN, Denis, *op. cit.*, 1980.

Dans le code original (Figure 31) les quatre derniers composants sont omis, puisque le nombre exact de composants, égal à huit, est défini au début de la structure. Il est possible, après l'analyse de la deuxième *Cloche Mirage* (Figure 36), de compléter cet objet avec des composants ayant la même relation intervallique (nous soulignons en jaune, sur la figure 15, les composants ajoutés). Les fréquences des composants de la structure 1150 correspondent au mode 2 1 2 1 de la première partie de *Songes* : les relations intervalles *ré - fa* (tierce mineure) / *fa - sol#*, (tierce mineure) / *sol# - si* (tierce mineure) forment le premier tétracorde. Le deuxième tétracorde est composé des intervalles *sol# - mi* (sixte mineure) / *mi - sol* (tierce mineure) / *sol - la#* (seconde augmentée). L'ensemble de notes forme donc le mode *ré, mi, fa, sol, sol#, la#, si* et *do#* (Figure 36), avec la dernière note omise. Pour la structure SV1 0 1100, les quatre premières notes forment le tétracorde, *ré - sol#* (triton) / *sol# - do#* (quarte) / *do# - fa* (tierce mineure). Pour le deuxième tétracorde, une des options est de suivre la tendance à diminuer l'écart intervallique, et ainsi *mi - sol#* (tierce majeure) / *sol# - la#*, (seconde majeure) / *la#- si* (deuxième mineure). L'ensemble des notes forment ainsi le mode 2 1 2 1 complet.

Avec l'application FAUST⁷⁰¹ ci-dessous (Figure 37), il est possible d'écouter la synthèse de la cloche mirage décrite plus tôt. Les paramètres de durée, de fréquence et d'amplitude de chacun des neufs partiels sont contrôlables individuellement.

⁷⁰¹ Voir code FAUST complet : B Annexe : Code FAUST – Cloche *Mirages* et F Annexe : 2.2. Cloche *Mirages*



Figure 37 Application Web du code FAUST de la Cloche Mirage.

6.3.4.3. *Textures fluides et la transposition des cloches mode 2 1 2 1*

Les sons de synthèse imitative de gong et cloches sont transformés en textures fluides – alors qu'ils conservent la même disposition spectrale sous-jacente. Dans un premier temps de [1'37" à 3'28" version stéréo ; 1'39" à 3'31" version quadriphonique], l'auditeur a tendance à percevoir des objets individuels – « cloches » – alors que dans la seconde partie (à partir de [3'28" stéréo ; 3'31" quadriphonie]) la fusion des partiels dans les objets sonores est entravée par des enveloppes non synchroniques, permettant ainsi à l'auditeur d'entendre les partiels en arpège⁷⁰².

La transformation spectrale est une constante qui apparaît dès 1964 dans la production de Risset : en cela, il est précurseur du courant spectral. Le compositeur

⁷⁰² Voir fichier multimédia : F Annexe : 1.3. Songes2

s'intéresse aux notions de passages et de mutations sonores. Comme dans *Mutations* (1969), au début de la pièce, le motif mélodique initial est repris sous forme harmonique, comme un accord, puis sous forme de timbre, comme un pseudo-timbre de gong dont les composantes de fréquence sont les fondamentaux de l'accord.

Le mode 2 1 2 1 est également la norme intervallique pour la transposition des objets sonores dans *Songes*. Au début du passage des cloches [vers 1'37" stéréo ; 1'39" quadriphonie], les motifs de *Mirages* superposent les simulations de cloche. La relation 2 1 2 1 est un des éléments qui concourent au lien entre les deux morphologies. L'une des fonctionnalités de la sous-routine **PLF 6** expliquée ci-dessus est la transposition globale de l'objet. C'est-à-dire, pour chaque instance, il est possible de changer la fréquence de l'objet, et par conséquent de modifier proportionnellement les partiels à l'intérieur du son. Dans ce passage, chaque objet stocké dans les structures **SV1**, est appelé par **PLF 6** et joué par l'un des deux instruments, celui de gauche et celui de droite⁷⁰³.

6.3.5. Contours de fréquence, illusion d'espace et *phasing*

Le code développé par Risset pour la synthèse des contours de fréquence dans la Coda est l'un des algorithmes les plus singuliers de *Songes*. Le compositeur se sert de la synthèse de Fourier d'une manière totalement originale, non plus pour la création de timbre (comme ce fut le cas pour la composition des cloches), mais plutôt pour la création de profils fréquentiels avec des formes d'ondes périodiques.

Le code ci-dessous (Figure 38) correspond à l'algorithme BDS4. Il s'agit de deux instruments jumeaux (**INS 0 2** et **INS 0 3**) et d'un instrument destiné à la réverbération (**INS 0 50**). À l'instar de la première partie de *Songes* (Figure 26), ce sont les deux instruments identiques qui permettent l'effet stéréo. L'instrument 2 conduit le son à droite, alors que le 3 le conduit à gauche. Dans la Coda, les trajectoires spatiales sont encore plus développées que dans la première partie de la pièce. Un effet de *panning* lié à la réverbération donne l'illusion de déplacement de la source sonore.

⁷⁰³ Voir fichier multimédia : F Annexe : 1.4. Songes3

```

PAC 1;
CLP 0;
COM BRDS USE EACH INST IN MONOPHONY;
PS1 1;
COM BIRDLIKE WITH DISPLACEMENT;
CHA 2;
INS 0 1;AD2 V10 V10 B6;END;
SAM 25600;
SV3 0 1 1;
INS 0 2;SET P7;IOS V1 P8 B3 F2 P15;
MLT B3 B3 B3;MLT B3 P6 B3;
IOS P9 P10 B4 F7 P16;AD2 B3 B4 B3;
IOS P5 B3 B3 F1 P17;IOS B3 P18 B3 F12 P20;MLT B3 V2 B6;
IOS B3 P11 B4 F10 P14;STR B4 V10 B1;IOS B3 P12 B4 F11 P21;
INS 0 3;SET P7;OSC V1 P8 B3 F2 P15;
MLT B3 B3 B3;MLT B3 P6 B3;
IOS P9 P10 B4 F8 P16;AD2 B3 B4 B3;
IOS P5 B3 B3 F1 P17;IOS B3 P18 B3 F12 P20;
MLT B3 V3 B6;
IOS B3 P11 B4 F10 P14;STR V10 B4 B1;IOS B3 P12 B4 F11 P21;
END;
INS 0 50;RV1 B6 V100 V1379 V90 B7 P10;
RV1 V7 V1380 V2267 V91 B8 P11;
RV1 B7 V2268 V2887 V92 B7 P12;
RV1 B7 V2888 V3331 V93 B7 P13;
RV1 B7 V3332 V3613 V94 B7 P14;STR B7 B7 B1;END;
SV3 0 90 .75 .72 .691 .657 .662;
SV3 0 2 .1;COM PROPORTION OF REVERB;SV3 0 3 .2;
SV3 0 10 0;

```

réalisée par synthèse de Fourier)

BDS4 / gauche

a

b

c

d

e

f

k

INS 2

INS 3

INS 50

Colorless Reverb

Figure 38 Code MUSIC V de contours de fréquence.

Le schéma ci-dessous (Figure 39) est une interprétation, avec des blocs diagrammes, du réseau algorithmique du code décrit plus haut (Figure 38). L'oscillateur (*a*) opère avec une fréquence (*p8*) et avec une forme d'onde qui est ensuite multipliée par elle-même (*b*). Le fait d'élever une forme d'onde au carré permet de n'avoir plus que des valeurs positives (Figure 40). À la sortie de *b*, un signal périodique (avec la forme de la Figure 40 b) donne des valeurs entre 0 et 1, qui sont multipliées (*b*) par une valeur fixée (*p6*) qui sera l'axe de la forme d'onde. La première instance de l'algorithme BDS4 a comme valeur *p6* égale à 7500 Hz, soit *si* dans le registre aigu. L'oscillateur *d* et l'offset *e* peuvent moduler la valeur *p6*. Cependant, Risset n'utilise pas cette procédure dans ce passage. Il laisse la fréquence *p10* toujours à 0 Hz. L'oscillateur génère une sinusoïde avec la fréquence du module **MLT** *c*. Cela correspond au contour de fréquence qui a une morphologie similaire à un son d'oiseau.

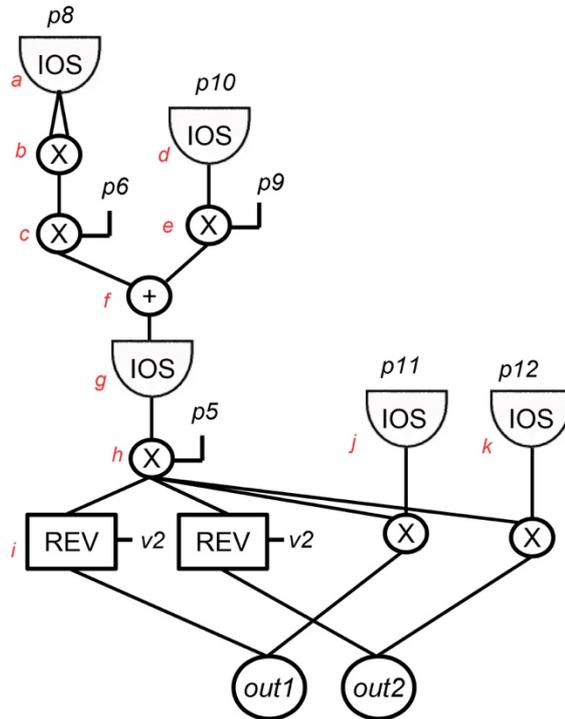


Figure 39 Bloc diagramme de l’algorithme BDS4.

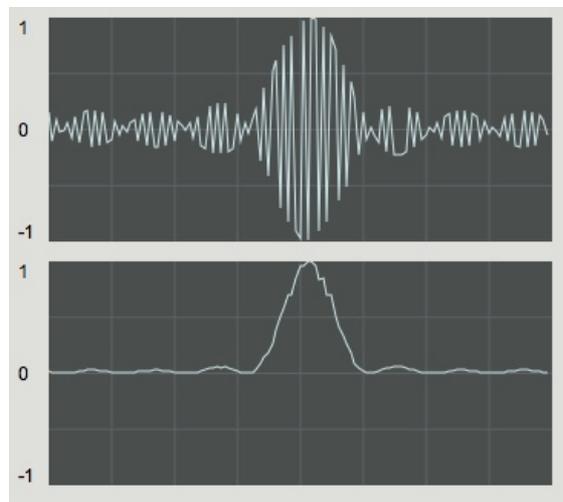


Figure 40 Forme d’onde bipolaire, puis transformée en unipolaire de la forme d’onde de l’oscillateur (a - Figure 38 et Figure 39).

Les limitations du programme MUSIC V rendent complexe l’algorithme décrit ci-dessus. Aujourd’hui, grâce aux outils dont nous disposons, nous pouvons obtenir le même résultat d’une façon plus simple. À l’époque de la création de *Songes*, les possibilités de

stockage des mémoires étaient très faibles, et les opérations mathématiques étaient limitées aux fonctions basiques. Le recours à la synthèse de Fourier pour l'obtention de contours de fréquence s'est donc avéré être une solution satisfaisante et optimale pour les moyens technologiques de l'époque.

Dans le code original BDS4, Risset a programmé cinq formes d'ondes comme contours de fréquence (Figure 41 et Figure 42), alors qu'il n'utilise que la première dans cette partie de la coda.

```

GEN 0 4 2 512 .5 55 0 1 512 .5 56 0 1 512 .5 57 0 1 512 .5
.5 59 0 1 512 .5 60 0 1 512;
GEN 0 4 3 512 .5 10 0 1 512 .5 23 0 1 512 .5 49 0 1 512 .5
.5 135 0 1 512;
GEN 0 4 4 512 .5 15 0 1 512 .5 37 0 1 512 .5 82 0 1 512
.5 167 0 1 512 .5 212 0 1 512;
GEN 0 4 5 512 .5 11 0 1 512 .5 21 0 1 512 .5 24 0 1 512 .5
0 1 512;
GEN 0 4 6 512 1 10 0 1 512 .5 12 0 1 512 .5 17 0 1 512
.5 40 0 1 512;

```

Contours de fréquence

Figure 41 Code des formes d'onde de l'oscillateur (a - Figure 38 et Figure 39).

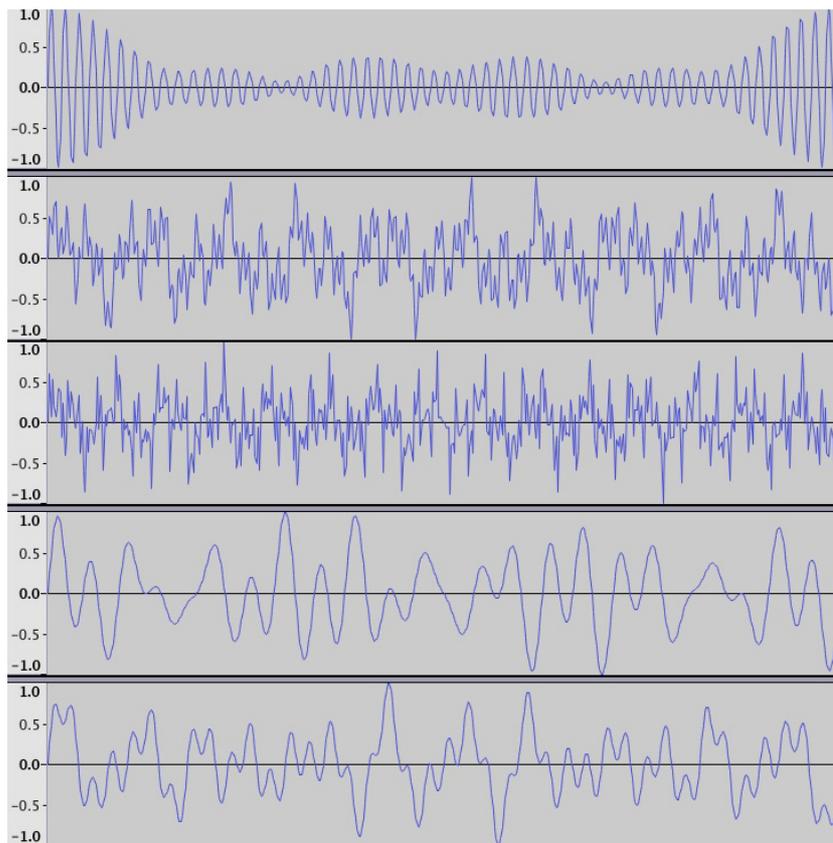


Figure 42 Formes d'onde de l'oscillateur (a - Figure 38 et Figure 39).

L'application FAUST⁷⁰⁴ ci-dessous (Figure 43) correspond à l'algorithme décrit ci-dessus.

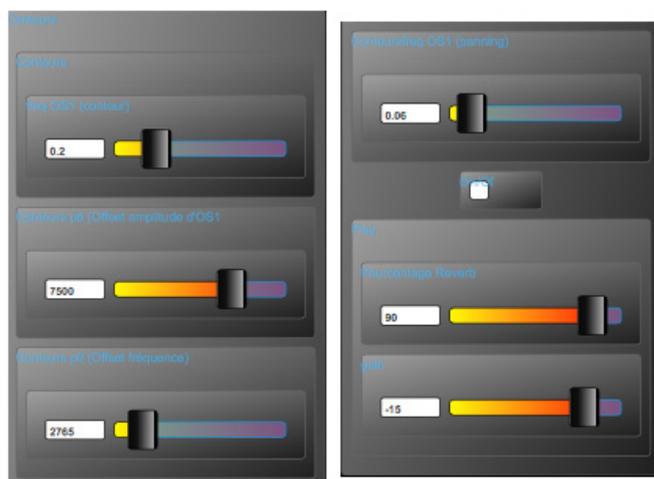


Figure 43 Application FAUST de contours de fréquence.

L'effet de panoramique est obtenu par le changement d'orientation entre l'instrument 2 (gauche) et l'instrument 3 (droite). Les deux instruments fonctionnent simultanément et deux oscillateurs – l'oscillateur j (Figure 38 et Figure 39) dans l'instrument 2, correspondant à la gauche, et l'oscillateur k (Figure 38 et Figure 39), dans l'instrument 3, correspondant à la droite – modulent le même signal avec des formes d'ondes opposées (Figure 44). Lorsque l'énergie du signal augmente dans l'oscillateur j , elle est nulle dans l'oscillateur k . Alors même que l'amplitude atteint le point culminant, l'oscillateur j passe soudainement à 0, alors que l'oscillateur k décroît en suivant le même profil initialisé par j . On interprète cette opération comme un changement progressif du son entre gauche et droite. Avant d'être multiplié par j et k , le même signal qui sort de h (Figure 38 et Figure 39), prend une route de contournement vers i : deux modules de réverbération. La méthode à la réverbération pour l'effet de panoramique a été

⁷⁰⁴ Voir code FAUST complet : C Annexe : Code FAUST – Contours de fréquence et F Annexe : 2. 3. Contours

réemployée des travaux de John Chowning⁷⁰⁵. Risset utilise la même procédure dans la partie RVP411 dans *Inharmonique*.

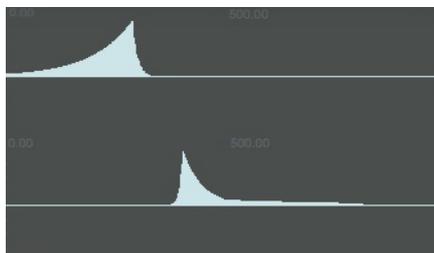


Figure 44 Formes d'onde pour le *panning* (j et k - Figure 38 et Figure 39).

La pédale de la Coda est produite selon la technique du *phasing*, un exemple « assez raffiné obtenu relativement simplement et aisément grâce à la seule précision – bien contrôlée – de la synthèse numérique »⁷⁰⁶. Le code original MUSIC V de *Songes*, mis à disposition par le compositeur, ne contient pas cette partie. Toutefois, pour comprendre cet effet, il est utile de faire un parallèle avec sa pièce *Inharmonique*. Dans cette œuvre, une procédure similaire est décrite et nommée PHASE6 dans l'analyse de Denis Lorrain.

L'effet *phasing* exploite les battements dus à la simultanéité de groupes de fréquences très rapprochées. Dans la Coda de *Songes*, il s'agit de la fréquence de la note *si* ♭ grave. La fréquence de cette note, 58 Hz, est épaissie par huit fréquences voisines étagées par intervalles variant entre 0,01 et 0,04 Hz. Dans *Inharmonique*, il existe neuf oscillateurs parallèles qui génèrent les neuf composantes de chaque événement (Figure 45). La fréquence du premier oscillateur correspond à la fréquence de la note *si* ♭ alors que les autres ont des fréquences voisines, éloignées au-dessus et en-dessous de la fréquence centrale par un même intervalle. Par exemple, si l'intervalle est de 0,01 Hz, la fréquence centrale sera 58 Hz, celle du deuxième oscillateur 58,01 Hz (58 Hz + 0,01 Hz), celle du troisième 57,99 Hz (58 Hz - 0,01 Hz), celle du quatrième 58,02 Hz (58,01 Hz + 0,01 Hz), celle du cinquième 57,98 Hz (57,99 Hz - 0,01 Hz) et ainsi de suite. Cette procédure produit un effet de « cascade d'harmoniques ». Les harmoniques de chaque

⁷⁰⁵ CHOWNING, John, « The simulation of moving sound sources », *Journal of the Audio Engineering Society*, no 19, 1971, p.2–6. Republié dans *Computer Music Journal*, vol. 1, no 3, juin 1977, p.48–52.

⁷⁰⁶ LORRAIN, Denis, *op. cit.*, 1980.

composante entrent en phase ou en opposition de phase, à la fois en se soulignant et en s'atténuant.

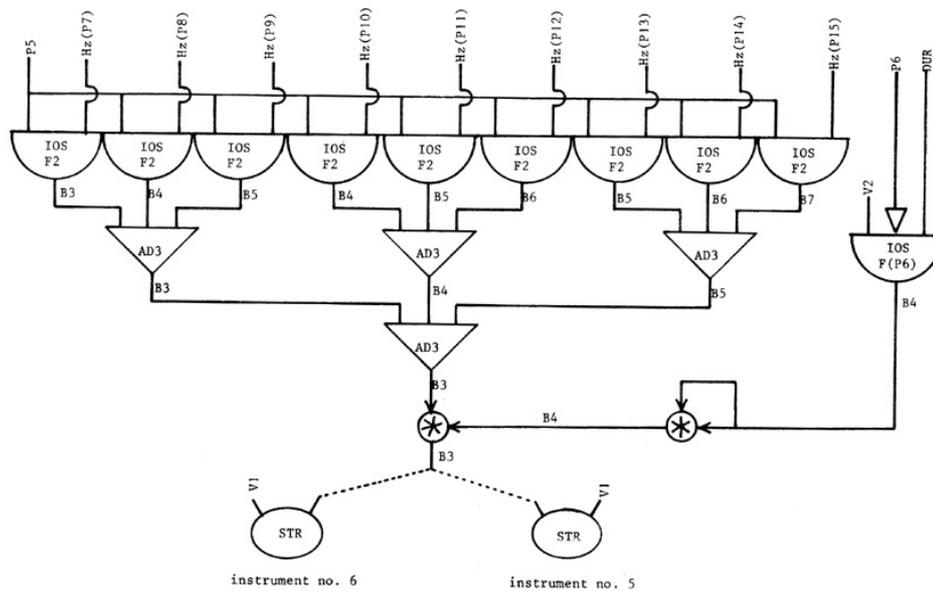


Figure 45 Bloc diagramme de PHASE6 dans *Inharmoniques*.

Avec les informations d'*Inharmonique*, il est possible de concevoir une version en FAUST basée sur le même fonctionnement de l'algorithme décrit ci-dessus⁷⁰⁷.

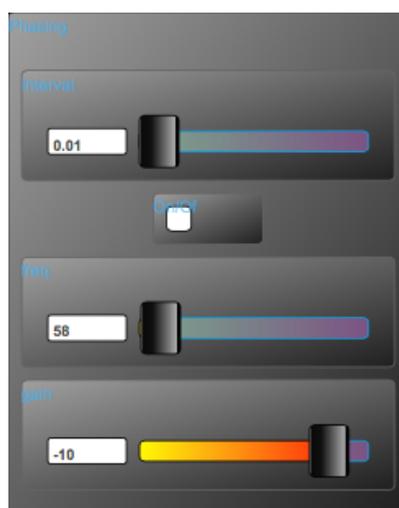


Figure 46 Application FAUST de *phasing*.

⁷⁰⁷ Voir code FAUST complet : D Annexe : Code FAUST – *Phasing* et et F Annexe : 2.4. *Phasing*

La modélisation orientée objet-opératoire de *Songes* relève une approche compositionnelle très propre au compositeur. Dans cette pièce, Risset réapproprie des objets logiciels d'autres pièces – les simulacres du catalogue, qui sont aussi utilisés dans *Inharmoniques* (1977), par exemple – et développe aussi des objets qui seront utilisés ensuite dans d'autres pièces (comme les contours de fréquence utilisés dans *Contours* (1982)).

La conciliation de la synthèse numérique avec le traitement des échantillons préenregistrés sera une méthode récurrente dans sa production (comme dans *Sud* (1985)). Certains objets algorithmiques proviennent même du travail d'autres compositeurs-chercheurs – comme le module de réverbération pour la simulation du mouvement de sources sonores de John Chowning⁷⁰⁸. La notion de réseau d'objets est alors, même si Risset ne la mentionne pas ainsi, implicite dans sa manière de travailler. L'approche opératoire multi-échelle est aussi au cœur de son travail compositionnel. Or, les simulations de cloche, par exemple, sont les produits d'opérations à une micro-échelle et qui ont une conséquence audible à l'échelle macroscopique. D'ailleurs, Vaggione cite la démarche de Risset comme un exemple essentiel de cette approche⁷⁰⁹. Il souligne, par exemple, que c'est grâce aux travaux de Risset qu'il a mesuré l'importance de définir clairement les échelles micro-temporelles dans la composition⁷¹⁰. Chaque objet possède alors une signification différente liée au réseau dans lequel il est opéré. Dans *Songes*, les cloches sont jouées selon les relations intervalliques du mode 2 1 2 1, propres aux échantillons enregistrés. Cela démontre encore le caractère singulier de son approche compositionnelle.

Même si Risset avait une double formation scientifique-musicale, il n'est pas tombé dans le piège de l'application mot-à-mot des « lois scientifiques » au niveau compositionnel. Certes, certaines de ces pièces ont des titres « scientifiques », comme *Attracteurs étranges* (1988) pour clarinette et sons de synthèse, mais il ne s'agit que des appropriations scientifiques dans un cadre purement compositionnel. Risset prouve

⁷⁰⁸ CHOWNING, John, « The simulation of moving sound sources », *Journal of the Audio Engineering Society*, no 19, 1971, p.2–6. Puis dans : *Computer Music Journal*, vol. 1, no 3, juin 1977, p.48–52.

⁷⁰⁹ VAGGIONE, Horacio, « Articulating Micro-Time », *Computer Music Journal* vol. 20 n°1, 1996, p.34.

⁷¹⁰ VAGGIONE, Horacio dans BUDON, Osvaldo, « Composing with Objects, Networks and Time Scales: An Interview with Horacio Vaggione », *Computer Music Journal* vol. 24 n°3, 2000 p.10. (Cette information est omise dans la version traduite en français).

surtout ce que Vaggione répète maintes fois : « la musique s'affirme elle-même en tant que singularité et ses modes d'engendrement sont également singuliers », par conséquent « la rigueur d'un processus d'engendrement (d'un protocole purement scientifique, par exemple) ne saurait nullement garantir la cohérence musicale de l'œuvre »⁷¹¹.

Dans ce cadre, une approche analytique mettrait en avant la singularité de l'œuvre. Pour *Songes*, la modélisation des objets numériques avec le langage FAUST permet « d'entrer dans le code » afin d'en faire une approche analytique aussi opératoire. Cet outil vise précisément, d'une part, à rendre compte, des processus compositionnels du compositeur, d'autre part, à promouvoir l'accès aux opérations au niveau du code, pour que l'analyse soit aussi exportable dans un cadre de création. L'application FAUST n'est pas un outil analytique neutre, mais plutôt un objet maniable permettant l'accès aux opérations réalisées à l'intérieur de l'objet lui-même.

6.4. Bilan et perspectives interprétatives

Les trois exemples d'interprétation ci-dessus résument notre activité en tant qu'interprète électronique des œuvres faisant appel à l'informatique musicale⁷¹². L'interprétation des pièces des compositeurs référencés dans le répertoire numérique, comme *Shifting Mirrors* et *Songes*, est placée dans un même contexte que les pièces des jeunes compositeurs. Aussi, dans un même concert, il est possible de programmer (comme était le cas dans nos projets) des pièces électroacoustiques mixtes, acousmatiques en temps différé et mixtes en temps-réel. Cela montre une problématique plus globale de notre répertoire et de la composition du son lui-même. Ce n'est pas seulement une question de sous-ensemble du genre électroacoustique ou qu'une division esthétique. D'emblée, nous constatons que le rapport avec le matériau numérique, les opérations et les représentations qui en découlent, sont implicites dans tout notre travail.

⁷¹¹ VAGGIONE, Horacio, « Singularité de la musique et analyse : l'espace d'intersection », in *Analyse en Musique Électroacoustique, Actes de l'Académie internationale de musique électroacoustique*, vol. II, Bourges, Éditions Mnémosyne, 1996, p.74.

⁷¹² Il s'ajoute également notre activité comme compositeur-interprète de nos propres pièces. Ce point sera abordé dans le chapitre suivant 7 Modélisation orientée objet-opératoire pour la composition musicale.

Dans les trois cas, une approche orientée objet est sous-jacente. Dans *Shifting Mirrors*, cette démarche est au cœur de la production du compositeur-chercheur. Dans *Songes*, Risset compose des objets sonores numériques, ainsi que des objets algorithmiques. Ceux-ci sont réappropriés et réutilisés dans différentes pièces. Cela, pour une raison technique : la réutilisation de mêmes cartes perforés dans plusieurs œuvres (dans plusieurs contextes). Certes, il s'agit d'une procédure liée à une limitation technique de l'époque, cependant, dans le cas de l'interprétation d'une pièce plus récente – comme la reprise de la pièce mixte temps-réel mentionnée ci-dessus⁷¹³ –, la reconstruction est possible grâce à la réappropriation de mêmes objets logiciels (module *delay*) dans différentes pièces. En effet, la réutilisation d'objets dépasse le cadre unique d'une pièce faisant appel à l'informatique. Comme remarqué dans les pièces de Tristan Murail⁷¹⁴, il s'agit d'un processus récurrent dans la musique actuelle. L'interprétation fondée sur les réseaux d'objets s'avère donc une méthode pertinente et riche pour ce répertoire.

Pour l'interprétation de *Songes*, Risset lui-même suggère que « pour la diffusion : le niveau sonore du début [0 à 1'30] doit être tel que les sons instrumentaux aient un niveau réaliste pour l'auditeur. Le niveau devrait ensuite être un peu augmenté, sans être pénible (toutefois, le crescendo vers 6'30 doit atteindre un niveau élevé de puissance) »⁷¹⁵. De plus, le compositeur précise la disposition des haut-parleurs : il s'agit d'une quadraphonie dont le son frontal [à partir de 5' et surtout 7'11"] est plus en évidence au début de la pièce. Les quatre haut-parleurs sont à équidistance pour que les « mouvements illusoire entourent et frôlent les auditeurs ». Une diffusion du type *multiplan* via un *acousmonium*, par exemple, est donc déconseillée, car l'espace est déjà composé. D'ailleurs, l'importance que le compositeur consacre à la mise en espace fait de *Songes* peut-être l'une des pièces avec le potentiel spatial le plus opératoire de Jean-Claude Risset.

⁷¹³ Voir *supra* 6.1 Circulations des œuvres mixtes dans un réseau.

⁷¹⁴ SEDES, Anne, CARVALHO, Guilherme, « L'écriture musicale de Tristan Murail », in *jours d'étude Tristan Murail, de l'école spectrale aux théories du chaos*, (dir.) Nicolas Darbon, 14 décembre 2007 au CDMC, Paris.

⁷¹⁵ Jean-Claude Risset, extrait d'une lettre à Marco Stroppa du 5 juillet 1984. Le compositeur nous a fourni directement ce document.

Lorsque *Songes* a été jouée dans l’auditorium de la MSH PN - dans le cadre de nos projets et élégamment dans le cadre du concert « carte blanche à Jean-Claude Risset » avec la présence du compositeur - nous avons choisi de diffuser la version quadriphonique dans un système de diffusion disposé de 14 haut-parleurs (Figure 47).

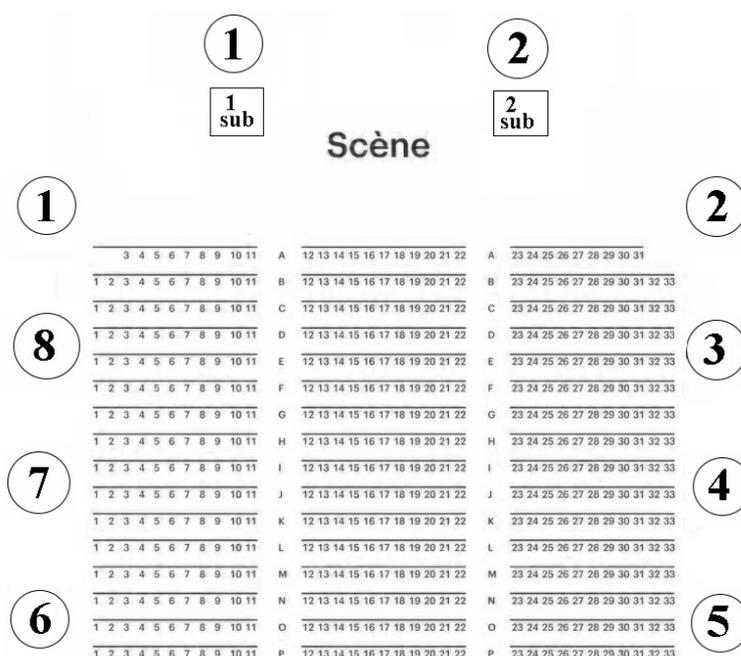


Figure 47 Disposition des haut-parleurs de l’auditorium de MSH PN.

Afin d’être cohérent avec les instructions interprétatives ci-dessus, nous avons choisi de ne pas déplacer les sources sonores dans l’espace. Notre méthode était fondée sur l’encodage ambisonique des quatre pistes dans un champ diffus. La bibliothèque HOA⁷¹⁶ a été utilisée pour renforcer les opérations spatiales repérées dans l’étape analytique rapportée ci-dessus. Chaque piste (Figure 48) de la version en quadriphonie a été encodée en ambisonie d’ordre sept et renvoyée vers huit sorties qui sont ensuite dispersées vers la disposition ci-dessus. Les deux premiers canaux ont été doublés et envoyés vers les deux enceintes frontales et les deux de l’arrière-scène. Le gain des enceintes de l’arrière a été renforcé pour compenser la puissance de ceux de l’avant. Des courtes compensations et réglages ont été faits lors du concert directement à la table de

⁷¹⁶ <http://hoalibrary.mshparisnord.fr> [lien vérifié le 27 juin 2018].

mixage (par le compositeur lui-même, lors du premier concert, et par nous lors des autres concerts). Cette méthode de diffusion a permis d'accentuer les instructions interprétatives du compositeur, surtout pour que les mouvements sonores donnent l'illusion d'entourer et frôler les auditeurs.

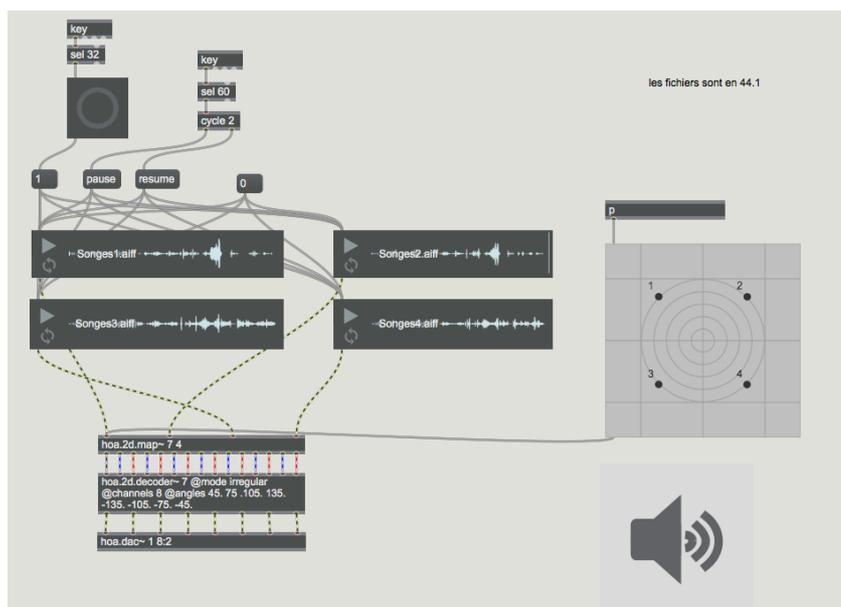


Figure 48 Patch Max avec la bibliothèque Hoa pour la diffusion de *Songes* dans l'auditorium de la MSH PN.

L'interprétation de *Shifting Mirrors* s'est faite selon une procédure proche de celle de *Tar* pour clarinette basse et électronique du même compositeur. Pour l'interprétation de cette pièce, les indications du chronomètre de la partition mise à disposition par le compositeur, ne correspondaient pas à la bande. Lorsque nous avons joué cette pièce⁷¹⁷, la première étape de l'interprétation a été l'écoute de la partition avec la bande et l'association des événements avec les indications de la partition. Cette étape a été menée en binôme entre la clarinettiste Camille Fauvet et nous, puis validée par le compositeur. Pour la mise en espace, le compositeur et nous ont choisi une configuration où les deux pistes (la version de la bande utilisée lors de ce concert était en stéréo) ont été encodées en ambisonie d'ordre trois et réparties en octophonie (sur une disposition similaire à celle de *Songes* ci-dessus). La disposition privilégiait une diffusion plus ouverte entre les sons

⁷¹⁷ *Tar* a été jouée le 31 juin 2016 lors du concert « musique mixte pour la clarinette » avec Camille Fauvet à la clarinette basse.

à gauche et à droite, comme le support stéréo le suggérait. La clarinette a été amplifiée et encodée également en ambisonie d'ordre trois. Cependant, les gains des harmoniques circulaires de l'arrière scène et frontaux ont été renforcés pour donner l'impression que les sons de la clarinette sortaient entre les deux canaux de la bande. Deux microphones ont été utilisés pour l'amplification au cours de toute la pièce et un troisième a été ajouté pour le passage en bruits de clés. Dans ce passage la bande est très dense. Pour faire ainsi sonner les bruits de clés de la clarinette dans cet ensemble, il fallait amplifier ponctuellement et brièvement les événements de la clarinette. Cette méthode est nécessaire pour éviter l'effet larsen, puisque que la clarinette a été amplifiée surtout dans les enceintes d'arrière-scène.

La partition de *Tar* suit une logique graphique qui n'est pas toujours interprétable par un instrumentiste. Le même problème interprétatif survient dans *Shifting Mirrors*. La partition singulière a été conçue spécialement pour le saxophoniste Pedro Bittencourt et met en valeur l'interprétation participative. Tous les interprètes ne sont pas capables d'articuler une telle pièce. D'ailleurs Vaggione, conscient de cette problématique, prépare une nouvelle partition, au sens classique, pour faciliter son exécution. Les derniers concerts, à Paris⁷¹⁸ et à Sueca (Espagne)⁷¹⁹ ont été réalisés avec la nouvelle partition. Le document fourni par Vaggione à Bittencourt était une première ébauche d'une solution non conventionnelle et « participative » à la mise en place d'une œuvre musicale mixte. Pour une interprétation, il était nécessaire de développer et compléter les instructions interprétatives pendant le processus d'assimilation créative de l'interprète et de son *feedback* avec le compositeur.

Le bilan de nos trois expériences nous incite nous poser la question suivante : *à quel point la notion d'objet s'applique-t-elle dans la pratique de l'interprétation ?* Dans la reprise de la pièce mixte, il s'agit d'une reconstruction (recontextualisation) d'un réseau. Or, plusieurs objets et opérations ont été refaits (échantillons numériques et modules des traitements numériques). Dans les cas de *Songes* et *Shifting Mirrors*, la mise en contexte est moins apparente puisque les pièces sont composées sur support fixe. Mais

⁷¹⁸ Le 2 mai 2018, par le saxophoniste Clément Himbert, dans le cadre des rencontres internationales du Collegium Musicae : colloque Jean-Claude Risset interdisciplinarités.

⁷¹⁹ Le 20 mai 2018, par le saxophoniste du Barcelona Modern Ensemble, dans le cadre de la mostra Ones sONores.

lorsque nous avons joué une autre pièce de Jean-Claude Risset, *Passages* (1982) pour flûte et électronique, l'étude de *Songes* nous a fait entrevoir une démarche reconstructive de cette pièce. Composée à la même époque que *Songes* (à peine trois ans séparent ces deux pièces), le code MUSIC V de *Passages* est, en plusieurs aspects, similaire à celui de *Songes* et à d'autres pièces du compositeur (cependant, dans *Passages*, le compositeur développe des méthodes qui ne sont pas présentes dans *Songes*, comme la synthèse de la voix). Le regard en perspective de ces deux pièces permet de confronter des aspects partagés, mais dans des contextes différents. En analysant *Songes*, l'articulation de l'espace comme dimension opératoire (soit compositionnelle) était évidente. Dans plusieurs parties de la bande de *Passages*⁷²⁰, l'espace est paradoxalement organisé sur une méthode relativement sommaire. À l'instant 0'09'' du quatrième fichier⁷²¹ (Figure 49 et Figure 50), la version stéréo de la bande contient deux morphologies distinctes (signalées par un carré) : dans le canal de gauche, le motif (*fa* #*sol* #), puis la suite de ce passage intervallique ; dans le canal de droite, la simulation de cloche (*sol* #grave). Sur le sonagramme, la différence morphologique entre les deux canaux est évidente.

The image shows a musical score for two systems. The first system is for Flute (Fl.), Chronophone (R. chr.), and Bassoon (B. m.). It starts with a tempo marking of quarter note = 60. The Chronophone part has a 'Remise à zéro du Chrono' at 0'25''. A red box highlights a specific passage in the Bassoon part. The second system continues the music with various dynamics like mf, f, and pp.

Figure 49 Partition de 0'09'' du quatrième fichier de la bande.

⁷²⁰ Nous avons utilisé la bande publiée par Salabert. Nous ignorons s'il y a une autre version disponible.

⁷²¹ Piste 5 du CD et page 12 de la partition.



Figure 50 forme d'onde de la bande à 0'09'' du quatrième fichier.

Dans *Songes*, même si dans la première partie, les échantillons sont instanciés soit à droite soit à gauche, l'espace est morphologiquement cohérent, car les objets sonores d'une même classe (échantillons d'instruments acoustiques) « dialoguent » entre eux dans un espace commun. Une division aussi tranchée entre les deux canaux dans *Passages* n'est pas musicalement compatible avec les méthodes de *Songes*. Afin de restaurer l'espace comme une dimension composable, nous avons replacé la bande dans un contexte cohérent avec notre dispositif technique.

Les deux canaux stéréo de *Passages* ont été alors encodés dans un patch Max (Figure 51) avec la bibliothèque HOA à l'ordre sept. Ensuite les deux canaux ont été restitués dans l'espace, grâce aux méthodes de contrôle de source ponctuelle qui permettent de les placer dans un espace commun. Nous avons également pris en compte la remarque ci-dessus pour l'interprétation de *Songes*. L'électronique est donc placée à un niveau sonore et spatial similaire à l'instrument acoustique. Ensuite, une version ambisonique a été enregistrée pour être jouée en concert. Risset lui-même s'est servi d'un système de spatialisation en ambisonie (*Holophon* de Laurent Pottier) pour composer *Resonant Sound Spaces* (2001-2002), version « mise en espace » de *Resonant Soundscapes*⁷²².

⁷²² RISSET, Jean-Claude, ARFIB, Daniel, DE SOUSA DIAS, Antonio, LORRAIN, Denis, POTTIER, Laurent « De Inharmonique à Resonant Sound Spaces : temps réel et mise en espace », *actes des Neuvièmes journées d'informatique musicale, Marseille*, 29-31 mai 2002, p.83-88.

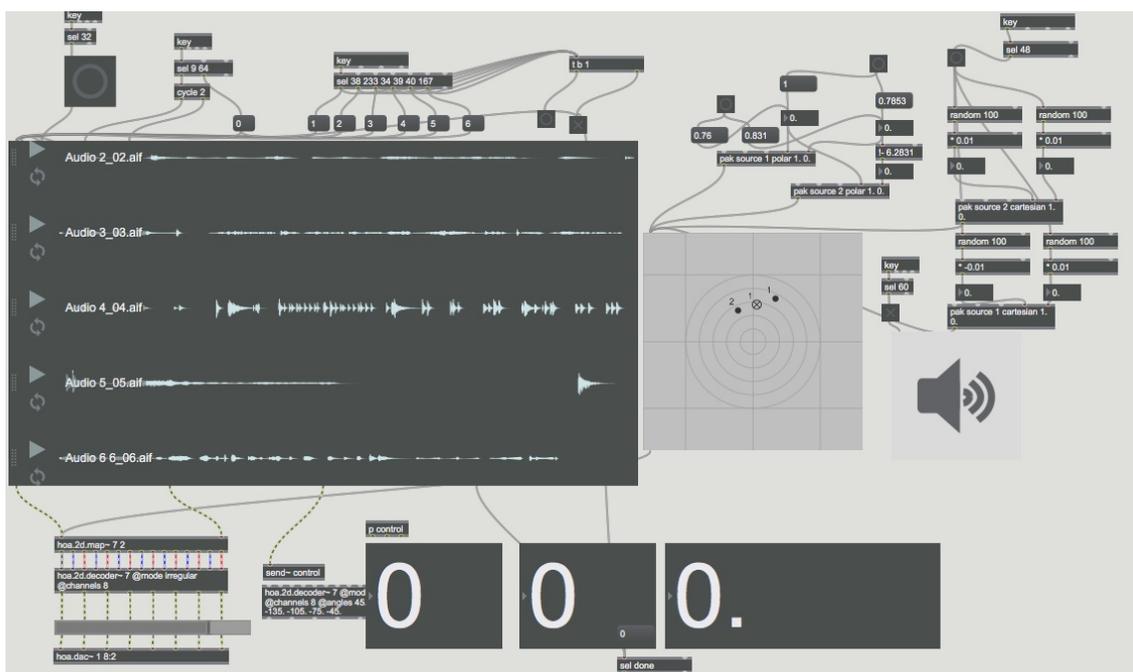


Figure 51 Encodage en ambisonie d'ordre supérieur des sources stéréo de la bande de Passages.

Lors de la restitution de la bande, nous avons également « corrigé » des problèmes de remise à zéro. À la fin de la piste 6 et au début de la 7, un passage avec une pulsation rythmique s'enchaîne entre le changement de pistes (Figure 52). Si la bande est jouée par un lecteur de CD, il faut prévoir un temps pour le chargement de la piste qui casse le déroulement rythmique. Nous avons donc fusionné les deux fichiers. Une approche similaire à la nôtre a été menée pour l'interprétation de *Voilements* (1987) pour saxophone et électronique de Jean-Claude Risset, par l'étudiant de master Giancarlo Staffetti⁷²³. Dans le cadre de sa recherche⁷²⁴, l'étudiant a développé un système de déclenchement en amont des objets sonores de la bande. Cette démarche rapproche la mixité de Risset d'une stratégie propre à la musique de chambre.

⁷²³ L'étudiant avait comme directeur de recherche Alain Bonardi et Anne Sèdes. Sa participation au concert avec l'interprétation de *Voilements* était inscrite dans le cadre du séminaire « musique et outils informatiques 2 » sous notre supervision.

⁷²⁴ STAFFETTI, Giancarlo, « La synchronisation dans la composition et l'interprétation de l'électronique des musiques mixtes pour instrument solo et band », Mémoire de Master 1, Université Paris 8, 2017.

(1) L'usage du chronomètre est inutile ici.
En revanche il est probablement nécessaire
à la page suivante, après le coup de
"percussion" de la bande.

EA6.17.83H

Figure 52 Remise à zéro entre pistes 6 et 7 : passage rythmique.

Dans la bande originale de *Passages*, certains clicks sont audibles. Curieusement, *Songes*, qui est une pièce antérieure, présente une meilleure qualité de synthèse et de mixage. Dans l'avenir, un recodage (intégral ou partiel) de la bande de *Passages* sera peut-être envisageable. Les codes MUSIC V étant accessibles, il est possible de réaliser une démarche de modélisation en FAUST similaire à celle que nous avons réalisée pour *Songes*. Récemment, les approches analytiques fondées sur le recodage ont donné des résultats satisfaisants comme dans le cas de *Stria* (1977) de John Chowning réalisée par Olivier Baudouin⁷²⁵ et Kevin Dahan⁷²⁶. Plus récemment, et encore en développement, Antonio de Sousa Dias reconstruit *Inharmoniques* (1977) de Jean-Claude Risset⁷²⁷. Cette approche ne concerne donc pas que notre travail, mais c'est une perspective riche et fertile dans la musicologie numérique actuelle. Par exemple, le projet ANR ASTRÉE, maintes fois cité dans cette recherche, a plusieurs points en commun avec notre approche.

De fait, quelles sont donc les singularités qui justifient la modélisation orientée objet-opératoire pour l'interprétation ? Dans le cas de la reprise d'une pièce mixte temps-réel, nous avons relevé des questions importantes du *faire musical numérique* : la réappropriation du code numérique dans un contexte différent de la création ; la pérennité de ce répertoire ; la négociation participative de l'œuvre originale lors des reprises ; les transmissions des implicites de la partition originale et l'adaptation des codes aux

⁷²⁵ BAUDOUIN, Olivier, « A Reconstruction of Stria », *Computer Music Journal*, Fall 2007, Vol. 31, No. 3, Massachusetts Institute of Technology, 2007, p.75-81.

⁷²⁶ DAHAN, Kevin, « Reconstructing Stria », *Proceedings of the ICMC 2007*, International Computer Music Conference, Copenhagen, 2007.

⁷²⁷ DE SOUSA DIAS, Antonio, « *Inharmonique* (1977) de Jean-Claude Risset. Une proposition de version pour système temps-réel », *Rencontres internationales du Collegium Musicæ Jean-Claude Risset Interdisciplinarités*. Paris, IRCAM. 2-3 mai, 2018.

contextes matériels nouveaux. Dans *Songes* et *Shifting Mirrors*, le processus d'interprétation, même s'agissant de pièces finies, a été aussi fertile que l'exemple traité plus haut. Ces expériences ont soulevé des questions pratiques pertinentes de ce répertoire, comme la spatialisation des pièces dont l'espace a déjà été composé et les méthodes d'amplification de l'instrument acoustique dans la musique mixte. Notre problématique est donc multiple. Les moyens et les résultats semblent aussi incertains. D'ailleurs, au cours de notre recherche, il nous a été reproché de ne pas avoir explicité notre conception d'interprétation orientée objet-opératoire et d'avoir délimité notre champ d'activité. Certes, cela provient de l'influence de notre activité d'interprète sur notre rôle de compositeur. Ainsi, les résultats pratiques en concert ont émergé naturellement de notre activité. *A posteriori*, nous pouvons cependant affirmer que l'interprétation orientée objet-opératoire entre dans un cadre plus global de modélisation créative. La composition est donc au cœur de notre activité.

L'analyse interprétative de *Songes* nous a fait prendre conscience d'une approche multi-échelle temporelle et nous a permis de mesurer l'importance du contrôle dynamique multi-strate à l'intérieur des objets. Le langage FAUST s'est avéré un outil commun entre l'analyse et la composition, car le savoir-faire acquis pour la modélisation de *Songes* nous a servi pour la composition. Notre partage avec le compositeur Horacio Vaggione et surtout avec le saxophoniste Pedro Bittencourt nous a permis d'avoir accès aux matériaux de sa recherche doctorale. Grâce au partage des données de sa thèse, les échantillons sonores numériques de saxophone ont été le fondement de la composition de *Shifting Mirrors*, comme dans notre pièce *Taurus*. Certes, il s'agit d'un exemple de partage, mais aussi d'un travail collaboratif en réseau, même s'il n'a pas été envisagé comme tel initialement. Les objets sonores sont ainsi émulsés et s'enrichissent de significations différentes dans chaque contexte.

Dans notre activité, la boucle *feedback action/perception*, conçue dans un cadre compositionnel, est transportée au niveau de l'interprétation. Certes, le *feedback* est plus ou moins présent dans toute autre pratique du spectacle, notamment dans le jeu instrumental. Nous soulignons cependant qu'avec cette prise de conscience, l'interprétation électronique est opératoire, c'est-à-dire que l'interprète réalise des opérations à plusieurs niveaux et échelles. Si selon Granger, l'interprète instrumentiste

double « les opérations du créateur par d'autres opérations qui en sont des variantes stylistiques », l'interprète électroacoustique, quant à lui, réalise d'autres opérations relevant, elles aussi, des variantes stylistiques dans un système opératoire distinct et individuel. Les opérations réalisées par l'interprète électronique ont également des degrés de liberté distincts imposés par le répertoire lui-même. Cela signifie que pour la reprise d'une pièce mixte temps-réel, l'interprète dispose de plus de liberté créative que dans le cas des pièces électroacoustiques sur bande. Tout ce scénario confirme la cohérence de la remarque faite par Vaggione par rapport au parallèle établi par Antonia Soulez⁷²⁸, fondé sur les écrits de Granger. Le problème de l'interprétation musicale, ne se limite pas à seulement deux niveaux, celui de l'œuvre et celui de l'interprétation, mais il s'agit plutôt d'une approche multi-niveaux dont chacun dispose des opérations interprétatives propres.

L'approche analytique n'a pas eu comme objectif « d'expliquer l'œuvre », ou même de substituer la valeur intrinsèque d'une pièce par une schématisation structurelle. Les analyses sont plutôt des outils opératoires dont l'objectif est de trouver leur place dans le contexte du concert. Cette réappropriation implique alors que les pièces elles-mêmes soient des réseaux dynamiques qui, à leur tour, définissent un contexte et des situations musicales par cette construction⁷²⁹.

⁷²⁸ Voir *supra* 4.1 La pensée opératoire

⁷²⁹ Nous faisons ainsi un parallèle avec la réutilisation d'objets dans la musique de Tristan Murail, dans : SEDES, Anne, CARVALHO, Guilherme, *op. cit.*, 2007.

7. Modélisation orientée objet-opératoire pour la composition musicale

Cette dernière partie de la thèse correspond à notre activité principale, la composition musicale, vue à travers l'approche analytique de deux pièces : *Due di Uno* d'Agostino di Scipio et *Pianotronics 3* d'Alain Bonardi. Cette dernière ne correspond pas exactement à une modélisation orientée objet-opératoire, telle qu'elle a été abordée dans cette étude, mais plutôt à une réflexion sur l'appropriation des objets de cette pièce dans notre réseau créatif. Au lieu de modéliser la pièce de Bonardi, nous avons eu un contact intime avec toute la production de cette œuvre grâce à notre proximité avec le compositeur. Nous avons assisté l'interprétation lors de la reprise de l'œuvre dans le cadre de nos concerts à la MSH PN. Ce travail a été possible grâce à notre implication dans tout le processus de composition depuis la première version du patch (y compris les versions antérieures de la série *Pianotronics*) et jusqu'aux développements ultérieurs qui sont présents dans d'autres pièces plus récentes comme *Fil de soi 1* et *2* (2017-2018) pour guitare et électronique temps-réel. D'ailleurs, ces pièces ont été jouées dans le cadre de nos projets et nous avons assisté l'enregistrement en vue d'un album avec d'autres œuvres du compositeur.

Due di Uno est la pièce qui a suscité le plus de relations entre analyse et création, puisqu'elle est à l'origine de cette thèse. Notre première hypothèse était de trouver des liens directs entre l'analyse et la composition ; cependant le déroulement du processus créatif, ainsi que les avancées des lectures bibliographiques (surtout concernant la pertinence de l'analyse dans le processus créatif) nous ont montré que les applications terme-à-terme des objets analytiques dans les cadres compositionnels ne sont pas toujours fructueux. De plus, il n'est pas certain que les contraintes *a priori* strictes soient cohérentes avec la nouvelle composition. Les conclusions du chapitre concernant la modélisation orientée objet-opératoire sont alors des retours pratiques sur le terrain de l'expérimentation et du *faire musical* stimulé par le cas de l'analyse de *Due di Uno*. Curieusement, cette pièce est le seul exemple musical analysé dans toute l'intégralité de cette thèse qui n'a pas été « vérifié » en concert.

Les exemples de compositions musicales réalisées dans le cadre de cette thèse sont dans la continuité de nos travaux de master. Nous retiendrons quatre pièces composées à cette époque : *Turdus* (2013) pour flûte et électronique et temps-réel ; *Sigel* (2014) pour flûte et électronique, cette pièce reprenant quasiment le même patch que *Turdus* dans une version simplifiée ; *M1910* (2014) pièce acousmatique en octophonie, créée lors d'un concert en célébration du centenaire de la première guerre mondiale ; *Les âmes remerciées* (2014), pour quatre percussions et électronique.

Dans tous ces exemples, la synthèse granulaire dans le domaine de l'ambisonie d'ordre supérieur a été la méthode la plus récurrente⁷³⁰. Dans les modules de base de la bibliothèque HOA, un module de synthèse granulaire a été codé par Pierre Guillot. Il s'agit d'un traitement temps-réel fondé sur l'exemple de la synthèse granulaire quasi-synchrone (QSGS)⁷³¹ développé par Curtis Roads et mis en œuvre dans le domaine des harmoniques circulaires par Guillot. Dans cette méthode, les grains sonores se succèdent à des intervalles irréguliers grâce à une déviation aléatoire qui détermine l'irrégularité. Cela permet de générer des densités sonores diverses. Par exemple, si la densité de génération de grain est de l'ordre de 0.1 à 20 grains par seconde, des rythmes métriques seront produits, alors que si la densité change dans le temps, on entendra des *accelerandi* et *rallentandi*. Les densités plus élevées génèrent des continuums. Il est toujours possible d'ajouter des taux de réinjection pour augmenter la densité du rendu. Il y a donc quatre paramètres pour ces modules : la taille du grain, le retard du signal, le *feedback* et la raréfaction.

Dans *Turdus*, la première pièce composée dans le cadre de notre master, nous nous sommes d'emblée intéressé au contrôle dynamique des valeurs de ces paramètres. Comme il s'agit d'une pièce mixte, notre méthode pour assurer la vectorisation commune était de coupler les valeurs paramétriques de ces modules avec les gestes instrumentaux. Pour cela, nous avons utilisé un suiveur d'enveloppe d'amplitude, qui génère des valeurs relatives à l'énergie instrumentale, afin de contrôler le fonctionnement du patch. Dans le

⁷³⁰ En 2014 nous étions stagiaire dans le projet de développement de la bibliothèque HOA au CICM, nous avons codé la version VST de cette bibliothèque et la proximité avec d'autres chercheurs développeurs dans le cadre de ce projet, surtout nos collègues Pierre Guillot et Eliott Paris, nous a encouragé à approfondir ce domaine.

⁷³¹ ROADS, Curtis, *Microsound*, Cambridge, MIT Press, 2001, p.93.

patch Max de *Turdus*, ainsi que dans d'autres pièces de cette époque, il y avait huit paramètres de contrôle : *grain size max*, *grain size min* ; *delay max*, *delay min* ; *feedback max*, *feedback min* et *rarefaction max*, *rarefaction min*. Ces valeurs étaient stockées dans un fichier *.json* qui contient les données de l'objet *pattstorage*. Les données du *peakamp* sont mises à l'échelle selon les valeurs maximum et minimum de chaque paramètre de la granulation.

La première difficulté rencontrée dans cette méthode était la gestion complexe de plusieurs paramètres. Dans les pièces composées pendant notre doctorat, plusieurs modules de granulation sont utilisés et ceux-ci sont couplés avec d'autres modules, comme l'*harmonizer*. Cette difficulté de gérer ces valeurs nous a poussé à chercher des méthodes de contrôle aléatoire pseudo-automatique. Ensuite le développement d'outils de contrôle orienté objet en JavaScript dans *Taurus* et *Tyqué* ont permis d'avoir une alternative à la logique séquentielle. Pour ces deux pièces (puis pour la reprise de *La Philosophie du temps*), des modules de granulation quasi-synchrone ont été programmés en langage FAUST. Nous avons utilisé le module développé par Guillot en Max comme modèle. Cependant, nous avons changé la manière de distribution des signaux dans le domaine des harmoniques circulaires. Ce potentiel musical des traitements musicaux en ambisonie de la bibliothèque HOA a été relativement peu développé. La plupart des utilisateurs de cette bibliothèque recourent aux méthodes de base pour le traitement dans le domaine des harmoniques circulaires.

Dans *Turdus*, ainsi que dans les autres pièces de notre master, les potentiels méthodes et objets qui seront développés au cours de notre thèse sont déjà présents ; ceux-ci seront surtout mis en valeur dans une perspective compositionnelle liée à l'approche orientée objet-opératoire.

7.1. Due di Uno d'Agostino de Scipio : vers La Philosophie du temps et Aphorismes

Agostino di Scipio est né à Naples en 1962. Dès son adolescence, le compositeur s'intéressait déjà au rapport entre musique et son ; cela l'a poussé à faire des essais en électronique et informatique. Di Scipio a ensuite étudié la composition et la musique électronique au conservatoire de l'Aquila. Il a accompli sa formation scientifique à l'Université de Padova en informatique musicale au CSC (Centro di Sonologia Computazionale).

Il est un compositeur-chercheur dont la production bibliographique est aussi importante que la production musicale. Parmi ses écrits, la thématique est assez vaste, il aborde l'analyse du répertoire musical, ses propres compositions et plus précisément sa théorie compositionnelle. À partir de ses écrits, nous pouvons souligner le fait que Di Scipio a construit sa démarche créative au fur et à mesure de ses réflexions théoriques⁷³².

Dès la fin des années 1980, Di Scipio développe une démarche fondée sur un système dynamique non-linéaire agissant sur le macro-temps, ainsi que sur le micro-temps. Cette méthode permet de créer des structures émergentes d'un système dynamique chaotique caché de bas-niveau⁷³³. Suivant cette méthode, le compositeur a réalisé plusieurs projets dont l'approche théorique suit ses idées : dans les années 1990, la composition du cycle *Sound & Fur* (1995 – 1998), puis la série *Modi di interferenza*, dans les années 2000, (quatre pièces pour différents instruments de musique qui explorent l'effet Larsen interagissant avec un système numérique dynamique). *Due di Uno*, de 2002-2003, chronologiquement située entre ces deux exemples de son répertoire : c'est une pièce marquante de sa pensée. Pour le traitement numérique temps-réel, le compositeur

⁷³² ANDERSON, Christine, DI SCIPIO, Agostino, « Dynamic Networks of Sonic Interactions: An Interview with Agostino Di Scipio », *Computer Music Journal*, vol. 29, n° 3, 2005, p.11– 28.

⁷³³ DI SCIPIO, Agostino, « Formal processes of timbre composition. Challenging the dualistic paradigm of computer music », in *Proceedings of the 1994 International Computer Music Conference*, 1994.

développe un système avec la station de travail KYMA⁷³⁴ pour *Due di Uno*, ainsi que pour d'autres œuvres de la même période, comme *Sound & Fur* (1995 – 1998).

Due di Uno (2002) pour flûte à bec soprano, violon et électronique, a été composée à l'occasion de l'anniversaire des 60 ans d'Horacio Vaggione. Di Scipio affirme que l'hommage ne fut pas seulement un prétexte, mais plutôt que les compositions de Vaggione, ainsi que ses articles sont « une silencieuse, mais tangible, référence intertextuelle »⁷³⁵. Lors de l'hommage à Vaggione, Di Scipio a écrit un article – faisant partie d'un numéro thématique de la revue *Contemporary Music Review* publié à cette occasion et puis republié en français dans le livre en hommage à Horacio Vaggione – où il décrit la composition de *Due di Uno*. Le titre suggère un jeu de mots (*Duo d'un*, de la traduction de l'italien). Le compositeur évoque quelques interprétations possibles : deux instruments (flûte à bec et violon) qui jouent simultanément générant une seule entité, ou les deux instruments comme un *duo* face au *uno* de l'ordinateur, ou même les deux instruments distincts et l'ordinateur comme médium. Le compositeur définit la pièce ainsi :

Due di Uno est une composition pour flûte à bec piccolo (soprano en Fa), violon et électronique en direct. Comme certaines autres de mes compositions, cette pièce représente une tentative d'élaborer et de mettre en scène une petite infrastructure technologique dont le résultat audible est la musique. C'est un essai de composition algorithmique ; simultanément, cette pièce implémente un échange dynamique entre les instruments et l'électronique en direct. Plus important encore, il s'agit essentiellement d'un travail *dans* le son – c'est-à-dire d'une composition où le timbre, la polyphonie de textures et la densité ainsi qu'un ensemble d'artefacts bruiteux constituent des dimensions perceptuelles plus importantes que d'autres et sont traitées créativement sous la contrainte du temps-réel⁷³⁶.

Dans un premier temps, suivant la méthodologie orientée objet-opérateur, nous avons classifié les objets selon leur fonction dans le réseau opérationnel dynamique de *Due di Uno*. Trois catégories générales ont été repérées : génération algorithmique, fonctions de contrôle et traitement du signal. Nous nous intéressons ici plus particulièrement aux fonctions de contrôle de la pièce. Il s'agit d'un système dynamique

⁷³⁴ <https://kyma.symbolicsound.com/> [lien vérifié le 28 juin 2018].

⁷³⁵ DI SCIPIO, Agostino, « *Due Di Uno*. une composition dédiée à Horacio Vaggione », in *Espaces composites : essais sur la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione*, Paris, L'Harmattan, 2007, p.290.

⁷³⁶ *Ibid.*

qui est lié à un algorithme contenant une fonction non-linéaire simple et qui génère les valeurs des paramètres des objets de traitement du signal selon deux échelles temporelles différentes, macro-temps et micro-temps. Pour cela, di Scipio fait appel à une fonction récursive sinusoïdale.

Notre modélisation opératoire du réseau d'objets de *Due di Uno* est schématisée ci-dessous (Figure 53). Il s'agit de trois catégories d'objets opératoires (boîtes en gris) : contrôle, algorithmique et traitement de signal. L'algorithme génère les données pour les paramètres du traitement du signal (échantillonneur et granulaire), comme la durée, l'amplitude et la fréquence. Les signaux de contrôle sont générés par un suiveur d'enveloppe d'amplitude des deux microphones placés sur les instruments acoustiques. Ces signaux (lignes pointillées) contrôlent les paramètres du traitement sonore (comme le niveau de sortie) et servent à mettre à l'échelle les paramètres générés par l'algorithmique. L'approche prédominante dans *Due di Uno* est l'objet algorithmique : deux algorithmes identiques fonctionnent simultanément, l'un à une méso-échelle (boucle externe) et l'autre à une micro-échelle (boucle interne). Une fonction sinusoïdale récursive nourrit le processus en boucle. Les paramètres de sortie de la boucle externe alimentent le traitement sonore aussi bien que la boucle interne. La boucle externe se répète dix fois (pour chaque section de la pièce) et à l'intérieur de cet objet, la boucle interne se répète également dix fois.

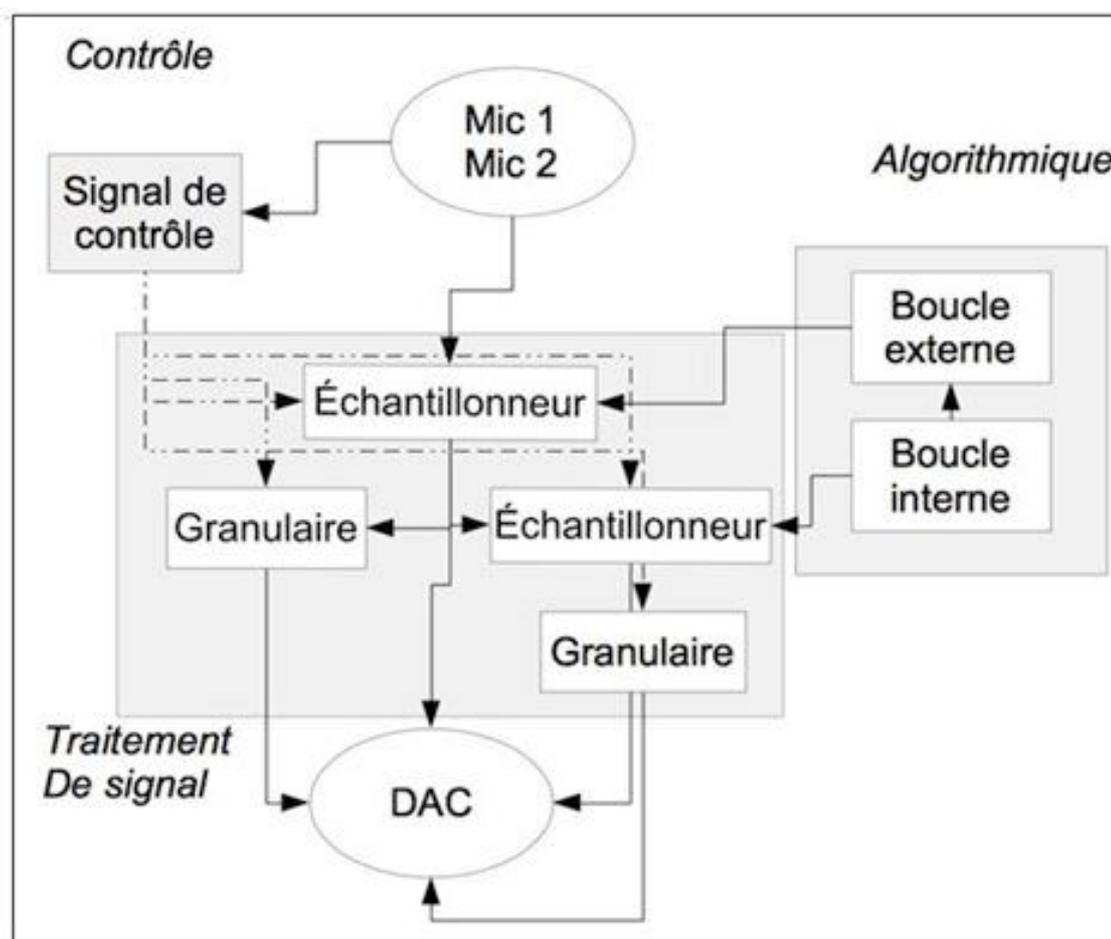


Figure 53 Schéma du réseau opératoire de *Due di Uno*⁷³⁷.

La pièce est divisée en dix sections de quarante secondes chacune, plus une coda d'environ quatre-vingt secondes. La partition instrumentale est le résultat d'un processus algorithmique similaire à celui décrit ci-dessus, la structure contient deux boucles : une externe et une interne qui sont répétées chacune dix fois. À l'issue de ce processus, les durées, le moment de départ et les amplitudes de chaque note-événement sont générés. Concernant les hauteurs, le compositeur a utilisé un processus simple, fait à la main, alternant les notes *mi* aigu et *si* \flat le plus grave disponible. Di Scipio fait aussi des interventions manuelles, surtout pour la génération des ornements, glissandos et trilles et des changements selon les propriétés de chaque instrument. À l'exception de la coda, les

⁷³⁷ D'après le schéma original dans DI SCIPIO, Agostino, *op. cit.*, 2007, p.304.

partitions du violon et de la flûte à bec sont quasiment identiques (Figure 54). La seule différence se fait pour des raisons idiomatiques qui joueront un rôle important pour l'interaction avec l'électronique.

Figure 54 Premières mesures de la partition de *Due di Uno*. En haut le violon, en bas la flûte à bec.

L'une des stratégies pour la composition de cette pièce est l'obtention de résultats sonores intéressants qui émergent d'une structure à une micro-échelle. Pour cela, le compositeur fait appel à un algorithme (comme décrit ci-dessus) contenant une fonction de contrôle non-linéaire récursive. Étant donné que l'algorithme de la composition instrumentale est similaire à celui du contrôle de l'électronique, la vectorisation commune entre l'acoustique et l'électronique est garantie par les traces génétiques d'un même processus algorithmique, ainsi que par la fusion sonore de l'acoustique avec l'électroacoustique dans un contexte compositionnel commun.

La partie instrumentale est générée grâce à un processus algorithmique plutôt déterministe. L'algorithme génère les paramètres des notes-événements à l'échelle macro-temporelle, la durée et l'amplitude de la note. Cependant, le compositeur joue sur le fait que les deux instrumentistes ne vont jamais jouer rigoureusement simultanément, bien que ni la partition ni le compositeur ne demandent aux instrumentistes de profiter d'un probable décalage temporel. Di Scipio compte donc sur une « circonstance », une

« fatalité » du monde instrumental, car « tout décalage temporel dans la partie des deux instrumentistes se traduira également par un écart par rapport au programme précis des transformations DSP »⁷³⁸. Il transforme une contrainte musicale en un fait opératoire et par conséquent musical. La partition instrumentale est quasiment déterministe, d'ailleurs les modes de jeux utilisés par la flûte, ainsi que par le violon, sont pris en compte pour l'accomplissement du résultat sonore final attendu et les trilles (à la fin de chaque section de la section 1 à 5 et puis au début de 6 à 10) sont stratégiquement placés pour donner à chaque section la même durée de dix secondes.

Nous avons divisé la modélisation objet-opératoire de *Due di Uno* en deux parties : d'abord la reconstruction de la partie électronique contenant les opérations numériques en Max à partir d'un *flow chart* fourni par le compositeur et ensuite l'élaboration du réseau opératoire. N'ayant pas accès au patch original, le compositeur nous a aimablement fourni un *flow chart* de l'électronique temps-réel, contenant les modules de traitement numérique ainsi que leurs paramètres. L'approche orientée objet-opératoire prévoit l'analyse du code (dans ce cas du *flow chart*) en l'interprétant comme un réseau opératoire où chaque objet – matériau numérique codifié – est opéré dynamiquement dans un réseau d'interactions. Le *flow chart* décrit les processus de traitement sonore numérique par des schémas contenant les modules et ses paramètres (Figure 55). Le document est divisé en onze *flow chart* qui fonctionnent simultanément.

Signal Flow Chart 9 (cntrl signals, samplers)

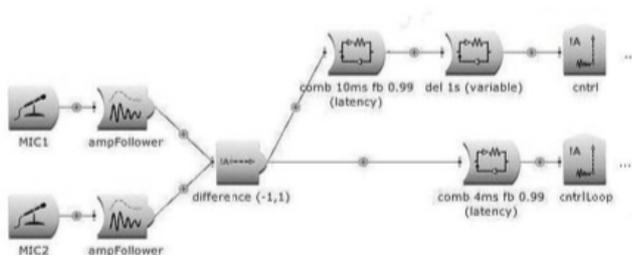


Figure 55 Flow chart 9 de *Due di Uno*.

⁷³⁸ *Ibid.*, p.302.

Le traitement granulaire ainsi que les autres modules de contrôle ont été modélisés et portés vers le langage Max (une méthodologie similaire à celle employée par Baudoin pour l'analyse de *Stria* de Chowning, le chercheur a migré le code MUSIC IV et SIAL vers le langage CSound⁷³⁹). Dans le cadre de cet article, nous allons aborder les sections concernant l'objet algorithmique (*flow chart* 3 et 4) et de contrôle du signal (*flow chart* 9, 10 et 11).

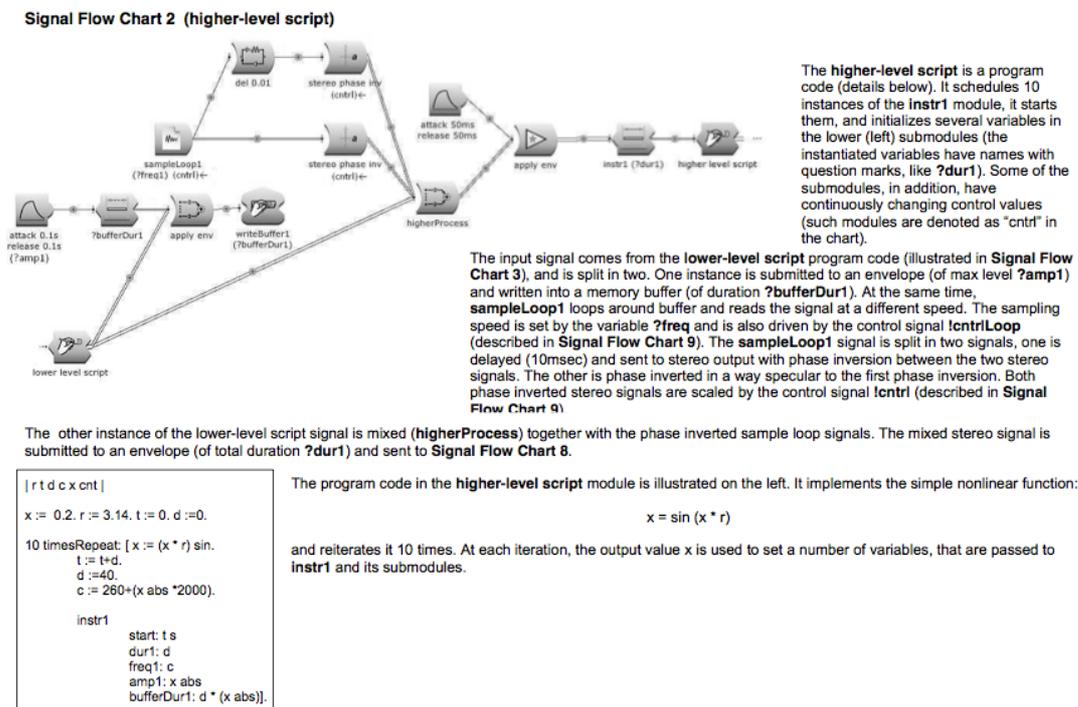


Figure 56 Flow Chart 2 de *Due di Uno*, boucle externe.

L'algorithmique en boucle, utilisée sur deux échelles temporelles, a été modélisée en Max avec deux sous-patches qui apparaissent ci-dessous (Figure 57).

⁷³⁹ BAUDOIN, Olivier, « La faktura, "outil conceptuel d'analyse" - Illustration avec Stria, de John Chowning », in *Journées d'informatique musicale*, Grenoble, ACROE, 2009.

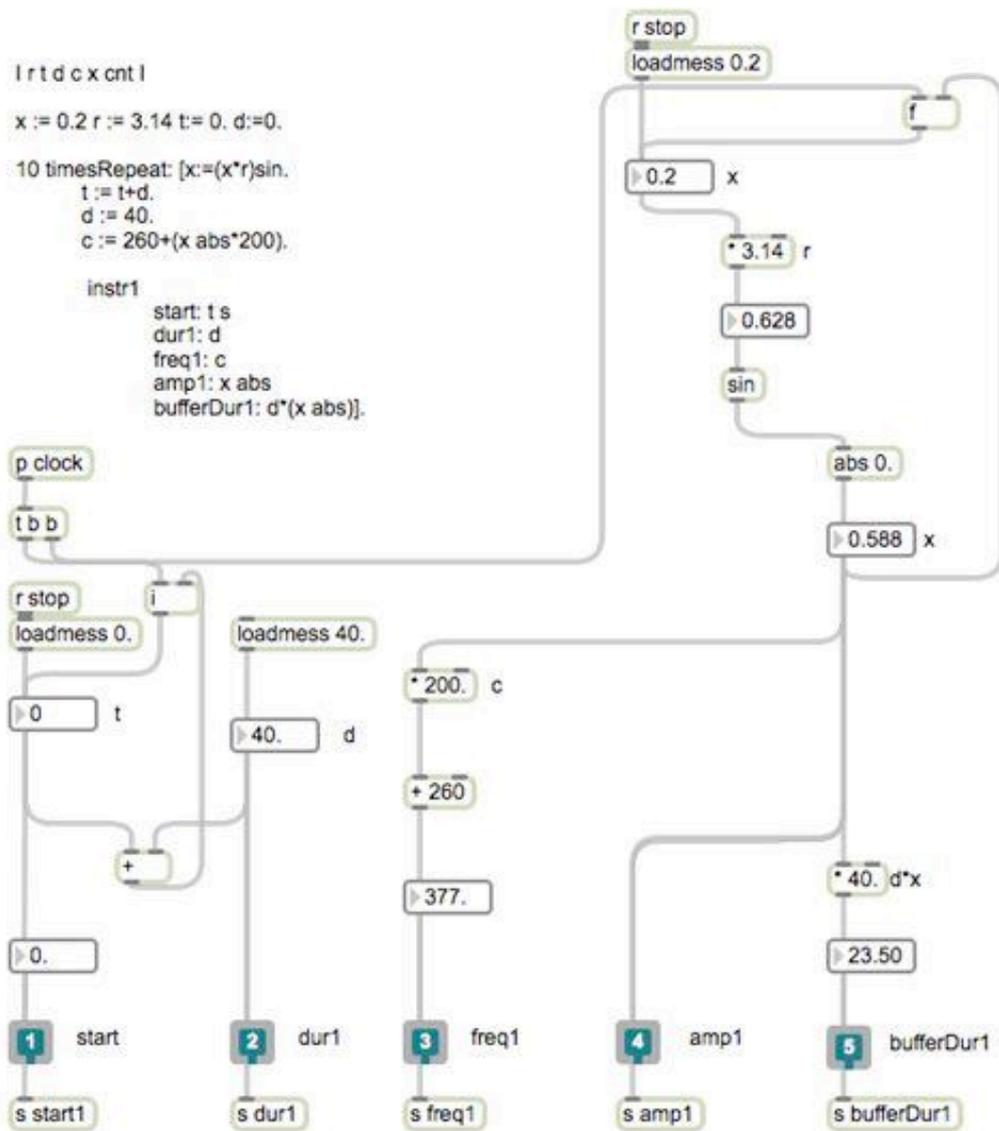


Figure 57 Boucle externe de l'objet algorithme en Max.

Il s'agit d'une structure (répétée dix fois pour la boucle externe et dix fois pour la boucle interne à chaque réitération de la boucle externe) qui implémente une fonction non linéaire sinusoïdale :

$$x_n = \sin(x_{(n-1)} \times r)$$

Dans la boucle externe, x est une valeur initiale qui réinjecte le résultat de la fonction dans la boucle suivante. r est l'indice dont les valeurs déterminent le

comportement des résultats (périodiques ou chaotiques par exemple). Cet algorithme génère les valeurs des paramètres pour les modules de traitement sonore : durée, fréquence, amplitude et panoramique. L'alimentation des données x dans la boucle interne est fournie par les valeurs d'amplitude reçues de la boucle externe.

En plus de l'algorithme, les signaux de contrôle sont également responsables de la génération des données pour le contrôle des paramètres de la synthèse sonore et du panoramique. Il s'agit d'une série de données issues d'un *mapping* d'amplitude de deux microphones, *Mic1* pour le violon et *Mic2* pour la flûte à bec. Dans le patch Max (Figure 58) cinq signaux de contrôle sont générés : *cntrl*, *cntrlLoop*, *xDens_delayed*, *xDens* et *cntrlVarRitm* qui, à l'origine, ont été représentés dans les *flow chart* 9 et 10. Un même signal est utilisé pour contrôler plusieurs objets à la fois. Le signal *cntrl*, par exemple, est la somme du *Mic1*, suiveur d'amplitude du violon, et du *Mic2*, suiveur d'amplitude de la flûte à bec, il est responsable des paramètres des échantillonneurs de traitement granulaire et des valeurs des filtres passe-bande.

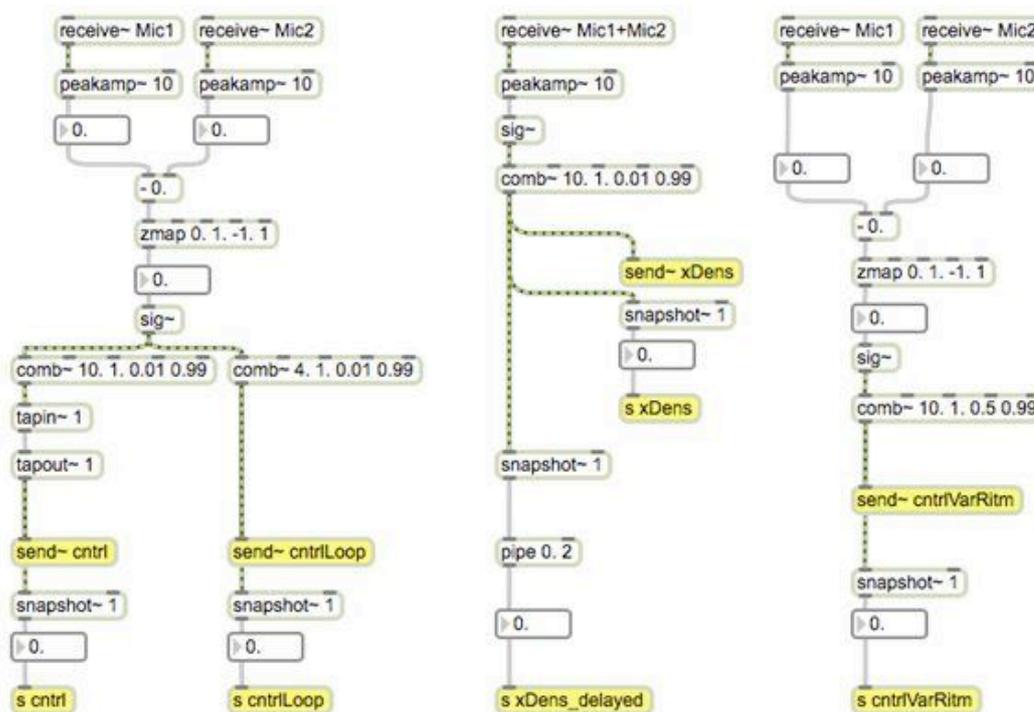


Figure 58 Objets de contrôle en Max.

L'objet algorithmique ainsi que l'objet de contrôle jouent un rôle important pour la mise en œuvre des deux concepts principaux de la pièce : la convergence entre l'acoustique et l'électronique et l'émergence des sonorités à partir d'une structure à une micro-échelle.

La fonction qui génère le résultat sur les deux supports (acoustique et électronique) est une fonction sinusoïdale récurrente (comme mentionné ci-dessus). L'utilisation de ce genre de système est courante dans la production compositionnelle de Di Scipio⁷⁴⁰.

En effet, dès la fin des années 1980, Di Scipio s'intéresse à l'utilisation compositionnelle des fonctions de ce genre. En 1989, il développe un outil de composition algorithmique avec un processus simple de répétition d'une fonction de transfert non-linéaire. Les sorties numériques ont été assignées comme des valeurs de paramètres musicaux globaux tels que la durée, la hauteur et l'intensité des gestes instrumentaux. Dans un deuxième temps, il développe un processus similaire à une échelle micro-temporelle. Même si Di Scipio ne montrait pas d'intérêt spécial pour les concepts des théories du chaos en vogue dans les années 1980, il a vu dans ces méthodes numériques un grand potentiel musical pour construire un *front-end* pour la synthèse granulaire. À la même époque, d'autres chercheurs, comme Barry Truax, développaient des systèmes similaires. Ayant adopté comme principe la génération de synthèse granulaire numérique, Di Scipio compose *Plex* (1991) pour contrebasse et électronique.

Les fonctions interactives non-linéaires génèrent à la fois des textures sonores riches et bruyantes, avec des signaux aperiodiques, et des signaux periodiques, plus proches d'un spectre harmonique. De plus, ces systèmes ont un caractère assez imprévisible par la nature même des fonctions. Dans la théorie du chaos, les petits changements de valeurs peuvent correspondre à des changements radicaux des résultats obtenus. Pour ces expériences, les fonctions non linéaires consistent à répéter exactement ce processus prenant à la fois en compte les échantillons précédents et les paramètres de la fonction, en considérant toujours le $n^{ème}$ itéré comme l'échantillon suivant au sein du signal numérique qui est généré. Cette méthode permet donc de générer une classe de

⁷⁴⁰ DI SCIPIO, Agostino, « Composition by exploration of non-linear dynamics systems », in *Proceedings of ICMC-90*, 1990.

possibilités des formes de synthèse du son dont le principe réside dans le fait que la forme d'onde du son qui est générée est la succession des n itérés d'une certaine fonction. Cette méthode opère alors directement au niveau de l'échantillon, c'est-à-dire au niveau du micro-temps. L'agencement des fonctions non-linéaires à cette-échelle permet alors de créer des sons à la fois riches et dynamiques sans perdre la cohérence musicale, car c'est le concept d'itération qui permet de faire émerger des formes cohérentes, ordonnées et régulières, même si le résultat sonore est chaotique et apparemment sans régularité. Ce grand potentiel de génération de palette sonore, dans la production de *Di Scipio* à la fin des années 1980, le mène à approfondir ses recherches musicales sur la composition du son lui-même, selon une approche temporelle multi-échelle, sur les traitements sonores granulaires numériques et surtout sur l'émergence qui deviendra à partir des années 2000 l'un des concepts compositionnels les plus développés par le compositeur.

La méthode décrite ci-dessus génère des sons grâce à l'application de la méthode chaotique au niveau du micro-temps. Dans *Due di Uno*, en revanche, le compositeur se sert de ce système pour la génération paramétrique, c'est-à-dire pour les paramètres globaux comme la durée des sections, la fréquence et l'amplitude. Le traitement numérique est généré par module granulaire indépendant, en langage KYMA, dont les valeurs sont aussi contrôlées par un suiveur d'enveloppe d'amplitude qui contribue à la cohérence entre le système sonore numérique et les instruments acoustiques. Il s'agit donc d'une approche à la fois directe et algorithmique ; l'interaction est bien au cœur de la mixité.

À la suite de cette modélisation, nous avons mené notre première expérience d'application d'un objet analytique dans un cadre compositionnel. La lecture des premiers articles de Di Scipio et Barry Truax, plutôt que l'écoute des pièces, a suscité notre intérêt compositionnel pour les méthodes fondées sur des fonctions non-linéaires interactives. Lors de la composition de notre pièce *La Philosophie du temps* (2015) pour piano et électronique temps-réel, nous avons émulé l'objet de contrôle modélisé de l'analyse de *Due Di Uno* (Figure 57) pour le contrôle des paramètres des modèles de synthèse numérique. Il s'agit plus d'une application stricte de l'objet modélisé de contrôle temps-réel que d'une appropriation analytique pour la composition.

7.1.1. *Aphorismes*⁷⁴¹

Avant d'aborder la composition *La Philosophie du temps*, pièce dont le principe est plus lié à la modélisation de *Due di Uno*, il est utile de faire un point sur *Aphorismes*, car cette pièce a été composée à la même époque que l'analyse de la pièce de Di Scipio et partage des points en commun avec *La Philosophie du temps*. En fait, *Aphorismes* est la seule pièce acousmatique que nous avons composée dans le cadre de notre thèse, elle est aussi la première chronologiquement composée dans cette recherche.

Contrairement à *La Philosophie du temps*, qui a été composée afin de valider une hypothèse *a priori* selon une méthode analytique-créative stricte, *Aphorismes* n'a pas de relation directe avec une analyse. Cependant, cette pièce a été composée en 2015, lors de la première année de thèse. À ce moment-là, nous avons entamé des lectures approfondies sur les deux piliers théoriques de cette thèse qui sont la pensée orientée objet d'Horacio Vaggione et les écrits de Jean-Claude Risset⁷⁴². Dans *Aphorismes*, la composition du son lui-même et la structuration par des réseaux d'objets sont implicites.

Une grande partie des méthodes et des objets utilisés pour la composition de cette pièce ont été repris de nos pièces antérieures, notamment celles qui ont été composées dans le cadre de notre master. Le patch Max ci-dessous (Figure 59) correspond à celui utilisé en concert pour *Aphorismes*. En fait, il s'agit d'une pièce acousmatique qui est jouée en temps-réel avec un patch Max. Il est cependant possible d'envisager une version sur bande, fixée sur un support, car le temps réel ne joue pas un rôle fondamental pour la structure de l'œuvre. D'ailleurs, la version de référence stéréo de cette pièce a été enregistrée à partir d'une section temps-réel de ce patch. Nous avons procédé ainsi, avec une composition temps-réel pour une pièce acousmatique, car cette méthode et cet environnement de travail étaient les plus récurrents dans notre production et c'est là que nous étions le plus à l'aise.

⁷⁴¹ Voir enregistrement : F Annexe : 3.1.1 Aphorismes stéréo.

⁷⁴² Lors de la création de *Aphorismes*, le 15 avril 2015, nous avons rencontré pour la première fois le compositeur-chercheur Jean-Claude Risset ; à cette occasion il a joué *Resonant Sound Spaces* et nous avons pour la première fois déclaré le désir d'analyser l'une de ses pièces : il a proposé *Songes*. À la suite de cette rencontre Risset nous a fourni les codes et les informations nécessaires à l'analyse de cette pièce.

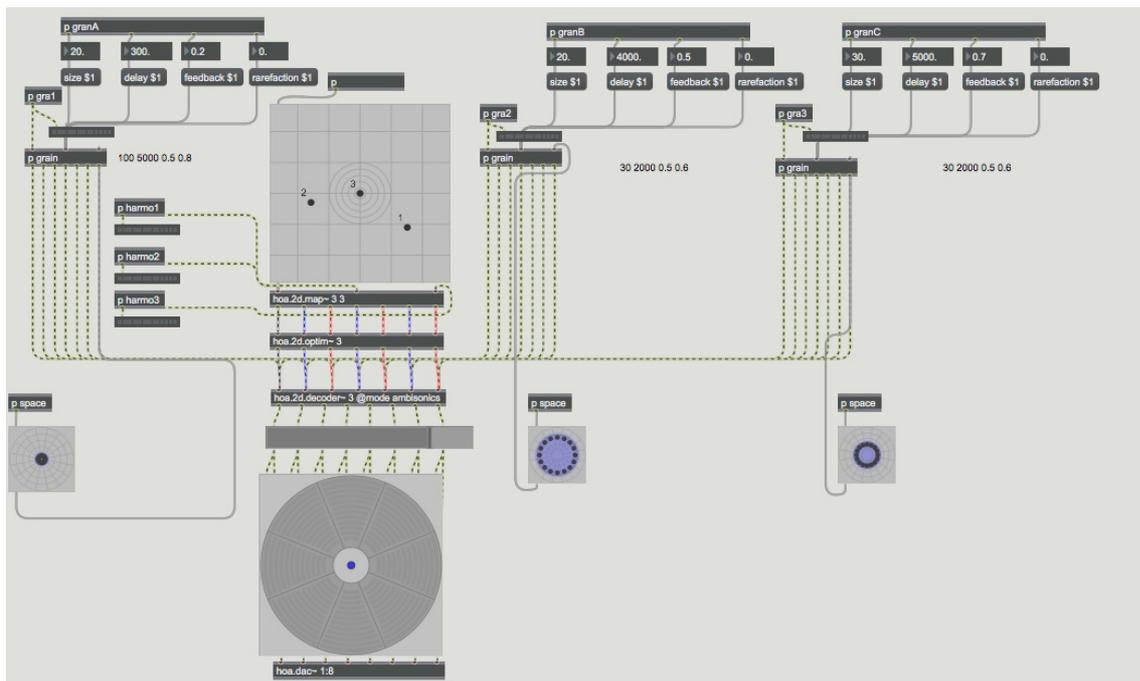


Figure 59 Patch Max d' *Aphorismes*.

Le patch est organisé essentiellement en trois couches, c'est-à-dire, sur trois strates d'une même méthode de traitement numérique. En haut du patch, trois modules de synthèse granulaire quasi-synchrone (similaires à ceux utilisés dans nos pièces de Master), *granA*, *granB* et *granC* sont reliées directement aux trois modules d'un *harmonizer* (contenant chacun trois *harmonizer*), *harmono1*, *harmono2* et *harmono3*. Deux méthodes de composition de l'espace sont utilisées. La première est la source ponctuelle, avec l'objet *hoa.map*, au centre du patch, pour lequel chaque point correspond à une source de chaque module *harmonizer*. La deuxième méthode est le traitement sonore numérique en ambisonie – le module de granulation est réalisé dans le domaine des harmoniques circulaires grâce aux fonctionnalités de la bibliothèque HOA. Trois méthodes de contrôle spatial, en bas du patch, sont reliées à la sortie des modules de granulation. Avec cette méthode, il est possible de définir des trajectoires spatiales en ambisonie, car l'objet *hoa.space* permet de définir des valeurs individuelles de gain pour chaque haut-parleur. Au centre du processus se trouve un échantillonneur, qui joue des objets sonores pré-réalisés ; ceux-ci passent par les *harmonizers* et ensuite sont envoyés à la source ponctuelle ou l'entrée du module de granulation. Une méthode de contrôle

permet de définir le pourcentage de signal envoyé vers les deux chemins. Ainsi, il est possible d'avoir une maîtrise assez fine du dosage entre le son ponctuel et les traitements en ambisonie. En même temps, il est aisément possible de générer des passages progressifs d'un son ponctuel à un espace diffus. Cela est d'ailleurs l'une des méthodes centrales d'*Aphorismes*.

Pour la composition du son lui-même, nous avons utilisé des échantillons préenregistrés du violon. Notre intérêt n'était pas de garder la morphologie de l'instrument, ni de le rendre reconnaissable, mais plutôt d'avoir des échantillons de bonne qualité, avec lesquels il était possible de générer de nouveaux sons avec des morphologies propres et singulières. Pour cela, nous avons eu recours au patch OpenMusic (Figure 60), déjà utilisé pour la composition *M1910* de notre master, fondé sur l'analyse de *Entwurzelt* (2012) de Hans Tutschku réalisée par Laurent Pottier, présentée lors des Journées d'informatique musicale 2013.

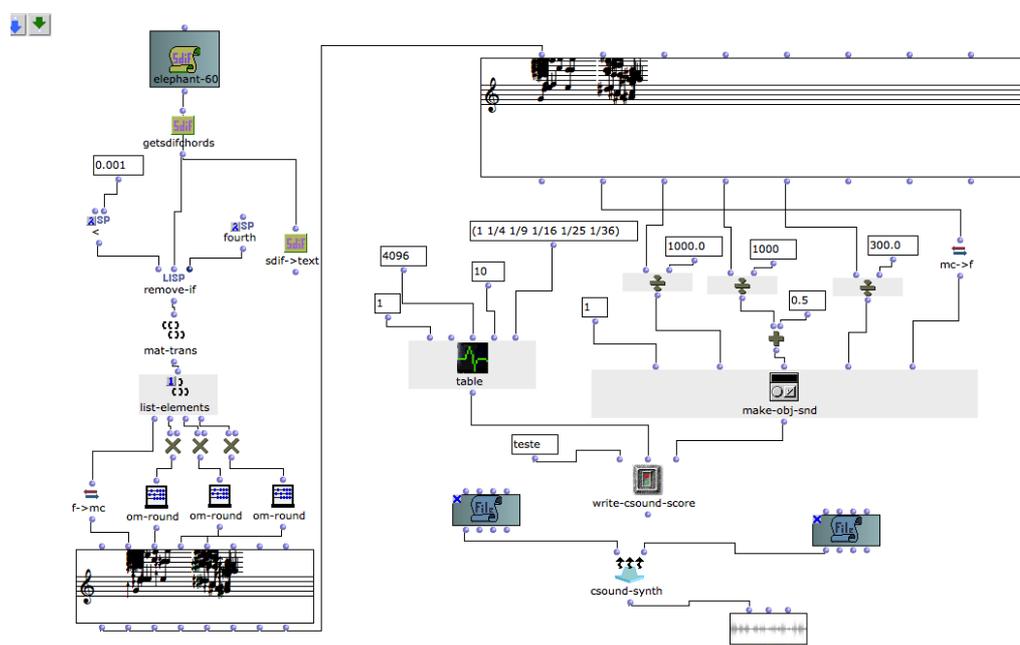


Figure 60 Patch OpenMusic couplé avec la bibliothèque OMCsound2 pour la génération de son.

Grâce à la bibliothèque OMCsound2, il est possible de synthétiser des sons avec le langage CSound dans OpenMusic. Dans le patch ci-dessus, un fichier *sdif*, obtenu à

partir de l'analyse spectrale d'un échantillon sonore, est chargé dans le patch OpenMusic en repérant les données musicales, comme la durée, la hauteur, l'intensité de chaque partiel. Ensuite ces valeurs sont mises à l'échelle et transformées en fichiers partitions pour la synthèse avec CSound. L'avantage de cette méthode est de pouvoir modifier les paramètres, surtout ceux correspondant au *mapping* pour générer des morphologies sonores différentes de celles d'origine. Dans cette perspective, plusieurs méthodes sont possibles, comme la modification progressive des valeurs pour chaque partiel, ou par filtrage de valeur. Il s'agit d'une approche en essais-erreurs et sur la boucle *feedback action/perception*. Ce n'est pas un procédé à proprement parler. Il s'agit plutôt d'une manipulation des matériaux afin de générer des résultats composites satisfaisants.

Cette approche est liée à l'idée centrale de la pièce, le titre *Aphorismes* fait référence au principe littéraire permettant de dire beaucoup avec très peu d'informations. Dans cette pièce, avec la méthode de génération de sons ci-dessus, nous avons composé une quinzaine d'échantillons ayant une durée de quelques millisecondes. Lors de la fin de la composition, nous avons réalisé que seulement moins d'une dizaine d'échantillons a été utilisée.

Le moyen par lequel il est possible de « dire beaucoup » est la mise en réseau des échantillons composés. Le réseau opératoire d'*Aphorismes* ci-dessous (Figure 61) schématise ce principe.

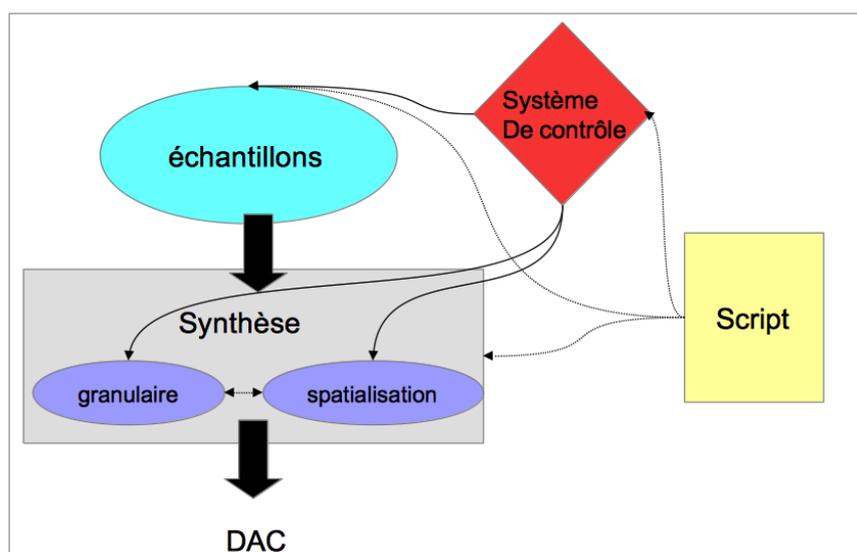


Figure 61 Le réseau opératoire d'*Aphorismes*.

Le script et le système de contrôle des fonctions aléatoires sur la plage de valeurs sont les deux objets fondamentaux pour le fonctionnement de ce réseau. Le premier a été réalisé avec l'objet Max *qlist*, il s'agit d'un fichier textuel qui permet de stocker une collection de messages qui sont déclenchés par des événements (*cues*) organisés dans le fichier. Les messages sont envoyés vers des objets *receive* dans le même patch Max. Il s'agit d'un procédé assez récurrent dans la composition avec cet environnement, car cette méthode est assez facile à manipuler. Cependant, il s'agit d'un outil peu pratique⁷⁴³, par exemple dans *Aphorismes* les valeurs de contrôle de chacun des trois groupes de modules (y compris l'échantillonneur, les *harmonizers*, les granulateurs, les espaces), ainsi que les paramètres globaux et les valeurs du module de contrôle aléatoire, forment une collection de plusieurs dizaines de paramètres. De plus, il s'agit surtout d'une logique séquentielle, c'est-à-dire que les messages se succèdent temporellement. Avec cet outil, il est donc difficile de composer selon une logique orientée objet, car chaque message est défini temporellement selon une logique linéaire.

Couplé avec le script, le système de contrôle encapsule des fonctions aléatoires avec des plages de valeurs. Dans cet objet, plusieurs fonctions d'une même classe génèrent des valeurs aléatoires, mais aussi déterministes, qui contrôlent tout le réseau opératoire de la pièce. Par exemple, un générateur de valeurs aléatoire génère avec une fréquence donnée (ce paramètre est aussi contrôlable avec le script) des valeurs entre 0 et 100, une simple fonction envoie un *bang* quand cette valeur est au-dessus d'un certain seuil (valeur aussi contrôlable avec le script). Ce *bang* peut être utilisé pour déclencher des échantillons, et définir d'autres valeurs paramétriques. Ainsi, il est possible de créer des textures très riches avec un seuil haut et des textures clairsemées avec un seuil bas. Ce même principe est utilisé pour la génération aléatoire des valeurs paramétriques des modules *harmonizer*, de synthèse granulaire et pour le contrôle des trajectoires de sources ponctuelles et des valeurs spatiales de l'objet *hoa.space*. Certaines valeurs sont cependant définies scrupuleusement avec la *cue-list*.

Avec l'agencement des valeurs de contrôle définies dans le script il est possible de créer des caractéristiques générales diverses pour chaque section de la pièce. La *cue-*

⁷⁴³ Au moins dans le cas spécifique des pièces abordées dans cette recherche.

list contient donc neuf événements, chacun d'une durée d'environ quelques minutes (voir tableau ci-dessous) qui collaborent ainsi pour générer la macro-structure de la pièce.

	Début	Caractéristiques générales
Section 1	0'00''	Passage progressif du ponctuel au diffus, et d'une texture éparpillée à une texture dense.
Section 2	1'10''	Densité moyenne ; champs diffus prédominant.
Section 3	2'00''	Passages progressifs d'une texture éparpillée à une texture dense ; le ponctuel est prédominant.
Section 4	3'10''	Densité basse et gestes continus, fréquences prédominantes du médium haut du spectre.
Section 5	4'30''	Très éparpillé ; source ponctuelle.
Section 6	5'50''	Très dense ; gestes continus dans le grave et médium.
Section 7	8'00''	Geste continuum dans le grave médium ; texture devenant progressivement éparpillée.
Section 8	9'10''	La même idée que la première section avec une texture dense
Section 9	11'10''	Très dense ; des mouvements spatiaux composés

Pour cette pièce, la notion de réseau est au cœur de la composition. L'idée de la composition est directement liée au fonctionnement et au contrôle du réseau. Cependant, pour la génération de la morphologie résultante, la composition des échantillons sonores de base, ainsi que la composition, des modules dans le patch sont aussi essentiels pour l'obtention du résultat sonore. Malgré l'agencement en trois strates de traitement numérique, *Aphorismes* reste essentiellement monophonique. Cette réflexion a été le principe d'une recherche de composition temps-réel avec des textures denses et polyphoniques. La méthode de concilier trois modules similaires en parallèle a été le fondement de la composition avec des matrices de réinjection qui seront développées pour les pièces *Taurus* et *Tyqué*. De plus les objets de contrôle aléatoire, peut-être mis en valeur grâce à l'analyse de *Due di Uno*, seront aussi présents dans toute notre production ultérieure. Le recours à des fonctions aléatoires « contrôlables » a été notre manière de concilier l'indéterminisme avec le désir de générer des singularités complexes et multiformes.

7.1.2. *La Philosophie du temps*⁷⁴⁴

L'idée compositionnelle principale dans *La Philosophie du Temps* (2015) pour piano et électronique en temps-réel est le contraste entre le temps linéaire et le temps non linéaire. Bien plus qu'une hypothèse ou une théorie, le titre est plutôt une invitation à une réflexion sur ce sujet. Nous ne voulions pas donner une réponse ni proposer une opposition au sens stricte, il ne s'agit donc que d'une réflexion sur le temps et les différentes méthodes de le générer et de l'opérer.

Le point de départ de la conception du modèle opératoire de *La Philosophie du temps* est une fonction non-linéaire sinusoïdale, comme celle utilisée par Di Scipio dans *Due di Uno*. Pour commencer, nous avons utilisé un environnement pour la composition algorithmique, OpenMusic avec la bibliothèque OMTristan⁷⁴⁵ puis, cette même fonction a été construite comme objet dans le logiciel Max, pour le traitement des données en temps-réel.

La bibliothèque OMTristan offre plusieurs outils pour des opérations non linéaires, à l'instar de *Désintégrations* (1982) de Tristan Murail. Le patch ci-dessous (Figure 62) illustre la génération d'un premier objet musical. En haut à gauche du patch, un premier objet contenant un spectre non-linéaire, généré au préalable par l'objet *sp-gen* (le même utilisé dans l'exemple déjà cité de *Désintégrations*), est mis à l'échelle selon un profil sinusoïdal issu de l'objet *sinus-ser* (également issu de la bibliothèque OMTristan). La séquence de notes (en bas à gauche) est enfin produite par ce profil. Les autres profils de sinusoïde sont aussi mis à l'échelle pour la génération rythmique. Finalement, tous les profils sont sommés afin d'être intégrés sur un seul support de partition. Le patch ci-dessous est la base pour la génération de presque tous les objets sonores de la partition instrumentale. Ces objets, avec des durées relatives de quelques mesures, sont générés les uns après les autres et assemblés dans une deuxième étape.

⁷⁴⁴ Voir partition et enregistrements : F Annexe : 3.2 La Philosophie du temps

⁷⁴⁵ <http://www.rozaliehirs.com/essay-and-software/> [lien vérifié le 28 juin 2018].

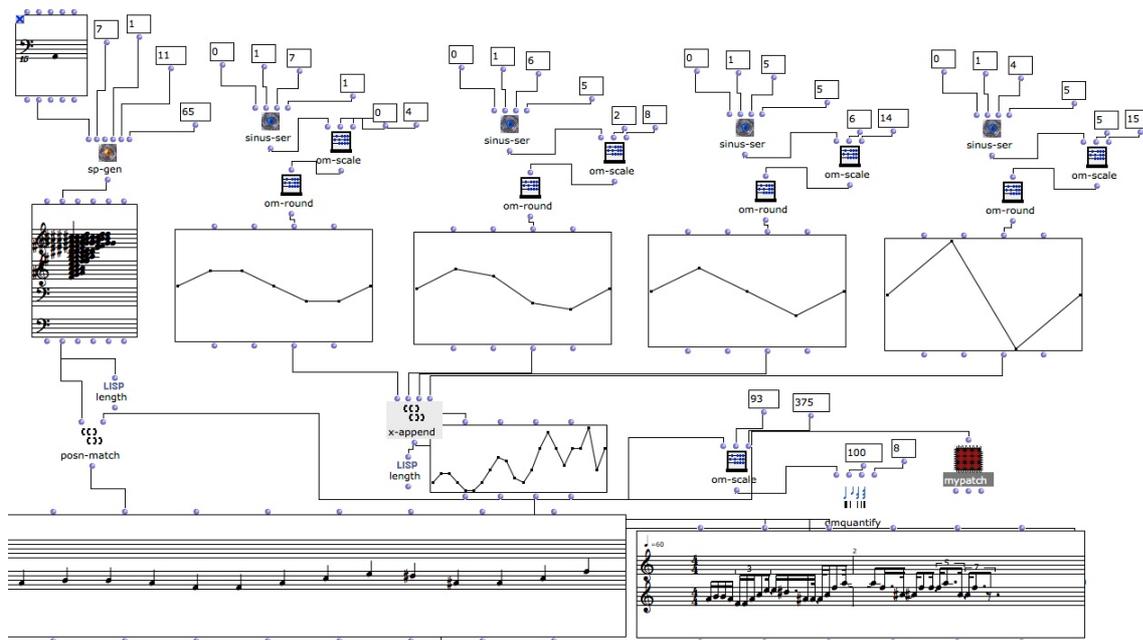


Figure 62 Exemple de patch OpenMusic pour la composition de la partition de *La Philosophie du temps*.

La partition ci-dessous (Figure 63) correspond aux six premières mesures de la partition instrumentale de *La Philosophie du temps*. À partir de la cinquième mesure de ce passage, une séquence a été créée algorithmiquement en OpenMusic par l'emploi d'une fonction non linéaire pour la génération des notes et des rythmes.

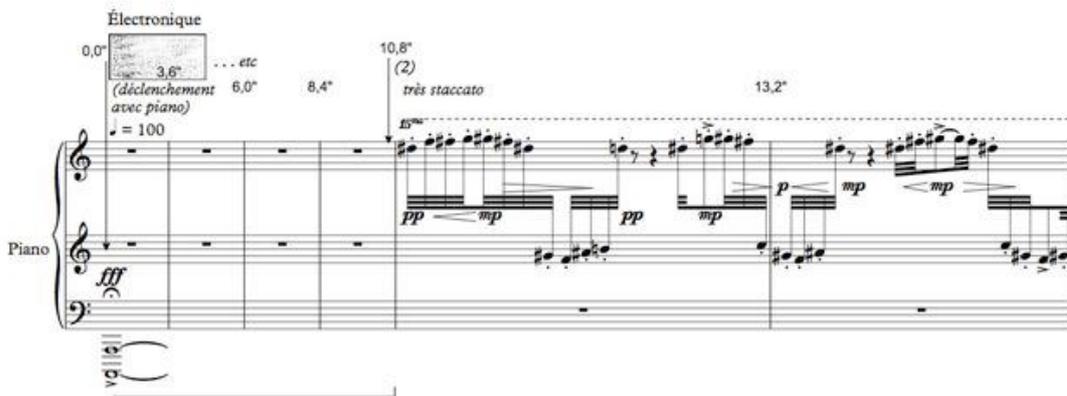


Figure 63 Premières mesures de la partition de piano de *La Philosophie du temps*.

Des méthodes similaires ont été utilisées pour la composition de la suite de la partie instrumentale. Le passage ci-dessous (Figure 64) montre bien l'emploi du même patch OpenMusic du début de la pièce pour la composition des passages rythmiques dynamiques fondés sur des fonctions sinusoïdales. Les notes et les rythmes ont été générés par la succession de plusieurs fonctions non linéaires, et mis à l'échelle manuellement avec des valeurs arbitraires correspondant à des rythmes et notes. Plutôt que de composer des rapports intervalliques, cette méthode s'intéresse plutôt aux profils des gestes instrumentaux.



Figure 64 Passage rythmique fondée sur des fonctions sinusoïdales dans la partie finale de *La Philosophie du temps*.

Afin de s'opposer aux séquences rythmiques denses des exemples ci-dessus, la partie intermédiaire de la pièce propose un changement de texture par rapport à la première partie. Dans ce passage (Figure 65), les arpèges longs et avec un tempo assez libre prédominent. La note grave de chaque événement revient au début de la pièce et les notes des arpèges ont été générées avec un patch OpenMusic similaire à celui ci-dessus. Pour chaque instanciation de l'arpège, les valeurs d'index de distorsion (de l'objet *sp-gen*) sont modifiées afin de générer des séquences sonores distinctes.

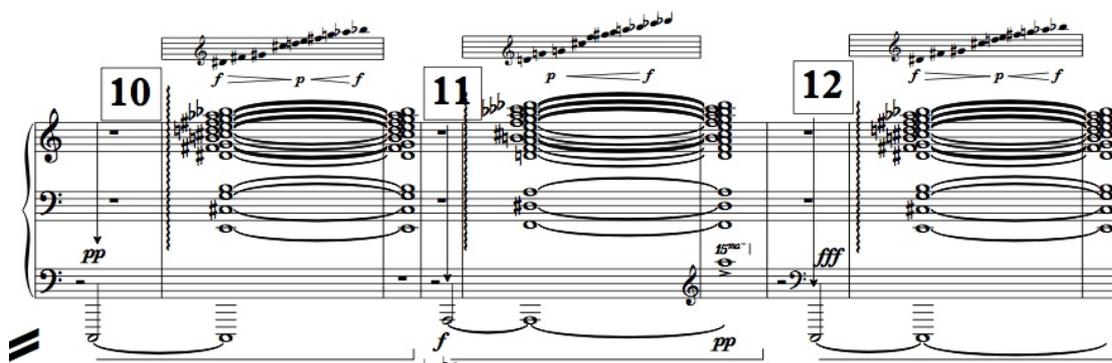


Figure 65 Partie intermédiaire de *La Philosophie du temps*.

La composition de la partie instrumentale de *La Philosophie du temps* reste en majorité fondée sur des méthodes algorithmiques. Cependant son fonctionnement est essentiellement construit sur des manipulations directes. Or, la méthode principale de cette approche consiste dans le tâtonnement sur les valeurs des paramètres du patch OpenMusic, ayant la perception comme critère de sélection, selon le principe de la boucle *feedback action/perception*. L'assemblage des objets résultants de cette méthode ne suit pas une logique algorithmique. Il s'agit simplement de manipulations manuelles directes.

Un principe similaire à la démarche ci-dessus a été utilisé pour le contrôle de la synthèse dans le patch Max. Nous avons choisi de travailler avec un système hybride, c'est-à-dire, avec des traitements en temps-réel ainsi qu'avec des échantillons sonores préenregistrés. Deux objets musicaux du début de la partition acoustique (Figure 63) ont été enregistrés et ont servi d'échantillons pour le traitement sonore numérique : la note *la* grave dans la première mesure et le premier passage de la cinquième mesure.

Le réseau opératoire de *La Philosophie du temps* est représenté sur le schéma ci-dessous (Figure 66). L'ordre des événements, ainsi que quelques paramètres sont définis par un script qui suit une temporalité linéaire chronométrique. Celui-ci ordonne les événements du système de contrôle, des échantillons et des modules de traitement numérique – notamment la synthèse granulaire et la spatialisation. Le système de contrôle est instancié par le script et reste responsable de la génération des paramètres et attributs de la partition acoustique et des traitements numériques.

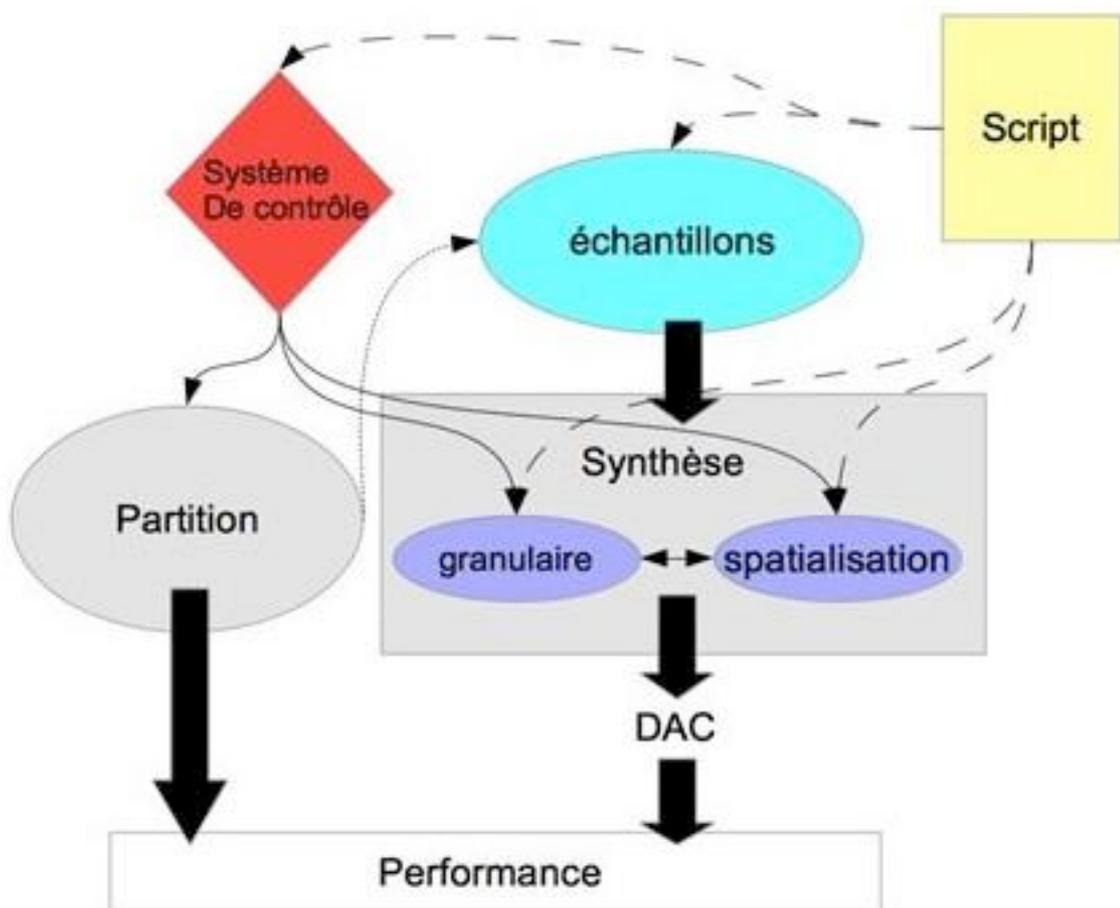


Figure 66 Réseau opératoire de *La Philosophie du temps*.

7.1.2.1. Première version – émulation de l'objet de contrôle non-linéaire

Dans la première version du patch Max de la première version de *La Philosophie du Temps* (Figure 67), les paramètres du traitement granulaire, de *l'harmonizer* et de la spatialisation sont contrôlés par des signaux des fonctions simples sinusoïdales (Figure 68). Celles-ci génèrent des signaux de durée définie dans l'input *dse1A*, qui est ensuite mise à l'échelle entre les valeurs *A1min* et *A1max*. Ce sous-patch a été généré sur la base de l'objet OpenMusic *sinus-ser*. Pour chaque paramètre – des trois modules de synthèse granulaire et des deux *harmonizer*, ainsi que quelques « trajectoires spatiales » – des valeurs sont générées avec un patch similaire à l'objet de contrôle grâce à une fonction sinusoïdale.

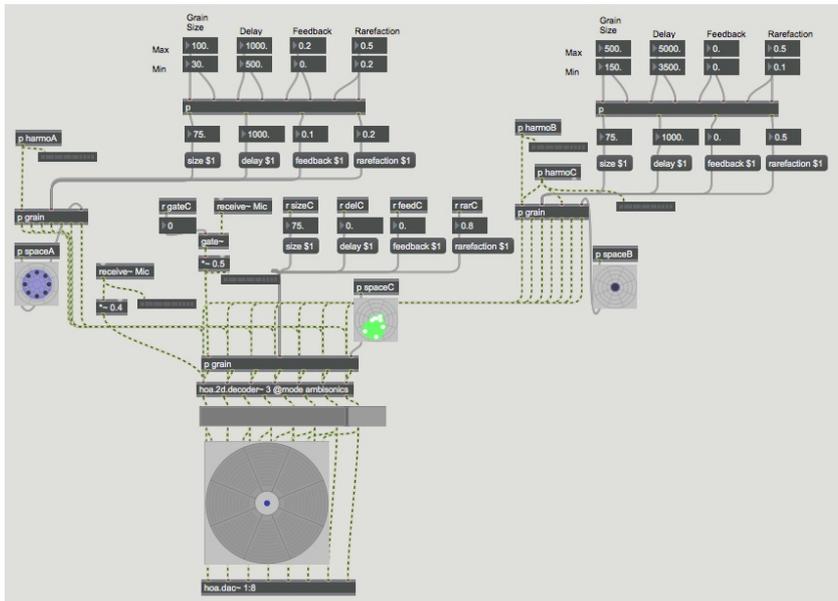


Figure 67 Patch Max de la première version de La Philosophie du temps.

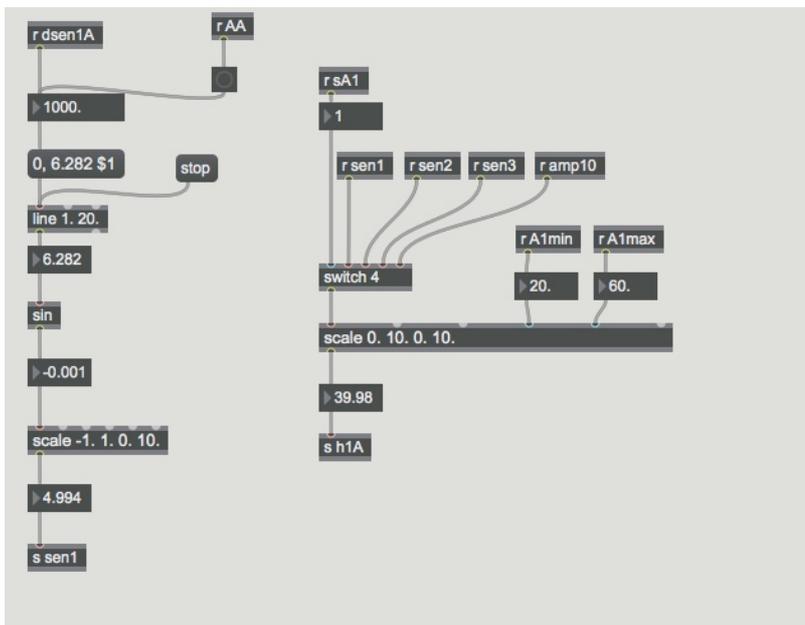


Figure 68 Objet de contrôle avec une fonction sinusoïdale de La Philosophie du temps.

La démarche appliquée aux deux environnements – OpenMusic, pour la génération de la partition et Max, pour la synthèse sonore et le traitement en temps-réel – est fondée sur une fonction sinusoïdale assez simple : dans OpenMusic la fonction

s'appuie sur l'objet *sp-gen*, dans Max un objet *sin* crée un signal sinusoïdal de contrôle. Ce genre de procédure ne représente pas nécessairement la méthode conçue par Di Scipio pour la composition de *Due di Uno*. Les systèmes dynamiques sont caractérisés par l'interaction, c'est-à-dire par une fonction récursive qui renvoie les résultats dans la même fonction. Ce dynamisme n'a pas lieu dans les exemples utilisés jusqu'ici.

La méthode orientée objet (telle qu'abordée dans le cadre de cette thèse) prévoit certaines propriétés des objets-opérateurs. Ces propriétés ont été prises en compte lors de notre analyse de *Due di Uno* et pour la composition de *La Philosophie du temps*.

Les propriétés de clôture et d'héritage rendent possible l'émulation d'un objet d'un réseau à l'autre, changeant par conséquent le contexte opératoire. Cela a été l'une de nos premières hypothèses pour permettre d'atteindre l'objectif d'une analyse créative dans le rapport analyse-crédation. L'émulation d'un objet-opérateur, grâce à ses propriétés inhérentes, permet d'exploiter ces dernières dans un réseau opératoire créatif. Selon notre méthodologie, nous avons donc repris la fonction non linéaire récursive sinusoïdale utilisée par Di Scipio, avec l'algorithme modélisé en Max de l'objet de contrôle. En l'émulant dans le réseau opératoire de *La Philosophie du temps*, nous constatons que ce dernier hérite des propriétés de l'objet. Les attributs étant les mêmes, certaines méthodes sont altérées, produisant différentes formes de l'objet père et rendant ainsi manifeste la propriété de polymorphisme.

Dans le cadre de cette recherche, la première étape d'une émulation opératoire a été l'application de la fonction utilisée par Di Scipio au langage Max, pour ensuite examiner les comportements de cette fonction. Nous avons essayé plusieurs valeurs d'indice de comportement (Figure 69) de la même fonction utilisée par Di Scipio dans un sous-patch avec l'objet Max *table*. Il est possible de visualiser le comportement de la fonction sinusoïdale récursive.

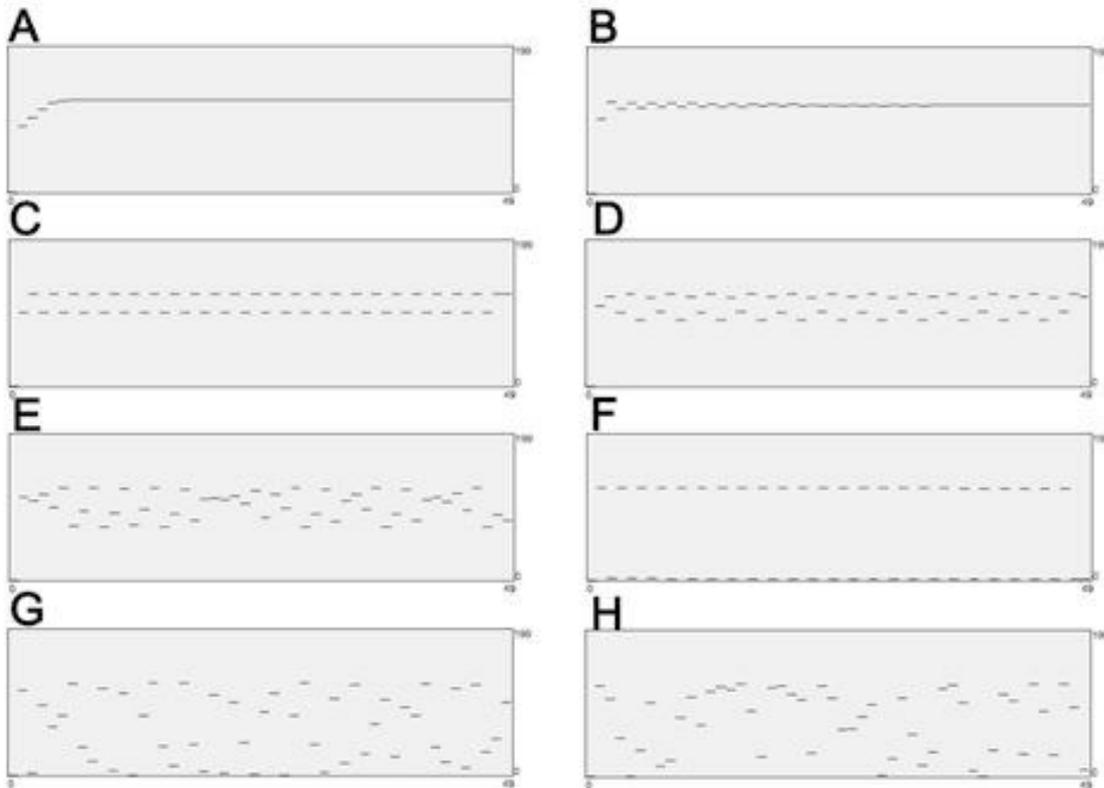


Figure 69 Visualisation de la fonction $x = \sin(x * r)$ après 50 interactions, valeur initiale de $x = 0.3$; A : $r = 1.5$; B : $r = 2.2$; C : $r = 2.5$; D : $r = 2.7$; E : $r = 3$; F : $r = 5$; G : $r = 6$; H : $r = 9$.

Lorsque $r < 3$, x se stabilise à une valeur nulle (Figure 69 A et B) ; pour $r = 2.5$, il se stabilise en oscillant entre 2 états (Figure 69 C) ; pour $r = 2.7$, le cycle passe à 3 états (Figure 69 D) ; puis un comportement chaotique avec $r = 3$ (Figure 69 E) ; le comportement redevient périodique pour $r = 5$ (Figure 69 F) ; finalement il redevient chaotique en $r = 6$ et $r = 9$ (Figure 69 G et Figure 69 H).

Le comportement chaotique dynamique de cette fonction s'avère fertile pour le réseau opératoire de *La Philosophie du temps*. Nous avons choisi de l'utiliser pour le contrôle de la granulation temps-réel. Dans le patch Max, il y a trois modules granulaires, dont deux sont destinés au traitement de la synthèse sur les échantillons préenregistrés et un autre, au traitement temps-réel. Les paramètres de ce dernier – taille du grain, délai, *feedback* et raréfaction – sont contrôlés par la fonction sinusoidale récursive. La valeur de l'indice r est programmée systématiquement par le script, elle peut donner des valeurs

fixées selon la texture granulaire désirée pour chaque section de la pièce, ou elle peut être dynamique, pilotée par un signal contrôlé par le suiveur d'amplitude du piano. Dans ce cas, l'interaction instrument acoustique et électronique est responsable de la création de textures sonores.

À la différence de *Di Scipio*, l'interaction n'aboutit pas directement à l'émergence de sonorités d'une structure en micro-échelle ; elle génère plutôt les paramètres globaux d'un traitement granulaire. Toutefois l'objet était fonctionnel dans le réseau opératoire de *La Philosophie du temps*, permettant ainsi la réussite de la composition sur le plan de la mixité. La convergence entre l'électronique et l'acoustique a été assurée grâce à un principe algorithmique commun et grâce au contrôle des modules numériques par un paramètre acoustique avec le suiveur d'enveloppe d'amplitude.

L'élaboration du modèle opératoire de *La Philosophie du temps* s'est faite grâce à l'analyse de *Due di Uno* d'Agostino Di Scipio. La modélisation des objets-opérateurs algorithmiques et de contrôle de fonctions non linéaires de *Due di Uno* a permis la conceptualisation pour la composition de *La Philosophie du temps*, attestant ainsi le potentiel de cette méthode analytique-créative. Toutefois, lors de la reprise de la pièce en 2018, une nouvelle version du patch de la pièce a été générée. Après avoir pris un recul de presque deux ans, la nouvelle version du patch avait comme objectif d'intégrer les actualisations de notre recherche dans le réseau opératoire de *La Philosophie du temps*. Lors de ce travail de recomposition, nous nous sommes rendu compte que l'émulation terme-à-terme d'un objet de contrôle issu de l'analyse de *Due di Uno* n'était pas fondamentale pour la pièce. En effet, les comportements chaotiques prévus ci-dessus (Figure 69) sont plus efficaces avec une méthode fondée sur le *mapping* avec des plages de valeur pilotée par un suiveur d'enveloppe d'amplitude. De plus, la mixité est encore plus assurée, car le comportement du réseau numérique est directement lié aux gestes instrumentaux. En effet, *La Philosophie du temps* est le résultat d'une réflexion stimulée par l'analyse de *Due di Uno* plutôt que par l'application stricte de l'objet modélisé.

7.1.2.2. *Bilan après la deuxième version*

La première version de *La Philosophie du temps* a eu lieu le 12 juin 2015. La deuxième version a été donnée le 21 mars 2018 dans le cadre du projet « Musiques Mixtes » en collaboration avec le conservatoire de Saint-Denis. Lors de ce dernier concert, notre pièce *Tyqué* a été également jouée. Notre objectif de rejouer ces deux pièces était d'intégrer des modules de traitement numérique en Faust et les méthodes de contrôle orienté objet en JavaScript qui ont été développées pour notre composition *Taurus*. D'emblée, cela caractérise deux spécificités importantes de notre activité créative : les pièces ne sont pas jouées simplement pour être jouées, mais à chaque fois qu'elles sont données en concert il y a un objectif créatif sous-entendu. Plutôt que de répéter un modèle « abouti » et « réussi », nous nous intéressons à toujours garder l'esprit créatif de sorte que nos pièces soient en perpétuels *work in progress* ; nos pièces ne sont donc pas des objets fermés, mais plutôt des réseaux composables ouverts et dynamiques. Cette prise de conscience est similaire à celle de l'interprétation orientée objet-opératoire : lorsque nous avons repris la pièce mixte nous souhaitions ajouter des contenus compositionnels. Même si notre activité est polyvalente, une même essence créative la sous-tend. Le deuxième constat est que nos pièces sont complètement liées. Même si chaque composition correspond à un réseau indépendant, toutes les pièces forment à leur tour un réseau en soi. L'ensemble des méthodes et des objets nous permet de concevoir une réserve commune de matériaux. Il rejoint les objets acquis lors de nos activités comme analyste et interprète. Ces objets ont également les mêmes propriétés que les objets-opératoires, car c'est grâce à la clôture, l'héritage et le polymorphisme qu'il est possible de les opérer individuellement. Ce sont ces propriétés qui permettent d'avoir des formes différentes en héritant des mêmes caractéristiques que les objets pères dans d'autres réseaux.

Pour la deuxième version de *La Philosophie du temps*, les échantillons de base ont été enregistrés une nouvelle fois. Cela a permis d'avoir des objets avec une qualité plus optimale. L'appropriation des modules de traitement numérique en Faust a donné de bons résultats. Le rendu sonore était plus clair et plus approprié à la diffusion en

ambisonie avec une matrice de contrôle spatial⁷⁴⁶. Cependant, l'application des méthodes de contrôle orienté objet en JavaScript s'est avérée peu efficace (elle n'apporte pas de grande importance compositionnelle) et son développement aurait demandé un grand effort et beaucoup de temps.

Le script dans *La Philosophie du temps* a été composé selon une approche linéaire et séquentielle, c'est-à-dire que des messages avec des valeurs de paramètres sont envoyés aux objets via l'objet Max *qlist* pour chaque *cue* définie dans la partition instrumentale. Pour cette pièce et pour *Aphorismes*, notre notion de composition orientée objet-opérateur était encore en développement, car notre approche compositionnelle était encore ancrée dans nos pratiques des années antérieures à la thèse ; nous avons tout de même essayé de trouver une approche de contrôle orientée objet implicite dans nos agencements des événements *cue-list*. Mais en fait, la logique compositionnelle de ces deux premières pièces était plutôt fondée sur une pensée séquentielle. Cela ne diminue pas l'importance de ces pièces. Bien au contraire, elles ont une valeur créative en soi et elles sont des témoignages de notre quête de la construction de notre propre théorie compositionnelle. L'analyse des pièces du répertoire nous a également permis de voir plus loin et nous à aider à définir notre propre démarche compositionnelle individuelle.

7.2. Pianotronics 3 d'Alain Bonardi : vers Taurus et Tyqué

Les questions soulevées lors de la composition d'*Aphorismes* et de *La Philosophie du temps*, surtout concernant une méthode alternative pour la composition séquentielle, ont trouvé une perspective fertile, en prenant la pièce *Pianotronics 3* d'Alain Bonardi comme modèle. Dans cette pièce le compositeur utilise le paradigme orienté objet pour la conception du traitement temps-réel et le contrôle, par une approche classe-instance. De toutes les approches compositionnelles orientées objet celle de Bonardi est la plus fidèle au paradigme informatique, puisque le compositeur se sert du langage JavaScript

⁷⁴⁶ Nous reviendrons lorsque nous aborderons la pièce *Taurus et Tyqué*.

avec ses fonctionnalités orientées objet. Ce langage de programmation est principalement utilisé pour le développement des pages web interactives, il s'agit d'un langage de script ayant une syntaxe orientée objet prototype. Ce qui signifie que les objets sont dotés de constructeurs permettant de créer des propriétés de prototypage. Cela permet aux objets d'hériter de fonctionnalités personnalisées. Créé dans les années 1990, ce langage est l'un des plus répandus et utilisés dans le monde, notamment grâce à sa syntaxe relativement simple qui en fait un outil optimisé pour le débutant en programmation informatique.

Les langages de script, comme le JavaScript, sont souvent interprétés, plutôt que compilés. Cela permet qu'un système optimise le temps d'exécution d'une tâche donnée grâce aux automatisations codées par le script. Cette propriété est l'une des raisons pour lesquelles le JavaScript est utilisé en couple avec d'autres environnements pour la réalisation des tâches élémentaires. C'est le cas pour l'utilisation de ce langage dans les navigateurs web et aussi dans la programmation de macros dans les logiciels comme OpenOffice. Dans le domaine de l'informatique musicale, le JavaScript est aussi un langage idéal à cet usage dans des environnements de synthèse sonore numérique comme Max. L'objet *Js*, permet de charger des fichiers JavaScript dans les patches. Comme décrit ci-dessus, ce langage permet de faciliter le codage pour l'automatisme des tâches, au lieu de générer des fonctionnalités nouvelles, presque toutes les tâches programmées par le script sont réalisables avec la syntaxe Max et les objets qui sont propres à ce logiciel. Le JavaScript permet en revanche de faciliter l'organisation de méthodes de contrôle. Comme mentionné ci-dessus, les stratégies choisies pour le contrôle de nos pièces ont rapidement posé d'importants problèmes en raison du grand nombre de paramètres disponibles. De plus, le JavaScript permet un contrôle orienté objet qui propose une solution à la logique compositionnelle séquentielle. C'est-à-dire, qu'au lieu d'envoyer des messages les uns après les autres temporellement au cours de la pièce, le système de contrôle orienté objet permet de concevoir des entités, des objets, ayant des fonctions et attributs, qui sont instanciés au cours de la pièce. En plus de son potentiel compositionnel, cette stratégie apporte également un grand degré de maîtrise de toutes les fonctionnalités, car les fonctions sont plus aisément accessibles. Or, au lieu de changer les paramètres directement et manuellement, il est désormais possible de modifier une fonction qui à son tour contrôle les paramètres. Dans le cadre spatial des pièces mixtes, cette méthode est

plus pratique, car elle permet d'« attraper » plus facilement une *cue*, puisque les objets sont instanciés indépendamment du déroulé temporel. Il est également plus facile de modifier le script au cours des répétitions, car les fonctions sont plus facilement repérables. Cela représente un grand avantage pour l'approche en *boucle feedback action/perception*.

Pour *Pianotronics 3*, le système de contrôle en JavaScript est couplé avec des modules de traitement sonore numérique en Faust. Ces deux classes d'objet logiciel sont au cœur d'un réseau qui fonctionne dans un environnement Max, même si ce dernier n'est pas indispensable. La démarche de Bonardi ouvre ainsi une perspective vers la composition en temps-réel avec une logique fondée sur la pensée orientée objet-opératoire. C'est-à-dire, plutôt que de composer selon une approche séquentielle, il est possible de mener une approche compositionnelle multi-directionnelle.

7.2.1. *Pianotronics 3* d'Alain Bonardi

L'accès au patch Max, ainsi qu'aux codes FAUST et JavaScript de *Pianotronics 3* (2016) d'Alain Bonardi nous a fourni une importante ressource pour le développement de modules FAUST pour l'analyse de *Songes* de Jean-Claude Risset dans le chapitre précédent et surtout pour l'intégration des modules de traitement numérique et pour la conception du système de contrôle orienté objet dans nos pièces *Taurus* et *Tyqué*. *Pianotronics 3* est le résultat de la recherche sur l'utilisation du paradigme orienté objet dans le cas d'une composition mixte. Les avantages de cette approche sont soulignés par le compositeur lui-même :

Notre démarche part d'un seul module générique, qui par le jeu des réglages globaux, ou locaux, et surtout par l'association mobile des traitements élémentaires sous la forme d'instruments permet des rendus sonores très variés. De plus, l'instanciation dynamique des classes modifie très rapidement et en quelques lignes de code la palette des effets affectés aux 16 unités. Du côté de l'écriture du contrôle, le passage au paradigme objet permet de s'affranchir des listes statiques de valeurs du type *cue-list* ou *patrstorage*, en confiant cette tâche

à des fonctions en Javascript, rendant immédiatement ces commandes dynamiques et calculables, et pouvant faire appel à des structures de données⁷⁴⁷.

Le système de contrôle orienté objet en JavaScript est alors une alternative aux méthodes de contrôle utilisées dans nos pièces précédentes comme *cue-list* et *patrstorage*. Les unités mentionnées par Bonardi correspondent aux seize canaux en parallèle du module en FAUST. En fait, l'objet max *mTDelHarmo16~* a été généré après la compilation du code FAUST. Celui-ci contient seize entrées et seize sorties, chacune correspondant à un canal d'une chaîne de modules ayant un traitement à ligne à retard et un *harmonizer* par effet Doppler⁷⁴⁸ (Figure 70). Chaque canal peut être relié aux autres grâce à une réinjection matricielle, c'est-à-dire qu'il est possible de réinjecter le signal de l'un des seize canaux vers n'importe quel autre canal (Figure 71). Cette méthode sera l'un des points clef pour la génération des singularités dans *Pianotronics 3* et que nous nous approprions afin de produire des morphologies multicouches en générant plusieurs reliefs sonores.

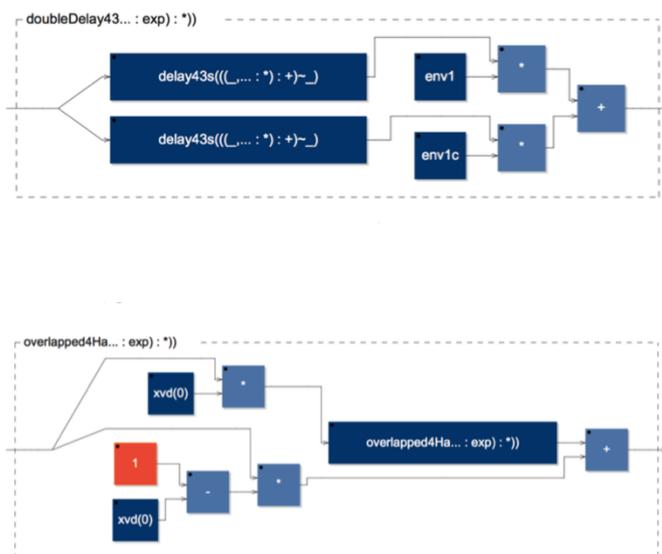


Figure 70 Block-Diagram du code FAUST des deux modules de traitement numérique. En haut, celui du délai variable (principe de l'effet Doppler). En bas, celui de l'*harmonizer* fondée sur quatre délais variables.

⁷⁴⁷ BONARDI, Alain, « Composition mixte à base de traitements et contrôles orientés objet : exemple de mise en oeuvre dans *Pianotronics 3* », in *Journées d'Informatique Musicale 2016*, Mar 2016, Albi, France. p.32-36, 2016 <http://jim2016.gmea.net/>.

⁷⁴⁸ Les fichiers contenant les codes, ainsi que les modules déjà compilés sont disponibles dans le site du compositeur. http://www.alainbonardi.net/telechargements/mTDelHarmo_v1_2.zip [lien vérifié le 28 juin 2018].

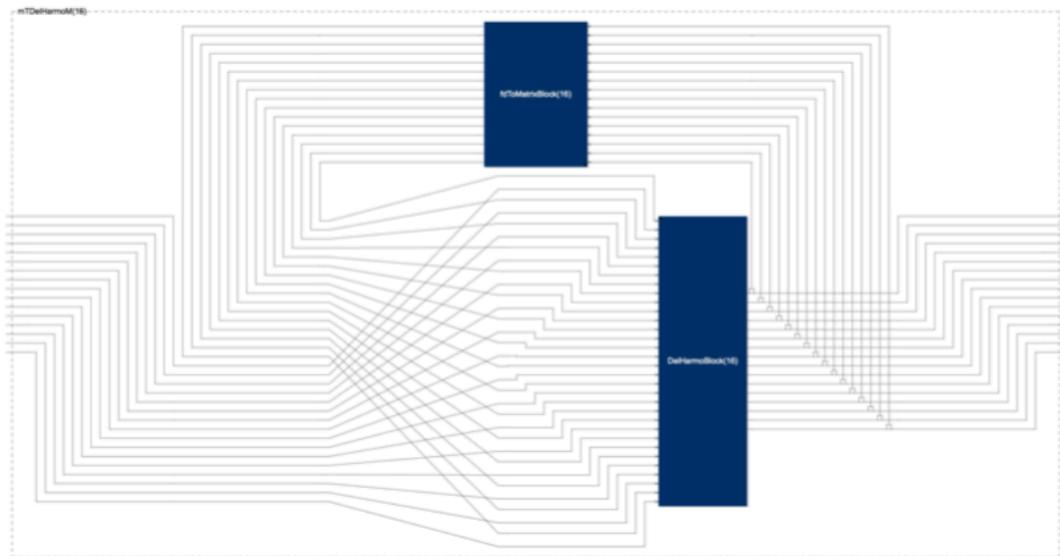


Figure 71 Block-Diagram du code FAUST du module *mTDelHarmoM*. Ce schéma illustre le principe de la réinjection matricielle.

Le réseau opératoire de *Pianotronics 3* est alors représenté par le schéma ci-dessous (Figure 72). Le signal d'entrée du piano est envoyé vers le module de traitement numérique en FAUST *mTDelHarmo16~* et vers le détecteur d'attaque (le signal du piano est aussi amplifié). Le détecteur d'attaque envoie des messages (des attributs pour certaines fonctions) au système de contrôle en JavaScript qui, lui-même, instancie les classes-instruments. L'objet graphique *mTDelHarmo16Controller* reçoit les messages du contrôle en JavaScript et, à son tour, envoie directement les messages de commande à l'objet FAUST *mTDelHarmo16~*. Les classes en JavaScript contrôlent également la matrice d'ambisonie et l'objet *inscore* qui génère la partition du pianiste.

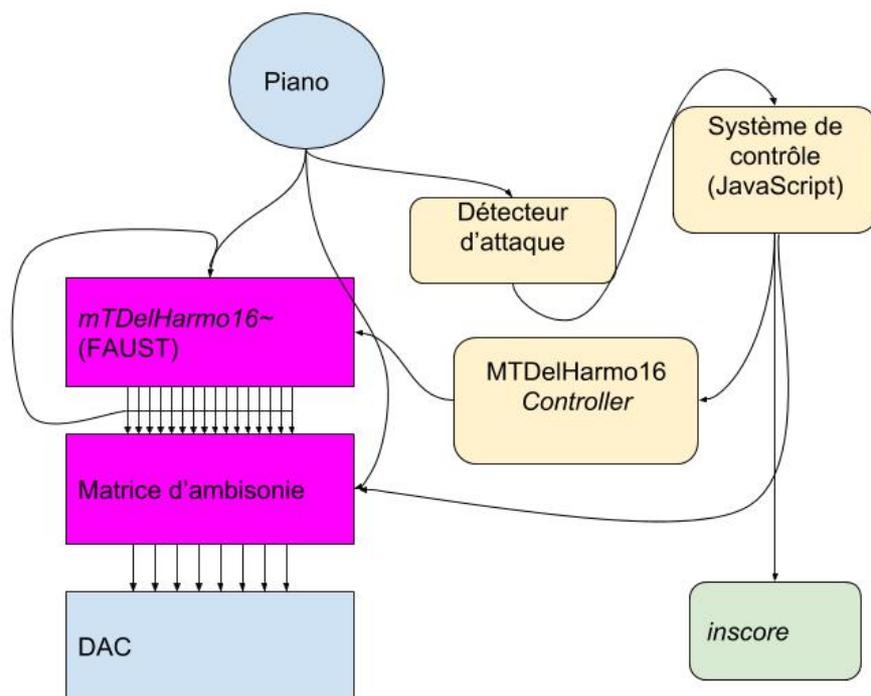


Figure 72 Réseau opératoire de *Pianotronics 3*.

Le patch Max de *Pianotronics 3* ci-dessous (Figure 73) correspond à l'une des premières versions de la pièce. À droite en haut, figurent les objets qui s'occupent du déclenchement des événements via JavaScript. Il s'agit de sept séquences, plus une séquence finale et une séquence initiale. Chacune dispose d'une dizaine d'événements (*cues*). Pour chacune des huit parties, des classes sont instanciées puis, au cours des séquences, des fonctions prototypes modifient les objets en gardant toujours les traces des objets pères : à l'intérieur des séquences les objets héritent des comportements des objets initiaux en ayant des morphologies différentes. Cette stratégie est très efficace dans *Pianotronics 3* pour deux raisons principales ; tout d'abord la partition du pianiste est lancée par le même patch Max via l'objet *inscore*⁷⁴⁹. Les séquences sont choisies aléatoirement par le patch et la macro structure de la pièce est alors générée par une « forme ouverte ». Deuxièmement chaque séquence instancie les objets de toute la partie. Lors des répétitions, il est plus facile de commencer la pièce par n'importe quelle partie.

⁷⁴⁹ <http://inscore.sourceforge.net/> [lien vérifié le 28 juin 2018].

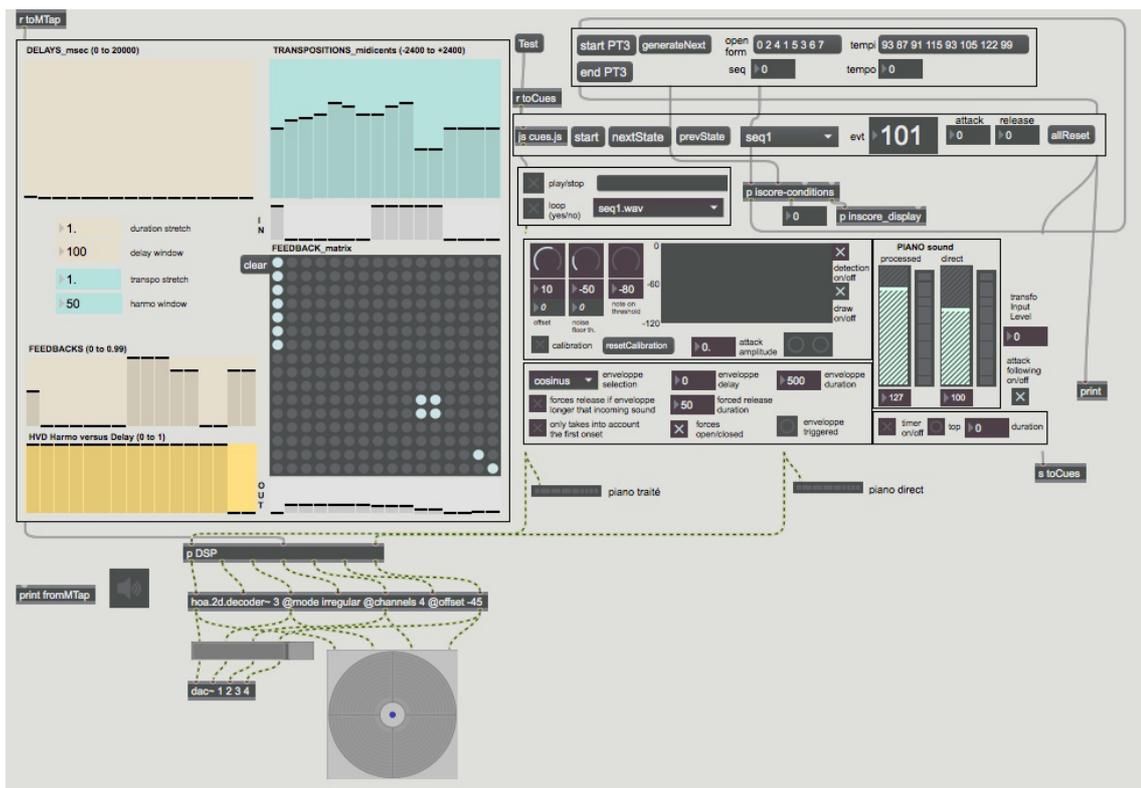


Figure 73 Patch Max de l'une des première versions en quadriphonie de *Pianotronics 3*.

Au centre droit, figure un module suiveur d'amplitude, avec détection d'attaque et tenue⁷⁵⁰. À gauche, un gros objet encapsulé qui a la fonction de GUI – *graphical user interface*. En fait, il s'agit d'un patch Max, nommé *mTDelHarmo16Controller.maxpat* conçu pour être utilisé dans un *bpatcher*. Dans cette abstraction, un autre code JavaScript permet d'envoyer les messages directement à l'objet FAUST *mTDelHarmo16~* selon les valeurs de chaque objet graphique. Cette méthode permet d'avoir un contrôle plus direct sur le module de traitement numérique. Cela est plus efficace pour une manipulation manuelle directe et pour une approche en boucle *feedback action/perception*. Une autre manière de contrôler l'objet FAUST est d'envoyer directement des messages à l'objet *mTDelHarmo16~*, soit par la propre syntaxe de Max, soit par un script. Par exemple, dans *Pianotronics 3*, des fonctions en JavaScript, comme *setInp(list)*, *setOut(list)*,

⁷⁵⁰ Une étude détaillée de ce module mérite une analyse plus approfondie, cependant comme dans le cadre de nos pièces *Taurus* et *Tyqué* nous ne l'avons pas utilisé ; pour le moment nous limitons à le mentionner. Le code JavaScript est aussi utilisé dans *Pianotronics 3* pour le contrôle temporel en relation avec le détecteur d'attaque qui évoluent dans le temps au cours de la partie instrumentale.

setTransposition(list), *setFd(list)*, *setDuration(list)* permettent de contrôler directement le traitement FAUST avec des fonctions. Celles-ci sont encapsulées à l'intérieur des classes et à chaque instantiation, les mêmes valeurs sont envoyées automatiquement à l'objet *mTDelHarmo16~*. Si cette même procédure avait été réalisée avec une méthode séquentielle, comme une *cue-list* par exemple, il aurait fallu plusieurs lignes de commande pour envoyer les paramètres l'un après l'autre. Même si l'abstraction *mTDelHarmo16Controller.maxpat* est très pratique et facilite l'apprentissage, elle est rarement utilisée en concert.

Les paramètres contrôlables de l'objet FAUST *mTDelHarmo16~* sont : la durée du délai en millisecondes ; la valeur de la réinjection (entre 0 et 0.99) ; la valeur de *xvd* (une valeur entre 0 et 1 qui établit le dosage entre *l'harmonizer*, valeur 1 et le délai, valeur 0) ; la transposition en midicents, et le gain linéaire en entrée et en sortie. Ces valeurs sont indépendantes pour chaque canal, c'est-à-dire, chaque processus (ligne à retard et *harmonizer*). Des valeurs de contrôles globaux sont aussi nécessaires, comme le facteur d'étirement des délais (une valeur qui multiplie toutes les valeurs de délai), le facteur d'étirement des transpositions (une valeur qui multiplie toutes les valeurs de transposition), la durée d'interpolation et la largeur de fenêtre de *l'harmonizer*. Finalement, une matrice de réinjection est nécessaire pour contrôler les envois des sorties des canaux vers les entrées d'autres.

Dans *Pianotronics 3*, une autre matrice, indépendante des modules mentionnés ci-dessus, est nécessaire pour envoyer les seize sorties vers les harmoniques circulaires selon les méthodes de traitement musical en ambisonie. Un même signal peut être envoyé ainsi à plusieurs harmoniques circulaires. Grâce à cette méthode, l'espace est opéré comme une dimension morphologique.

Après avoir composé l'environnement numérique, c'est-à-dire les modules FAUST et le code JavaScript, la première étape pour la composition de *Pianotronics 3* était de définir les classes-instruments. En fait, l'ensemble des informations caractérisant une unité (ligne à retard plus *pitchshifter*) est considéré comme la « classe » de base de traitement. Dans une deuxième étape il faut agencer l'assemblage et l'imbrication de plusieurs de ces unités pour former des modules de traitement plus complexes, nommés « instruments ». Le compositeur a essentiellement utilisé comme modèle des instruments

acoustiques « réels » comme la cymbale et les timbales, et des « instruments » qui génèrent une méthode spécifique, comme le *Downglissando*, qui réalise un glissando vers le grave. Au total, il y a onze classes d'instruments, chacun ayant un nombre spécifique d'unités (canaux du module FAUST : ligne à retard + *pitchshifter*).

Pour la définition des classes-instruments dans cette pièce, la fonction clef est la définition des paramètres de chaque colonne. C'est-à-dire, par exemple, pour la classe *Timbales*, qui comporte quatre canaux, il faut définir les paramètres individuels pour chacune des unités. La fonction ci-dessous *setColumn* se charge de cette tâche. La première valeur *colnum* définit le numéro du canal du module FAUST. Ensuite, les autres valeurs définissent les paramètres pour cette unité spécifique.

```
function setColumn(colNum, dur, tra, fdbk, hvd, inp, out) {
    setDuration(colNum, dur);
    setTransposition(colNum, tra);
    setFd(colNum, fdbk);
    setHvd(colNum, hvd);
    setInp(colNum, inp);
    setOut(colNum, out);
}
```

L'instrument-classe *Timbale*, comportant quatre unités, doit donc avoir quatre fonctions *setColumn*. Le code ci-dessous correspond exactement à la définition de la classe *Timbales*. Lorsqu'un objet instancie cette classe, la valeur *index* doit être fournie. Cela correspond au premier canal du module FAUST. Il est donc possible de « placer » cette classe-instrument dans n'importe quel canal (à la condition que suffisamment d'unités nécessaires soient disponibles pour l'instanciation de la classe). Ensuite, la fonction *mFdMat* définit la matrice de réinjection. C'est le point clef pour la composition des sons dans cette perspective, car le compositeur se sert du principe de l'aspect dynamique interne de la morphologie sonore. À l'instar de la cloche de Risset, chaque canal correspond à un partiel qui, par le biais du traitement numérique de délai et de *pitchshifter*, modifie le son d'origine en composant des sonorités singulières. Pour la simulation des sons instrumentaux, Bonardi s'est fondé sur ce principe ayant une approche *en boucle feedback action/perception*, car la méthode de vérification du degré de similitude de la morphologie résultante était purement auditive.

```

var Timbales = function(index) {
  this.index = index;
  this.outLevel = 2.5;
  //
  setColumn(index, 2650, 0, 0.999, 1, 0, 0);
  setColumn(index+1, 3400, 0, 0.999, 1, 0, 0);
  setColumn(index+2, 0, -1730, 0, 1, 0, this.outLevel);
  setColumn(index+3, 0, -2100, 0, 1, 0, this.outLevel);
  //
  mFdMatColumnReset(index, 4);
  mFdMat(index, index, 1);
  mFdMat(index, index+2, 1);
  mFdMat(index+1, index+1, 1);
  mFdMat(index+1, index+3, 1);
  //
  display update updateMTapDisplays()
};

```

Lorsque l'une des séquences est initialisée, plusieurs classes-instruments sont instanciées, comme dans le code ci-dessous. Au cours de cette séquence, des fonctions prototypes modifient à leur tour les paramètres du module FAUST. Ces fonctions prototypes sont en général assez simples et correspondent à des commandes pour allumer ou éteindre les instruments par le contrôle du gain d'entrée de chaque unité. Avec les instanciations des classes-instruments dans les séquences d'autres fonctions se chargent d'autres fonctionnements du patch. La fonction *setSpat*, remplit la matrice d'ambisonie et les fonctions *setDirectLevel* et *setTransfoInput* définissent les valeurs globales de dosage entre le gain d'entrée de son directe de l'instrument acoustique et du traitement numérique.

```

function seq0() {
  allReset();
  bass2oct0 = new Bass2octava(0);
  hcymbal0 = new Highcymbal(4);
  dgliss0 = new Downglissando(6);
  timb0 = new Timbales(9);
  quintu0 = new Quinteup(13);
  ClasseTest0 = new ClasseTest(0);
  setGlobalParameters(1, 100, 1, 30);
  setFreqShift(1);
  setCloseEnvTrigger();
  setTransfoInput(0);
  setProcessedLevel(122);
  setDirectLevel(110);
  setSpat(0);
  setFirstOnset(0);
  state = 0;
  nextState();
}

```

Le paradigme orienté objet chez Bonardi soulève un grand potentiel compositionnel fondé notamment sur les piliers théoriques d'Horacio Vaggione. Malgré de nombreuses approches théoriques mentionnant ces principes, l'approche de Bonardi est l'une des plus fidèles à la composition orientée objet-opératoire dans le cadre d'une pièce mixte temps-réel. En plus des fonctionnalités orientées objet inhérentes au langage JavaScript, les propriétés de ce paradigme sont toujours sous-entendues dans tout le processus du compositeur. La notion d'héritage, au sens large et implicite, est présent entre les variations des séquences. Par exemple, la séquence 3, qui est une variation de la séquence 0, hérite ses attributs et fonctions en adaptant les mêmes classes-instruments dans un nouveau contexte. Cela confirme que l'approche compositionnelle de Vaggione n'est ni poétique ni métaphorique. La composition orientée objet-opératoire s'ordonne directement sur les matériaux musicaux et le rendu sonore lui-même.

Malgré l'apparente complexité de l'approche orientée objet chez Bonardi, la méthode reste assez claire. Après une lecture détaillée des codes JavaScript et du patch, ainsi que des publications du compositeur-chercheur, il est aisément possible de comprendre sa démarche. Il s'agit d'un travail en constant développement, puisque dans les pièces ultérieures, notamment *Fil de Soi* 1 et 2 (pour guitare et électronique en temps-réel), le même environnement est exploité en développant de nouvelles fonctionnalités, comme l'association de plusieurs méta-classes en les reliant les unes aux autres. Pour la

composition de nos pièces *Tyqué* et *Taurus*, le potentiel compositionnel de cette approche nous a tout de suite motivé à intégrer des fonctions de contrôle pseudo-aléatoire, comme dans *Aphorismes* et *La Philosophie du temps*, pour la génération de singularités complexes et singulières.

Certes, la vectorisation commune est assurée par la fusion morphologique entre l'instrument acoustique et l'électronique, mais cet environnement permet de corrélérer l'écriture instrumentale avec le fonctionnement du réseau numérique. Par exemple, dans *Pianotronics 3* (mais aussi dans *Fil de Soi 1* et *2*, pièces ultérieures du compositeur), le rythme de l'écriture instrumentale est reproduit par l'électronique avec l'agencement des paramètres de délai. De ce fait, le traitement numérique sert à la fois à générer des morphologies singulières, dans une approche micro-temporelle, et à créer des structures rythmiques méso-temporelles qui assurent ainsi la convergence de la mixité. L'approche multi-échelle temporelle est donc au cœur de cette démarche créative.

Pour la composition des objets logiciels, le codage du module FAUST *harmonizer* est l'un des piliers de cette approche. En fait, le compositeur a développé ce module au sein d'une approche partagée analytique et créative. Bonardi a réalisé en 2011 la modélisation du patch de *En Echo* (1993-1993) de Philippe Manoury dans le cadre du projet ANR ASTREE. Comme résultat de ce travail, une nouvelle version du patch avec les modules d'*harmonizer* (ainsi que la virtualisation et modélisation d'autres objets) en FAUST a été jouée en concert. Le savoir-faire acquis pour l'analyse d'une pièce du répertoire a été ainsi déterminant pour la réussite d'une approche compositionnelle créative, sans pour autant perdre l'originalité du compositeur-analyste. Dans ce sens, Bonardi n'a pas défini des hypothèses *a priori* pour le rapport entre analyse et création. La modélisation de l'*harmonizer* dans *En Echo* n'a pas été réalisée afin de composer *Pianotronics 3*, mais cette appropriation a plutôt eu lieu dans un contexte commun entre l'analyse et la composition, le concert étant le principal contexte collaboratif. D'ailleurs, l'une des justifications et avantages de l'usage du langage FAUST est aussi commune à l'analyse et la composition, car les codes génériques contribuent à l'archivage, la pérennité, la transmission et le portage sur de futures plateformes d'*En Echo* et aussi de *Pianotronics 3*.

Cette approche polyvalente rejoint ainsi notre démarche à la fois analytique et créative. Le schéma ci-dessous (Figure 74, présenté par nous et par Bonardi lors du colloque en hommage à Jean-Claude Risset⁷⁵¹) permet d'éclairer notre point de vue commun. C'est ce système commun tourné vers *le faire musical*, partagé entre l'analyse, la modélisation et la composition qui se place au centre de notre activité.

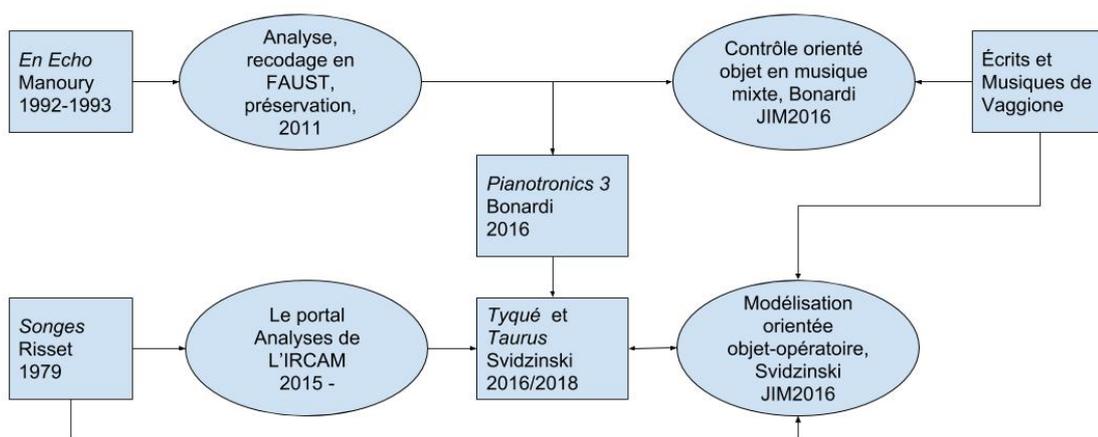


Figure 74 Schéma de notre activité de modélisation et composition dans un contexte commun.

7.2.2. *Taurus*⁷⁵²

Taurus pour saxophone et électronique temps-réel est l'exemple de composition qui nous a accompagné au cours de presque toute cette recherche doctorale. Elle est aussi le fruit d'une collaboration longue et profonde entre le saxophoniste Pedro Bittencourt et nous. Le processus de composition de *Taurus* suit alors les principes de l'interprétation participative. Cette pièce fut composée dans le cadre du projet « Circulation de dispositifs numériques et mixtes en recherche et création, pour un axe franco-brésilien dans un réseau inter-universitaire international » soutenu par la MSH PN et coordonnée par Anne Sèdes. Une première version a été composée en 2015 pour le concert « Musique

⁷⁵¹ Rencontres internationales du Collegium Musicae Jean-Claude Risset Interdisciplinarités. Paris, IRCAM. 2-3 mai 2018. <http://collegium.musicae.sorbonne-universites.fr/archives/recontres-internationales-du-collegium-musicae-jean-claude-risset-interdisciplinarites.html> [lien vérifié le 28 juin 2018].

⁷⁵² Voir partition et enregistrement : F Annexe : 3.3 Taurus

mixtes pour le saxophone » avec Bittencourt comme saxophoniste. Après de longues discussions, modifications et échanges entre nous, le saxophoniste et les autres chercheurs de notre entourage, notamment les compositeurs Horacio Vaggione et Alain Bonardi, nous avons complètement recomposé la pièce, y compris le patch et la partition instrumentale, pour une nouvelle version dont la première a eu lieu le 27 septembre 2018 dans le cadre du projet « La dynamique de l'œuvre musicale dans le contexte de la pratique numérique » organisé par nous. Lors de ce même concert qui a eu lieu la création française de *Shifting Mirrors* d'Horacio Vaggione. La deuxième version de *Taurus* a été également jouée lors du festival MusicAcoustica, en Chine, octobre 2017.

La première version de *Taurus* avait comme principe le même modèle des pièces composées la même année, *Aphorismes* et *La Philosophie du temps*. Nous avons repris les patches Max et OpenMusic de ces pièces pour la composition de *Taurus*. L'annexe de la thèse de Bittencourt a été également elle aussi. Pour cette première version, les exemples musicaux dégagés de cette recherche nous ont nourri et nous ont fourni des matériaux exploitables dans notre pièce, y compris les échantillons sonores, et l'étude réalisée par le compositeur Nicolas Mondon dans sa pièce *San* (2007) pour saxophone alto et électronique. Lors de la collaboration entre ce compositeur et Bittencourt, une longue recherche sonore a été réalisée afin de développer une sonorité singulière de cet instrument. Les sonorités, comme les « sons voyous » – des harmoniques assez aigus qui font émerger des sonorités qui apparaissent et disparaissent sans se laisser contrôler entièrement⁷⁵³ – ont été développés à cette occasion. Pour la composition de *San*, plusieurs essais de génération de sons harmoniques aigus ont donc été réalisés par Mondon et Bittencourt. Cette expérience a permis un travail assez complet par rapport à cette sonorité, qui est disponible dans la thèse du saxophoniste. La même classe sonore, c'est-à-dire hybrides au saxophone mélangeant bruits de clés, souffle et harmoniques aigus, ont été exploités pour la composition de *Plexus* (2009) d'Arturo Fuentes, mais au saxophone ténor. La sonorité de ces pièces nous a donné envie de continuer nos recherches compositionnelles dans la même perspective.

⁷⁵³ BITTENCOURT, Pedro, *op. cit.*, 2015, p.180.

Pour la partie électroacoustique, en revanche, en reprenant le patch de nos pièces antérieures nous avons pris le risque d’avoir deux environnements pas nécessairement compatibles, c’est-à-dire que les sonorités de *San* et *Plexus* ne réagissaient pas naturellement bien avec les patches d’autres pièces. En fait, pour la composition de *Taurus* nous avons généré des objets sonores avec le même patch qu’*Aphorismes*. Parallèlement, pour la composition de la partition instrumentale, nous avons procédé selon une méthode similaire à celle de *La Philosophie du temps*, c’est-à-dire par l’usage d’un patch OpenMusic pour créer des extraits de partitions qui ensuite sont rassemblés. Ce deux perspectives – l’appropriation de la sonorité de *San* et *Plexus* et la génération de partition par OpenMusic – ont créé deux classes sonores assez distinctes. La figure ci-dessous (Figure 75) montre bien cette discordance. La ligne du haut correspond au début de la pièce, avec une sonorité statique proche de *San* et *Plexus* ; la ligne du bas (à partir de la mesure 117 de cette version), en revanche, correspond à la génération avec OpenMusic. À l’écoute, ces deux sonorités ne se sont pas avérées cohérentes. Par conséquent, la macrostructure de la pièce n’était pas « harmonisée ».

The figure shows two musical staves for Saxophone alto. The top staff begins with a series of notes marked 's.s.' (static sound) and dynamic markings: *ppp*, *p*, *ppp*, *f*, *ppp*, *mp*, and *p*. The bottom staff starts at measure 117, marked 'subtone.' and 'ord.', with dynamic markings: *< f*, *p*, *mp < f > mp*, *mf < f*, *mf < sffz*, and *p*. The notation includes various articulations and fingerings.

Figure 75 Deux extraits de la première version de la partition de *Taurus*.

De plus, la sonorité de la première partie de la pièce a bien réagi avec le patch Max, alors que la convergence acoustique et électronique dans la deuxième partie a accentué la disparité entre les deux sonorités.

Pour la première version de la pièce, nous nous sommes confronté à une autre difficulté concernant la limitation du temps de répétition. Nous nous sommes rendu compte des remarques mentionnées ci-dessus lors de la première répétition avec le

saxophoniste, c'est-à-dire à peine quelques jours avant le concert. Il était donc impossible de réaliser des modifications radicales dans la partition et dans le patch. Cette réalité confirme une condition de travail assez commune pour la pratique musicale de concert actuelle. Les concerts sont souvent programmés en prévoyant peu de temps de répétition, en limitant les échanges avec l'instrumentiste et le travail en amont selon la boucle *feedback action/perception*. Pour la nouvelle version, nous avons proposé un travail participatif à long terme en priorisant l'échange et l'expérimentation.

La première étape pour la recomposition de *Taurus* a été l'analyse plus en détail des matériaux de la partition instrumentale. Les sonorités issues des pièces *San* et *Plexus* mettaient en valeur l'aspect irrégulier et instable. Pour les « sons voyous » et certains harmoniques, le saxophoniste réalise des commandes des doigtés et de l'embouchure pour une sonorité donnée ; cependant le résultat sonore n'était pas toujours prévisible, des sons parasites, ainsi que des partiels irréguliers se rejoignaient et s'éloignaient à la fois au cours de l'exécution de ces techniques. Nous avons également constaté, par la suite de notre recherche que ce comportement est également présent dans plusieurs multiphoniques. Nous avons donc choisi la dernière partie de la partition de la première version de *Taurus* (Figure 76) comme point de départ pour la nouvelle version. Il s'agit des « sons voyous », c'est-à-dire des sons harmoniques avec la fondamentale légèrement sonore, avec des légers glissandi.

Figure 76 Extrait de la dernière partie de la première version de la partition instrumentale de *Taurus*.

Pour l'exécutions de cette sonorité, Bittencourt nous a suggéré d'utiliser le saxophone ténor, car cet instrument est plus adapté à cette technique. La toute première modification pour la deuxième version de *Taurus* est issue d'un *feedback* avec l'instrumentiste, cela atteste l'importance de l'approche participative dans notre travail.

À la même époque, pour la première fois, nous avons pris contact avec les codes de *Pianotronics 3*, ce qui nous a donné envie d'utiliser l'électronique en couplage avec un système de contrôle de fonctions aléatoires pour mettre en valeur le caractère instable des sonorités choisies du saxophone.

Après plusieurs séances de travail et plusieurs esquisses de patch, nous avons développé le patch ci-dessous pour la création de la deuxième version (Figure 77). Contrairement à la première version, le patch fonctionne entièrement en temps réel, sans aucune partie préenregistrée.

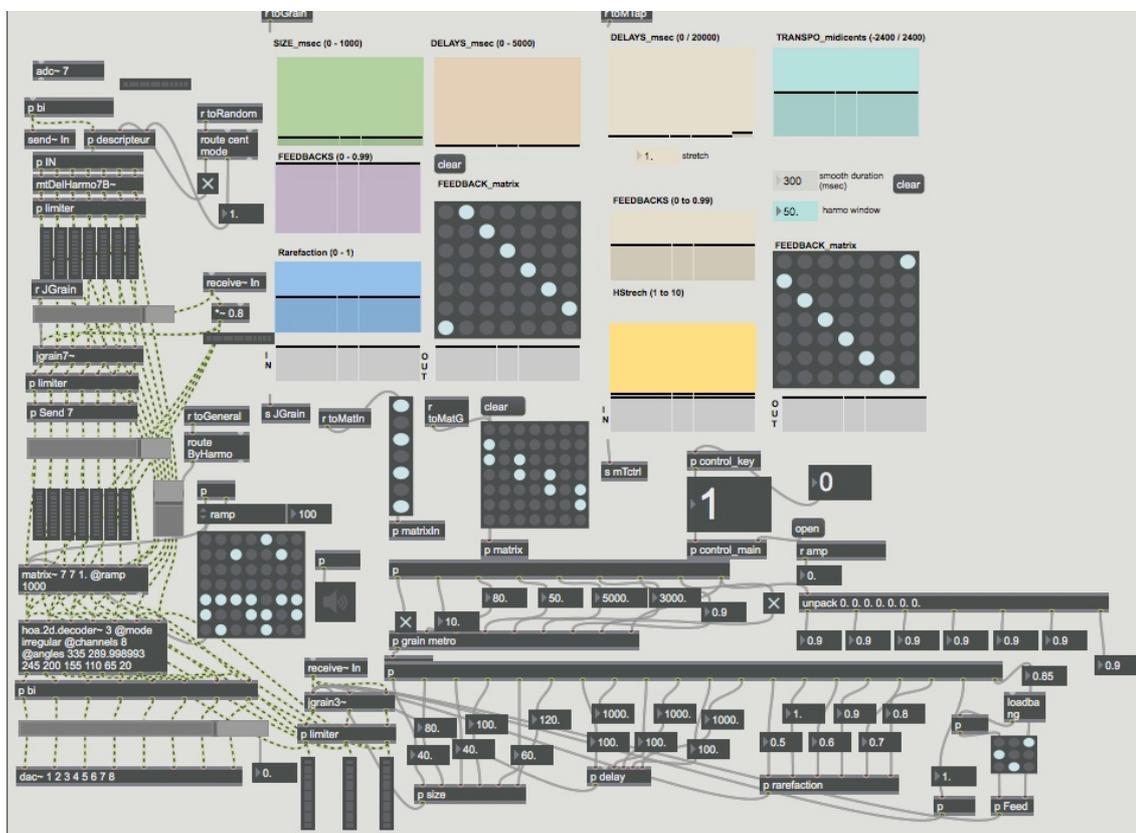


Figure 77 Patch de concert de la deuxième version de *Taurus*.

La même abstraction en JavaScript du module FAUST réalisée par Bonardi dans *Pianotronics 3* se trouve en haut à droite du patch. Cependant, dans *Taurus*, ce module comporte seulement sept unités. À gauche de cette abstraction, se trouve l'objet de

contrôle graphique du module de synthèse granulaire quasi-synchrone codé par nous⁷⁵⁴. Il s'agit d'un objet similaire à *l'harmonizer*, ayant le même principe de réinjection matricielle. En effet, le module *d'harmonizer* est relié en série à celui de granulation. Les deux objets FAUST compilés se trouvent à gauche, sous forme de chaîne DSP : le chemin suivi par les signaux est donc visible. Pour les deux modules de traitement numérique, une matrice de réinjection indépendante est manipulable. Dans notre approche, nous avons ajouté une autre matrice afin de réinjecter les signaux de sortie de toute la chaîne vers l'entrée. Trois niveaux de réinjection sont donc opérables, deux entre chacun des modules et un entre tout le système. Deux autres matrices sont ajoutées au système, une pour le contrôle en ambisonie (similaire à celle à la méthode de *Pianotronics 3*) et l'autre pour gérer les entrées, c'est-à-dire l'assignation des entrées des modules qui seront nourris par le son du saxophone. Le réseau opératoire de *Taurus* correspond donc à celui-ci de la figure ci-dessous (Figure 78). Nous avons omis dans le schéma une méthode de *bypass*, c'est-à-dire, une méthode qui permet d'envoyer les signaux de sortie de *l'harmonizer* directement à la matrice en ambisonie, sans être traités par le granulateur.

⁷⁵⁴ Voir code FAUST complet : F Annexe : 2.5. Granulateur matriciel

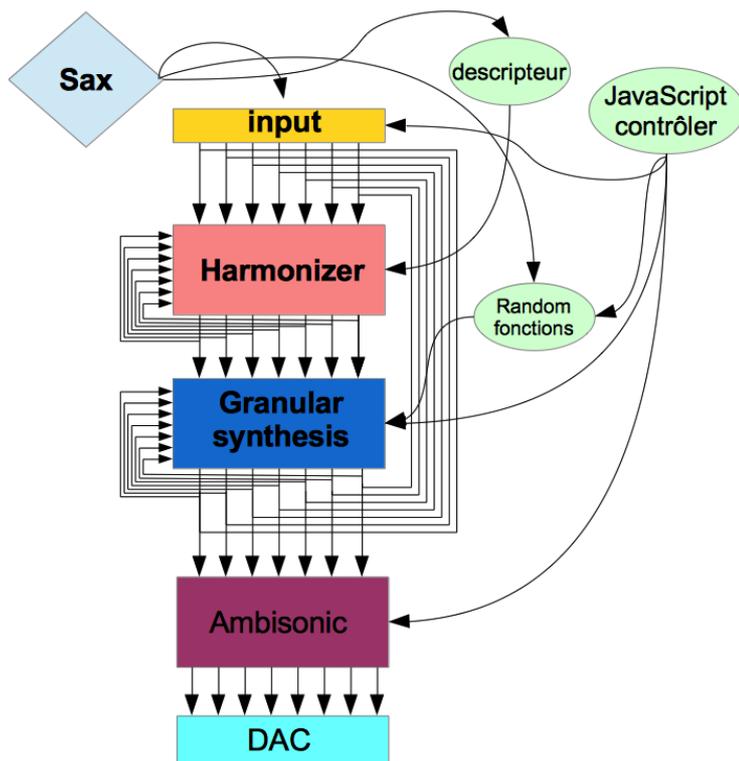


Figure 78 Réseau opératoire de *Taurus*.

Parallèlement aux modules de traitement numérique en FAUST en chaîne, l'*harmonizer* et le granulateur, nous avons ajouté un deuxième granulateur comportant trois unités. Celui-ci a été généré avec le même code que le granulateur principal, mais avec un nombre différent de canaux. Ce module est nourri directement par le signal d'entrée de l'instrument puis est envoyé directement à la matrice d'ambisonie. Cet ajout s'est avéré nécessaire car lors des premières séances de répétition, il manquait une cohérence morphologique entre le son acoustique de l'instrument et le module de traitement. Autrement dit, le rendu traité possédait des traces morphologiques distantes du son direct, il fallait alors ajouter ce deuxième granulateur pour assurer une liaison entre ces deux catégories. Le schéma ci-dessus n'affiche pas un module de granulation ajouté au dernier moment, car cette modification a eu lieu à peine quelques jours avant le concert.

Pour le contrôle des paramètres de deux modules en chaîne, l'*harmonizer* et le granulateur, trois approches sont possibles : la définition directe d'un paramètre, la

génération pseudo-aléatoire des paramètres et le contrôle par *mapping* de valeur piloté par un descripteur audio et un suiveur d'enveloppe d'amplitude. Ces trois possibilités sont contrôlables par un script orienté objet.

Le descripteur audio est une abstraction de la bibliothèque *Zsa.Descriptors*⁷⁵⁵ avec l'objet *zsa.freqpeak~* qui extrait les valeurs de fréquence et l'amplitude de chaque partiel du signal analysé. Cette méthode est très utile pour le contrôle de paramètres du module *harmonizer*. Par exemple, les valeurs obtenues avec le descripteur sont mises à l'échelle avec la fondamentale comme référence : si la fondamentale est 200Hz et le premier partiel est 400Hz, après le *mapping*, les paramètres envoyés vers *l'harmonizer* seront 0 pour la première unité (pas de transposition) et 1200 midicents pour la deuxième unité (une octave au-dessus du premier partiel) et ainsi successivement pour les autres unités. Le comportement du traitement numérique dépend ainsi entièrement de la qualité du signal de l'instrument acoustique. Cette méthode s'est avérée très efficace pour la composition de *Taurus* grâce au potentiel de réaction de ce système à des sonorités chaotiques. Comme la nature sonore du saxophone était essentiellement instable – des « sons voyous », harmoniques et multiphoniques – le descripteur est capable d'avoir une précision analytique du signal généré par le saxophone afin que le système numérique traite ce signal avec une cohérence inhérente à la sonorité elle-même.

Pour le contrôle des paramètres du module de granulation, un système assez similaire à ceux utilisés pour *Aphorismes* et *Les âmes remerciées* a été codé. Il s'agit d'un générateur de valeurs aléatoires, avec un contrôle de fréquence (c'est-à-dire, combien de valeurs aléatoires sont générées par seconde) mis à l'échelle sur une plage de valeurs (c'est-à-dire, deux valeurs, une minimale et une autre maximale). Avec le contrôle de ces trois paramètres, il est possible de générer une myriade de comportements du module. Par exemple, si les valeurs maximale et minimale sont les mêmes, la valeur générée sera toujours la même, alors que si l'écart entre les deux valeurs est grand, le caractère aléatoire sera accentué. Une autre alternative pour le pilotage de plage de valeur est de le relier au suiveur d'enveloppe d'amplitude. Dans ce cas, les valeurs paramétriques sont essentiellement liées aux gestes instrumentaux. À l'instar de la méthode de composition

⁷⁵⁵ <http://www.e--j.com/index.php/download-zsa/> [lien vérifié le 28 juin 2018].

numérique d'Agostino Di Scipio, les signaux sont amorcés par des filtres passe-haut avec une fréquence de 1Hz. Dans nos pièces, nous avons mis des nombres différents de filtres en série pour chaque unité du module. Les signaux de contrôle sont ainsi amorcés avec des « vitesses » distinctes pour chaque canal. Le contrôle aléatoire génère aussi des valeurs différentes pour chaque unité, car le générateur est individuel pour chacun des canaux.

La syntaxe de contrôle du script est alors fondée sur des fonctions globales qui ont des conséquences locales distinctes. Cela contribue à ce que le rendu sonore soit généré par plusieurs couches, créant ainsi des polyphonies à la fois complexes tout en gardant une cohérence avec le jeu instrumental. Le principe de la réinjection matricielle à plusieurs niveaux renforce cette caractéristique, car en renvoyant les signaux de sortie des modules à différentes unités le rendu est riche des couches et sous-couches émergentes générées par le biais de multiples niveaux de traitement. Les méthodes pour la définition des matrices de réinjection suivent une approche essai-erreur en tenant compte de la densité de la texture générée. Si un signal est réinjecté à plusieurs unités, le rendu sera forcément plus dense, de plus cela accentuera le risque de saturation en causant des distorsions sonores. Dans tous les cas, un signal n'est jamais réinjecté à l'entrée de la propre unité, cela cause assurément des effets secondaires comme le filtrage en peigne. La sonorité « métallique » de cet effet n'était pas désirée dans notre approche compositionnelle.

Le code ci-dessous exemplifie l'une des classes JavaScript de *Taurus*. La fonction *Random*, contrôle le générateur aléatoire des paramètres de la granulation. Ces arguments définissent les valeurs : index de pilotage pour chaque paramètre (1 si ce module est contrôlé par le générateur aléatoire, 0 s'il est contrôlé par le suiveur d'amplitude) ; fréquence de génération en millisecondes ; valeur minimale de la taille de grain ; valeur maximale de la taille de grain, valeur minimale de délai ; valeur maximale de délai ; index de définition de nature de plage de valeurs (si l'argument est 1, la fonction *setRmax* définit des valeurs maximale de raréfaction individuelle pour chaque unité ; si l'argument vaut 0, c'est la valeur qui est définie dans la fonction *Random*). Les fonctions *H_setInp*, *H_setOut*, *H_setDuration*, *setHStretch*, *setFd*, *setGlobalParameters* définissent les paramètres de *l'harmonizer* (les valeurs de transpositions sont définies par le descripteur

audio, la fonction *mode* définit l'index de multiplicateur pour le *mapping*). Les fonctions *G_setInp*, *G_setOut* définissent les paramètres du granulateur (les autres sont définis par le générateur aléatoire). Les matrices de réinjection sont définies par les fonctions *G_matrix* (pour le granulateur), *H_matrix* (pour *l'harmoniseur*) et *F_mFdMat* (pour la matrice générale). La matrice d'ambisonie est définie par la fonction *Spat1*. La valeur de *bypass*, c'est-à-dire la quantité de signal qui passe directement de *l'harmonizer* vers l'ambisonie (sans passer par le granulateur), est définie par *setByHarmo*.

```

var Primeiro = function() {

    Random(1, 1, 10, 50, 80, 3000, 5000, 1, 0);
    In_setMatrix(1, 0, 1, 0, 1, 0, 1);
    mode(4);
    H_setDuration(0, 100, 500, 800, 1000, 3000, 4000, 5000);
    setFd(0.5);
    H_setInp(1); H_setOut(1); G_setInp(1); G_setOut(1);
    setHStretch(1);
    setGlobalParameters(1, 300, 50);
    setFdx(0.99);
    G_setInp(1);
    G_setOut(1);
    setRmax(0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5);
    Grain2B();
    setByHarmo(0.15);
    S_setRamp(100);
    Spat1A();
    G_matrix1();
    H_matrix2();
    F_mFdMat(0, 1, 1); F_mFdMat(0, 2, 1); F_mFdMat(0, 3, 1);
    F_mFdMat(0, 4, 1); F_mFdMat(0, 5, 1); F_mFdMat(0, 6, 1);

    displayAll();
    post("_____Classe :", "harmony1", "\n");
}

```

La classe ci-dessus est la plus utilisée dans la pièce. Elle est instanciée surtout dans la première partie de la pièce et à la fin. La partition ci-dessous (Figure 79) montre les dix premiers événements de *Taurus* et en bas les codes respectifs JavaScript de ce passage.

Figure 79 shows the first ten events of the piece 'Taurus' for Saxophone ténor. The score is divided into ten numbered sections (1-10) across three staves. Section 1 starts with a tempo of 92 and a note duration of 2.6 seconds. The dynamics range from *sfff* to *ppp*, with a note marked 'éolien' and 'note'. Sections 2-10 feature various dynamics (*p*, *f*, *ppp*) and glissandi. A note in section 2 is marked '8ve' and 'avec fondamental légèrement sonore'.

Figure 79 Premiers dix événements de *Taurus*.

Taurus commence avec l’instanciation de la classe *Jet1*. Il s’agit d’une classe où presque toutes les valeurs, de granulation et de l’*harmonizer*, sont en association avec le jeu de l’instrument. Pour cela, le système de contrôle est essentiellement lié au suiveur d’enveloppe d’amplitude. À ce moment-là, le saxophone joue un coup de son éolien (sans note définie) de sforzando très fort vers le pianissimo. Cette morphologie génère des données qui réagissent de façon optimale avec le système de contrôle numérique, car les paramètres seront directement liés à l’énergie du geste, au moment où l’écriture instrumentale dégage un rendu riche de dynamisme énergétique. À la suite de ce passage, la sonorité de la première partie de cette pièce est reprise, avec les « sons voyous » avec des légers glissandi, à ce moment la classe décrite ci-dessus est instanciée dans la *cue* 2. Les valeurs de délai de l’*harmonizer* sont relativement grandes, allant jusqu’à trois secondes pour la dernière unité. Ces arguments, liés aux matrices de réinjection, rendent une sonorité assez particulière, car avec les glissandi, les micro variations décalées entre les différentes unités génèrent de brefs battements⁷⁵⁶.

⁷⁵⁶ Cet effet est similaire à celui de *NoaNoa* (1992) pour flûte et électronique de Kaija Saariaho (voir l’analyse de cette pièce réalisée par Grégoire Lorieux dans <http://brahms.ircam.fr/analyses/noanoa/>). [lien vérifié le 28 juin 2018].

```

//-----//
//SEQUENCE 0
//-----//
function seq0() {

    allReset();
    post("open", "\n");

}
//-----//
//SEQUENCE 1
//-----//

function seq1() {

    post("start", "\n");
    ob1 = new Jet1();
    In_setMatrix(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1);
    setRmax(0.9, 0.9, 0.9, 0.9, 0.9, 0.9, 0.9);

}
//-----//
//SEQUENCE 2
//-----//
function seq2() {

    post("Sequencia 2", "\n");
    harmo1 = new Primeiro();
    In_setMatrix(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1);
    H_setDuration(0, 100, 300, 500, 800, 1000, 2000, 3000);

}

function seq3() {
    post("Sequencia 3", "\n");
    harmo1.spat2();

}

function seq4() {
    post("Sequencia 4", "\n");
    mode(2);

}

function seq5() {
    post("Sequencia 5", "\n");
    H_setHStretch(1, 1, 2, 3, 3, 4, 5);
    displayAll();
    H_setDuration(0, 50, 3000, 500, 300, 500, 2000, 100);
}

```

```

function seq6() {
    post("Sequencia 6", "\n");
    harmo1.spat2();
    S_matrixE(0);
    setGlobalParameters(1, 500, 50);
    H_setDuration(200, 50, 0, 500, 0, 500, 2000, 100);
}
function seq7() {
    post("Sequencia 7", "\n");
    In_setMatrix(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1);
    Random(1, 1, 10, 40, 60, 4000, 5000, 1, 0);
    S_setRamp(1000);
    mode(1);
    harmo1.spat1();
    H_setHStretch(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7);
    H_setDuration(0, 50, 0, 100, 0, 800, 2000, 500);
    displayAll();
}

function seq8() {
    post("Sequencia 8", "\n");
    harmo1.spat2();
    H_setHStretch(1, 2, 3, 4, 6, 8, 10);
    H_setDuration(0, 200, 50, 0, 1000, 800, 300, 500);
    displayAll();
}
function seq9() {
    post("Sequencia 09", "\n");
    Random(1, 1, 10, 30, 50, 5000, 5000, 1, 1);
    harmo1.spat3();
    H_setHStretch(1, 2, 3, 4, 6, 8, 10);
    H_setDuration(0, 100, 300, 500, 800, 1000, 2000, 3000);
    setGlobalParameters(3, 500, 50);
    displayAll();
}
//-----//
//SEQUENCE 10
//-----//
function seq10() {
    post("Sequencia 10", "\n");

    harmo1 = new Primeiro();
    Random(1, 1, 100, 100, 200, 3000, 8000, 1, 0);
    In_setMatrix(1, 1, 1, 0, 1, 1, 0);
    F_mFdMat(0, 5, 1); F_mFdMat(0, 6, 1); F_mFdMat(4, 2, 1); F_mFdMat(4, 3, 1);
    setGlobalParameters(5, 500, 50);

    Spat4A();
    Grain2B();

    displayAll();
}

```

Des fonctions prototypes et des modifications de fonctions, au cours des événements 2 à 8, changent essentiellement la matrice d'ambisonie (pour générer des variations dans l'espace), les valeurs de délai (afin d'avoir un contrôle dynamique) et les valeurs minimale et maximale des paramètres de granulation. Ainsi, comme dans *Pianotronics 3*, une notion au sens large d'héritage est sous-entendue dans cette méthode. Même si cette propriété n'est pas réalisée selon les « normes » de la syntaxe JavaScript, les variations d'un même objet présument que les traces caractéristiques de l'objet sont conservées à chaque événement, même en changeant des fonctions ponctuelles. Par exemple, à la *cue* 10, le même objet qu'à l'événement 2 est instancié. Cependant, les fonctions *Random setGlobalParameters*, ainsi que les fonctions de remplissage de matrices, génèrent un rendu différent de la *cue*, tout en gardant les mêmes traces que l'objet père. Par la suite, l'instanciation d'une même classe facilite aussi les répétitions, car il suffit d'appeler la fonction *seq10* pour générer toutes les fonctions relatives à cet événement. Pour avoir le même résultat avec une syntaxe séquentielle du type *cue-list*, il fallait envoyer successivement tous les paramètres les uns après les autres. Cette méthode impose souvent que l'opérateur du patch revienne à une *cue* antérieure, ralentissant ainsi le déroulement de la répétition.

Une deuxième catégorie de classe est instanciée dans la partie intermédiaire de *Taurus*. Lors de nos échanges avec le saxophoniste, nous avons catalogué de nombreux multiphoniques ayant une sonorité instable. L'une des stratégies de convergence entre l'instrument acoustique et l'électronique était de reproduire les données fréquentielles des multiphoniques avec l'*harmonizer*. Nous avons donc créé des classes avec des paramètres de ce module qui ne sont pas liées au descripteur audio, mais qui génèrent plutôt des valeurs strictes avec la fonction *H_setTransposition*. La classe ci-dessous *k16* correspond au multiphonique selon la classification réalisée par le saxophoniste Daniel Kientzy.

```

var k16 = function() {

    In_setMatrix(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1);
        H_setTransposition(30, 0.2*(130), 0.2*(2150), -30, 0.2*(1300), 0.2*(2150),
            50, 0.2*(2150));
    mode(0);

    H_setDuration(0, 150, 200, 250, 300, 1000, 2500, 3000);
    Random(0, 0, 1, 200, 50, 500, 5000, 0.8, 0);
    G_setSize(100, 90, 80, 70, 60, 50, 40);
    setDel(3000);
    setRare(0.9);
    setFd(0.5);
    H_setInp(1); H_setOut(1); G_setInp(1); G_setOut(1);
    setHStretch(1);
    setGlobalParameters(1, 300, 30);
    setFdx(0.99);

    setRmax(0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5);

    setByHarmo(0.15);
    S_setRamp(1000);
    Spat3A();

    Kmatrix();

    displayAll();
    post("_____Classe :", "k16", "\n");

}

```

Les fonctions prototypes de cette classe, dans le code ci-dessous, modifient les paramètres d'appel de la fonction *H_setTransposition* ayant différents multiphoniques comme modèle. Par exemple, dans le passage entre les *cues* 17 et 20 (Figure 80), plusieurs classes sont instanciées, (voir le code JavaScript ci-dessous). Lorsque le saxophone joue le multiphonique à l'événement 17, la classe *k16* est instanciée avec la fonction *k16.prototype.k63*. Ensuite, à l'événement suivant, la morphologie rendue par le saxophone, avec un son harmonique et des variations d'instances, rappelle le début de la pièce. La classe *Jet1* est donc instanciée.

```

k16.prototype.k16b = function () {
H_setTransposition(50, 1300, 2150, -50, 1300, 2150, 30, 2150);
}
k16.prototype.k63 = function () {
H_setTransposition(50, 0.3*(400), 0.3*(-21), -100, 0.3*(-10), 0.3*(210), 0, 0.3*(210));
}
k16.prototype.k63b = function () {
H_setTransposition(50, 0.2*(1400), 0.2*(2100), -50, 0.2*(1400), 0.2*(2100), 55, 0.2*(210));
}
k16.prototype.k83 = function () {
H_setTransposition(50, 0.5*(1350), 0.5*(-25), -50, 0.5*(-135), 0.5*(200),0.5*(1350));
}

k16.prototype.k52 = function () {
H_setTransposition(80, 1950, 0.5*(-125), -80, 0.5*(-195), 1250, 0, 1950);
}
k16.prototype.k2852 = function () {
H_setTransposition(100, 1500, 0.5*(-210), 0.3*(1200), 0.5*(-210), 0.5*(120), 0.3*(-150),
2100);
}
k16.prototype.k98 = function () {
H_setTransposition(30, 1200, 2050, 0.3*(2550), 1200, 2050, 32, 0.3*(250));
}
}

```

Figure 80 Événement 17 à 20 de *Taurus*.

```

//-----//
//SEQUENCE 17
//-----//
function seq17() {
  post("Sequencia 17", "\n");
  Ob3 = new k16();
  //H_setTransposition(50, 14000, -21000, -50, -14000, 21000, 0, 21000); //Objet K63
  k16.prototype.k63();
}
function seq18() {
  post("Sequencia 18", "\n");
  //H_setTransposition(50, 14000, 21000, -50, 14000, 21000, 0, 21000); //Objet K6
  k16.prototype.k63b();
  H_setDuration(0, 10, 50, 500, 800, 600, 100, 200);
  setDel(5000);
  displayAll();
}
//-----//
//SEQUENCE 19
//-----//
function seq19() {
  post("Sequencia 19", "\n");
  Ob1 = new Jet1();
  Spat1A();
}
function seq20() {
  post("Sequencia 20", "\n");
  H_setDuration(0, 10, 50, 500, 800, 600, 100, 200);
  setRmax(0.8, 0.8, 0.8, 0.8, 0.8, 0.8, 0.8);
  Spat2B();
  displayAll();
}

```

Même si notre stratégie est fondée sur une cohérence « paramétrique » entre la sonorité du saxophone et les valeurs de transposition, à l'écoute, cet effet n'est pas aussi évident. Le dynamisme provoqué par les classes *Jet1* et *Primeiro* conditionne l'écoute à cette caractéristique morphologique, alors que le statisme de la classe *k16* gêne potentiellement les attentes inhérentes à la pièce. Nous n'avons cependant pas complètement abandonné cette méthode, mais toujours en ayant la précaution de garder un contrôle du granulateur lié au suiveur d'enveloppe, pour contrebalancer le statisme des fonctions *H_setTransposition*.

La méthode pour la composition de la macrostructure est plutôt fondée sur le contrôle des plages de valeur, la variation continue des matrices d'ambisonie et la variation des durées de délai qui peuvent générer des textures soit denses et soit

éparpillées. Le contrôle est donc essentiellement global, puisque les changements locaux sont dûs aux systèmes de contrôle sous-jacents (notamment le générateur aléatoire, le suiveur d'enveloppe d'amplitude et le descripteur audio).

Taurus est le point central de notre recherche doctorale. Sa composition a pris presque trois ans. Les questions soulevées au cours de son processus créatif comprennent quasiment toute la problématique de notre recherche, composition orientée objet-opératoire, pertinence d'une approche analytique-créative, développement d'une condition idéale et optimale pour le *faire musical numérique*. Toutefois, comme il s'agit de notre première approche pratique dans cette perspective, plusieurs questions ont été traitées « en force », dans la foulée de la genèse de la pièce. Le code JavaScript n'est pas optimal, ayant plusieurs redondances et des méthodes obscures. Cela est notamment dû à notre formation essentiellement musicale. Le codage était donc réalisé dans l'optique de résoudre des problèmes musicaux et non des problèmes inhérents au codage (surtout concernant la pérennité du code et sa réutilisation). Cependant, notre proposition de composition orientée objet-opératoire incite à effacer les frontières entre approche technique et compositionnelle, toute la problématique étant placée dans le même espace opératoire. Nous avons alors adopté une nouvelle attitude dans ce sens et l'étape suivante de notre approche compositionnelle révèle de nouvelles perspectives. Pour la composition de *Tyqué* (2016-2018) pour clarinette et électronique un environnement similaire à *Taurus* a été repris, avec les modules FAUST et le même système de contrôle JavaScript. L'expérience acquise dans *Taurus* a été fondamentale pour la composition de cette nouvelle pièce. Si *Taurus* est le témoignage de la construction de notre environnement de travail, *Tyqué* en est la consolidation.

7.2.3. *Tyqué*⁷⁵⁷

À l'instar de *Taurus*, *Tyqué* pour clarinette *si* b et électronique temps-réel, a été composée dans le cadre du projet « Circulation de dispositifs numériques et mixtes en recherche et création, pour un axe franco-brésilien-québécois dans un réseau inter-universitaire international ». Les similitudes entre les deux pièces ne s'arrêtent pas là. En plus du fait que ces pièces partent du même environnement numérique, les deux explorent des caractères instables dynamiques et pseudo-aléatoires. Cela se trouve évidemment au sein des méthodes numériques, ainsi que dans la nature idiomatique des jeux instrumentaux. Le titre de la pièce se réfère directement à cette qualité de la pièce, *Tyqué* est la divinité grecque de la fortune, du hasard. Le matériau sonore développé dans la pièce est donc riche en instabilité, comme les sons multiphoniques de la clarinette. L'électronique renforce ce caractère en laissant au hasard le contrôle de dimensions de la morphologie sonore, comme les paramètres des modules de traitement sonore numériques. La figure ci-dessous illustre ce caractère. Il s'agit d'un son multiphonique très instable. Le clarinettiste n'a pas de contrôle sur certaines fréquences résultantes (notées entre parenthèse sur la partition), même s'il ne s'agit pas d'une improvisation, l'écriture de critère de *Tyqué* explore donc des morphologies déterministes ayant des différences relatives aux conditions initiales dont le résultat est imprévisible à long terme. Ce comportement est l'un des paradigmes du chaos.



Figure 81 Exemple de multiphonique « chaotique » dans *Tyqué*.

Le processus de composition de *Tyqué* a eu lieu sur deux périodes. La première a eu lieu entre Montréal et Paris au premier semestre de 2016. La deuxième dans les trois

⁷⁵⁷ Voir partition et enregistrement : F Annexe : 3.3. *Tyqué*

premiers mois de 2018 pour la préparation de la recréation de la pièce dans le cadre du projet « Musique Mixte 2018 ».

Cette pièce est le résultat d'une collaboration entre la clarinettiste Camille Fauvet et nous. Elle était à l'époque étudiante de master à l'Université de Montréal. Les échanges compositeur-interprète ont commencé à l'hiver 2016 avec des séances de travail collaboratives pendant un mois. À la suite de la collaboration, la clarinettiste a continué à travailler sur l'interprétation, à Montréal, et nous à Paris. Lors de la création, en juin 2016 dans le cadre du concert « Musique Mixtes pour la Clarinette »⁷⁵⁸. La pièce a posé des problèmes concernant la convergence entre la source acoustique et électronique. En effet, nous avons eu des problèmes similaires à celui de *Taurus*, car la base de fonctionnement du système numérique a été le même que celui de la première version de la pièce pour saxophone. Pour la suite, un même environnement logiciel basé en Max avec des modules FAUST et JavaScript a été composé pour les deux pièces *Taurus* et *Tyqué*. Même si *Taurus* a été la première pièce « testée » avec ce système, son développement a eu lieu transversalement dans un espace composable commun aux deux pièces.

Contrairement à *Taurus*, la première étape de la composition consistait à échanger avec l'instrumentiste. Comme nous avons déjà une préférence pour les sonorités instables, lors des séances collaboratives, nous avons catalogué ensemble une dizaine de sons multiphoniques ayant cette caractéristique (curieusement la clarinettiste était à l'aise avec cette technique et l'appréciait). Ce catalogue est devenu le principal pilier pour la composition de la partie instrumentale. Afin de choisir un multiphonique « principal », c'est-à-dire, la sonorité clef de la pièce, le critère principal était le degré de difficulté d'exécution de la sonorité. Or, s'il s'agit d'une morphologie jouée à plusieurs reprises tout au cours de la pièce, il faudra qu'elle ne pose pas de difficultés à l'instrumentiste. De plus, pour cette morphologie principale, une sorte de flexibilité de jeu était souhaitable, c'est-à-dire une technique qui supporte une souplesse de différentes nuances et variations de sonorité sur la même morphologie. Avec ces critères, le multiphonique du début de la

⁷⁵⁸ La pièce *Tar* d'Horacio Vaggione fut jouée lors du même concert. Notre recherche autour de cette pièce vient de cette expérience.

pièce a été choisi (Figure 82). Les échanges avec l'instrumentiste ont été fondamentaux pour ce choix compositionnel.

The image shows a musical score for a Clarinette en Sib. It consists of two measures, labeled 1 and 2. Measure 1 starts with a tempo marking of quarter note = 100. The music features a series of eighth notes with slurs and accents, and some triplet markings. Dynamic markings include sf, mf, and f. Measure 2 continues with similar notation and dynamics. The composer's name, João Svidziski, is written at the end of the score.

Figure 82 Les deux premiers événements de *Tyqué*, avec le multiphonique « principal ».

Au début de la pièce, ce multiphonique est répété plusieurs fois avec une pulsation irrégulière (comme la nature spectrale de cette morphologie le suggère). En fait, le rythme de ce passage a été généré avec un algorithme simple. Il s'agit du même générateur pseudo-aléatoire de *Aphorismes*, puis recodé pour *Taurus*. Celui-ci fonctionne avec deux arguments, la fréquence de génération d'une valeur aléatoire de 0 à 100 et une valeur de seuil. À chaque fois que la valeur aléatoire dépasse ce seuil, un *bang* est déclenché, et par conséquent, joue cette morphologie. Des ajustements à la main ont été faits pour compenser la durée du son.

Contrairement à *Taurus*, l'électronique est hybride, c'est-à-dire, le système de traitement numérique fonctionne à la fois avec le traitement temps-réel du signal de l'instrument acoustique et des échantillons qui sont à leur tour traités par le même système. L'échantillon sonore est l'enregistrement d'une brève exécution du multiphonique ci-dessus (lors de nos séances avec Fauvet, nous avons enregistré une piste de plus de trois minutes de répétition de ce multiphonique afin de trouver la sonorité « parfaite »). Pour l'exécution de cet échantillon, trois échantillonneurs ont été codés en Max, chacun avec un générateur pseudo-aléatoire pour le déclenchement de l'échantillon et pour le contrôle de vitesse d'exécution (qui par conséquent modifie la fréquence audible de l'objet sonore). Pour le contrôle des échantillonneurs, trois fonctions ont été ajoutées dans le code JavaScript, ces fonctions contrôlent en effet le générateur pseudo-aléatoire qui déclenche à son tour les échantillons. Au début de la pièce (Figure 82), les arguments de ces fonctions ont été les mêmes que l'algorithme qui a généré la partition instrumentale. Le résultat de la mixité est un effet miroir entre les deux agents. Cela crée une image suggérant que l'électronique « répond » à la clarinette. Cependant, la réponse

n'est pas forcément exacte, peu à peu l'oreille se rend compte qu'il s'agit de deux sources qui agissent indépendamment tout en ayant le même principe fondateur. À la suite de ce passage, la texture est progressivement plus dense et la clarinette ajoute des morphologies différentes (des *slap-tong* et des glissandi des harmoniques) alors que l'électronique poursuit dans la même logique. Ensuite, l'électronique est complètement noyée dans la texture granulaire, grâce à un contrôle de taux d'envoi de l'échantillonneur vers les modules de traitement numérique. Ce « décalage » entre l'électronique et la clarinette (ils sont à la fois convergents et divergents) soutient l'effet perçu par l'écoute mentionné ci-dessus.

Le code JavaScript pour le contrôle orienté objet suit une logique assez similaire à celle de *Taurus*. Cependant, tout le fonctionnement de modules de traitement numérique est d'ordre global. C'est-à-dire que tous les paramètres sont générés par le descripteur audio, par le suiveur d'enveloppe d'amplitude et par le générateur aléatoire. Les fonctions *E1*, *E2* et *E3* contrôlent les trois échantillonneurs. Dans la classe ci-dessous, le premier échantillonneur joue avec la vitesse originale (les valeurs maximale et minimale sont égales à 2000), les autres échantillonneurs varient leur vitesse en enrichissant le dynamisme du rendu sonore. Cette méthode, modification de fréquence du générateur aléatoire avec changement de plage de valeurs, sera le pilier opératoire de la pièce. Or, ces deux contrôles, densité de la texture et changement fréquentiel, permettent la génération d'une grande palette morphologique.

En plus des modifications conditionnées par la nature de la pièce elle-même, la syntaxe JavaScript a été changée afin d'optimiser le code et faciliter l'usage et sa relecture lors de reprises ultérieures. Par exemple, une seule fonction *On* allume toutes les entrées de tous les modules en modifiant les valeurs de gain d'entrée à 1.

Les fonctions de remplissage de matrice *Imatrix*, *Fmatrix*, *Gmatrix*, *Hmatrix* et *Amatrix* font appel à des messages Max en dehors du code JavaScript. Ces messages stockent les données de chaque matrice. L'argument de chacune de ses fonctions correspond alors à une structure en syntaxe Max. Cette modification a été stimulée par une difficulté rencontrée lors de la composition de *Taurus*. Le stockage des données des matrices dans le code JavaScript consomme beaucoup d'espace et sa modification n'est pas pratique (il fallait changer les fonctions de chaque cellule de la matrice

individuellement). L'appel à des messages Max permet une meilleure lisibilité du code JavaScript et apporte une facilité pour l'approche en boucle *feedback action/perception*.

```
var Primeiro = function() {  
  
    On();  
    Imatrix(1); Fmatrix(1); Gmatrix(1); Hmatrix(2); Amatrix(1);  
  
    grain2(2);  
  
    by(50,1);  
    E1(150,20, 2000, 2000, 6);  
    E2(20,0, 1000, 2000, 4);  
    E3(30,0, 30, 40, 2);  
  
    mode(1);  
    RandMax(2400);  
    Random(1, 1, 500, 60, 100, 0000, 1000, 0.8, 0);  
    setRmin(0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5);  
  
    setGlobalParameters(1, 300, 50);  
    H_setHStretch(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1);  
    setFdx(0.5); setFd(0.5);  
  
    setByHarmo(0.3);  
    setRamp(2000);  
  
    displayAll();  
  
    post("_____ Classe :", "Primeiro", "\n");  
  
}
```

Dans tout le code de contrôle de *Tyqué*, seulement trois classes sont instanciées, dont deux sont quasiment similaires. Le code ci-dessous correspond à la classe de la partie intermédiaire de la pièce. En plus des modifications dans les matrices, les vitesses des échantillonneurs sont plus basses, générant des morphologies plus graves. La texture de ce passage est également moins dense grâce aux contrôles des générateurs pseudo-aléatoires et les paramètres de taux de réinjection (*setFdx* et *setFd*).

```

var grave = function() {

    On();
    Imatrix(2); Fmatrix(1); Gmatrix(5); Hmatrix(7); Amatrix(5);

    by(50, 0.2);
    E1(100,30, 5000, 10000, 7);
    E2(20,80, 1000, 2000, 7);
    E3(30,40, 30, 400, 1);

    grain2(2);

    mode(3);
    Random(1, 1, 500, 70, 100, 0000, 1000, 0.8, 0);

    H_setDuration(0, 10, 250, 500, 600, 450, 200, 150);
    setHStretch(1);
    setGlobalParameters(1, 300, 50);
    setFdx(0.5); setFd(0.3);

    setByHarmo(0.3);
    setRamp(3000);

    setRmin(0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5);

    displayAll();
    post("_____Classe :", "grave", "\n");
}

```

L'écriture instrumentale suit cette même méthode tout en gardant le caractère morphologique instable. À l'événement 19 (Figure 83), lorsque la classe ci-dessus est appelée, la clarinette change de caractère en ayant une pulsation moins dense et en ayant des durées plus longues pour chaque morphologie. Même lorsque les longues notes sont couvertes par l'électronique, il est important que le clarinettiste tienne la note sur toute la durée afin que le signal continue à nourrir le système numérique et surtout que le descripteur audio continue à générer des valeurs dynamiques.

The image shows a musical score for a clarinet part, labeled '51' at the beginning and '19' in a box above a specific measure. The score is written on a single staff with a treble clef. It features various dynamic markings: *ff*, *fff*, *mf*, *sff*, *ff*, *pp*, *mp*, *p*, *mp*, *pp*, *p*, *mp*, and *pp*. Performance instructions include 's.f. flz.', 'flz.', and 'ord.'. There are also triplets indicated by a '3' over a group of notes. Above the staff, there are three small diagrams showing rhythmic patterns of dots and lines, likely representing the digital signal processing or synthesis parameters mentioned in the text.

Figure 83 Événement 19 dans *Tyqué*.

Dans la dernière partie de la pièce, la classe du début est reprise, avec des fonctions qui modifient la densité rendue. À ce moment, la clarinette joue le multiphonique initial désintégré en faisant émerger de nouveaux comportements de la convergence électronique-acoustique.

Figure 84 Événement 35 de *Tyqué*.

Vers la fin de la pièce, à partir de la *cue* 42, la partition de la clarinette est générée selon une procédure similaire au début de la pièce, cependant la fréquence de génération aléatoire est plus haute, le rendu est ainsi plus dense. Cette écriture renforce le comportement du système numérique du passage. Afin de changer également les données du descripteur audio, la morphologie jouée par la clarinette est un son fondu, sonorité d'extrême richesse spectrale. La vectorisation commune avec la convergence « paramétrique » dans *Tyqué* est alors plus réussie que dans *Taurus*.

Figure 85 Événement 42 de *Tyqué*.

Dans la première phase de composition de notre environnement, nous avons prévu sept unités de modules de traitement numérique afin que chacun corresponde à un harmonique circulaire. Toutefois, lors de nos premiers essais, nous avons constaté que cette méthode compose un espace « mat ». Or, selon la théorie de l'ambisonie, les harmoniques d'ordre supérieur sont de plus en plus fins, c'est-à-dire que le champ sonore est de plus en plus rétréci, cela atténue progressivement le gain pour chaque unité. La matrice d'ambisonie est utile pour combler cette difficulté. Curieusement nous avons analysé au même moment dans *Pianotronics 3* que cette méthode était aussi utilisée. Le critère pour le remplissage de la matrice est purement fondé sur la boucle *feedback action/perception*, ce qui signifie que la matrice est définie au hasard. Ensuite, le résultat sonore est validé lors de séances au studio. Cette caractéristique impose des difficultés lors des répétitions des concerts, car cette méthode peut générer des résultats différents selon la configuration de la salle, par conséquent l'étude en studio et la réalisation dans la salle de concert ne sont pas toujours compatibles. Les modifications faites dans le script pour le remplissage de matrice entre le code de *Taurus* et *Tyqué* facilitent cette procédure. Une méthode qui s'est avérée très efficace est de générer deux matrices symétriques, c'est-à-dire, à partir d'une matrice, remplir une deuxième avec des valeurs inversées. L'alternance progressive (avec l'attribut *ramp* de l'objet Max *matrix~*, pour le contrôle du temps d'interpolation de deux valeurs) entre les matrices symétriques, au cours des événements, donne un effet dynamique de mouvement spatial. La densité texturale, concept clef de ces pièces, peut aussi être contrôlée par la matrice d'ambisonie, car plus la matrice est remplie, plus l'espace est immersif.

Cette méthode de composition de l'espace rejoint le principe qu'il s'agit d'une dimension morphologique composable. L'effet sonore de la répartition des unités sur plusieurs harmoniques est très semblable à la méthode de la décorrélation micro-temporelle, car les signaux sont diffus dans l'espace dans une perspective dissipative. Contrairement à la démarche de Vaggione, la matrice d'ambisonie est une méthode essentiellement algorithmique, c'est-à-dire qu'il s'agit d'une fonction, une ligne de code, qui réalise cette fonction, même si le remplissage consiste en une manipulation directe. Le manque de contrôle direct (en temps différé) de la matrice d'ambisonie peut rendre difficile la gestion d'annulation de phase. Pour tout ce réglage, la boucle *feedback*

action/perception est le seul critère d'évaluation. La session multipiste ci-dessous (Figure 86) montre comment l'espace est conçu comme une dimension morphologique. Chaque piste correspond à la sortie d'un module du patch Max. En haut, l'enregistrement du son direct de la clarinette qui joue le multiphonique principal de la pièce. Ensuite les pistes, les sept sorties de l'*harmonizer* (qui sont envoyées directement vers la matrice d'ambisonie avec la fonction *by*), les sept sorties du granulateur et les huit sorties qui correspondent aux signaux qui sont envoyés aux haut-parleurs. La décorrélation micro-temporelle (grâce aux valeurs de délai individuelles de chaque *harmonizer*) et le contrôle indépendant de chaque unité sont assez visibles surtout dans la sortie du granulateur. Le rôle de la méthode de réinjection matricielle est évident dans la texture granulaire de l'*harmonizer*, car il s'agit d'une morphologie générée par le granulateur et réinjectée par la matrice globale.

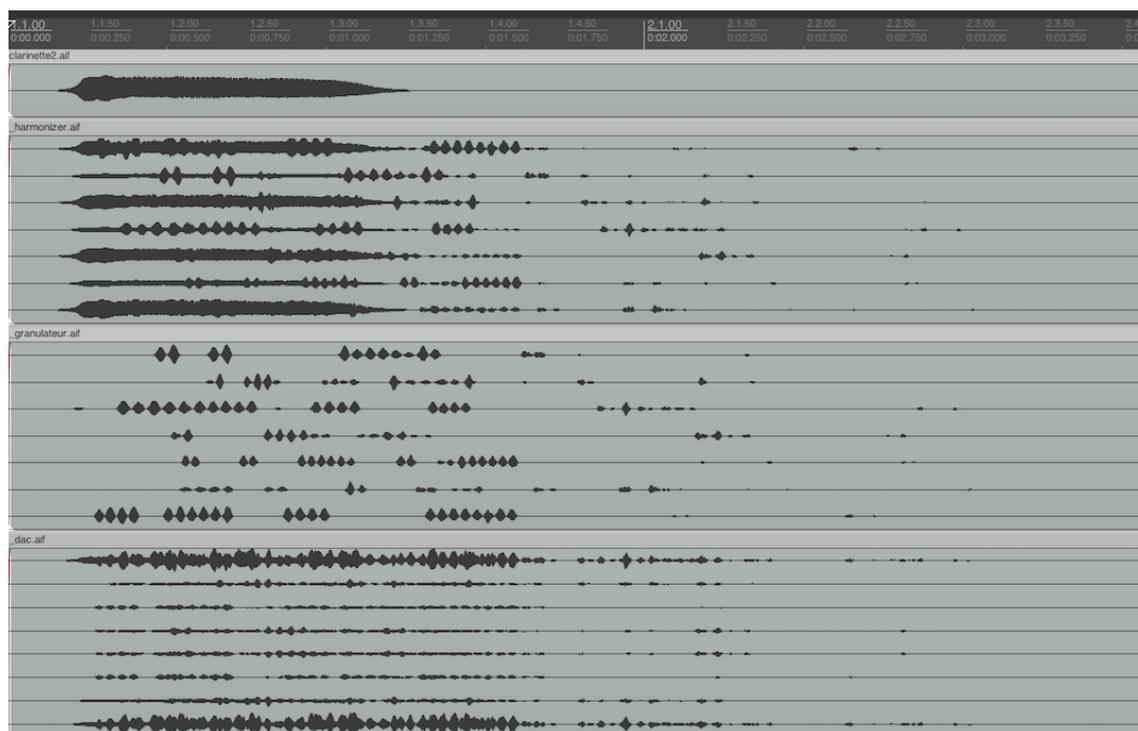


Figure 86 Visualisation micro-échelle temporelle d'un exemple du réseau opératoire de *Tyqué*⁷⁵⁹.

⁷⁵⁹ Voir fichier multimédia : F Annexe : 1.8 Tyque Morphologie

Les canaux 1 et 8 concentrent la plupart de l'énergie, cela montre une directivité vers la scène, car il s'agit de deux haut-parleurs placés à côté de l'instrumentiste (un système de routage permet de convertir cette orientation vers le schéma de la salle de concert). Le rendu sonore (le son de l'instrumentiste en scène s'ajoute au son perçu) consiste alors en une morphologie complexe, multidimensionnelle ayant plusieurs couches, chacune avec son propre dynamisme interne. Il s'agit donc de notre conception pour la composition des singularités.

La composition de *Tyqué* est au sommet de notre problématique. Cette pièce résume toutes les questions auxquelles nous nous sommes confronté au cours de cette recherche : l'approche orientée objet-opératoire, le réseau opératoire d'objet, la composition du son lui-même, la morphologie multidimensionnelle, la composition de l'espace, l'émergence, la convergence de l'approche algorithmique et directe, ainsi que de l'approche morphologique et paramétrique. Tout cela dans un environnement mixte en temps-réel. Même si cette pièce prend en compte toutes nos études analytiques et théoriques, elle est singulière et reflète surtout notre propre manière de composer, conciliant nos propres préférences techniques, nos goûts et nos désirs.

Tout le corpus analytique a donc été essentiel pour l'accomplissement de ce travail. L'analyse de *Due di Uno* nous a poussé à trouver notre manière de composer le chaos et nous a également incité à concevoir des générateurs pseudo-aléatoires. La pensée musicale d'Horacio Vaggione a fondé les piliers de notre développement de l'approche orientée objet-opératoire afin de créer une alternative à la composition séquentielle. L'analyse de Jean-Claude Risset nous a aidé à avoir l'expérience du langage FAUST dans un cas réel créatif et surtout nous a poussé à développer nos propres méthodes de composition du son lui-même et de contrôle dynamique des dimensions composables. La proximité avec Alain Bonardi nous a surtout mené à développer notre propre manière de composer avec les principes de la composition orientée objet-opératoire. Grâce au partage de code, nous avons mené des échanges qui ont sûrement contribué à la composition de *Tyqué* et *Taurus*, mais aussi des propres pièces de Bonardi. Même si les deux systèmes, le nôtre et celui de Bonardi, sont fondés sur le même principe, les rendus sont complètement différents. Or, chaque compositeur compose son propre réseau opératoire et ce contexte, vu au sens large, est le fondement pour la singularité de la composition.

Au terme de notre quête scientifique-musicale, il est possible d'affirmer que notre proposition d'analyse créative s'est avérée fertile dans l'espace commun du concert. Or, l'étude de la musique de Bonardi, Vaggione et Risset n'était pas purement théorique ; il s'agit plutôt d'expériences pratiques. Cela atteste la conclusion déjà évoquée antérieurement, d'un point de vue théorique, de la modélisation orientée objet-opératoire. *Tyqué* et *Taurus* sont ainsi placés au sommet d'un processus à la fois théorique et pratique, de va-et-vient entre la recherche sur le terrain du concert (des échecs et des réussites) et la réflexion de notre pratique. Dans ce contexte, la musique émerge, les liens se tissent et les réseaux se constituent, tout naturellement en faisant de la musique. Il s'agit de notre conception du *faire musical numérique*.

Conclusion

L'essence de notre recherche a eu lieu sur le terrain pratique du concert musical. Naturellement, cet espace sera donc au cœur de la suite de notre recherche. La nature de nos compositions nous a poussé à réfléchir sur des questions épistémologiques de l'œuvre musicale numérique. Par exemple, l'articulation de l'espace, comme dimension opératoire, en octophonie n'est pas compatible avec les enregistrements en stéréo. Toutes nos tentatives d'exploitation de notre répertoire sur support CD ou sur un système en ligne ont été frustrantes. Même s'il est possible d'écouter des versions stéréos de nos pièces, il ne s'agit que de versions d'archive qui ne donnent qu'un aperçu de la pièce jouée en concert. En raison du caractère dynamique de nos compositions, pour chaque reprise de nos pièces, nous avons effectué des modifications significatives qui ont changé sensiblement tout le rendu sonore. Il est fréquent de nous demander si la pièce reprise est réellement la même que celle de la création. Nous avons finalement considéré qu'il s'agit des versions différentes de la même pièce, car l'essence opératoire est partagée entre les versions. Ces constats nous amènent à penser que nos pièces sont donc compatibles avec une « norme standard » de la création musicale contemporaine. Or, le dynamisme inhérent à notre production, ainsi que l'articulation de l'espace optimal de notre salle de concert, sont des points délicats pour la publication de ce répertoire par des maisons d'éditions musicales. Certes, nos pièces ne sont pas les seules à avoir cette caractéristique, mais notre confrontation avec cette problématique nous a stimulé à organiser une journée d'étude sur le dynamisme du *faire musical numérique*. La journée « La dynamique des œuvres sur support numérique » a eu lieu le 2 mars 2017 à la MSH PN, dans le cadre du projet « La dynamique de l'œuvre musicale dans le contexte de la pratique numérique ». Le programme a abordé les différentes formes de pratique musicale comme la création, l'interprétation, l'analyse, la pédagogie, dans cette perspective pratique. La réévaluation du statut de l'œuvre musicale numérique a été fréquemment évoquée, cependant cette étude est toujours en cours. Avec les résultats obtenus dans cette recherche doctorale, la suite de cette perspective épistémologique est envisageable.

Les réseaux opératoires multi-échelles, dans ses multiples dimensions, ont été récurrents au cours de toute notre recherche. Ce contexte s'est donc révélé être notre

espace de travail commun. De fait, nous nous limitons, dans le cadre de cette thèse, à considérer le contexte comme le moment du concert musical : l'activité au centre de notre *faire musical numérique*. Cependant, ce constat motive une nouvelle perspective autour des recherches scientifiques informatiques, notamment la modélisation du contexte proposée par Patrick Brézillon⁷⁶⁰. Bien que notre démarche ait étudié les niveaux d'interaction dans un réseau, une étude approfondie de modélisation du contexte de notre pratique peut donner des résultats pertinents.

Notre recherche a été alors fondée sur les trois axes : interprétation, analyse et composition. Sur ces trois perspectives le travail collaboratif et le partage ont été des points récurrents. Or, pour l'analyse de *Songes*, nous avons eu besoin d'accéder aux codes originaux et pour le développement de notre approche compositionnelle orientée objet, le partage des codes de *Pianotronics 3* a été fondamental. Il serait donc contradictoire de ne pas mettre à disposition les résultats de notre recherche. Cependant nous réfléchissons à une méthode collective d'atteindre cet objectif. Certes, de nombreux outils de partage sont disponibles sur le marché, comme Github, mais nous voudrions concentrer toute la production en un seul environnement, avec des modalités de partage et d'archivage qui conviennent à une plupart des utilisateurs. La pérennité est un point essentiel dans cette perspective, car la garantie d'accès à ces ressources est fondamentale pour des études ultérieures.

Afin de mieux exposer les résultats de notre recherche, ainsi que les potentiels perspectifs, nous les divisons désormais en trois parties correspondant à chaque axe de recherche.

Pour la modélisation orientée objet-opératoire

La publication sur le portail *analyses* de l'IRCAM de notre analyse de *Songes*, écrite conjointement avec Vincent Tiffon, est en cours. Cette étude sera publiée avec les applications des objets modélisés en FAUST et des animations multimédias. Les codes originaux FAUST seront également disponibles. Risset lui-même était un grand militant

⁷⁶⁰ BRÉZILLON, Patrick, « Context-centered tools for intelligent assistant systems », in *Context in computing: A cross-disciplinary approche for modeling the real world*, New York, Springer, 2014.

du partage des codes. Il serait paradoxal de ne pas partager ses propres codes, ainsi que ceux modélisés dans le cadre de notre recherche.

En amont, nous avons déjà présenté les avancées de cette analyse de *Songes* dans deux grands événements scientifiques : lors des *Journées d'informatique musicales 2017* et lors du *Colloque hommage à Jean-Claude Risset*, dans le cadre des rencontres internationales du Collegium Musicæ, en 2018. À ces deux occasions, notre approche analytique a suscité l'intérêt de la communauté informatique musicale française et internationale. Cela prouve déjà que notre perspective analytique-créative a une valeur en elle-même, car notre analyse de *Songes*, faite initialement un premier temps dans un cadre créatif, est aussi très utile pour l'apprentissage du codage informatique et pour la connaissance de ce répertoire.

Lors de la dernière rencontre mentionnée ci-dessus, la valorisation et l'archivage des ressources de Jean-Claude Risset, y compris ses codes informatiques, ont été évoqués. Nous nous sommes donc intéressés à poursuivre notre recherche en abordant la globalité du travail de ce compositeur. Cette recherche sera évidemment tournée vers la programmation de concerts, car, dans notre perspective, l'archivage et la valorisation d'un répertoire n'a pas de valeur si elle n'est pas réalisée dans un cadre pratique. Dans cette perspective, à court terme, nous envisageons une association avec le compositeur-chercheur Antonio de Sousa Dias pour la création de la version interactive d'*Inharmonique* (1977 – 2018). Sa démarche rejoint la nôtre en mettant en avant des problématiques comme la modélisation, le recodage, la recomposition et le caractère dynamique de ce répertoire.

Concernant la valorisation de l'approche orientée objet d'Horacio Vaggione, une étude approfondie de sa démarche compositionnelle mérite toujours une suite, malgré l'exceptionnel travail collectif qui a abouti au livre *Espaces composables. Essais sur la musique et sur la pensée musicale d'Horacio Vaggione*, sorti en 2007, il est envisageable d'aller encore plus loin, surtout en ce qui concerne sa musique et sa théorie compositionnelle. Certes, il s'agit d'un compositeur-chercheur reconnu, étudié en France et dans le monde, mais la complexité de ses écrits limite parfois leur compréhension. Même si Vaggione est cité dans de nombreuses études scientifiques, il y a fréquemment des malentendus concernant son approche. Sa démarche riche et originale n'est pas

toujours comprise, en raison d'articles parfois peu accessibles et souvent difficiles à lire. Nous espérons que notre lecture et notre interprétation de sa composition orientée objet ont humblement contribué à la valorisation et la compréhension de sa pensée théorique, scientifique et musicale.

Pour l'interprétation opératoire

Au début de notre recherche, l'interprétation n'était pas prévue. En fait, il s'agit d'un travail couplé soit avec l'analyse, soit avec la composition. Certes, l'interprétation, au sens général, est sous-jacente à presque tous les compositeurs électroacoustiques, cependant au cours de notre étude, cette activité a soulevé une problématique propre qui méritait un regard plus en détail. Dans notre pratique, l'interprétation créative, telle qu'exposée dans cette recherche, a beaucoup influencé notre travail pédagogique. Or, comme il s'agit d'une activité qui fait partie de la formation compositionnelle, la problématique liée à l'interprétation en concert d'un patch, ainsi qu'à la pérennité et à l'archivage des représentations numériques, est au cœur de notre pratique d'enseignant universitaire. Dans le cadre des cours que nous avons assurés, ces questions ont été profondément abordées. D'ailleurs, aux concerts, les étudiants compositeurs étaient toujours confrontés à des difficultés interprétatives, elles-mêmes d'une dimension composable. L'interprétation orientée objet-opératoire reste toujours un sujet sous-estimé par la plupart des interprètes d'instruments acoustique. Même s'il y a un grand nombre de musiciens intéressés par l'étude du code lui-même, la plupart se limite à gérer ses propres difficultés d'exécution instrumentales. Même les interprètes de notre entourage, impliqués dans cette perspective, ont rencontré de nombreuses difficultés pour articuler l'interprétation instrumentale avec l'électronique. Les solutions les plus fréquentes, comme la pédale midi, ne sont pas une garantie en soi pour cette conciliation interprétative. Une étude approfondie des représentations numériques est nécessaire, afin que l'interprète soit autonome pour l'exécution du répertoire mixte temps-réel et qu'il puisse opérer et articuler avec ces outils.

Dans l'avenir, nous envisageons de poursuivre les projets déjà menés en collaboration avec des institutions où nous avons travaillé pendant ces années de thèse. La circulation des œuvres numériques, des compositeurs et des interprètes dans un cadre

pédagogique tourné vers la pratique du concert va sans doute continuer à dégager des problématiques pertinentes liées à cette perspective. Cela contribuera également à la valorisation du répertoire abordé dans ces projets et à consolider un terrain fertile d'expérimentation autour de la composition.

Pour la composition orientée objet-opératoire

Le partage et la pérennité ont été très bien développés dans le cadre de notre étude du point de vue de l'analyse. Cependant, pour la composition ces questions n'ont pas été autant soulevées. En fait, nous constatons qu'un même compositeur-chercheur peut avoir des méthodes différentes pour la composition et pour l'analyse. Tout le matériel composé au cours de notre recherche, y compris les partitions, les patchs et les codes FAUST et JavaScript, n'ont pas été exhaustivement documentés. Même si ce mémoire et les articles que nous avons publiés forment une ressource en soi, un travail minutieux et détaillé de documentation est nécessaire, surtout pour la reprise et l'appropriation des pièces et des modules. L'ergonomie de nos patchs n'est pas non plus optimisée pour le partage. Ils sont généralement assez désordonnés et ne contiennent pas d'informations relatives à leur exécution. Cette caractéristique est un reflet de notre méthode de composition. En effet les patchs portent des traces génétiques de notre pensée tout au long de notre travail. Les objets ajoutés au dernier moment et les codes superflus sont des indices de notre flux de pensée que nous souhaitons garder. Tout cela est important, par exemple, au moment de la reprise d'une pièce. Évidemment, ces informations sont importantes pour notre pratique ; un autre chercheur qui souhaite s'approprier nos patchs aura des difficultés à les mettre en œuvre. Il s'agit d'un risque que nous avons pris jusqu'à présent et qui mérite d'être réévalué pour que ce matériel soit utile pour les travaux ultérieurs.

Les méthodes de contrôle avec JavaScript se sont avérées l'une des principales contributions de cette recherche pour la composition orientée objet. Cependant, son pouvoir est toujours sous-employé. Les fonctions développées sont d'ordre global. Dans *Taurus* et *Tyqué* le rôle du code JavaScript aurait pu être remplacé par des méthodes de contrôle séquentielles, comme les *cue-lists*. La pensée orientée objet, avec JavaScript, reflète plutôt une approche purement compositionnelle. Certes, cette capacité est en elle-même déjà digne de pertinence, mais l'approche orientée objet aurait pu proposer des

avantages qui ne sont pas encore viables. Par exemple, dans nos pièces, tout le système de générateur pseudo-algorithmique est en dehors du code JavaScript. Cette procédure est nécessaire, car le flux d'exécution du logiciel Max priorise le traitement numérique et les objets graphiques avant de traiter le script. Comme dans notre approche, nous avons généré des valeurs algorithmiques de l'ordre d'une milliseconde. Si l'on considère la chaîne de travail du logiciel, ce taux d'exécution n'est pas viable pour l'application à toutes les unités. De plus, un script fondé sur le déclenchement temporel – c'est-à-dire, un événement qui en déclenche un autre à partir d'un intervalle temporel – est toujours envisagé dans notre pratique. Nous n'avons pas encore trouvé un moyen optimal et pratique pour réaliser cette tâche. Même si pour la composition orientée objet-opérateur le JavaScript propose une syntaxe assez intelligible et opératoire, le code dans un seul fichier n'est pas toujours pratique. Parfois, il faut beaucoup de temps pour réaliser une modification spécifique dans le code, alors que s'il était divisé entre le script lui-même et les définitions des classes et fonctions, le maniement aurait été plus optimal. Ces difficultés ont déjà été soulignées par Bonardi dans *Fil de Soi* (2017) pour guitare et électronique temps-réel, pièce postérieure à *Pianotronics 3*. Dans cette pièce, même si la logique de contrôle est fondée sur l'approche orientée objet, le script est réalisé par activations des messages Max qui envoient des listes de paramètres. Le compositeur a choisi cette méthodologie pour éviter des conflits de fil d'exécution avec la chaîne DSP dans Max. Afin d'avoir une méthode plus optimale pour la composition orientée objet, l'une des alternatives est la compilation d'un objet Max, en C ou C++, qui comporte ce paradigme. Dans ce cas, comme il s'agit d'un objet Max, les signaux de contrôle seront traités comme signaux sonores. L'incorporation de cette fonctionnalité comme le suiveur de partition Antescofo est une autre alternative. D'ailleurs, cette possibilité a déjà été évoqué lorsque Bonardi a présenté sa démarche. Une dernière alternative est d'abandonner le logiciel Max. Certes, nous utilisons toujours ce logiciel pour des raisons pratiques et d'organisation lors de concerts, mais à ce moment-là, nous ne nous servons plus de la plupart de ses fonctionnalités. La migration vers d'autres environnements est donc possible.

En revenant plus précisément sur la composition musicale elle-même, nous souhaitons appliquer l'environnement pour des pièces acousmatiques. Il s'agit d'un de

nos souhaits personnels et cela peut dégager des nouvelles problématiques compositionnelles, sans pour autant nous éloigner de notre recherche. Certes la musique mixte est un terrain riche d'interactions et surtout un recours fertile de création, toutefois, la musique acousmatique (au sens large, c'est-à-dire la musique électroacoustique avec l'absence d'un musicien au concert) offre au compositeur une intimité avec le son lui-même. Pour la composition de pièces acousmatiques, la *boucle feedback action/perception* est un processus très productif, permettant aux compositeurs de « prendre le temps » et « d'entrer dans les sons ». Le compositeur travaille ainsi d'une façon quasi atemporelle afin de mieux exploiter les propriétés singulières de son réseau opératoire.

Jean-Claude Risset affirme que sa recherche est *pour* la musique et non *sur* la musique⁷⁶¹. La recherche *sur* la musique correspond aux approches analytiques ; elle est essentiellement réflexive et réalisée a posteriori. La recherche *pour* la musique en revanche est prospective, créative et réalisée au préalable. Notre approche analytique-créative propose une perspective transversale entre les deux natures. Même si la recherche et la création sont historiquement divisées, la recherche-crédation vise le contraire. Dans notre perspective, le compositeur veut faire, mais veut aussi connaître ; il veut dévoiler des mécanismes, mais aussi inventer des formes sonores nouvelles. Certes, l'approche scientifique est majoritairement collective, mais notre recherche a montré que le partage est aussi au cœur de notre activité⁷⁶².

Si nous avons introduit notre thèse en relatant notre aventure personnelle, nous permettrons de la conclure en mentionnant le développement de notre chemin musical-scientifique. Cette recherche a révélé des choses essentielles dans notre parcours

⁷⁶¹ Ce compositeur-chercheur s'appuyait sur la proposition de nature de recherche artistique faite par Marie-Elisabeth Duchez dans les années 1970.

⁷⁶² Dans ce paragraphe, nous faisons référence à l'affirmation de Risset cité par Poirier : « Tout semble séparer recherche et création. Le chercheur veut connaître, le compositeur veut faire. L'un vise à dévoiler des mécanismes, l'autre à inventer des formes sonores nouvelles. L'œuvre scientifique est collective, vérifiable, provisoire : elle est amenée à être corrigée, dépassée, englobée dans le progrès de la science. L'œuvre d'art, elle, est individuelle, subjective, durable — “une fois pour toutes”, dit Hugo, “réelle présence” selon Georges Steiner. » RISSET, Jean-Claude, « Recherches au-dessus de tout soupçon », *in Autrement*, n°158, 1995, p.170, dans POIRIER, Alain, « La recherche artistique dans l'enseignement musical supérieur », *Ministère de la Culture et de la Communication : Direction générale de la création artistique*, 2010, p.21.

professionnel. Nous avons trouvé notre propre langage et nos propres méthodes. Certes, ces découvertes ont permis d'approfondir nos connaissances, mais avant tout, elles ont consolidé un savoir-faire collectif. Si nous prenons la peine de préciser cela, c'est parce que notre profil n'est pas unique dans le milieu universitaire. Plusieurs générations de compositeurs-chercheurs ont fait de la recherche-crédation sans la rendre explicite. Au début de cette étude nous étions conscient que nous n'allions pas résoudre de façon exhaustive le problème de la pertinence de l'analyse pour la composition musicale. Mais cette thèse a servi et pourra encore être utile à la communauté en offrant un cadre scientifique-musical aux résultats concluants et surtout, grâce auquel nous avons rencontré notre propre chemin compositionnel.

Références bibliographiques

AGON, Carlos, ASSAYAG, Gérard, LAURSON, Mikael, RUEDA, Camilo, « Computer Assisted Composition at Ircam : PatchWork & OpenMusic », *Computer Music Journal*, 23(3), 1999.

ALOUIS, Jean-François, « Technique/Musique », in *Recherches Musicales au GRM*, (dir) Chion et Delalande, *La Revue Musicale*, numéro quadruple 394-5-6-7, Paris, Ed Richard Masse, 1986.

ANDREATTA, Moreno, *Méthodes algébriques en musique et musicologie du XXe siècle : aspects théoriques, analytiques et compositionnels*, Thèse de doctorat, EHESS/IRCAM, 2003.

ANDERSON, Christine, DI SCIPIO, Agostino, « Dynamic Networks of Sonic Interactions: An Interview with Agostino Di Scipio » *Computer Music Journal*, vol. 29, n° 3, 2005, p.11–28.

ARFIB, Daniel, « Digital synthesis of complex spectra by means of non-linear distorted sine wave », in *Proc. ICMC 1978*. ICMA, San Francisco, 1978.

AUSTIN, Larry, SMALLEY, Denis, « Sound Diffusion in Composition and Performance: An Interview with Denis Smalley », *Computer music Journal*, Vol. 24, No 2, 2000.

BACON, Francis, *La Nouvelle Atlantide*, 1626, disponible en ligne <https://www.arbredor.com/ebooks/NouvelleAtlantide.pdf> [lien vérifié le 1er mars 2018].

BATTIER, Marc, « A Constructivist approach to the analysis of electronic music and audio art – between instruments and faktura », *Organised Sound*, Volume 8, Issue 3, 2003.

BAUDOUIN, Olivier, « A Reconstruction of ‘Stria’ », *Computer Music Journal*, vol. 31, no. 3, p.75–81, Oct 2007. p. 76.

BAUDOUIN, Olivier, « La faktura, “outil conceptuel d’analyse” - Illustration avec Stria, de John Chowning », in *Journées d’informatique musicale*, Grenoble, ACROE, 2009.

BAUDOUIN, Olivier, *Pionniers de la musique numérique*, Sampzon, Delatour, 2012.

BAUDRILLARD, Jean, *Le Système des objets*, Paris, Gallimard, 1968.

BACHIMONT, Bruno, *Ingénierie des connaissances et des contenus : le numérique entre ontologies et documents*, Science informatique et SHS, Paris, Hermès, 2007.

BECHTEL, William, ABRAHAMSEN, Adele, *Le connexionnisme et l'esprit : introduction au traitement parallèle par réseaux*, Éditions La Découverte, 1993.

BERNIER, Nicolas, « Composition orientée objet », *Circuit*, 23(1), 2013, p.33–44.

BENT, Ian, DRABKIN, William, *l’analyse musicale : histoire et méthodes*, (Trad.) Annie Cœurdevey et Jean Tabouret. Nice : Main d’œuvre, 1998.

BITTENCOURT, Pedro, *Interprétation musicale participative : la médiation d’un saxophoniste dans l’articulation des compositions mixtes contemporaines*, Thèse de doctorat, Université Paris 8, 2015.

BOISSIERE, Anne, « Geste, interprétation, invention selon Pierre Boulez », *Déméter*, 2002.

BONARDI, Alain, *Vers des environnements homme-machine pour ressaisir les intentions dans la création scénique*, Mémoire HDR, l'Université de Reims Champagne-Ardennes, 2008.

BONARDI, Alain, « Compte-rendu de virtualisation/migration de l'œuvre En Echo de Manoury », version 1.2, documentation du projet ANR ASTREE, Paris, Équipe ICM/IRCAM, 2011.

BONARDI, Alain, « Rejouer une œuvre avec l'électronique temps réel : enjeux informatiques et musicologiques », *Genèses musicales*, Presses de l'Université Paris-Sorbonne, 2015.

BONARDI, Alain, « composition mixte à base de traitements et contrôles orientés objet : exemple de mise en œuvre dans *Pianotronics 3* », in *Actes des Journées d'Informatique Musicale 2016*, Mar 2016, Albi, France, p.32-36.

BONARDI, Alain, « Analyser l'orchestre électronique interactif dans les œuvres de Manoury », in *Analyser la musique mixte*, Sampzon, Delatour, 2017.

BRÉZILLON, Patrick, « Context-centered tools for intelligent assistant systems », in *Context in computing: A cross-disciplinary approach for modeling the real world*, New York, Springer, 2014.

BUDON, Osvaldo, VAGGIONE, Horacio, « Composer avec des objets, réseaux et échelles temporelles : Une interview avec Horacio Vaggione », in M. SOLOMOS (éd.) *Espaces composites : essais sur la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione*, Paris, L'Harmattan, 2007.

CAESAR, Rodolfo, *Círculos Ceifados*, Rio de Janeiro, 7 Letras, v. 1, 2007.

CAMPOS, Rémy, « L'analyse musicale en France au XX^e siècle : discours, techniques et usages » In *Analyser l'analyse ? , L'analyse musicale, une pratique et son histoire* (Rémy Campos et Nicolas Donin, éd.), Genève, Droz-Conservatoire de Genève, 2009.

CARVALHO, Guilherme, « Formaliser la forme », in *Manières de faire des sons : Musique-Philosophie*. Paris, L'Harmattan, 2010.

CHAILLEY, Jacques. *Traité historique d'analyse musicale*, Paris, Alphonse Leduc, 1951.

CHOUVEL, Jean-Marc, « Polyphonie/polysémie. Comment aborder la multidimensionnalité du temps musical ? », in J.-M. Chouvel, F. Lévy (éd.) *Peut-on parler d'art avec les outils de la science ?*, Paris, L'Harmattan/Ircam, 2002.

CHOUVEL, Jean-Marc, « L'analyse cognitive : décentrement méthodologique ou malentendu épistémologique ? », in *L'analyse musicale aujourd'hui. Music Analysis Today*, Sampzon, Delatour, 2015.

CHOWNING, John, « The simulation of moving sound sources », *Journal of the Audio Engineering Society*, no 19, 1971, p. 2–6. Republié dans *Computer Music Journal*, vol. 1, no 3, juin 1977, p.48–52.

CHOWNING, John, « The synthesis of complex audio spectra by means of frequency modulations », *Journal of the Audio Engineering Society*, vol. 21, no 7, 1973.

CHOWNING, John, « Composer le son lui-même », in *Portrait polychrome John Chowning*, Paris, INA-GRM, 2005.

CHOWNING, John, « 'Stria': Lines to Its Reconstruction », *Computer Music Journal*, vol. 31, n° 3, p.23–25, Oct. 2007.

CHION, Michel, *La musique électroacoustique*, (coll.) que sais-je ?, Paris, Presses Universitaires de France, 1982.

CHION, Michel, *Guide des objets sonores*, Paris, Buchet-Chastel/INA-GRM, 1983.

CHION, Michel, « Les machines n'ont rien à dire », in *Recherches Musicales au GRM*, (dir) Chion et Delalande, La Revue Musicale, numéro quadruple 394-5-6-7, Ed Richard Masse, Paris, 1986.

CLARKE, Michael, DUFEU, Frédéric, MANNING, Peter, « The Interrelation of Technology and Creativity in the Analysis of Electroacoustic Music: A comparative study of Barry Truax's Riverrun and Trevor Wishart's Imago », *Musurgia*, XXII (1), 2015, p.5. Version anglophone dans <http://eprints.hud.ac.uk/id/eprint/26732/> [lien vérifié le 27 juin 2018].

CLASS, Olivier, « Quand un compositeur interprète l'œuvre d'un autre... par le jeu ou l'écriture », in *Filigrane. Musique, esthétique, sciences, société*, Vers une éthique de l'interprétation musicale, 2018.

COLAFRANCESCO, Julien, *Spatialisation de sources auditives étendues - Applications musicales avec la bibliothèque HOA*, Thèse de doctorat, Université Paris 8, 2015.

COPE, David, *Computers and musical style*. Madison, Wi : A-R Editions, 1991.

COUPRIE, Pierre, *L'analyse musicale et la représentation analytique de la musique acousmatique, outils, méthodes, technologies*, Mémoire HDR, l'Université Paris-Sorbonne, 2015.

DAHAN, Kevin, « Surface Tensions: Dynamics of 'Stria' », *Computer Music Journal*, vol. 31, no. 3, p.65-74, Oct. 2007.

DAHLHAUS, Carl, « Plaidoyer pour une théorie actuelle de la musique », in Machover, Tod (éd.), *Quoi, quand comment la recherche musicale*, Paris, Bourgois, IRCAM, 1985.

DELALANDE, François, « Schaeffer et la recherche », in *Portraits Polychromes Pierre Schaeffer n°13*, Paris, INA- GRM, 2008.

DELALANDE, François, *Analyser la musique, pourquoi, comment ?*, Paris, INA-GRM, 2013.

DE SOUSA DIAS, Antonio, « Inharmonique (1977) de Jean-Claude Risset. Une proposition de version pour système temps-réel », in *Rencontres internationales du Collegium Musicae Jean-Claude Risset Interdisciplinarités*, Paris, IRCAM. 2-3 mai 2018.

DI SCIPIO, Agostino, « Composition by exploration of non-linear dynamics systems », in *Proceedings of ICMC-90*, 1990.

DI SCIPIO, Agostino, « Formal processes of timbre composition. Challenging the dualistic paradigm of computer music », in *Proceedings of the 1994 International Computer Music Conference*, 1994.

DI SCIPIO, Agostino, « Systems of Embers, Dust, and Clouds: Observations after Xenakis and Brün ». *Computer Music Journal*, 26 (1), 2002, p.22-32.

DI SCIPIO, Agostino, « An analysis of Jean-Claude Risset's Contours », *Journal of New Music Research*, vol. 29-1, 2000, p.1-21.

DI SCIPIO, Agostino, « A story of emergence and dissolution - analytical sketches of J.C. Risset's Contours », in T. Licata, ed., *Electroacoustic music : analytical perspectives*, Greenwood Press, Westport, CT, 2002 [DI SCIPIO, Agostino, « An Analysis of Jean-Claude Risset's Contours », *Journal of New Music Research*, vol. 29 n°1, 2000].

- DI SCIPIO, Agostino, « Due di Uno. Une composition dédiée à Horacio vaggione », in *Espaces composables. Essais sur la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione*, Paris, L'Harmattan, 2007.
- DOORNBUSCH, Paul, « Early Hardware and early ideais in computer music: Their development and their current forms », in *The Oxford Handbook of Computer Music*, New York, Oxford University Press, 2009.
- DOORNBUSCH, Paul, « History of computer music in Australia and England », in *8th International Conference on Music/Sonic Art: Practices and Theories*. Hochschule für Musik, Karlsruhe, 2017, p.16.
- DONIN, Nicolas, « Analyser l'analyse ? », in *L'analyse musicale, une pratique et son histoire* (Rémy Campos et Nicolas Donin, éd.), Genève, Droz-Conservatoire de Genève, 2009.
- DONIN, Nicolas, « Vers une musicologie des processus créateurs », *Revue de Musicologie*, vol. 98, no 1, 2012.
- DONIN Nicolas, « L'auto-analyse, une alternative à la théorisation ? », in *Théories de la composition musicales au XXe siècle*, Lyon, Symétrie, 2013.
- DURAND, Daniel, *La systématique*, (coll) que sais-je ?, Paris, Presses Universitaires de France, 2013.
- DUFOURT, Hugues, *Musique, pouvoir, écriture*, Paris, Christian Bourgois, 1991.
- DUFOURT, Hugues, *La musique spectrale : Une révolution épistémologique*, Sampzon, Delatour, 2014.
- DUCHEZ, Marie-Elisabeth, « Théorie musicale et théorie scientifique », in *Colloque sur l'enseignement musical et scientifique*, Brest, Université de Bretagne occidentale, 1978.
- EBCIOGLU, Kemal, *An Expert System for Harmonisation of Chorales in the Style of J.S. Bach*, University of Buffalo, 1986.
- EMMERSON, Simon, LANDY, Leigh, *Expanding the Horizon of Electroacoustic Music Analysis*, Cambridge University Press, 2016.
- FERREYRA, Beatriz, « Fragments d'un enseignement de la musique concrète de Pierre Schaeffer au GRM dans les années 1964-1970 », in *Musique et Technologie – éveiller, enseigner, créer. Portraits polychromes*, Paris, INA-GRM. 2014.
- FUX, Johann Joseph, *Gradus ad Parnassum*, texte original intégral. Éditions Mardaga, 2000.
- GABOR, Dennis, « Acoustical quanta and the theory of hearing », *Nature*, 1947.
- GARCIA REYES, Juan Rodrigo, *L'énaction et l'art sonore numérique*, Thèse de doctorat, Université Paris 8, 2011.
- GAYOU, Evelyne, RACOT, Gilles, « Devant le son que prennent les choses, entretien avec Gilles Racot », in *Portrait polychrome Gilles Racot*, Paris, INA-GRM, 2002.
- GAYOU, Evelyne, BAYLE, François, « Hasard et nécessité, entretien avec François Bayle », in *Portrait polychrome François Bayle*, Paris, INA-GRM, 2003.
- GAYOU, Evelyn, MATHEWS, Max, « Entretien avec Max Matthews », in *Portraits polychromes Max Mathews*, n°11 Castanet, Paris, Ina-GRM, 2007.
- GAYOU, Evelyne, *GRM le groupe de recherches musicales cinquante ans d'histoire*, Paris, Fayard, 2007.

GAYOU, Evelyne, SMALLEY, Denis, « Entretien avec denis Smalley », in *Portrait polychrome Denis Smalley*, Paris, INA-GRM, 2010.

GODØY, Rolf Inge, « Pour une théorie musicale fondée sur les objets sonores », in *Portraits Polychromes Pierre Schaeffer*, n°13, Paris, INA- GRM, 2008.

GRANGER, Gilles-Gaston, *Formes opérations objets*, Paris, Mathesis, 1994.

GUIGUE, Didier, « Un environnement informatique pour une approche analytique orientée objets de la musique du xxe siècle », in *3èmes journées d'informatique musicale. JIM96*, 16-18 mai, île de Tatihou, Basse Normandie, France, 1996.

GUILLOT, Pierre, *Les traitements musicaux en ambisonie*, Mémoire de Master 2, Université Paris 8, 2013.

GUILLOT, Mathieu, RISSET, Jean-Claude, *Du Songe au son*, Paris, L'Harmattan, 2008.

HARNONCOURT, Nikolaus, *Le discours musical : pour une nouvelle conception de la musique*, Paris, Gallimard, 1984.

HILLER, Lejaren, « Composing with computers: A progress report », *Computer Music Journal*, Vol. 5, No. 4, 1981.

HIRS, Rozalie, MURAIL, Tristan, « Interview with Tristan Murail », in *Contemporary compositional techniques and openmusic*, IRCAM, Sampzon, Delatour, 2009.

JARROSSON, Bruno, *Invitation à la philosophie des sciences*, Paris, Seuil, 1992.

JUSTEL, Elsa, « Un « thema », une image », in *Espaces composables. Essais sur la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione*, Paris, L'Harmattan, 2007.

KELLER, Damián, FERNEYHOUGH, Brian, « Analysis by Modeling: Xenakis's ST/10-1 080262 », *Journal of New Music Research*, 33:2, 2010, p.161-171,

KENDALL, Gary, « The decorrelation of audio signals and its Impact on spatial imagery », *Computer Music Journal*, 19 (4), 1995.

KOBYLAKOV, Lev, « Jean-Claude Risset : Songes, 1979 », *Contemporary Music Review*, vol. 1 n°1, 1984, p. 183-185. Traduit en français par Marie-Stella Pari, paru dans L'IRCAM, une pensée musicale.

KOLLIAS, Phivos-Angelos, *Vers une pensée musicale orientée-système : l'œuvre musicale auto-organisante*, Thèse de doctorat, Université Paris 8, 2017.

LALIBERTE, Martin, *Un principe de la musique électroacoustique et informatique et son incidence sur la composition musicale. Analyses et exemples*, Thèse de doctorat, EHESS, 1994.

LANDY, Leigh, *Understanding the Art of Sound Organization*, Cambridge, MIT Press, 2007.

LE MOIGNE, Jean-Louis, *La théorie du système général: théorie de la modélisation*, Collection Les Classiques du réseau intelligence de la complexité, 1994.

LEMOUTON, Serge, WEISSENBRUNNER, Karin, BONARDI, Alain, « A la recherche de Diadèmes, de Marc-André Dalbavie », in *Musimédiane*, numéro 6, 2001.

LEMOUTON, Serge, *Vingt ans de pratique de la Réalisation en Informatique Musicale : Enjeux, perspectives et état des lieux d'un métier en devenir*, Mémoire de Master, Université Paris-Est, 2012.

- LERDHAL, Fred, JACKENDOFF, Ray, *A Generative Theory of Tonal Music*, Cambridge, MIT Press, 1983.
- LEROUX, Philippe, « De Voi(rex) à Apocalypsis : essai sur les interactions entre composition et analyse », *L'inouï*, revue de l'IRCAM, n° 2, 2006.
- LEVY, Fabien, « Mutations, une écriture déjouée par des paradoxes », in *Portrait polychrome Jean-Claude Risset*, Paris, INA-GRM, 2008.
- LEVY, Fabien, *Le compositeur, son oreille et ses machines à écrire : Déconstruire les grammatologies du musical pour mieux les composer*, Paris, Vrin, 2013.
- LEVY-LEBLOND, Jean-Marc, « La physique, une science sans complexe ? », in *Les théories de la complexité*, Paris, Seuil, 1991.
- LORENZO, Mario, « Figures spatiales composées avec séquences finies », in *Revue Francophone d'Informatique et Musique. Informatique et musique : Recherche et Création*, n°1, 2017.
- LORRAIN, Denis, *Inharmonique : analyse de la bande magnétique de l'oeuvre de J.C. Risset*, Rapport IRCAM n°26, Paris, IRCAM, 1980, disponible via <http://articles.ircam.fr/textes/Lorrain80a/> [lien vérifié le 27 juin 2018]
- MACHOVER, Tod (éd.), *Quoi, quand comment la recherche musicale*, Paris, Bourgois, IRCAM, 1985.
- MALT, Mikhaïl, « Brian Ferneyhough et l'aide informatique à l'écriture », in *Compositeurs d'aujourd'hui Brian Ferneyhough*, IRCAM, Paris, L'Harmattan, 1999.
- MAILLARD, Bénédicte, « A la recherche du studio musical », in *Recherches Musicales au GRM*, (dir) Chion et Delalande, La Revue Musicale, numéro quadruple 394-5-6-7, Paris, Ed Richard Masse, 1986.
- MALT, Mikhaïl, « Quelques propriétés des représentations, le cas de la notation musicale », *Revista do Conservatório de Música da UFPel Pelotas*, n°3, 2010.
- MALT, Mikhaïl, JOURDANS, Emmanuel, « Le "BStD" – une représentation graphique de la brillance et de l'écart type spectral, comme possible représentation de l'évolution du timbre sonore », in X. Hascher, M. Ayari, J.-M. Bardez (éd.), *L'analyse musicale aujourd'hui*, Sampzon, Delatour, 2015.
- MANNING, Peter, *Electronic and computer music*, New York, Oxford University Press, 2013.
- MANOURY, Philippe, *La note et le son écrits et entretiens 1981-1998*, Paris, L'Harmattan, 1998.
- MATHEWS, Max, « The Digital Computer as a Musical instrument », *Science*, New Series, Vol. 142, no.3592, 1963 p.553-557, republié dans le livret de The Historical CD of Digital Sound Synthesis, WERGO « Computer Music Currents 13 », 1995, WER 2033-2 282 033-2.
- MATHEWS, Max et al., *The Technology of Computer Music*, Cambridge, MIT Press, 1969.
- MATHEWS, Max, MOORE, Richard, « GROOVE: A Program to Compose, Store, and Edit Function of Time », *Communication of the ACM*, Vol. 13,12, 1970.
- MAY, Andrew, « Philippe Manoury's Jupiter », in *Analytical methods of electroacoustic music*, New York, Routledge, 2006.
- MCADAMS, Stephen, « Perspectives on the Contribution of Timbre to Musical Structure », *Computer Music Journal*, Vol. 23, No. 3, Recent Research at IRCAM, The MIT Press, 1999.

- MESNAGE, Marcel, RIOTTE, André, « Modélisation informatique de partitions, analyse et composition assistée », in *Les Cahiers de l'Ircam: La composition assistée par ordinateur* 1(3), juin 1993.
- MICHAUD et al., « Le projet Q- Live », in *Actes des des Journées d'Informatique Musicale*, Montréal, 2015.
- MOORE, Richard, *Elements of Computer Music*, New Jersey, Prentice H, 1990.
- MOORE, Richard, « Dreams of Computer Music: Then and Now », *Computer Music Journal*, Vol. 20, No. 1, 1996.
- NORMANDEAU, Robert, « Spectromorphology of Denis Smalley », in *Portrait polychrome Denis Smalley*, Paris, INA-GRM, 2010.
- PIAGET, Jean, *Le structuralisme*, (coll) que sais-je ?, Paris, Presses Universitaires de France, 1987.
- PLESSAS, Peter, BOUTARD, Guillaume, « Transmission et interprétation de l'instrument électronique composé », in *actes des Journées d'Informatique Musicale*, Montreal, QC, 2015.
- POIRIER, Alain, « La recherche artistique dans l'enseignement musical supérieur », *Ministère de la Culture et de la Communication : Direction générale de la création artistique*, 2010.
- POLETTI, Manuel, MAYS, Tom, FAIA, Carl, « Assistant musical ou producteur ? Esquisse d'un nouveau métier », in *Actes des des Journées d'Informatique Musicale*, Marseille, 2002.
- POTTIER, Laurent, *Le contrôle de la synthèse sonore, le cas particulier du programme PatchWork*, thèse de doctorat, EHESS, 2001.
- POTTIER, Laurent, « 'Turenas' (1972) de John Chowning, vers une version interactive », *Musimediane*, vol. Numéro 6, 2011.
- PUCKETTE, Miller, et al., *PureData Repertory project: Philippe Manoury Jupiter*, 2003, via <http://msp.ucsd.edu/syllabi/206.15f/files/3/manoury-echo/doc/> [lien vérifié 1 mars 2018].
- RACOT, Gilles, « Une mise en œuvre de la musique mixte », in *Portrait polychrome Musique et technologie Regards sur les musiques mixtes*, Paris, INA-GRM, 2016.
- RIOTTE, Andre, « L'utilisation de modèles mathématiques en analyse et en composition musicales », in *Actes du Quadrivium Musique et Sciences*, I.P.M.C., Metz, 1991.
- RISSET, Jean-Claude, « Computer Study of Trumpet Tones », New Jersey, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1966.
- RISSET, Jean-Claude, MATHEWS, Max, « Analysis of musical-instruments tones », *Physics today*, vol 22 n2, 1969.
- RISSET, Jean-Claude, *An Introductory Catalogue of Computer Synthesized Sounds*, New Jersey, Murray Hill, 1969, réédité dans le livret de *The Historical CD of Digital Sound Synthesis*, WERGO « Computer Music Currents 13 », 1995, WER 2033-2 282 033-2.
- RISSET, Jean-Claude, *Paradoxes de hauteur*, Paris, Rapport IRCAM n°10/78, 1978, accessible via <http://articles.ircam.fr/textes/Risset78c/index.html> [lien vérifié le 27 juin 2018].
- RISSET, Jean-Claude, *Hauteur et timbre de sons*, Paris, Rapport Ircam, 11/78, 1978, disponible via <http://articles.ircam.fr/textes/Risset78a/index.html> [lien vérifié le 27 juin 2018].

- RISSET, Jean-Claude, « Perception, environnement, musiques », *InHarmoniques*, n°3, Paris, IRCAM / Christian Bourgois, 1988.
- RISSET, Jean-Claude, « Composer le son : expériences avec l'ordinateur, 1964-1989 », *Contrechamps* n°11, 1990.
- RISSET, Jean-Claude, « Timbre Analysis by Synthesis: Representations, Imitations, and Variants for Musical Composition », in *Representations of Musical Signals*, 7–43. Cambridge, MIT Press, 1991.
- RISSET, Jean-Claude, « Musique, recherche, théorie, espace, chaos », *InHarmoniques* 8/9, 1991.
- RISSET, Jean-Claude, « Recherches au-dessus de tout soupçon », in *Autrement*, n°158, 1995,
- RISSET, Jean-Claude, « Realworld Sounds and Simulacra in my Computer Music », *Contemporary Music Review*, Vol. 15 Part 1-2, 1996, p. 29-48.
- RISSET, Jean-Claude, *Rapport Art, science, technologie (A.S.T)*, 1998, disponible en ligne <http://www.education.gouv.fr/cid1905/art-science-technologie-a.s.t.html> [lien vérifié le 1 mars 2018].
- RISSET, Jean-Claude, « Composing in Real-time », *Contemporary Music Review*, vol.18(3), 1999.
- RISSET, Jean-Claude, « Problèmes posés par l'analyse d'œuvres musicales dont la réalisation fait appel à l'informatique », in *Analyse et création musicales*, Paris, L'Harmattan, 2001.
- RISSET, Jean-Claude, ARFIB, Daniel, DE SOUSA DIAS, Antonio, LORRAIN, Denis, POTTIER, Laurent, « De Inharmonique à Resonant Sound Spaces : temps réel et mise en espace », in *actes des Neuvièmes journées d'informatique musicale*, Marseille, 29-31 mai 2002.
- RISSET, Jean-Claude, « Horacio Vaggione : vers une syntaxe du sonore », in *Espaces composables. Essais sur la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione*, Paris, L'Harmattan, 2007.
- RISSET, Jean-Claude, « Synthèse et traitements des sons : sur la composition Sud », in *Portrait polychrome Jean-Claude Risset*, Paris, INA-GRM, 2008.
- RISSET, Jean-Claude, *Composer le Son : repères d'une exploration du monde sonore numérique*, Écrits, vol 1. Paris, Hermann, 2014.
- ROADS, Curtis, *The computer music tutorial*, Cambridge, MIT Press, 1996.
- ROADS, Curtis, *Microsound*, Cambridge, MIT Press, 2001.
- ROADS, Curtis, « L'art de l'articulation : la musique électroacoustique d'horacio vaggione », in *Espaces composables. Essais sur la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione*, Paris, L'Harmattan, 2007.
- ROADS, Curtis, *Composing Electronic Music*, New York, Oxford University Press, 2015.
- SEDES, Anne, CARVALHO, Guilherme, « L'écriture musicale de Tristan Murail », in *journées d'étude Tristan Murail, de l'école spectrale aux théories du chaos*, (dir.) Nicolas Darbon, 14 décembre 2007 au CDMC, Paris.
- SEDES, Anne, « Approche musicale de la décorrélation microtemporelle dans la bibliothèque HOA » in *Actes des Journées d'Informatique Musicale (JIM 2015)*, Montréal, OICRM, 2015.
- SCHAEFFER, Pierre, *A la recherche d'une musique concrète*, Paris, Seuil, 1952.

- SCHAEFFER, Pierre, *Traité des objets musicaux*, Paris, Seuil, 1966.
- SCHAEFFER, Pierre, « La musique et les ordinateurs », in *Musique et Technologie – UNESCO (1970)*, *La Revue musicale*, Paris, Mase, 1971.
- SCHOENBERG, Arnold, *Le style et l'idée*, Buchet/Castel, 2011.
- SHEPARD, Roger, « Circularity in Judgments of Relative Pitch », *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 36, no 12, décembre 1964, p.2346–2353.
- SMALLEY, Denis, « Spectro-Morphology and Structuring Processes », in S. Emmerson (éd.) *The Language of Electroacoustic Music*, Londres, The Macmillan Press, 1986.
- SMITH, Robert, MURAIL, Tristan, « An Interview with Tristan Murail », *Computer Music Journal*, Vol. 24, No. 1, 2000.
- SOLOMOS, Makis, « Notes sur la notion d'« émergence » et sur Agostino Di Scipio », in *Proceedings of the JIM 2005*, Paris 2005.
- SOLOMOS, Makis, « Une introduction à la pensée musico-théorique d'Horacio Vaggione », in *Espaces composites : essais sur la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione*, Paris, L'Harmattan, 2007.
- SOLOMOS, Makis, « Xenakis-Varèse et la question de la filiation », in *Edgar Varèse, Du son organisé aux arts audio*, Paris, L'Harmattan, 2008,
- SOLOMOS, Makis, « The granular connection (Xenakis, Vaggione, Di Scipio...) », in *Symposium The Creative and Scientific Legacies of Iannis Xenakis International Symposium*, 2006.
- SOLOMOS, Makis, « Iannis Xenakis trois composantes de l'univers xenakien », in Nicolas Donin; Laurent Feneyrou, *Théories de la composition musicale au XXe siècle*, volume 2, Lyon, Symétrie, 2013.
- SOLOMOS, Makis, *De la musique au son. L'émergence du son dans la musique des xxe-xxie siècles*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2013.
- STAFFETTI, Giancarlo, « La synchronisation dans la composition et l'interprétation de l'électronique des musiques mixtes pour instrument solo et band », Mémoire de Master 1, Université Paris 8, 2017.
- STAWSON, Peter Frederick, *Analyse et métaphysique*, Paris, Vrin, 1985.
- STROPPA, Marco, « Sur l'analyse de la musique électronique », *L'IRCAM, une pensée musicale*, Paris, Editions des Archives Contemporaines, 1984, p. 187-93, traduit en anglais dans "The Analysis of Electronic Music", in "Musical Thought at Ircam", *Contemporary Music Review*, 1, 1, p.175-180.
- STROPPA, Marco, « Live electronics or ... live music? Towards a critique of interaction », *Contemporary Music Review*, Vol. 18(3), 1999.
- STROUSTRUP, Bjarne, *The C++ Programming Language*, 4Th Edition, Addison Wesley, 2013.
- THORESEN, Lasse, « Spectromorphological Analysis of Sound Objects: An Adaptation of Pierre Schaeffer's Typomorphology », *Organised Sound*, vol. 12, no 2, 2007.
- TIFFON, Vincent, *Recherches sur les musiques mixtes*, Thèse de doctorat, Université de Provence, 1994.
- VAGGIONE, Horacio, « The Making of Octuor », *Computer Music Journal*, vol. 8 n° 2, 1984.

VAGGIONE, Horacio, « Objets, Représentations, Opérations », *Ars Sonora* n°2, 1995, p.33–51. <http://www.ars-sonora.org/html/numeros/numero02/02e.htm> [lien vérifié le 1 décembre 2017]. (Adaptation française révisée et augmentée de : VAGGIONE, Horacio, « A Note on Object-based Composition », in O. LASKE (éd.), *Composition Theory, revue Interface*, vol. 20 n°3-4, 1991, p.209-216).

VAGGIONE, Horacio, « Articulating Micro-Time », *Computer Music Journal*, vol. 20 n°1, 1996.

VAGGIONE, Horacio, « Vers une approche transformationnelle en CAO », in *Actes des Journées d'Informatique Musicale (JIM) 1996*, Les cahiers du GREYC, CNRS- Université de Caen, 1996.

VAGGIONE, Horacio, « Singularité de la musique et analyse : l'espace d'intersection », *Analyse en Musique Électroacoustique, Actes de l'Académie internationale de musique électroacoustique*, vol. II, Bourges, Éditions Mnémosyne, 1996.

VAGGIONE, Horacio, « Composition/Diffusion en Musique Électroacoustique, Actes de l'Académie Internationale de musique électroacoustique », in *Actes de l'Académie internationale de musique électroacoustique*, vol. III, Bourges, Éditions Mnémosyne, 1997.

VAGGIONE, Horacio, « Son, temps, objet, syntaxe. Vers une approche multi-échelle dans la composition assistée par ordinateur », in A. SOULEZ, H. VAGGIONE (éd.), *Musique, rationalité, langage. L'harmonie : du monde au matériau, revue Cahiers de philosophie du langage* n° 3, 1998.

VAGGIONE, Horacio, « Transformations morphologiques : quelques exemples », in *Actes des Journées d'Informatique Musicale (JIM) 1998*, LMA-CNRS, Marseille, 1998.

VAGGIONE, Horacio, « L'espace composable : sur quelques catégories opératoires dans la musique électroacoustique », in J. M. CHOUVEL, M. SOLOMOS(éd.), *L'espace : musique-philosophie*, Paris, L'Harmattan, 1998.

VAGGIONE, Horacio, « Décorrélation microtemporelle, morphologies et figurations spatiales », in *Actes des Journées d'Informatique musicale (JIM) 2002*. Marseille: GMEM. Reprinted in A. Sedes (Ed.), *Espaces sonores. Actes de recherche*, Paris, Editions transatlantiques, 2002.

VAGGIONE, Horacio, SOLOMOS, Makis, SOULEZ, Antonia, « De l'opérateur », in *Formel/informel: musique-philosophie*, Paris, L'Harmattan, 2003.

VAGGIONE, Horacio, « Composition musicale et moyens informatiques : questions d'approche », in *Formel/informel: musique-philosophie*, Paris, L'Harmattan, 2003.

VAGGIONE, Horacio, « Quelques remarques ontologiques sur les processus de composition musicale », in R. BARBANTI, E. LYNCH, C. PARDO, M. SOLOMOS (éd.), *Musiques, arts, technologies. Pour une approche critique*, Paris, L'Harmattan, 2004, p.331. (traduction française de : « Some Ontological Remarks about Music Composition Processes », *Computer Music Journal*, vol. 25 n°1, 2001, p. 54-61)

VAGGIONE, Horacio dans BUDON, Osvaldo, « Composer avec des objets, réseaux et échelles temporelles : Une interview avec Horacio Vaggione », in : M. SOLOMOS (éd.) *Espaces composables : essais sur la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione*, Paris, L'Harmattan, 2007.

VAGGIONE, Horacio, « Notes sur Atem », in *Espaces composables. Essais sur la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione*, Paris, L'Harmattan, 2007.

VAGGIONE, Horacio, « Composition musicale : représentations, granularités, émergences », in *Intellectica*, 2008/1-2, 48-49, 2008.

VAGGIONE, Horacio, « Représentations musicales numériques », in A. SOULEZ, H. VAGGIONE (éd.) *Manières de faire des sons*, Paris, L'Harmattan, 2010.

VALERY, Paul, *Introduction à la méthode de Léonard de Vinci*, Paris, Gallimard, 1957.

VANDE GORNE, Annette, « L'interprétation spatiale. Essai de formalisation méthodologique », *Déméter*, 2002.

VARELA, Francisco, *Invitation aux sciences cognitives*, Paris, Seuil, 1996.

VARÈSE, Edgard, *écrits*, (ed.) Hirbour L., Paris, Christian Bourgois, 1983.

VASSILANDONAKIS, Yorgos, WISHART, Trevor, « An Interview with Trevor Wishart », *Computer Music Journal*, Vol, 33-2, 2009.

VINCENT, Antoine, BONARDI, Alain, BACHIMONT, Bruno, « Étude des processus compositionnels : un langage pour représenter les processus de production sonore », *Actes des 19e Journées d'Informatique Musicale (JIM 2013)*, Université Paris 8, 13-15 mai 2013.

WESSEL, David, *Timbre Space as a Musical Control Structure*, Rapport IRCAM, 12, 1978. disponible via <http://articles.ircam.fr/textes/Wessel78a/> [lien vérifié le 27 juin 2018].

XENAKIS, Iannis, *Musique formelles*, La revue musicale, Paris, Richard-masse, 1963.

ZATTRA, Laura, « Analysis and Analyses in Electroacoustic music », in *Proceedings SMC 05* (Sound and Music Computing), 2005.

ZATTRA, Laura, « Les origines du nom de RIM (Réalisateur en informatique musicale) », *Actes des Journées d'Informatique Musicale*, Saint-Denis, 2013.

Nos Publications

SVIDZINSKI, João, BONARDI, Alain, « Vers une théorie de la composition musicale numérique fondée sur des réseaux d'objets », *Journées d'Informatique Musicale 2015*, May 2015, Montréal Canada. <hal-01661109> <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01661109/document> [lien vérifié le 28 juin 2018].

SVIDZINSKI, João, BONARDI, Alain, « L'analyse orientée objet-opérateur de " Círculos Ceifados " de Rodolfo Caesar », *MUSICA THEORICA - Revista da Associação Brasileira de Teoria e Análise Musical*, TeMA, 2016, 1 (2), pp.68-98. <<http://tema.mus.br/revistas/index.php/musica-theorica/article/view/20>>. <hal-01661129> <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01661129/document> [lien vérifié le 28 juin 2018].

SVIDZINSKI, João, BONARDI, Alain, « Modélisation orientée objet opératoire: une proposition méthodologique créative pour l'analyse du répertoire musical numérique », *Journées d'Informatique Musicale 2016*, Mar 2016, Albi, France. <hal-01661104> <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01661104/document> [lien vérifié le 28 juin 2018].

SVIDZINSKI, João, BONARDI, Alain, « L'analyse orientée objet-opérateur de Due di Uno d'Agostino di Scipio pour la modélisation des fonctions de contrôle non linéaires dans La Philosophie du temps », *Revue Francophone d'Informatique et Musique*, 2017, n° 5 (Informatique et musique : Recherche et Création 1), <<http://revues.mshparisnord.org/rfim/index.php?id=387>>. <hal-01661118> <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01661118/document> [lien vérifié le 28 juin 2018].

SVIDZINSKI, João, BONARDI, Alain, « L'approche orientée objet-opérateur pour l'interprétation de la musique électroacoustique numérique », *Journées d'Informatique Musicale 2017*, May 2017, Paris, France. <hal-01661097> <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01661097/document> [lien vérifié le 28 juin 2018].

SVIDZINSKI, João, BITTENCOURT, Pedro, « Operational object-oriented musical composition and participatory performance in Taurus for tenor saxophone and live electronics », in *8th International Conference on Music/Sonic Art: Practices and Theories*, Hochschule für Musik, Karlsruhe. 2017.

A. Annexe : Code FAUST – Cloche 1280

```
//-----//
//-----//
//-----//
//          Cloche 1280 Songes
//-----//
//-----//
//-----//
import("stdfaust.lib");

OnOf = checkbox("On/Of") : si.smoo;
gain  = hslider("gain [unit:dB]", -6, -96, 0, 0.1) : ba.db2linear : si.smoo ;
freq  = hslider("freq1 [unit:Hz]", 300, 0, 5000, 0.1);
duree = hslider("duree [unit:Sec]", 1, 0, 20, 0.01);
gate  = button("play");
//-----//
//          Amplitude Index
//-----//
A_index1 = 200 / 975; A_index2 = 200 / 975; A_index3 = 200 / 975; A_index4 = 200 / 975;
A_index5 = 200 / 975; A_index6 = 200 / 975; A_index7 = 200 / 975; A_index8 = 200 / 975; A_index9 =
200 / 975;
//-----//
//          Frequence Index
//-----//
F_index1 = 349 / 675; F_index2 = 349 / 124; F_index3 = 349 / 346; F_index4 = 349 / 1108;
F_index5 = 349 / 1634; F_index6 = 349 / 2249; F_index7 = 349 / 2941; F_index8 = 349 / 3700; F_index9 =
= 349 / 4504;
//-----//
//          Duree Index
//-----//
D_index1 = 24 / 24; D_index2 = 16 / 24; D_index3 = 22 / 24; D_index4 = 17 / 24;
D_index5 = 6 / 24; D_index6 = 3 / 24; D_index7 = 2 / 24; D_index8 = 1.5 / 24; D_index9 = 0.8 / 24;
//-----//
OS1 = os.osc(freq*F_index1) * en.ar(0.0015, duree*D_index1,gate)*(gain*A_index1);
OS2 = os.osc(freq*F_index2) * en.ar(0.0015, duree*D_index2,gate)*(gain*A_index2);
OS3 = os.osc(freq*F_index3) * en.ar(0.0015, duree*D_index3,gate)*(gain*A_index3);
OS4 = os.osc(freq*F_index4) * en.ar(0.0015, duree*D_index4,gate)*(gain*A_index4);
OS5 = os.osc(freq*F_index5) * en.ar(0.0015, duree*D_index5,gate)*(gain*A_index5);
OS6 = os.osc(freq*F_index6) * en.ar(0.0015, duree*D_index6,gate)*(gain*A_index6);
OS7 = os.osc(freq*F_index7) * en.ar(0.0015, duree*D_index7,gate)*(gain*A_index7);
OS8 = os.osc(freq*F_index8) * en.ar(0.0015, duree*D_index8,gate)*(gain*A_index8);
OS9 = os.osc(freq*F_index9) * en.ar(0.0015, duree*D_index9,gate)*(gain*A_index9);

gainEnvelope = en.ar(0.015, duree, gate)*gain;

Aout = (OS1 + OS2 + OS3 + OS4 + OS5 + OS6 + OS7 + OS8 + OS9)*gainEnvelope :
fi.lowpass(3,gainEnvelope*5000+50);
process = Aout*OnOf, Aout*OnOf;
```

B. Annexe : Code FAUST – Cloche *Mirages*

```
//-----//
//-----//
//-----//
//                               Cloche Mirages
//-----//
//-----//
//-----//
import("stdfaust.lib");

OnOf = checkbox("v:Paramètres Globaux/OnOf [1]") : si.smoo;
freq  = hslider("v:Paramètres Globaux/freq1 [unit:Hz][1]", 300, 0, 5000, 0.1);
duree = hslider("v:Paramètres Globaux/duree [unit:Sec][1]", 1, 0, 20, 0.01);
gain  = hslider("v:Jouer/gain [unit:dB][2]", -6, -96, 0, 0.1) : ba.db2linear : si.smoo ;
gate  = button("v:Jouer/play [2]");
//-----//
//                               Paramètres Relatifs
//-----//
Rfreq = 293;
Rgain = 1200;
Rduree = 15;
//-----//
//                               Paramètres des partiels
//-----//
freq1 = nentry("h:Partiel 1/Frequence [3]", 293, 50, 5000, 0.1);
gain1 = nentry("h:Partiel 1/Amplitude [3]", 300, 50, 5000, 0.1);
duree1 = nentry("h:Partiel 1/Duree [3]", 15, 0, 30, 1);

freq2 = nentry("h:Partiel 2/Frequence [4]", 415, 50, 5000, 0.1);
gain2 = nentry("h:Partiel 2/Amplitude [4]", 200, 50, 5000, 0.1);
duree2 = nentry("h:Partiel 2/Duree [4]", 10, 0, 30, 1);

freq3 = nentry("h:Partiel 3/Frequence [5]", 554, 50, 5000, 0.1);
gain3 = nentry("h:Partiel 3/Amplitude [5]", 200, 50, 5000, 0.1);
duree3 = nentry("h:Partiel 3/Duree [5]", 8, 0, 30, 1);

freq4 = nentry("h:Partiel 4/Frequence [6]", 698, 50, 5000, 0.1);
gain4 = nentry("h:Partiel 4/Amplitude [6]", 200, 50, 5000, 0.1);
duree4 = nentry("h:Partiel 4/Duree [6]", 6, 0, 30, 1);

freq5 = nentry("h:Partiel 5/Frequence [7]", 659, 50, 5000, 0.1);
gain5 = nentry("h:Partiel 5/Amplitude [7]", 200, 50, 5000, 0.1);
duree5 = nentry("h:Partiel 5/Duree [7]", 4, 0, 30, 1);

freq6 = nentry("h:Partiel 6/Frequence [8]", 830, 50, 5000, 0.1);
gain6 = nentry("h:Partiel 6/Amplitude [8]", 200, 50, 5000, 0.1);
duree6 = nentry("h:Partiel 6/Duree [8]", 2, 0, 30, 1);

freq7 = nentry("h:Partiel 7/Frequence [9]", 935, 50, 5000, 0.1);
gain7 = nentry("h:Partiel 7/Amplitude [9]", 200, 50, 5000, 0.1);
duree7 = nentry("h:Partiel 7/Duree [9]", 1.5, 0, 30, 1);

freq8 = nentry("h:Partiel 8/Frequence [10]", 987, 50, 5000, 0.1);
```

```

gain8 = nentry("h:Partiel 8/Amplitude [10]", 200, 50, 5000, 0.1);
duree8 = nentry("h:Partiel 8/Duree [10]", 1, 0, 30, 1);
//-----//
//                               Amplitude Index
//-----//
A_index = gain / Rgain;
//-----//
//                               Frequence Index
//-----//
F_index = freq / Rfreq;
//-----//
//                               Duree Index
//-----//
D_index = duree / Rduree;
//-----//
OS1 = os.osc(freq1*F_index) * en.ar(0.0015, duree1*D_index,gate)*(gain1*A_index);
OS2 = os.osc(freq2*F_index) * en.ar(0.0015, duree2*D_index,gate)*(gain2*A_index);
OS3 = os.osc(freq3*F_index) * en.ar(0.0015, duree3*D_index,gate)*(gain3*A_index);
OS4 = os.osc(freq4*F_index) * en.ar(0.0015, duree4*D_index,gate)*(gain4*A_index);
OS5 = os.osc(freq5*F_index) * en.ar(0.0015, duree5*D_index,gate)*(gain5*A_index);
OS6 = os.osc(freq6*F_index) * en.ar(0.0015, duree6*D_index,gate)*(gain6*A_index);
OS7 = os.osc(freq7*F_index) * en.ar(0.0015, duree7*D_index,gate)*(gain7*A_index);
OS8 = os.osc(freq8*F_index) * en.ar(0.0015, duree8*D_index,gate)*(gain8*A_index);

gainEnvelope = en.ar(0.015, duree, gate)*gain;

Aout = (OS1 + OS2 + OS3 + OS4 + OS5 + OS6 + OS7 + OS8)*gainEnvelope ;
fi.lowpass(3,gainEnvelope*5000+50);
process = Aout*OnOf, Aout*OnOf;

```

C. Annexe : Code FAUST – Contours de fréquence

```

import("stdfaust.lib");
mySamplesNum = 512;
mySamples = waveform {0.0000000, 0.6572876, 0.9999695, 0.8645935, 0.3168640,-0.3801270,-0.8927612,-0.9771423,-0.5954590, 0.0671387,
0.6925049, 0.9828186, 0.8028259, 0.2430725,-0.4257507,-0.8840332,-0.9164429,-0.5134888, 0.1268921, 0.6967468,
0.9266357, 0.7133789, 0.1664124,-0.4483643,-0.8381042,-0.8229980,-0.4193115, 0.1726990, 0.6682434, 0.8354492,
0.6040649, 0.0944824,-0.4445496,-0.7576904,-0.7042542,-0.3213501, 0.1994934, 0.6080627, 0.7160645, 0.4838867,
0.0339355,-0.4135437,-0.64483765,-0.5694580,-0.2277222, 0.2044373, 0.5201416, 0.5772400, 0.3621216,-0.0102234,
-0.3571777,-0.5180359,-0.4284668,-0.1454163, 0.1870728, 0.4108582, 0.4290466, 0.2474060,-0.0351562,-0.2798767,
-0.3760681,-0.2911377,-0.0796204, 0.1494141, 0.2884216, 0.2817078, 0.1469116,-0.0403748,-0.1880798,-0.2326660,
-0.1661072,-0.0332642, 0.0957642, 0.1621399, 0.1449280, 0.0657959,-0.0277405,-0.0896606,-0.0976868,-0.0603333,
-0.0068665, 0.0321045, 0.0414734, 0.0267944, 0.0068054,-0.0011902, 0.0068970, 0.0201721, 0.0216064, 0.0013428,
-0.0344238,-0.0648804,-0.0667725,-0.0298767, 0.0338440, 0.0933533, 0.1141357, 0.0777893,-0.0049438,-0.0965271,
-0.1497192,-0.1324463,-0.0462646, 0.0711365, 0.1626282, 0.1798706, 0.1088257,-0.0206299,-0.1473999,-0.2081909,
-0.1696472,-0.0463562, 0.1043701, 0.2094727, 0.2159119, 0.1176453,-0.0399780,-0.1815796,-0.2379761,-0.1804199,
-0.0353394, 0.1280212, 0.2308960, 0.2234192, 0.1089478,-0.0573730,-0.1955566,-0.2395020,-0.1689758,-0.0189209,
0.1379089, 0.2265625, 0.2061157, 0.0885315,-0.0679626,-0.1880798,-0.2158508,-0.1410828,-0.0025940, 0.1317444,
0.1987305, 0.1695862, 0.0625000,-0.0683899,-0.1602783,-0.1722107,-0.1033325, 0.0090942, 0.1094971, 0.1518250,
0.1206970, 0.0364990, 0.0570679,-0.1156311,-0.1152954,-0.0623169, 0.0130005, 0.0730896, 0.0920410, 0.0666504,
0.0151672,-0.0343933, 0.0592957,-0.0525513,-0.0239563, 0.0077820, 0.0264893, 0.0265808, 0.0142822, 0.0015259,
-0.0026245, 0.0022888, 0.0086975, 0.0071716,-0.0060425,-0.0250854,-0.0372009,-0.0306396,-0.0031433, 0.0343933,
0.0621643, 0.0619507, 0.0282898,-0.0262756,-0.0755920,-0.0925598,-0.0640259, 0.0006409, 0.0718994, 0.1138000,
0.1022034, 0.0383911,-0.0494995,-0.1190186,-0.1340637,-0.0837402, 0.0106812, 0.1046753, 0.1517029, 0.1264648,
0.0384521,-0.0714722,-0.1501465,-0.1581421,-0.0896606, 0.0238037, 0.1279602, 0.1720581, 0.1338501, 0.0307922,
-0.0879211,-0.1651001,-0.1633911,-0.0834656, 0.0361633, 0.1379089, 0.1731262, 0.1255188, 0.0188293,-0.0951233,
-0.1618958,-0.1506042,-0.0682983, 0.0440674, 0.1323242, 0.1553650, 0.1044617, 0.0064392,-0.0905151,-0.1406860,
-0.1225891,-0.0482178, 0.0444641, 0.1108398, 0.1213989, 0.0748901,-0.0028076,-0.0730591,-0.1036377,-0.0837708,
-0.0274048, 0.0355530, 0.0751038, 0.0755920, 0.0416870,-0.0061340,-0.0436096,-0.0549316,-0.0394592,-0.0097046,
0.0170593, 0.0286560, 0.0235291, 0.0096436,-0.0019836,-0.0047607, 0.0000000, 0.0047302, 0.0019531,-0.0096741,
-0.0235596,-0.0286865,-0.0170898, 0.0096741, 0.0394287, 0.0549011, 0.0435791, 0.0061035,-0.0417175,-0.0756226,
-0.0751343,-0.0355835, 0.0273743, 0.0837402, 0.1036072, 0.0730286, 0.0027771,-0.0749207,-0.1214294,-0.1108704,
-0.0444946, 0.0481873, 0.1225586, 0.1406555, 0.0904846,-0.0064697,-0.1044922,-0.1553955,-0.1323547,-0.0440979,
0.0682678, 0.1505737, 0.1618652, 0.0950928,-0.0188599,-0.1255493,-0.1731567,-0.1379395,-0.0361938, 0.0834351,
0.1633606, 0.1650696, 0.0878906,-0.0308228,-0.1338806,-0.1720886,-0.1279907,-0.0238342, 0.0896301, 0.1581116,
0.1501160, 0.0714417,-0.0384827,-0.1264954,-0.1517334,-0.1047058,-0.0107117, 0.0837097, 0.1340332, 0.1189880,
0.0494690,-0.0384216,-0.1022339,-0.1138306,-0.0719299,-0.0006714, 0.0639954, 0.0925293, 0.0755615, 0.0262451,
-0.0283203,-0.0619812,-0.0621948,-0.0344238, 0.0031128, 0.0306091, 0.0371704, 0.0250549, 0.0060120,-0.0072021,
-0.0087280,-0.0023193, 0.0025940,-0.0015564,-0.0143127,-0.0266113,-0.0265198,-0.0078125, 0.0239258, 0.0525208,

```

0.0592651, 0.0343628, -0.0151978, -0.0666809, -0.0920715, -0.0731201, -0.0130310, 0.0622864, 0.1152649, 0.1156006,
0.0570374, -0.0365295, -0.1207275, -0.1518555, -0.1095276, -0.0091248, 0.1033020, 0.1721802, 0.1602478, 0.0683594,
-0.0625305, -0.1696167, -0.1987610, -0.1317749, 0.0025635, 0.1410522, 0.2158203, 0.1880493, 0.0679321, -0.0885620,
-0.2061462, -0.2265930, -0.1379395, 0.0188904, 0.1689453, 0.2394714, 0.1955261, 0.0573425, -0.1089783, -0.2234497,
-0.2309265, -0.1280518, 0.0353088, 0.1803894, 0.2379456, 0.1815491, 0.0399475, -0.1176758, -0.2159424, -0.2095032,
-0.1044006, 0.0463257, 0.1696167, 0.2081604, 0.1473694, 0.0205994, -0.1088562, -0.1799011, -0.1626587, -0.0711670,
0.0462341, 0.1324158, 0.1496887, 0.0964966, 0.0049133, -0.0778198, -0.1141663, -0.0933838, -0.0338745, 0.0298462,
0.0667419, 0.0648499, 0.0343933, -0.0013733, -0.0216370, -0.0202026, -0.0069275, 0.0011597, -0.0068359, -0.0268250,
-0.0415039, -0.0321350, 0.0068359, 0.0603207, 0.0976562, 0.0896301, 0.0277100, -0.0658264, -0.1449585, -0.1621704,
-0.0957947, 0.0322336, 0.1660767, 0.2326355, 0.1880493, 0.0403442, -0.1469421, -0.2817383, -0.2884521, -0.1494446,
0.0795898, 0.2911072, 0.3760376, 0.2798462, 0.0351257, -0.2474365, -0.4290771, -0.4108887, -0.1871033, 0.1453857,
0.4284363, 0.1580054, 0.3571472, 0.0101929, -0.3621521, -0.5772705, -0.5201721, -0.2044678, 0.2276917, 0.5694275,
0.6483459, 0.4135132, -0.0339661, -0.4839172, -0.7160950, -0.6080933, -0.1995239, 0.3213196, 0.7042236, 0.7576599,
0.4445190, -0.0945129, -0.6040955, -0.8354797, -0.6682739, -0.1727295, 0.4192810, 0.8229675, 0.8380737, 0.4483337,
-0.1664429, -0.7134094, -0.9266663, -0.6967773, -0.1269226, 0.5134583, 0.9164124, 0.8840027, 0.4257202, -0.2431030,
-0.8028564, -0.9828491, -0.6925354, -0.0671692, 0.5954285, 0.9771118, 0.8927307, 0.3800964, -0.3168945, -0.8646240,

-1.0000000, -0.6573181 };

//panning.dsp

fI0 = waveform { 0.0052185, 0.0055237, 0.0058289, 0.0061646, 0.0064087, 0.0068970, 0.0071716, 0.0075989, 0.0080566, 0.0083923,
0.0090332, 0.0093689, 0.0097992, 0.0104675, 0.0110779, 0.0116882, 0.0122986, 0.0130310, 0.0136719, 0.0144958,
0.0152283, 0.0161133, 0.0169373, 0.0179443, 0.0188599, 0.0199585, 0.0209961, 0.0222168, 0.0233765, 0.0247192,
0.0260315, 0.0275269, 0.0289612, 0.0306396, 0.0322571, 0.0340881, 0.0358887, 0.0376750, 0.0399475, 0.0408630,
0.0417480, 0.0426331, 0.0437012, 0.0444336, 0.0456543, 0.0463867, 0.0476074, 0.0485229, 0.0496521, 0.0507202,
0.0517883, 0.0529785, 0.0541077, 0.0552673, 0.0565186, 0.0577393, 0.0589600, 0.0603027, 0.0616150, 0.0629272,
0.0643921, 0.0656433, 0.0672607, 0.0685730, 0.0701599, 0.0716553, 0.0731812, 0.0748596, 0.0764645, 0.0780945,
0.0798645, 0.0815735, 0.0833435, 0.0852051, 0.0870056, 0.0889893, 0.0908813, 0.0928345, 0.0949402, 0.0969238,
0.0991516, 0.1012268, 0.1034851, 0.1057129, 0.1080322, 0.1104126, 0.1128325, 0.1152954, 0.1177368, 0.1204224,
0.1229248, 0.1257324, 0.1283875, 0.1311951, 0.1341553, 0.1369934, 0.1400146, 0.1430969, 0.1461487, 0.1494141,
0.1526794, 0.1559448, 0.1594238, 0.1628113, 0.1665039, 0.1700134, 0.1738586, 0.1775513, 0.1814575, 0.1854553,
0.1894226, 0.1936646, 0.1977844, 0.2022400, 0.2064819, 0.2111816, 0.2156067, 0.2204590, 0.2252197, 0.2301025,
0.2352295, 0.2402039, 0.2456360, 0.2508240, 0.2564697, 0.2619324, 0.2677307, 0.2735291, 0.2795410, 0.2856750,
0.2918396, 0.2982788, 0.3047180, 0.3114624, 0.3181763, 0.3251953, 0.3322754, 0.3394775, 0.3470764, 0.3544006,
0.3623657, 0.3701172, 0.3782959, 0.3865051, 0.3949585, 0.4035950, 0.4123535, 0.4214783, 0.4305420, 0.4400330,
0.4496460, 0.4593506, 0.4696045, 0.4796448, 0.4902344, 0.5009155, 0.5118713, 0.5229797, 0.5345154, 0.5460815,
0.5580444, 0.5702515, 0.5826416, 0.5953979, 0.6084595, 0.6216736, 0.6353149, 0.6491089, 0.6633606, 0.6777954,
0.6926270, 0.7077637, 0.7231750, 0.7390137, 0.7550659, 0.7716980, 0.7884216, 0.8057556, 0.8232727, 0.8413086,
0.8595886, 0.8784790, 0.8975525, 0.9172058, 0.9372559, 0.9576721, 0.9786072, 0.9999695, 0.8317261, 0.6918335,
0.5754089, 0.4786377, 0.3980713, 0.3311462, 0.2754211, 0.2290344, 0.1905518, 0.1584778, 0.1317749, 0.1096802,
0.0911255, 0.0758362, 0.0631409, 0.0523376, 0.0437927, 0.0361633, 0.0302429, 0.0250854, 0.0209045, 0.0173340,
0.0144653, 0.0119629, 0.0100098, 0.0082703, 0.0069580, 0.0056152, 0.0049133, 0.0038147, 0.0034485, 0.0026245,
0.0022499, 0.0018616, 0.0015564, 0.0013428, 0.0010376, 0.0009155, 0.0006714, 0.0007019, 0.0004272, 0.0004883,
0.0003052, 0.0002747, 0.0002747, 0.0001221, 0.0002441, 0.0000305, 0.0001526, 0.0000610, 0.0000916, 0.0001221,
0.0000610, 0.0001221, 0.0000305, 0.0001831, 0.0000000, 0.0001831, 0.0000000, 0.0001526, 0.0000610, 0.0001221,
0.0000610, 0.0000916, 0.0001221, 0.0000610, 0.0001221, 0.0000610, 0.0001221, 0.0000916, 0.0001221, 0.0000610, 0.0001221,
0.0000610, 0.0001221, 0.0000610, 0.0001221, 0.0000610, 0.0001221, 0.0000610, 0.0001221, 0.0000610, 0.0001221,
0.0001221, 0.0000916, 0.0000610, 0.0001221, 0.0000916, 0.0000610, 0.0001831, 0.0000000, 0.0001526, 0.0000610, 0.0001221,
0.0000305, 0.0001526, 0.0000305, 0.0001526, 0.0000305, 0.0001221, 0.0000916, 0.0000916, 0.0001221, 0.0000305,
0.0001526, 0.0000305, 0.0001526, 0.0000305, 0.0001526, 0.0000305, 0.0001526, 0.0000305, 0.0001526, 0.0000305,
0.0000610, 0.0000610, 0.0001526, 0.0000305, 0.0001526, 0.0000610, 0.0000610, 0.0001221, 0.0000916, 0.0000916,
0.0000916, 0.0000916, 0.0000610, 0.0001221, 0.0000916, 0.0000610, 0.0001221, 0.0000000, 0.0001526, 0.0000610,
0.0001221, 0.0001221, 0.0000000, 0.0002136, 0.0000000, 0.0001221, 0.0001221, 0.0000305, 0.0001526, 0.0000610,
0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000610, 0.0001526, 0.0000305, 0.0001526, 0.0000305,
0.0001221, 0.0000610, 0.0001221, 0.0000916, 0.0000610, 0.0001221, 0.0000916, 0.0000610, 0.0001221, 0.0000305,
0.0001526, -0.0000305, 0.0002136, 0.0000305, 0.0000916, 0.0001221, 0.0000000, 0.0001831, 0.0000305, 0.0000916,
0.0001221, 0.0000000, 0.0001221, 0.0000610, 0.0001221, 0.0000610, 0.0001221, 0.0000305, 0.0001831, -0.0000305, 0.0002441, -0.0000610,
0.0002136, 0.0000000, 0.0001526, 0.0000610, 0.0001221, 0.0000305, 0.0001526, 0.0000610, 0.0000916, 0.0000916, 0.0001221,
0.0000305, 0.0001526, 0.0000610, 0.0001221, 0.0001221, 0.0001221, 0.0001221, 0.0000305, 0.0001526, 0.0000305, 0.0002136,
0.0001221, 0.0002441, 0.0001526, 0.0002747, 0.0002747, 0.0002441, 0.0003052, 0.0002136, 0.0003662, 0.0002747,
0.0003357, 0.0003662, 0.0003357, 0.0004272, 0.0003662, 0.000441, 0.0003052, 0.0003662, 0.0003662, 0.000409,
0.0004883, 0.0006714, 0.0006104, 0.0006714, 0.0007324, 0.0007324, 0.0007935, 0.0008545, 0.0008545, 0.0009460,
0.0009766, 0.0010071, 0.0011292, 0.0011597, 0.0011902, 0.0013733, 0.0012207, 0.0015869, 0.0014038, 0.0016785,
0.0016174, 0.0018005, 0.0018921, 0.0019531, 0.0021362, 0.0021667, 0.0023193, 0.0025330, 0.0025024, 0.0028076,
0.0028687, 0.0030518, 0.0032654, 0.0033569, 0.0036011, 0.0038147, 0.0036011, 0.0036011, 0.0036011, 0.0036011,
0.0000916, 0.0036011 };

fI1 = waveform { 0.0000916, 0.0399780, 0.0408630, 0.0417480, 0.0426636, 0.0436096, 0.0445557, 0.0455322, 0.0465088, 0.0475159,
0.0485840, 0.0496216, 0.0507202, 0.0518188, 0.0529480, 0.0541077, 0.0552979, 0.0564880, 0.0577393, 0.0589905,
0.0602722, 0.0616150, 0.0629578, 0.0643311, 0.0657349, 0.0671692, 0.0686340, 0.0701294, 0.0716553, 0.0732117,
0.0748291, 0.0764465, 0.0781250, 0.0798340, 0.0815735, 0.0833740, 0.0851746, 0.0870361, 0.0889587, 0.0908813,
0.0928650, 0.0949097, 0.0969849, 0.0990906, 0.1012573, 0.1034546, 0.1057434, 0.1080322, 0.1104126, 0.1128235,
0.1152649, 0.1177979, 0.1203613, 0.1229858, 0.1256714, 0.1284180, 0.1312256, 0.1340942, 0.1370239, 0.1400146,
0.1430664, 0.1462097, 0.1493835, 0.1526489, 0.1559753, 0.1593933, 0.1628723, 0.1664429, 0.1700745, 0.1737976,
0.1775818, 0.1814575, 0.1854248, 0.1894836, 0.1936035, 0.1978455, 0.2021484, 0.2065735, 0.2110901, 0.2156982,
0.2203979, 0.2252197, 0.2301331, 0.2351685, 0.2402954, 0.2455444, 0.2509155, 0.2563782, 0.2619934, 0.2677002,
0.2735596, 0.2795410, 0.2856445, 0.2918701, 0.2982483, 0.3047485, 0.3114319, 0.3182068, 0.3251648, 0.3322754,
0.3395386, 0.3469543, 0.3545227, 0.3622742, 0.3701782, 0.3782654, 0.3865051, 0.3949585, 0.4035950, 0.4123840,
0.4214172, 0.4306030, 0.4400024, 0.4496155, 0.4594421, 0.4694824, 0.4797363, 0.4902039, 0.5009155, 0.5118408,
0.5230408, 0.5344543, 0.5461121, 0.5580444, 0.5702209, 0.5826721, 0.5953979, 0.6084290, 0.6217041, 0.6352844,
0.6491394, 0.6633301, 0.6778259, 0.6926270, 0.7077332, 0.7232056, 0.7389832, 0.7551270, 0.7716370, 0.7884827,
0.8056466, 0.8233032, 0.8412781, 0.8596497, 0.8784180, 0.8975830, 0.9172058, 0.9372253, 0.9577026, 0.9786072,
0.9999695, 0.8317566, 0.6918030, 0.5754395, 0.4786072, 0.3981018, 0.3311157, 0.2754211, 0.2290649, 0.1905212,
0.1584778, 0.1318054, 0.1096191, 0.0911865, 0.0758362, 0.0630798, 0.0524597, 0.0436401, 0.0362854, 0.0301819,
0.0251160, 0.0208740, 0.0173645, 0.0144348, 0.0119934, 0.0099792, 0.0083008, 0.0068970, 0.0057373, 0.0047607,
0.0039673, 0.0032959, 0.0027466, 0.0022888, 0.0018921, 0.0015664, 0.0013123, 0.0010681, 0.0008850, 0.0007324,
0.0006104, 0.0005188, 0.0004272, 0.0003357, 0.0002747, 0.0002441, 0.0001831, 0.0001526, 0.0001221, 0.0000916,
0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916,
0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916,
0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916,
0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916,
0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916,
0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916,
0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916,
0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916,
0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916,
0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916,
0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916,
0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916,
0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916,
0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916, 0.0000916,


```

inter = hslider("Interval", 0.01, 0.01, 0.04, 0.001);

freq2 = (((os.osc(freq) + os.osc(freq+inter*1) + os.osc(freq-inter*1) + os.osc(freq+inter*2)+ os.osc(freq-
inter*2) + os.osc(freq+inter*3) + os.osc(freq-inter*3) + os.osc(freq+inter*4) + os.osc(freq-inter*4)) * 0.5)
* gain);

process = freq2*OnOf, freq2*OnOf;

```

E. Annexe : Code Faust – Granulateur matriciel

```

import("stdfaust.lib");
//-----//
//GENERAL MATRIX//
//-----//
//matrix of N x M toggles//
toggle(c, in) = checkbox("h:Lines/h:Reinjection_Matrix/v:Grain%2c-->/r%3in");
Mixer(N,out) = par(in, N, *(toggle(in, in+out*N)) ) :> _;
Matrix(N,M) = par(in, N, _)<: par(out, M, Mixer(N, out));
//-----//
sinus = os.sinwaveform(tablesize);
sinuso = sinus * sinus * sinus * sinus;
mili = ma.SR / 1000.0;
maxdelay = 262144;
tablesiz = 192000;
//-----//
//Grain parametres - from 0 to 1//
size(ind) = hslider("h:Grain/v:Grain_Size/size%2ind", 50, 0, 1000, 0.01);
del(ind) = hslider("h:Grain/v:Grain_Delay/del%2ind", 0, 0, 5000, 0.1);
rar(ind) = hslider("h:Grain/v:Grain_Rarefaction/rar%2ind", 0.5, 0, 1, 0.0001);

//Feedback externe - from 0 to 1//
fdx(ind) = hslider("h:Grain/v:Grain_FeedBackext/fdx%2ind", 1, 0, 1, 0.01) : si.smoo;

//Input gains - from 0 to 1//
inp(ind) = hslider("h:Grain/v:Input/inp%2ind [5]", 1, 0, 1, 0.01) : si.smoo;

//OUTPUT GAINS - from 0 to 1//
out(ind) = hslider("h:Grain/v:Output/out%2ind [6]", 1, 0, 1, 0.01) : si.smoo;

//-----//
//FEEDBACK REINJECTION MATRICES N x N
//-----//
fdMatrix(N) = Matrix(N, N);
//-----//
grain(size, del, rar) = grainS
with
{
freq = 1000 / size;
Phasor = os.phasor(1, freq);

index = Phasor * tablesiz;
env = rdttable(tablesiz, sinuso, int(index));

No = no.noise : +(1) : *(0.5);

```

```

no_trigger = (No < rar);

No2 = no.noise : +(1);
delayInSamples = *(No2,del) : *(mili);

adjustedPhasor = Phasor : ma.decimal;
th_trigger = (adjustedPhasor > 0.001) * (adjustedPhasor@1 <= 0.001);

trig_grain = no_trigger : ba.sAndH(th_trigger);
trig_delay = delayInSamples : ba.sAndH(th_trigger);

envG = trig_grain: *(_env);
grainS = *(_1) : de.fdelay(maxdelay, trig_delay) : *(envG);
};
//-----//
inputSort(n) = si.bus(2*n) <: par(i, n, (ba.selector(i, 2*n), ba.selector(i+n, 2*n)));
//-----//
grainBlock(n) = par(i, n, (+ : grain(size(i), del(i), rar(i))));
fdBlock(n) = par(i, n, *(fdx(i)));
fdToMatrixBlock(n) = fdBlock(n) : fdMatrix(n);
inputBlock(n) = par(i, n, *(inp(i)));
outputBlock(n) = par(i, n, *(out(i)));
//-----//
grainG(n) = (inputSort(n) : grainBlock(n)) ~ (fdToMatrixBlock(n));
jgrain(n) = inputBlock(n) : grainG(n) : outputBlock(n);
//-----//
process = jgrain(7);

```

Résumé :

La modélisation orientée objet-opératoire a été bâtie sur les piliers théoriques de la composition orientée objet, proposée dans les années 1980, par le compositeur-chercheur Horacio Vaggione. Sa théorie propose la composition avec des réseaux d'objets, les objets sont tous les matériaux utilisés lors de la composition. Notre approche est au carrefour de l'analyse de ce répertoire numérique, ainsi que l'interprétation et la composition musicale. Les publications et exemples de démarche créative de Jean-Claude Risset nous ont fourni une base théorique qui met en valeur l'importance de l'analyse du code informatique pour l'étude du répertoire musical faisant appel à l'informatique. En reliant les théories des Risset avec celles de Vaggione, nous avons construit un cadre analytique-créatif sur lequel la pratique - *le faire musical numérique* (soit la composition, soit l'interprétation des œuvres du passé) - est au cœur de l'activité. Partant de ce principe, nous avons analysé *Songes* (1979), pièce acousmatique de Jean-Claude Risset. Parallèlement, nous avons étudié les pièces *Shifting Mirrors* (2016) d'Horacio Vaggione, *Due di Uno* (2002) d'Agostino di Scipio et *Pianotronics 3* (2016) d'Alain Bonardi. Cette dernière nous a fourni le principe technique pour l'élaboration de notre approche créative orientée objet-opératoire fondée sur un environnement, avec le logiciel Max, des modules de traitement numérique en langage FAUST et un contrôle orienté objet en JavaScript. Avec ces méthodes, nous avons composé les pièces *Aphorismes* (2015), *La Philosophie du temps* (2015), *Taurus* (2015-2017) et *Tyqué* (2016-2018).

Mots-clefs : Informatique musicale, composition musicale, analyse musicale, musique numérique, approche orientée objet.

Abstract :

Operational object-oriented modeling was built on the theoretical pillars of object-based composition, proposed in the 1980s by the composer-researcher Horacio Vaggione. His theory proposes an approach to composition based on networks of objects, the objects being the materials used for composition. Our approach is at the crossroads of digital music analysis, as well as the performance and the music composition. The publications and the examples of Jean-Claude Risset's creative approach provided us with a theoretical basis highlighting the importance of analysing the computer code in order to study computer music. Then, connecting Risset's and Vaggione's theories, we built an analysis-based creative framework in which the action, or what we call *digital music making* (compositional or performative), is at the heart of the activity. With this principle, we analyzed *Songes* (1979), acousmatic piece by Jean-Claude Risset. At the same time, we studied Horacio Vaggione's *Shifting Mirrors* (2016), Agostino di Scipio's *Due di Uno* (2002) and Alain Bonardi's *Pianotronics 3* (2016). The latter provided us a technical background for the development of our creative approach based on a Max environment for digital signal processing using the FAUST language and object-oriented controls using JavaScript. With these methods, we composed *Aphorismes* (2015), *La Philosophie du temps* (2015), *Taurus* (2015-2017) et *Tyqué* (2016-2018).

Keywords: computer music, music composition, music analysis, digital music, object-oriented approach.