



HAL
open science

Domaines formels et représentations dans la composition et l'analyse des musiques électroacoustiques : systèmes dynamiques dans la création musicale assistée par ordinateur

Kevin Dahan

► To cite this version:

Kevin Dahan. Domaines formels et représentations dans la composition et l'analyse des musiques électroacoustiques : systèmes dynamiques dans la création musicale assistée par ordinateur. Musique, musicologie et arts de la scène. Université Paris 8 VINCENNES-SAINT-DENIS, 2005. Français. NNT: . tel-01996464

HAL Id: tel-01996464

<https://hal.science/tel-01996464v1>

Submitted on 28 Jan 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 8 - VINCENNES-SAINT-DENIS
U.F.R. ARTS

N attribué par la bibliothèque

THÈSE

pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ PARIS 8
Discipline : Musique

présentée et soutenue publiquement

par

KEVIN DAHAN

le 20 Juin 2005

**DOMAINES FORMELS ET REPRÉSENTATIONS
DANS LA COMPOSITION ET L'ANALYSE
DES MUSIQUES ÉLECTROACOUSTIQUES**

Systèmes dynamiques dans la création musicale assistée par ordinateur

Directeur de thèse :

HORACIO VAGGIONE

JURY

Mme. Myriam Desainte-Catherine

M. Daniel Arfib

M. Adrian J. Moore

M. Horacio Vaggione

The computer can't tell you the emotional story.
It can give you the exact mathematical design,
but what's missing is the eyebrows.
- *Frank Zappa*

Table des matières

Résumé	18
Abstract	21
	24
Remerciements	25
Introduction	29
I Fragments	33
I Logique de fragmentation	35
I.1 Summary	36
I.2 Introduction	38
I.3 Analyse et musique électroacoustique	39
I.3.1 Les techniques	39
I.3.1.1 Représentations en-temps	39
I.3.1.1.a Représentations temps-amplitude	40
I.3.1.1.b Représentations temps-fréquence	41
I.3.1.2 Représentations hors-temps	46
I.3.1.2.a Spectre	46
I.3.1.2.b Autres	46
I.3.2 Les stratégies	47
I.3.2.1 Analyse perceptive : appauvrir le discours ?	47
I.3.2.2 Analyse sémiologique : la tentation de la <i>sur-représen-</i> <i>tation</i>	47
I.3.3 La spécificité de l'analyse en musique électroacoustique	48

I.3.3.1	L'a-représentation	49
I.3.3.1.a	Approche symbolique	49
I.3.3.1.b	Approche technologique	50
I.3.3.1.c	Approches hybrides	50
I.3.3.2	L'absence de <i>grammaire</i>	51
I.3.3.2.a	Problèmes structurels	52
I.3.3.2.b	Problèmes combinatoires	52
I.3.3.2.c	Où trouver les outils ?	53
I.4	Paradoxe :	
	Superposition de niveaux compositionnels/Outils uniscaires	54
I.4.1	L'analyse n'est-elle qu'une description ?	54
I.4.1.1	Analyse et Formalisation	54
I.4.1.2	Analyse = Vue	55
I.4.2	Aporie de connexions	55
I.4.2.1	Connexion Sémantique Son-Description	55
I.4.2.2	Connexion Logique Structures-Structures	56
I.4.2.3	La barrière du <i>representamen</i>	56
II	Analyse schismogénétique	58
II.1	Summary	59
II.2	Introduction	61
II.3	Définition	62
II.3.1	Bateson	62
II.3.2	Origine	63
II.3.2.1	<i>Schismogenèse</i> : Principes	64
II.3.2.1.a	Les procédés de différenciation	64
II.3.2.1.b	Schismogenèse, Homéostasie, Cybernétique	66
II.3.3	Formulation musicologique	66
II.3.3.1	Définition	66
II.3.3.2	Implications formelles	67
II.3.3.2.a	Evolution dynamique	68
II.3.3.2.b	Segmentation fonctionnelle	68
II.3.3.2.c	Méthode et mise en œuvre	69
II.4	Application : le cas de <i>Ballade Dure</i> de Jorge Antunes	70
II.4.1	Pré-analyse	70
II.4.2	Analyse schismogénétique	70

II.4.2.1	Détermination des structures	71
II.4.2.1.a	Groupes synthétiques	71
II.4.2.1.b	Groupes enregistrés	72
II.4.2.2	Développement et Mise en rapport	76
II.4.2.3	Evolution/Conséquence	78
II.4.2.3.a	Synthétique vs. Concret	78
II.4.2.3.b	Linéarité vs. Masse	79
II.4.2.3.c	Homme vs. Machine	79
II.4.3	Conclusion	79
II.5	Pertinence de l'analyse schismogénétique : approche multiscalaire	81
II.5.1	La schismogenèse comme outil	81
II.5.2	Schismogenèse et approche multiscalaire	81
II.5.2.1	Micro-structures	82
II.5.2.2	Méso-structures	82
II.5.2.2.a	Définition verticale	82
II.5.2.2.b	Définition horizontale	82
II.5.2.3	Macro-structures	83
II.5.2.4	Méta-structures	83
II.5.2.5	Conclusion	83
III	Formalisation	84
III.1	Summary	85
III.2	Introduction	86
III.3	Vers une formalisation logique	87
III.3.1	Modèle et Formalisation	87
III.3.1.1	Le rejet de l'induction	87
III.3.1.2	Modèle et Formalisation	87
III.3.2	Définition des termes	88
III.3.2.1	Notations	89
III.3.2.2	Amplitude et Dynamiques	89
III.3.2.3	Fréquence et Hauteurs	90
III.3.2.4	Spectre et Timbres	90
III.3.3	Grammaire analytique	91
III.3.3.1	Grammaire schismogénétique	97
III.3.3.1.a	Différenciations	97
III.3.3.1.b	Schismogenèse	99

III.3.3.2	Implications	99
III.4	Un outil d'analyse schismogénétique assisté par ordinateur . .	100
III.4.1	Vers une grammaire des structures musicales	100
III.4.2	Description	101
III.4.2.1	Implémentation	101
III.4.2.2	Résultats	101
III.4.3	Intérêt et Futur	102
II	Mosaïques	103
IV	L'objet compositionnel	105
IV.1	Summary	106
IV.2	Introduction	107
IV.3	L'objet en informatique	108
IV.3.1	Une définition de la notion d'objet	108
IV.3.1.1	Historique	108
IV.3.1.2	Vocabulaire et concepts associés	109
IV.3.1.2.a	Classe	109
IV.3.1.2.b	Objet	109
IV.3.1.2.c	Héritage	109
IV.3.1.2.d	Polymorphisme	110
IV.3.2	Une définition de la notion d'objet en musique électroacoustique	110
IV.3.2.1	Première approche de l'objet compositionnel électro-	
	acoustique	110
IV.3.2.1.a	Définitions	110
IV.3.2.1.b	Representamen	112
IV.3.2.2	L'objet compositionnel et ses principes	113
IV.3.2.2.a	Multiscalarité	113
IV.3.2.2.b	Multimorphisme	113
IV.3.2.2.c	Multifonctionnalité	114
IV.3.2.3	L'objet compositionnel	115
IV.4	Interactions	116
IV.4.1	Algorithmes	116
IV.4.2	Interaction versus processus	117
IV.4.3	L'entre-objet	117

V	Problèmes de temps	119
V.1	Summary	120
V.2	Introduction	121
V.3	De la <i>Forme</i> à la <i>Métastructure</i>	122
V.3.1	Des <i>Motifs</i> à la <i>Structure</i>	122
V.3.1.1	Motif : définition	122
V.3.1.2	Motifs - Objets - Structure	123
V.3.2	De la <i>Structure</i> à la <i>Macrostructure</i>	124
V.3.3	De la <i>Macrostructure</i> à la <i>Métastructure</i>	124
V.3.3.1	Aspects	125
V.3.3.2	Transversalité	125
V.4	De la <i>Métastructure</i> au <i>Système</i>	126
V.4.1	Marqueurs de contexte	126
V.4.1.1	Définition	126
V.4.1.1.a	Echelle temporelle	126
V.4.1.1.b	Dynamique intrinsèque	127
V.4.1.2	Généralisation	127
V.4.1.3	Système complexe	129
VI	Approche systémique et complexe	131
VI.1	Summary	132
VI.2	Introduction	133
VI.3	Niveaux temporels / Niveaux structurels	134
VI.3.1	Corrélations	134
VI.3.2	Décorrélations	134
VI.4	Vers l(a)-différenciation des processus et des structures	138
VI.4.1	La notion de processus	138
VI.4.1.1	Processus de l'écoute musicale	138
VI.4.1.1.a	L'acte d'entendre	138
VI.4.1.1.b	L'acte de faire (composer)	139
VI.4.1.2	Processus de la composition musicale	140
VI.4.1.2.a	La composition musicale atimbrale	140
VI.4.1.2.b	La composition musicale timbrale	142
VI.4.2	Contre le typage	142
VI.4.2.1	Notion de <i>type</i>	142
VI.4.2.2	Création musicale assistée par ordinateur et typage	143

VI.5	Système dynamique	144
VI.5.1	Introduction générale aux systèmes	144
VI.5.1.1	Définition des systèmes dynamiques	144
VI.5.1.1.a	Systèmes \rightarrow Systèmes fermés / Systèmes ouverts \rightarrow Organisation	144
VI.5.1.1.b	Systèmes \rightarrow Systèmes dynamiques	145
VI.5.2	Non-linéarité	146
VI.5.3	Enaction	147

III Recul 148

VII Approche non-linéaire 150

VII.1	Summary	151
VII.2	Introduction	152
VII.3	<i>The Sketcher</i> : un cahier d'esquisse virtuel	153
VII.3.1	Description du logiciel	153
VII.3.1.1	Externe	153
VII.3.1.2	Interne	154
VII.3.2	Fonctionnement	154
VII.3.2.1	Architecture globale	154
VII.3.2.2	Classes	154
VII.3.2.2.a	<i>Ethos</i> : les classes fonctionnelles	156
VII.3.2.2.b	<i>Eidos</i> : les classes d'abstraction	159
VII.3.2.2.c	Chronos	161
VII.3.2.2.d	Oikos	162
VII.3.2.2.e	Mask	162
VII.3.3	Ambitions/Limitations	162
VII.4	Données	163
VII.4.1	Composition électroacoustique et base de données	163
VII.4.2	Nouvelle approche	165
VII.5	La partition virtuelle	167
VII.5.1	Des lexèmes pour la composition	167
VII.5.1.1	Définition	168
VII.5.1.2	Implication	168
VII.5.1.3	Rationalisation	170

VII.5.1.3.a	Lexèmes	171
VII.5.1.3.b	Lexème composite	171
VII.5.1.3.c	Lexème de magnitude n	171
VII.5.1.3.d	Lexème de lexèmes	172
VII.5.1.3.e	Score	172
VII.5.2	Trajet compositionnel	172
VIII	Interface(s)	174
VIII.1	Summary	175
VIII.2	Introduction	176
VIII.3	Interface Homme-Machine	177
VIII.3.1	Nécessité d'une réflexion sur l'interface graphique pour la composition	177
VIII.3.2	Paradigmes utilisés	178
VIII.3.2.1	Interfaces orientées macro-structures	178
VIII.3.2.2	Interfaces orientées micro-structures	180
VIII.3.2.3	Interfaces temporelles	184
VIII.4	Interface Homme-Machine (<i>bis</i>)	188
VIII.4.1	Fondements d'une logique de l'interface	188
VIII.4.1.1	Espace de travail non typé	188
VIII.4.1.2	Représenter la macrostructuration	189
VIII.4.1.3	Images du temps	189
VIII.4.1.3.a	Présentation linéaire	189
VIII.4.1.3.b	Présentation adirectionnelle	189
VIII.4.1.4	Prototype	190
VIII.4.2	L'interface comme manifestation du signe peircien	192
VIII.4.2.1	Eléments	192
VIII.4.2.2	Interprétation	194
IX	Coda : Système dynamique pour la CAO	196
IX.1	Summary	197
IX.2	Introduction	198
IX.3	<i>Tabula Rasa</i>	199
IX.3.1	Pourquoi?	199
IX.3.2	Sur les modèles	199
IX.3.2.1	Qu'appelle-t-on un modèle scientifique?	199

IX.3.2.2	Modèle musical	200
IX.3.2.2.a	Modèles extramusicaux et modèles scientifiques dans le cadre de la composition assistée par ordinateur .	200
IX.3.2.2.b	Différence entre modèle extramusical et modèle scien- tifique : le problème de la transduction	201
IX.3.3	Niveaux d'abstractions / Complexité	202
IX.4	La composition comme système dynamique	203
IX.4.1	Le système machine	203
IX.4.2	Le système de composition	203
IX.4.2.1	Critères structurels	203
IX.4.2.2	Critères fonctionnels	204
IX.4.2.3	Critères de production	204
IX.5	Par delà le simple système : l' <i>écosystème</i>	206
IX.5.1	La composition : une manifestation écologique	206
IX.5.2	L' <i>écosystème</i> de CAO	206
X	Conclusion	208
	Bibliographie	218
IV	Annexe : <i>User's Guide to the Sketcher</i>	234
A	INTRODUCTION	236
B	REQUIREMENTS	237
C	CONCEPTS	238
C.1	SQUEAK JARGON	238
C.1.1	VM IMAGE	238
C.1.2	PROJECTS	238
C.1.3	UI	239
C.1.4	VARIOUS TOOLS AND UTILITIES	239
C.2	THE SKETCHER ENVIRONMENT	239
C.2.1	OBJECTS-VOCABULARY	239
C.2.1.1	SoundStructures	240
C.2.1.2	Special Cases of SoundStructures	240
C.2.1.2.a	Lexeme	240

C.2.1.2.b	Score	240
C.2.1.3	StatisticalFeature	240
C.2.1.4	Symbol	240
C.2.2	FEATURES	240
D	WORKING WITH THE SKETCHER	242
D.1	(VERY) QUICK TOUR	242
D.2	FUNCTIONS	242
D.2.1	SKETCHER MENU (MAIN MENU)	244
D.2.1.1	File Functions	244
D.2.1.1.a	Open a MIDI File	244
D.2.1.1.b	Open a Strands File	244
D.2.1.1.c	Open a Csound File	245
D.2.1.1.d	Open an AIFF File	245
D.2.1.2	Play/Representation functions	245
D.2.1.2.a	Play	245
D.2.1.2.b	Render Csound File	246
D.2.1.2.c	Show as Piano Roll	246
D.2.1.2.d	Show the related representation	246
D.2.1.3	User-defined objects	247
D.2.1.3.a	Draw a Symbol	247
D.2.1.3.b	Add written notes	247
D.2.1.4	Lexeme Operations	247
D.2.1.4.a	Create a Lexeme	247
D.2.1.4.b	Export a Lexeme	247
D.2.2	Score Operations	248
D.2.2.0.c	Create Score	248
D.2.2.0.d	Export Score	248
D.2.3	DATABASE MENU	248
D.2.3.1	Open Database	248
D.2.3.1.a	Effect	248
D.2.3.1.b	Limitation	248
D.2.3.2	Close Database	248
D.2.3.2.a	Effect	248
D.2.3.2.b	Limitation	249
D.2.3.3	Show all Structures in Base	249

D.2.3.3.a	Effect	249
D.2.3.3.b	Limitation	249
D.2.4	ABSTRACTION MENU	249
D.2.4.1	Histogram Operations	249
D.2.4.1.a	Histogram Manipulation	249
D.2.4.2	Statistical Object Operations	251
D.2.4.2.a	Reveal a Statistical Object	251
D.2.4.2.b	Manipulate a Statistical Object	251
D.2.4.2.c	Propagate a Statistical Object	251
D.2.5	MANIPULATION MENU	252
D.2.5.1	Symbolic Functions	252
D.2.5.1.a	Symbolise	252
D.2.5.1.b	Un-Symbolise	252
D.2.5.1.c	List Symbols	252
D.2.5.1.d	Hide the Related Structure	252
D.2.5.1.e	Show the Related Structure	253
D.2.5.1.f	Hide the Related Symbol	253
D.2.5.1.g	Show the Related Symbol	253
D.2.5.2	Miscellaneous Functions	253
D.2.5.2.a	Export the SoundStructure to MIDI	253
D.2.5.2.b	Manipulate an AudioFile	254
D.2.5.2.c	Manipulate an AudioFile (externally)	254

Résumé

Dans cette thèse est développé un ensemble de théories et d'approches techniques permettant la caractérisation du processus de création musicale assistée par ordinateur. Nous caractérisons le terme de "création musicale" par l'ensemble des procédés pouvant être mis en œuvre lors d'une création musicale électroacoustique : ce vocable englobe aussi bien la notion d'*analyse*, que celle de *composition*. C'est effectivement en naviguant entre analyse et composition, poïétique et esthétique, technologie et psychologie, que se forme l'œuvre musicale électroacoustique.

L'approche proposée suppose par conséquent l'intégration de nombreuses théories et techniques extérieures au domaine de l'informatique musicale. L'aspect d'application de segments de connaissances extérieures à des domaines précis, un des axes fondamentaux de la systémique, est employé ici, ce qui permet un éclairage particulier sur les nombreux problèmes qui sont posés à la fois par une musicologie de la musique électroacoustique et par une ontologie de l'acte de création électroacoustique.

Une telle approche suppose en premier lieu d'effectuer une déconstruction critique des méthodes et outils utilisés pour caractériser la création musicale, puis, outre l'apport extérieur de techniques et de méthodes réflexives, à la fois une adaptation raisonnée - empirique - des outils envisagés, mais également d'une certaine systématisation de leur emploi et de leurs modes de fonctionnement. Aux techniques et théories analytiques traditionnelles, nous avons substitué un outil conceptuel permettant à la fois l'adaptation et la précision nécessaires aux œuvres qui sont présentées. Une formalisation amènera la preuve que cet outil agit comme un cas particulier de la notion de plan adaptatif de Holland, en considérant non plus l'objet de son spectre comme détaché de tout support, mais comme inscrit dans une cohérence à multiples niveaux.

C'est donc naturellement qu'à la notion de note, la musique électroacoustique a substitué un ensemble de termes, que nous avons regroupé sous la notion d'*objet*. Dans notre perspective, cet objet désigne une structure englobant à la fois le caractérisant et le résultant, et par conséquent permet une lecture multiscalaire du processus de création. Le concept d'objet se trouve donc central pour la compréhension d'un système de création musicale assistée par ordinateur, c'est pourquoi une théorie est élaborée quant aux implications profondes que son emploi engendre sur la manière d'envisager la création électroacoustique. La situation hautement dynamique qui résulte du choix d'utiliser l'objet comme moteur d'interaction implique la description d'une stratégie représentationnelle conceptuelle nouvelle. Les possibilités combinatoires offertes sont multiples et bouleversent notre conception directionnelle du travail compositionnel.

Ces travaux théoriques demanderont une remise à plat de l'ensemble du schème

traditionnel de l'outillage électroacoustique : la redéfinition d'un espace de travail n'utilisant plus uniquement l'objet comme outil informatique, mais comme *sème* multiscalaire occupera la dernière partie de notre travail. Le prototype de système de création musicale assistée par ordinateur *The Sketcher* fournit un premier élément concret de réponse quant à la manière de présenter cette complexité - sur les plans mécanique et graphique.

Abstract

In this thesis we develop a set of theories and technical approaches to permit the characterization of the computer-assisted musical creation process. We use the term “musical creation” as the designation of the whole set of process that can be put in motion when doing an electroacoustic musical creation : this expression includes at the same time the notion of *analysis*, and that of *composition*. Indeed, electroacoustic musical works are created when working in between analysis and composition, poïetic and esthetic, technology and psychology.

The suggested approach consequently supposes the integration of many theories and techniques external to the field of computer music. This aspect of using segments of knowledge that are external to well-defined fields, one of the fundamental axes of systemic, is employed here, and allows to shed a particular light on the many problems which are raised by proposing at the same time a musicology of electroacoustic music and an ontology of the act of electroacoustic music creation.

Such an approach initially supposes to carry out a critical deconstruction of methods and tools used to characterize musical creation, then, in addition to the external contributions of techniques and reflexive methods, a reasoned - empirical - adaptation of tools considered, and also of a certain systematization of their employment and their operating modes. Instead of using traditional techniques and analytical theories, we substituted a conceptual tool allowing at the same time the adaptation and the precision necessary to musical works which are studied. A formalization will bring the logical proof that this tool acts as a particular case of the adaptive plan concept of Holland, by shifting the focus from a “detached” object, but as being part of a multiple level coherence.

It is therefore natural that, to the notion of “note”, electroacoustic music substituted a set of terms, which we grouped under the notion of *object*. In our view, this object designate a structure corresponding both what characterize an object, and what this object is producing, thus permitting a multiscalar view on the creation process. The concept of object is therefore central to comprehend a computer-assisted musical creation system, that is why a theory is built on the deep implications that its use have on the manner we understand electroacoustic creation. The highly dynamical situation resulting from the use of object as interaction generator imply the description of a new conceptual representational strategy. The combinatorial possibilities given are multiples and contribute to change our directional conception of the compositional work.

These theoretical works begs for a complete rethinking of complete ensemble of traditional scheme of electroacoustic toolkit : the redefinition of a workspace not only

using the object as a computing tool, but as a multiscalar *seme* will be described in the last part of the work. The prototype of computer assisted musical creation system, *The Sketcher*, will provide a first concrete answer element to the manner to present this complexity - on the mechanical and graphical side.

Remerciements

Je souhaiterais remercier ici toutes les personnes qui ont permis à ce travail d’aboutir.

En premier lieu, mon directeur de recherches, M. Horacio Vaggione, pour avoir encouragé mes travaux dans une perspective relativement vaste, tout en m’invitant à garder un regard critique sur les dérives qui peuvent naturellement découler d’une approche “globale”. Sa patience à mon égard ainsi que son approche ouverte du domaine de la musique électroacoustique m’ont apporté une sécurité et une confiance dans mes travaux, aux moments de doute.

Je remercie également Barry Eaglestone, pour m’avoir accueilli à Sheffield, les longues discussions passionnées sur la recherche en général et sur l’informatique musicale en particulier. Grâce à lui j’ai appris à ne pas me focaliser sur les modes qui façonnent les travaux de recherche, et à persévérer dans les conceptions et convictions que j’avais. Adrian Moore a également participé, à la fois comme “cobaye” et demandeur, à la conception de *Sketcher*. Ses pièces m’ont également profondément marqué et poussé à la réflexion sur le mode de réflexion à l’oeuvre lors de la composition. Guy Brown a permis la réalisation “concrète” du prototype. J’ai appris auprès de lui un certain nombre de réflexes de design et d’implémentation que je n’avais pas acquis de manière formelle au cours de ma formation.

Je suis redevable à Myriam Desainte-Catherine, qui m’a apporté une aide précieuse pour la formulation définitive de la formalisation de l’analyse schismogénétique, en me consacrant une partie de son temps, ainsi qu’à Daniel Arfib, pour ses précisions sur le traitement du signal. Merci à tous deux d’avoir accepté d’être rapporteur de ce mémoire.

Ces travaux n’auraient jamais pu voir le jour sans le soutien sans faille de Martin Laliberté. Déjà à l’origine de ma curiosité pour le domaine de l’informatique musicale, les nombreuses conversations que nous avons eues ont certainement orienté bien des recherches que j’ai pu mener. Merci encore.

Enormément de personnes ont contribué, directement ou indirectement, à la finalisation de ce travail. Je citerais, pêle-mêle (et en m’excusant des oublis inévitables), Christophe, Bruno, Francois, Luc, Pascal...

Merci à la famille Hup, à mes parents et grands-parents pour m’avoir supporté, dans tous les sens du terme, jusqu’à présent. Enfin, en dernier mais le plus cher à mon cœur, je veux remercier ma femme Estelle, et ma fille, Tess, d’avoir toujours été à mes côtés, même dans mes moments de doute les plus difficiles, pour me réconforter et trouver les mots justes. Du fond du coeur, je vous embrasse toutes les deux.

Introduction

La notion de *création musicale assistée par ordinateur* est rarement abordée entièrement par les travaux qui ont lieu en informatique musicale. Il faut reconnaître l'expression équivoque, car elle regroupe un champ encore très mal défini. De "composition algorithmique", dont il est originaire, à "composition interactive", qui est devenue l'une des dernières ramifications, et l'une des plus recherchées à l'heure actuelle, un immense champ est couvert par ce vocable.

La multiplicité des interprétations possibles rejoint la notion d'"éclatement" du domaine. Généralement, les auteurs se concentrent sur des aspects particuliers de l'informatique musicale, en faisant rarement le rapprochement avec les champs connexes : par exemple, en synthèse sonore, les travaux sur les développements de modèles physiques sont nombreux et s'axent prioritairement sur l'aspect technique - ce qui est compréhensible - tandis qu'en composition assistée par ordinateur, les approches technologiques (sous l'angle de telle ou telle innovation informatique) sont développées avec très peu de rapport à un problème esthétique.

Comme nous l'avons souligné, il est vrai que le domaine de la musique électroacoustique - et *a fortiori* l'étude de sa génération - est un champ d'études devenu en quelques décennies extrêmement vaste et varié. Si l'on excepte quelques rares travaux qui s'inscrivent dans une logique d'intégration globalisante [de Oliveira & de Oliveira, 2003], très peu de pistes sont ouvertes à la recherche pour provoquer une meilleure "communication" entre les différents secteurs qui font les facettes de la création électroacoustique.

Notre but n'est bien évidemment pas de fournir une théorie complète pour servir à l'analyse de l'ensemble des musiques électroacoustiques ou à la réalisation d'un environnement de travail complet. *De facto*, un certain nombre d'éléments ont été laissés de côté, car ils relevaient soit d'une interprétation philosophante et/ou scientifique hors de propos - comme c'est souvent le cas lorsqu'il est question de considérer ensemble

sciences cognitives et informatique dans le domaine de l'art¹, soit d'une trop grande spécialisation dans des domaines techniques.

Il nous faut par conséquent apporter quelques précisions terminologiques. Nous avons préféré l'emploi du terme de “*création* musicale assistée par ordinateur” à celui de “*composition* assistée par ordinateur”. Malgré la confusion qui pouvait être engendrée, il nous a paru nécessaire de ne pas confondre une tâche précise et relativement bien définie (la *composition*) et un acte d'acceptation plus générale (la *création*²). La notion de *création musicale assistée par ordinateur* permet d'inclure, sans ambiguïté, la phase de synthèse sonore, de manipulation, d'analyse (sonore *et* musicale), et évidemment la phase d'agencement des structures obtenues. Bien évidemment l'inclusion de cet ensemble de techniques et de phases conceptuelles n'est pas réalisable sans un support. Un tel support est ce que nous définissons comme un *système*. Encore une fois, nous n'adressons pas la question de système *stricto sensu* comme une *unité*, mais sous cette désignation nous entendons inclure l'ensemble des “acteurs” qui permettent la création : compositeur, outils, matériau. De l'interaction de ces différents éléments, de l'aller-retour empirique indispensable à l'émergence d'une matière construite, naît le terme *dynamique*, qui permet de caractériser un tel système.

La question principale, à l'origine de ce travail, était : *les outils disponibles actuellement pour la composition musicale assistée par ordinateur (au sens large) sont-ils réellement adaptés à notre mode de fonctionnement ?*

Il est possible de saisir, à la lecture de ce questionnement, l'ensemble des problèmes qui découlent d'une telle approche : le constant échange entre technicité et esthétiques rend ce domaine particulièrement fragile. Notre préoccupation majeure a donc été de fournir un cadre explicatif assez vaste, et si possible tenant compte des nombreuses sources disponibles, de la psychoacoustique à l'ergonomie des interfaces graphiques, des techniques du traitement du signal aux théories compositionnelles et analytiques. Car c'est bien là que se situe la problématique de la création musicale assistée par ordinateur : dans cet interstice, cet *entre-champs*, entre différentes disciplines disparates et complexes, empiriques ou rationnelles, et c'est cette complexité qu'il convient de rendre, d'expliquer, d'étendre, sans la déformer ni la simplifier, de quelque plan qu'il s'agisse.

¹Nous renvoyons le lecteur à [Rouet, 1999] pour un exemple.

²Nous aurions pu utiliser le terme d'*écriture* - dans le sens musical français bien spécifique, qui nous a paru pendant trop connoté “corporellement”.

Notre travail s'est articulé en trois temps bien distincts. La première partie, intitulée *Fragments*, dénonce la procédure d'atomisation trop couramment à l'oeuvre dans le domaine d'informatique musicale. Bien qu'il s'agisse évidemment de faire avancer la connaissance dans des domaines très spécifiques, la démarche analytique stricte est évidemment nécessaire. Cependant, nous relevons, au cours du premier chapitre, qui traite de l'analyse de la musique électroacoustique, les problèmes, souvent similaires, auxquels sont confrontés à la fois les techniques d'analyse sonore et les théories d'analyse esthétique, sans que les recherches menées actuellement ne permettent de les relier de manière significative. Cette introduction critique aux techniques et théories analytiques nous permettra de présenter une approche nouvelle, baptisée *analyse schismogénétique*, qui prend plus en compte le constant échange s'effectuant entre les domaines techniques et les résultantes esthétiques. Ce nouvel outil, bien qu'en évitant autant que possible la rationalisation à outrance, sera formalisé dans le chapitre suivant, en permettant une lecture plus logique de son mode de fonctionnement profond, pour servir de base à l'implémentation logicielle.

Dans la deuxième partie, *Mosaïques*, nous étudierons le fonctionnement profond de nouvelles théories compositionnelles se basant largement sur les avancées informatiques dans le domaine de la modélisation objet. Les notions essentielles pour l'élaboration de notre système seront établis au cours des trois chapitres qui la composent, et les bases de systémique appliquée à la création musicale assistée par ordinateur seront également posées.

Le troisième mouvement, *Recul*, verra la description d'un prototype permettant de mettre en pratique l'ensemble des conclusions obtenues jusqu'ici. Un certain nombre de concepts fondamentaux sont également décrits, et servent à une critique des interfaces proposées pour les systèmes de création musicale. Finalement, l'ensemble sera résumé dans une description d'ensemble du système dynamique pour la création musicale assistée par ordinateur.

Première partie

Fragments

Much have I travell'd in the realms of gold,
And many goodly states and kingdoms seen.

- *John Keats*

Chapitre I

La logique de fragmentation en analyse de la musique électroacoustique

I.1 Summary

We will present in this first chapter what we call "the fragmentation logic in electroacoustic music analysis" - a formal criticism of the current approach to electroacoustic music analysis.

At first, a general summary of digital processing techniques used in electroacoustic music analysis is presented and classic problems raised by their use exposed and explained. Basic *Csound* examples are given to illustrate good situations in which methods should be employed. Techniques are classified in two classes : "in time" methods comprise both time-amplitudes and time-frequency representations (FFT and wavelets are explained, along with their canonical formulae), while "out time" methods includes instantaneous spectrum, and others measurements techniques (like *SNR*, or *THD*).

The discussion then moves on to the description of two formal analysis methods, *perceptive analysis* and *semiotical analysis*. While perceptive analysis has a strong tendency to impoverish the musical discourse (leading to over-importance given to the *esthysical* aspect of music analysis), the problem with semiotical analysis methods is that of over-complexification of the initial signal. All in all, problems raised by these two methods are of the same sort : the "semantic distance" between the analyst and its object is very difficult to keep.

Conclusions of the discussion of both analytical techniques (technological) and methods (aesthetical) leads us to shed new lights on the basic problems of electroacoustic music analysis. The "a-representation" problem has been approached by using either a symbolic or technological approach, each of which carries the problems we previously discussed, while Smalley's spectromorphological perspective can be envisioned as an "hybrid" approach. The second problem is the absence of grammar - a common language, such as harmony, that prevents the analysts to define a superset of tools to describe structures already "codified" in some way. We describe why the definition of such a grammar is made impossible notably because of structural and combinatorial problems. The multiple levels on which the problems are raised lead us to wonder what would be the requirements for a working analytical grammar for electroacoustic music.

The concluding section of this chapter consists in exposing the paradoxical problem of electroacoustic music analysis : while compositional techniques are strongly *multiscalar*, analytical tools are strongly uniscalar, only working at a given level. We ask the question : "Is electroacoustic music analysis only a description?", then explain why current analytical methods can be seen as only providing views to the objects. Semantical problems are exposed, and finally the Piercean *representamen* concept is

presented. We then concludes by defining the main problem of electroacoustic music analysis as the *representamen barrier*.

I.2 Introduction

Notre premier chapitre consistera en une critique de l'approche actuelle de l'analyse des musiques électroacoustiques³ qui fonctionne selon le paradigme trop étymologique d'"atomisation" des structures musicales (analyse vient du verbe grec *αναλυσιν*, décomposer). Effectivement, le propos de l'analyse est bien évidemment d'isoler des éléments importants, afin de proposer une lecture générale cohérente et essentielle d'une œuvre. Si certaines méthodes analytiques peuvent évidemment soutenir un intérêt, nous allons démontrer qu'elles s'inscrivent presque toutes dans une *logique de fragmentation*, qui n'est pas uniquement liée à leur démarche de décomposition.

Cette logique de fragmentation empêche une lecture plus détachée, "globale" des procédés compositionnels, et finalement se heurte à une barrière conceptuelle - du fait de leur attachement à la décomposition systématique en éléments.

³Probablement pertinente également pour l'analyse musicologique des musiques *non-électroacoustique*...

I.3 Analyse et musique électroacoustique

Pour autant, il n'est pas de notre propos ici de faire une critique détaillée des l'ensemble des différentes méthodes analytiques qui ont été employées dans le cadre de l'analyse des musiques électroacoustiques, mais plutôt de fournir une *grille de lecture* qui permette de pointer précisément les différents problèmes liés aux caractéristiques mêmes des techniques analytiques pour la musique électroacoustique. Par-delà les spécificités “évidentes” de ces musiques (absence de partition, “incohérence théorique”⁴ et hétérogénéité des matériaux), force est de constater, à la suite de [Risset, 1997], qu'il existe une dimension étrangère à ces paramètres, qui est rarement prise en compte.

Cette remarque entraîne qu'il faille réfléchir à la manière d'envisager le rapport de l'analyste à la musique électroacoustique. Contrairement à la majorité des travaux récents, notamment [Stroppa, 1984], ou [Windsor, 1995], nous pensons que ce n'est pas la description et la critique des spécificités des musiques électroacoustiques qui va amener une discussion des méthodes analytiques, mais bel et bien la critique des ces méthodes qui va nous permettre de bien comprendre *en quoi* les musiques électroacoustiques sont difficiles à appréhender pour l'analyste, et par conséquent mettre à nu les spécificités fondamentales de la musique électroacoustique.

I.3.1 Les techniques

Avant toute considération plus complexe, dépendant largement du discours analysé, il nous semble indispensable de rappeler les principales techniques et les principaux outils à la disposition de l'analyste. Bien qu'il existe un certain nombre d'ouvrages consacrés à cette branche particulière du traitement du signal, comme par exemple [Poli *et al.*, 1991] et [Roads *et al.*, 1997], il faut noter que les considérations “musicales” (et en particulier l'incidence que ces techniques peuvent avoir sur la description des signaux musicaux) sont pratiquement absentes, à l'exception notable de [Cogan, 1985]. Nous allons tenter de mettre en lumière les principaux problèmes qui peuvent résulter de l'emploi des différentes techniques d'imagerie.

I.3.1.1 Représentations en-temps

Par ce terme, nous désignons les représentations de signaux musicaux dont le temps est une dimension de projection. Ce type de représentation est très pratique pour l'analyste et est par conséquent très courant. Nous pouvons *grosso modo* déterminer

⁴Nous expliquerons ce terme plus avant

deux catégories distinctes : les représentations temps-amplitude et temps-fréquence, la seconde étant la plus nombreuse.

I.3.1.1.a Représentations temps-amplitude

Les représentations temps-amplitude sont certainement les plus répandues et les plus utilisées des représentations. Elles permettent de se repérer facilement dans le son, la courbure dynamique étant généralement la dimension la plus aisément perceptible dans un son, cette représentation a donc été uniformément adoptée par les logiciels de montage et de traitement audio comme “vue par défaut”. Elle possède un autre avantage certain, car elle ne nécessite *aucun* traitement, les informations d’amplitude étant stockées directement dans les formats de fichier audio (voir [Apple Computer, 1991] et [Microsoft, 2001]).

Ce mode de représentation présente cependant un intérêt limité lors de l’analyse, à part dans certains cas précis dans lequel la tension dynamique joue un rôle prépondérant : c’est par exemple le cas de *In the light of the above*, de Arne Eigenfeldt, pièce entièrement basée sur des motifs de contrastes dynamiques entre bandes de bruit blanc, dont une analyse sera proposée plus loin. Dans ce cas particulier, il est évident qu’une analyse approfondie du contenu fréquentiel n’est pas foncièrement intéressante⁵, par conséquent c’est par représentation des niveaux sonores qu’il nous est permis de révéler la construction du discours. Mais il faut noter là qu’il s’agit d’un cas bien particulier. La plupart du temps, le discours musical ne peut se réduire à une seule dimension (mis à part le temps), et donc la représentation temps-amplitude ne permet d’obtenir qu’un *schéma* de la forme générale d’une pièce (ou d’une section d’une pièce).

Nous l’avons vu, réduire une pièce à sa simple morphologie dynamique est une grossière erreur. Outre le manque même d’informations inhérent à cette représentation, il est courant d’obtenir des informations fausses en raison de la nature non-linéaire de la perception (les fréquences basses et aiguës, pour être entendues, nécessitent une amplitude plus forte), phénomène bien connu des acousticiens (voir par exemple [Fletcher, 1929], [Leipp, 1971, chap. IX] pour une critique et [Buser & Imbert, 1983, chap. 3] pour une analyse physiologique). Par conséquent, la représentation peut induire en erreur, comme le montre l’exemple *Csound* simple ci-dessous :

```
; Amplitude.orc
; Démontre la différence dans la perception d'intensité
```

⁵A part évidemment de délimiter avec précision les différentes zones de bruit, dans certains cas bien particuliers.

```

; en fonction de la fréquence

sr      =      44100
kr      =      4410
nchnls  =      2

instr 1

kamp    =      10000      ; Amplitude fixe
ifn     =      1          ; Table Sinus

aosc    oscil  kamp, p4, ifn  ; Oscillateur

outs    aosc, aosc

endin

; Amplitude.sco

f 1 0 16384 10 1          ; Table de fonction sinus

i1      0      2      80      ; 80 Hz pour deux secondes
i1      3      2      500     ; 500 Hz...
i1      6      2      5000    ; 5000 Hz...
i1      9      2      10000   ; et 10000 Hz

e

```

Voilà donc exposé le premier problème qui se pose à l'analyste : le critère même de *dynamique* ne peut être évacué uniquement par l'utilisation d'une représentation temps-amplitude, bien qu'elle puisse servir de support utile comme grille de repérage d'éléments structurants.

I.3.1.1.b Représentations temps-fréquence

Les représentations temps-fréquences sont sans aucun doute les plus utilisées lors de l'analyse des œuvres de musique électroacoustique. Elles permettent en effet une

lisibilité simple, le temps étant projeté sur l'axe des ordonnées, avec en regard sur l'abscisse l'échelle fréquentielle. Il s'agit également de méthodes complexes, difficiles à maîtriser, avec de potentielles “surprises”, qui peuvent conduire à une lecture erronée.

Précision terminologique

Par convention, et pour éviter toute confusion dans un domaine déjà complexe et comportant des séparations très fines entre disciplines, nous avons choisi de manière arbitraire d'employer à la fois les termes *sonogramme* et *sonagramme*. Le *sonogramme* désignant pour nous un contenu analytique “neutre” - simple mesure physique, le *sonagramme* désignant lui un contenu déjà complexe, et constituant un élément d'analyse esthétique.

Ces deux termes seront employés ici et tout au long du texte de cette manière, avec cette précision sémantique indispensable.

FFT et dérivées

La transformée de Fourier est certainement à la base de la méthode de représentation temps-fréquence la plus courante - le *sonogramme*⁶. Les implémentations classiques utilisent la méthode de la *transformée rapide de Fourier* (FFT), ou encore de la *transformée discrète de Fourier* (DFT), qui sont plus adaptées aux signaux numériques⁷. La définition mathématique canonique de la DFT est la suivante :

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-2\pi ikn} \quad k = 0, 1, \dots, N - 1$$

où N représente le nombre d'échantillons du signal $x(n)$, avec $n=0, 1, \dots, N-1$, et k un index de fréquence.

La FFT représente un cas particulier de la DFT, avec le nombre d'échantillon N :

$$N = 2^x \quad \text{avec } x \in \mathbb{N}$$

⁶Bien que les techniques de transformées de Fourier et dérivées soient originellement utilisées pour la transposition d'un signal du domaine temporel au domaine fréquentiel (soit temps/amplitude vers fréquence/amplitude), l'utilisation la plus classique est maintenant celle du sonogramme, qui est une accumulation de transformées mises bout à bout. Bien entendu, les transformées de Fourier restent également utilisées pour représenter les spectres (cf. *infra*).

⁷En effet, la transformée classique de Fourier ne permet en théorie qu'une analyse de signaux continus (i.e. infinis). Les algorithmes employés sont en fait des dérivations de la transformée “classique”. On se référera notamment à [Moore, 1990, pp. 61-88] pour une présentation détaillée de ces deux techniques.

En pratique, le signal est coupé en tranches de longueur N . Plus N est grand, plus la résolution fréquentielle est précise, au détriment de la précision temporelle. Pour compenser cet effet de la FFT, le signal est passé par une fenêtre de forme spécifique avant d'être analysé⁸.

L'utilisation de la transformée de Fourier dans le cas d'un sonogramme est donc toujours délicate. Selon le signal, il convient de choisir avec précision la résolution (taille) de la fenêtre d'analyse ainsi que sa forme, pour pouvoir utiliser cette technique de manière correcte.

Ondelettes et autres

Grâce aux transformées par ondelettes, l'analyste obtient une représentation du domaine temps-fréquence particulière, dans laquelle les dimensions sont relativement indépendantes quant à la résolution choisie, car la transformée en ondelettes équivaut à une convolution d'un signal avec des formes contractées ou dilatées d'une ondelette mère. La définition mathématique des ondelettes de Morlet est la suivante :

$$w(t) = e^{iat} \cdot e^{-t^2/2\sigma}$$

où a représente un paramètre de modulation et σ le paramètre d'échelle affectant la taille de la fenêtre.

L'intérêt majeur des ondelettes est qu'il permet à l'analyste de s'affranchir (relativement) des problèmes d'interdépendance des domaines temporel et fréquentiel. Par conséquent, choisir une représentation par ondelettes autorise une détection fine des attaques (*onsets*), et conséquemment de délimiter assez finement différentes attaques. L'exemple ci-après démontre l'intérêt de ce type d'analyse lors d'une succession d'attaques très rapides :

```
; Attaques.orc
; Démontre la pertinence d'une analyse par ondelettes
; dans le cas d'évènements successifs très rapprochés
```

```
sr      =      44100
kr      =      4410
ksmps  =      10
```

⁸On se référera avec profit à [Smith, 1999, Chap. IX] pour une introduction générique à ces problèmes classiques de traitement du signal.

```
nchnls =      2

instr 1

kamp    =      10000      ; Amplitude fixe
ifn     =      1         ; Table Sinus

aosc    oscil  kamp, p4, ifn ; Oscillateur

outs    aosc, aosc

endin

; Attaques.sco

f 1 0 16384 10 1          ; Table de fonction sinus

i1      0      0.15      150
i1      1      0.15      300
i1      1.5    0.15      150
i1      1.75  0.15      450
i1      1.875 0.15      600
i1      1.9375 0.15     150
i1      2      0.15      70

i1      3      0.14      8000
i1      3.2    0.3       409
i1      3.22  0.67      1400
i1      3.6    0.4       40
i1      3.75  0.1       4000
i1      3.766 0.35      739

e
```

La représentation en ondelettes (figure I.1) du signal précédent montre l'intérêt de cette technique pour déterminer de manière précise les différentes attaques. Il est facile de remarquer les différents onsets ainsi que les zones fréquentielles concernées (plus sombres, elles montrent ainsi une activité plus importante).

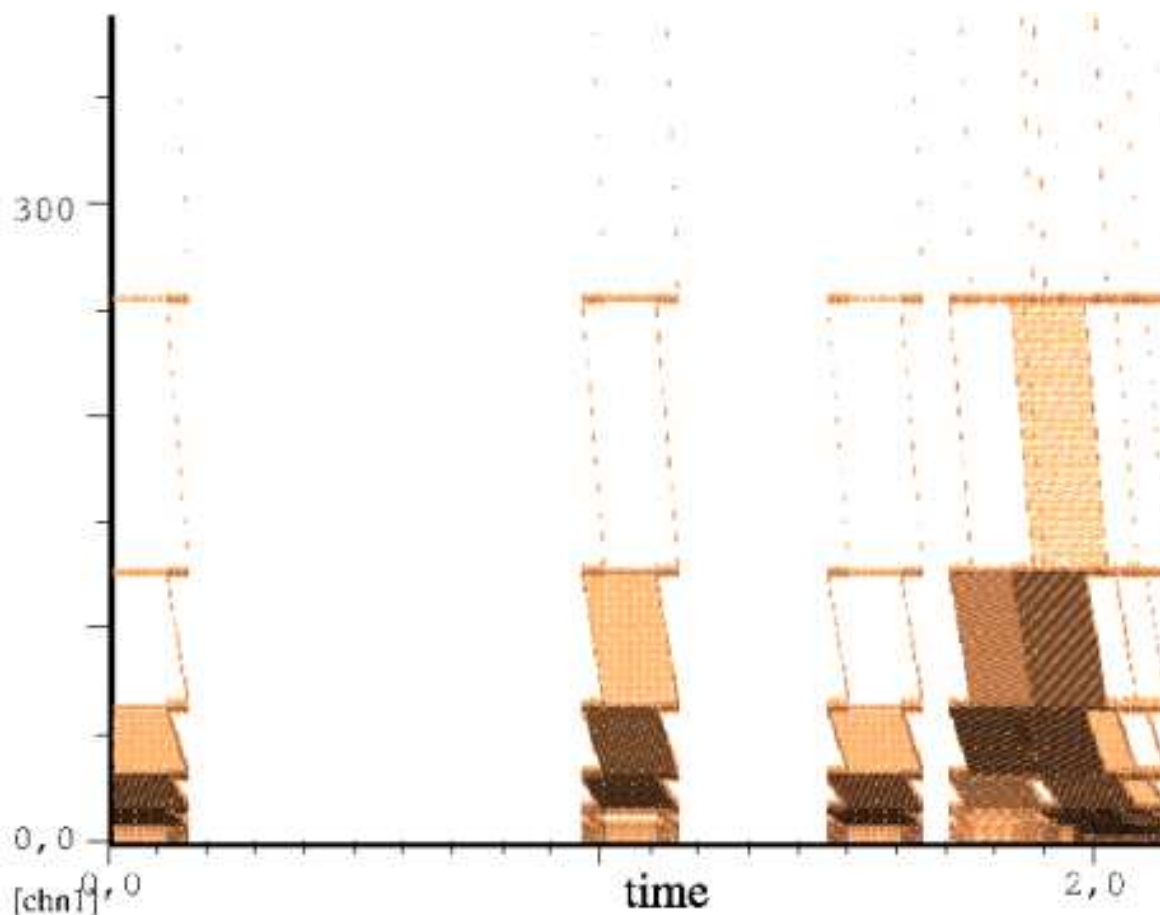


FIG. I.1 – Ondelettes (ex *Attaques*) - Transformée en ondelettes Daubechies, facteur 10, taille de la fenêtre d'analyse : 2048

D'autres techniques de représentation et d'analyse "en-temps" sont disponibles, mais leur emploi reste limité. Par souci de complétude, nous citerons les techniques suivantes :

- L'Analyse *LPC*⁹ tente de prédire les pics de résonances (ou *formants*). La définition mathématique est la suivante :

$$x'(n) = \sum a_k x_{(n-k)}$$

⁹Pour *Linear Predictive Coding*, Codage Prédictif Linéaire.

L'analyse LPC est plus particulièrement employée dans l'analyse et la synthèse des phénomènes vocaux, à cause de la nature formantique de la voix, même si son utilisation a été explorée théoriquement [Moorer, 1976] et largement utilisée, notamment par Paul Lansky, par exemple dans le premier mouvement “Her Voice” de *Six Fantasies on a Poem by Thomas Campion* [Lansky, 1979].

- Le *Cepstrum* est défini mathématiquement comme suit [Tukey *et al.*, 1963] :

$$\text{FT}(\log(\text{FT}(\text{signal})))$$

Il permet de définir la vitesse de changement entre bandes spectrales.

I.3.1.2 Représentations hors-temps

A l'opposé des représentations en-temps, d'autres types de représentations sont utiles lors de l'analyse des musiques électroacoustiques. Le terme de “hors-temps” paraîtra incorrect sous un aspect mathématique, néanmoins il conserve un intérêt pour l'analyste, car celui-ci travaille sur des tranches temporelles très fines qu'il serait pratiquement inutile de replacer dans un contexte temporel strict.

I.3.1.2.a Spectre

Obtenir une représentation du spectre à un instant t est extrêmement intéressant pour l'analyste. Ici encore, l'analyste utilise une transformée de Fourier, qui lui permet d'obtenir un graphe comportant en abscisse les fréquences d'un timbre donné en regard des amplitudes, portées en ordonnée. Ce type de représentation est extrêmement utile, en particulier pour des pièces dont la composition se centre sur la synthèse (nous pensons en particulier à *Stria* de John Chowning, dont l'élaboration des sons se base sur une synthèse FM avec utilisation du nombre d'or comme rapport entre fréquences porteuse et principale).

I.3.1.2.b Autres

Il existe un certain nombre de représentations (ou, au sens large, mesures) pouvant être utilisées dans le cadre d'analyse d'œuvres musicale.

SNR

Le *Signal to Noise Ratio*¹⁰ permet d'estimer la part d'information dans un signal en rapport à la quantité de “bruit”. Cette mesure n'est pas forcément toujours pertinente

¹⁰Rapport Signal-Bruit

dans le cadre des musiques électroacoustiques.

THD

La *Total Harmonic Distortion*¹¹ fournit une lecture statistique de la déviance d'un signal par rapport aux harmoniques théoriques.

I.3.2 Les stratégies

L'approche analytique certainement la plus évidente et directe pour la musique électroacoustique est sans doute l'*analyse perceptive*.

I.3.2.1 Analyse perceptive : appauvrir le discours ?

Le paradigme de l'analyse perceptive correspond à la même volonté d'affranchissement des codes "traditionnels" de la musique électroacoustique¹², d'une *tabula rasa* quant aux formalismes classiques des analyses musicologiques. Au lieu de se prémunir d'un attirail conceptuel et technique important comme il a été le cas précédemment (analyse paradigmatique [Ruwet, 1972], schenkerienne [Forte, 1982], notamment), le point de vue de l'analyse perceptive est celui de ne confier une "vérité" qu'à la perception brute, sans passer par un arsenal conceptuel considéré comme biaisant l'analyse.

Il est clair que l'approche perceptive se révèle être un pendant parfait d'une certaine approche de la composition électroacoustique, dans laquelle l'accent est mis sur la "couleur" plutôt que la construction syntaxique du discours, la tendance *acousmatique*, et de manière plus général, les compositeurs influencés par les théories de Pierre Schaeffer [Schaeffer, 1966]. Pourtant, l'idée principale du concept d'*objet sonore* est celle selon laquelle l'objet présenté à l'auditeur doit être compris comme détaché de son origine, de sa *cause*.

I.3.2.2 Analyse sémiologique : la tentation de la *sur-représentation*

Nous l'avons vu, si la technique d'analyse perceptive est quasiment indissociable de l'utilisation d'une partition d'écoute, elle pose plus de problème qu'elle ne résout. Sa première utilisation a sans doute été le fameux score de Wehinger réalisé pour *Artikulation* de Ligeti [Wehinger & Ligeti, 1970]. La réalisation d'une telle partition, cautionnée par le compositeur, a incité certains analystes à confondre le *sens* de la composition avec l'*interprétation* que la partition propose, allant même jusqu'à parler

¹¹Distortion Harmonique Totale

¹²et plus généralement de la musique du XXe siècle.

de prescription [Windsor, 1995, p. 24-25] ! Ligeti avait pourtant lui-même mis en garde contre la confusion qui résulterait de la présentation combinée de la partition et de la musique :

Gewiss empfinde ich Abneigung gegen alles ausgesprochen Pragmatische und Illustrative. Das bedeutet aber nicht, dass ich mich gegen Musik wehre, die Assoziationen hervorbringt, im Gegenteil : Klänge und musikalischer Zusammenhang wecken bei mir stets Vorstellungen von Konsistenz und Farbe, von sichtbarer sowie erkennbarer Form.¹³

C'est donc bel et bien la question de la *distance sémantique* entre la composition et sa représentation qui est en jeu lors d'une analyse se voulant sémiologique. Le risque est certain, en voulant procéder à une analyse "neutre", de confondre niveau *poïétique* et niveau *esthésique* - dans ce cas précis, il est évident que la partition d'écoute ne sert que d'illustration (une sorte de niveau esthésique ajouté), qui ne présente que peu de liens avec l'ambition originale, si ce n'est qu'une ré-interprétation (voire une transposition) de l'œuvre. Il est évident qu'une approche purement technique, comme illustrée par [Cogan, 1985], c'est-à-dire utilisant uniquement des procédés d'imagerie type sonogrammes ou spectres, ne peut être suffisante, car l'analyse se situe justement dans la part "active" qu'entretient l'analyste face à son sujet¹⁴.

I.3.3 La spécificité de l'analyse en musique électroacoustique

L'exposé des diverses techniques et théories utilisées en musique électroacoustique nous permet maintenant de présenter de manière pertinente les différents problèmes spécifiques qui se posent en analyse de la musique électroacoustique. Deux principaux problèmes ont émergé des remarques précédentes : celui de la représentation, et comme corollaire, l'absence d'une grammaire (compositionnelle et par conséquent analytique).

¹³ *Je ressens une aversion contre tout ce qui présente un pragmatisme et une illustration prononcés. Cela ne signifie toutefois pas que je m'oppose à la Musique qui produit des associations, au contraire : les sons et la cohérence musicale m'évoquent toujours des éléments de consistance et de couleur, qui me présentent la forme de manière reconnaissable et visible.* Traduction personnelle.

¹⁴ On arguera qu'il est possible de considérer le choix des fenêtres de fonction, de leur dimension, ainsi que des différents paramètres de représentation peut constituer une forme d'action. Il est clair cependant que ce travail ne joue un rôle que mineur dans la "formalisation" du plan sémantique - soit l'analyse en elle-même.

I.3.3.1 L'a-représentation

L'absence de représentation symbolique unifiée (que nous nommerons *a-représentation*, pour marquer le clivage entre représentations symbolique et physique) est certainement le problème principal que les compositeurs et chercheurs ont rencontré. Depuis Schaeffer¹⁵, de nombreuses propositions ont été faites pour permettre aux compositeurs de disposer d'une technique de notation unifiée pour la composition électroacoustique.

I.3.3.1.a Approche symbolique

Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, de nombreux compositeurs ont fait appel à une logique symbolique associative pour obtenir une méthode de description de leurs œuvres. Bien entendu, cette approche est largement dépendante du style compositionnel, ainsi que des matériaux choisis. Bien qu'il soit possible de raisonner par analogie en assignant un libellé concret à un son synthétique (par exemple, "son de cloche" pour désigner une synthèse FM inharmonique), il reste néanmoins le problème de l'interprétation psychologique de chaque auditeur, comme le souligne Trevor Wishart [Emmerson, 1986, chap. III] :

When listeners accustomed to concerts where instrumentalists perform attend concerts of electroacoustic music projected on loudspeakers, they often express a sense of disorientation. This is usually attributed to the lack of any visual focus at the concert. However, it seems clear that this reaction is prompted by an inability to define an imaginable source, in the sense of a landscape, for the sounds perceived.^{16,17}

¹⁵En réalité, l'obsession de la notation est latent durant toute la première moitié du XXe siècle en musique contemporaine. Les expériences de John Cage, de Morton Feldman (par exemple *The King of Denmark*, [Feldman, 1965]), de Xenakis (*Pithoprakta*, [Xenakis, 1967]) et, dans une moindre mesure, de Boulez (*Domaines*, [Boulez, 1970]), montrent également la difficulté de décrire de manière symbolique des techniques d'exécution et des résultats complexes.

¹⁶Quand des auditeurs habitués à des concerts de musique instrumentale viennent à des concerts de musique électroacoustique projetée par haut-parleurs, ils font souvent part d'une sorte de désorientation. Cela est souvent attribué au manque de centre d'intérêt visuel pendant le concert. Néanmoins, il paraît évident que cette réaction est provoquée par une incapacité à définir une source imaginable, dans le sens du panorama, pour les sons perçus. Traduction personnelle.

¹⁷Comme le souligne en outre cette citation, le problème de la diffusion est également important. Cependant, il dépasse, de par son caractère imprévisible et *a priori* indéfini le cadre de cette discussion. Nous nous permettrons cependant de faire quelques remarques sur l'importance de la spatialisation plus avant.

I.3.3.1.b Approche technologique

L'utilisation d'un outil permettant de transcrire le son en symbole a toujours été une obsession des compositeurs et des analystes depuis l'introduction de l'ordinateur dans l'arsenal compositionnel. Les efforts de Iannis Xenakis, entre autres, ont permis de produire l'*UPIC*. Cet appareil permet aux compositeurs d'obtenir une transcription aurale d'un schéma compositionnel ; cette innovation a permis aux analystes d'inventer des systèmes fonctionnant à l'inverse, c'est-à-dire en réalisant un *score* d'une entrée sonore (comme par exemple l'*Acousmographie* réalisé au GRM). En fait, le résultat est très proche de celui obtenu grâce à un sonogramme - l'*Acousmographie* fournit cependant un ensemble d'outil pour permettre au compositeur de réaliser une partition plus abstraite, en retravaillant la transcription obtenue et en l'enrichissant de symboles, graphes, annotations.

I.3.3.1.c Approches hybrides

Deux méthodes, bien que se rattachant plus directement à l'une ou l'autre des approches traditionnelles, peuvent être considérées comme étant "hybrides" - une brève évocation de celles-ci nous paraît nécessaire, pour bien affirmer l'intérêt croissant envers des approches libérées de carcans conceptuels trop rigides. Cependant, et bien qu'elles s'appliquent particulièrement aux démarches électroacoustiques, le parti-pris qu'elles choisissent constitue encore une fois un frein à des développements plus complexes et plus ouverts.

Spectro-morphologie

Il nous faut mentionner les techniques de *spectro-morphologie* employées par Denis Smalley [Smalley, 1986], qui représentent un effort certain pour proposer des représentations-types associées à un certain type de son. L'un des avantages de cette approche est de pouvoir se détacher des problèmes de nommage que l'on rencontre habituellement avec les autres méthodes analytico-structurantes - la typologie spectro-morphologique fait complètement abstraction de l'*eidōs* du son, c'est-à-dire de son origine factuelle et de ses relations possibles à la sphère symbolique, psychologique, littérale ou discursive.

La spectro-morphologie autorise le compositeur et l'analyste à utiliser un jargon concret pour décrire des phénomènes sonores, ainsi qu'un réservoir de symboles graphiques aisément dérivables. Bien que l'approche de Smalley soit essentiellement auditive, et qu'il ne soit pas fait référence à des outils technologiques (le ton est résolument

anti-technologique¹⁸), la définition de la spectro-morphologie aurait été plus que délicate¹⁹.

Les Unités Temporelles Sémiotiques (U.S.T.)

Les récents développements de cette approche [Timsit-Berthier *et al.*, 2004] laisse entrevoir l'inclusion de la notion de *biosémiotique*²⁰. L'approche des *UST* nous paraît cependant être moins complète que la spectro-morphologie, dans le sens où l'intérêt ne se porte plus que sur le caractère morphologique de l'évènement sonore. Si cette caractérisation semble suffisante pour aboutir à une description *langagière* d'une œuvre électroacoustique, de par son manque d'adaptabilité "formelle" ainsi que par le relatif empirisme dont elle fait preuve, cette démarche ne nous paraît pas suffisamment aboutie pour obtenir une méthode transversale pour l'analyse musicale.

I.3.3.2 L'absence de *grammaire*

La diversité des approches représentationnelles masque mal le véritable problème : c'est en effet l'absence d'une *grammaire*, fût-elle formelle ou symbolique, qui est à l'origine de ce manque de stratégie de représentation. S'il est illusoire de pouvoir fournir ou développer une grammaire *unique* dans le cas des musiques électroacoustiques, étant données non seulement la pluralité stylistique, mais également la quasi-infinité des matériaux utilisables pour la composition, il reste néanmoins possible de fournir un cadre grammatical dans lequel est rendu l'ensemble des variantes et des possibilités combinatoires.

Au contraire de la musique occidentale classique, les musiques électroacoustiques

¹⁸*Spectro-morphology reaffirms the primacy of aural perception which has been so heinously ignored in the recent past, and warns composers, researchers and technologists that unless aural judgment is permitted to triumph over technology, electroacoustic music will attract deserved condemnation.* [Smalley, 1986, p. 93]!

La spectro-morphologie réaffirme la primauté de la perception auditive qui a été de manière si haineuse ignorée dans le passé récent, et avertit les compositeurs, chercheurs et techniciens qu'à moins qu'on ne prépare le triomphe du jugement auditif sur la technologie, la musique électroacoustique n'obtiendra qu'une condamnation méritée.

Traduction personnelle.

¹⁹Récemment, les travaux de Hirst [Hirst, 2002] ont consisté à fournir un modèle technologique basé sur l'approche spectro-morphologique. Nous reviendrons sur cette méthode plus loin.

²⁰Nous préférons pour notre part le terme, que nous utiliserons plus loin, d'*écologie*. Là où la biosémiotique suppose la nécessité du corps humain dans toute théorie de la signification - induisant ainsi une notion de segmentation entre humain et environnement, la notion d'écologie permet de considérer l'*ensemble* du système étudié - ne singularisant ainsi donc pas l'absence ou la présence d'un système biologique indépendant, mais au contraire autorisant son acceptation - ou non - *naturelle* dans le système analytique.

fonctionnent sans cadre structurel préexistant : il n'existe aucune règle qui permette de confirmer ou d'infirmier la validité de tel enchaînement de sons ou de telle combinaison [Emmerson, 1986, chap. II]. Ce problème, qui s'est posé à l'origine de l'emploi des outils électroniques ou de matériaux non-instrumentaux dans la musique (voir les réflexions de Boulez ou de Stockhausen sur leurs premières expérimentations), a curieusement été évacué après la vague structuraliste. L'ouvrage monumental de Pierre Schaeffer [Schaeffer, 1966], bien que voulant donner quelques règles combinatoires, ne fournit aucun cadre structurel satisfaisant, *a fortiori* de grammaire.

I.3.3.2.a Problèmes structurels

La composition passe par la définition d'une structure. Alors que les compositeurs "classiques" avaient à leur disposition un réservoir de formes prédéfinies²¹, suite à la *tabula rasa* post-webernienne, les compositeurs ont le plus souvent choisi de ne pas reprendre les formes classiques, et si une part non-négligeable des compositions suivent une structuration de type "logique" (type ABA, forme thème et variations...), il convient de noter qu'elles ne font pas appel de manière stricte aux règles organisationnelles qui sous-tendent et font la complexité des pièces "classiques".

C'est là le premier problème pour la définition d'une grammaire analytique adaptée à la musique électroacoustique.

I.3.3.2.b Problèmes combinatoires

La présence d'une cohérence structurelle et organisationnelle de haut-niveau implique qu'au niveau local il existe un certain nombre de règles qui garantissent l'application d'une logique combinatoire. Le carcan harmonique dans la musique tonale, les règles de répétitions dans les musiques sérielles fournissent un "set" dans lequel il est aisé de trouver des associations entre motifs. Or, une nouvelle fois, cette logique combinatoire est insaisissable dans les musiques électroacoustiques, en ce qu'elle est indissociable des matériaux employés²². Nous appelons cette caractéristique des musiques électroacoustiques la *contingence morphologique*.

²¹Bien entendu ces formes n'étaient pas figées, mais leurs évolutions et variantes relevaient d'une codification tout aussi poussée - on se référera à l'ouvrage de Rosen sur le style classique [Rosen, 1972]

²²L'objection selon laquelle la combinatoire est également dépendante du matériau dans la musique sérielle ne tient pas, car, bien évidemment, les règles associatives sont préexistantes au matériau. Ceci dit, il est exact que l'arrangement structurel et macro-structurel de ces structures locales est indéfini. La difficulté de définir une grammaire structurel est également présente dans le cadre du sérialisme, car les problèmes structurels, eux, existent.

I.3.3.2.c Où trouver les outils ?

En ayant ainsi décrit les différents problèmes liés aux stratégies représentationnelles, qui se situent sur une multitude de niveaux (formels, structurels, morphologiques et symboliques), vouloir trouver la clé qui permet d’unifier le tout au sein d’une grammaire relève bien évidemment de la gageure.

En premier lieu, l’outil conceptuel choisi doit être adaptable sur différents niveaux temporels²³. Le problème de la transduction est un corollaire du premier, dès lors qu’on attache une dimension symbolique à l’échelle susmentionnée. Effectivement, l’utilisation d’une dimension symbolique implique l’utilisation d’une grammaire supplémentaire, liant le symbolique au “factuel”, et par conséquent entraînant une nouvelle fois le recours à une méthode représentationnelle.

²³En effet, la relation du morphologique au local, du local au structurel, et du structurel au macro-structurel est avant tout un problème d’échelle de temps, voir [Vaggione, 2001b].

I.4 Paradoxe :

Superposition de niveaux compositionnels/Outils uniscales

Au vu de toutes ces difficultés, analyser la musique électroacoustique semble donc relever d'un difficile choix entre compte-rendu technique et ressenti perceptif. A la différence des analystes de musiques *interprétées*²⁴, les analystes des musiques électroacoustiques ne peuvent se reposer sur un socle stable d'analyse *fonctionnelle* - ni les techniques, ni les méthodes compositionnelles, ni les différents procédés analytiques disponibles ne sont satisfaisants, pas plus qu'ils ne peuvent espérer une validation autre qu'esthétique en décidant d'employer des techniques *factuelles*.

Ces différentes observations, entraînent une mise en question logique de l'activité analytique dans le cas des musiques électroacoustiques - existe-t-il une pertinence à fournir des commentaires sur des œuvres qui sont par essence sur-commentées (l'abondance de matériaux, de médiums et d'outils qui jalonnent une création musicale électroacoustique porte déjà une part de commentaire et de redondance informative) ?

I.4.1 L'analyse n'est-elle qu'une description ?

Sommes-nous pour autant réduit à considérer que l'analyse des musiques électroacoustiques doit se résumer à une description, fût-elle d'ordre technique, ou perceptive ? Nous ne le pensons pas.

Si une part non-négligeable de l'analyse peut être comprise comme étant une description factuelle du rendu sonore d'une pièce, elle ne peut en aucun cas se réduire à cela, quelle que soit la volonté de l'analyste de s'effacer derrière la description (nous renvoyons le lecteur au fameux texte de Jean-Jacques Nattiez sur la nécessaire improbabilité du niveau sémiologique neutre dans l'analyse [Nattiez, 1987]), différents facteurs (perceptifs, psychologiques) entrant dans la réception et *a fortiori* dans la restitution d'une œuvre.

Il convient pour cela de commencer par redéfinir certains paradigmes et d'en tirer les conséquences.

I.4.1.1 Analyse et Formalisation

Comme toute forme d'art, la musique a été le reflet des avancées menées dans les domaines de réflexion technique et philosophique. Bien entendu, le cas des musiques

²⁴C'est-à-dire disposant d'un médium qui *transcrit* une notation musicale

électroacoustiques est flagrant, reflet à la fois des innovations technologiques, mais aussi conceptuelles, qui ont jalonné la seconde moitié du XXe siècle.

I.4.1.2 Analyse = Vue

Quel que soit l'angle d'approche, théorique et/ou technique de l'analyse musicale, nous nous rendons vite compte qu'une multitude de facteurs viennent perturber les tentatives de compréhension du phénomène sonore. En résumant, le cas de la musique électroacoustique est triplement complexe, en ce que : (1) il se base sur une construction, (2) ses structures internes sont intimement reliées entre elle, et (3) son "unité" de base est indéfinie, multiple et complexe²⁵.

Il nous semble par conséquent que les différentes techniques analytiques évoquées jusqu'à présent ne prennent pas en compte l'*ensemble* de ces trois traits principaux. Faut-il pour autant résumer l'analyse des musiques électroacoustiques à un problème de *vue* ? S'il est évident que toute activité analytique, de par sa démarche propre (et d'autant plus dans le cas qui nous intéresse, de par les outils technologiques disponibles qui peuvent être trompeur sur les matériaux analysés) oriente l'analyste dans une direction préétablie, rendant "impossible l'application du niveau neutre" [Nattiez, 1975, p. 73], n'est-il pas moins possible de créer un objet analytique à facettes, qui permette de proposer un nombre n de vues, se rapprochant ainsi de cet inatteignable niveau neutre ?

I.4.2 Aporie de connexions

Finalement la véritable clé permettant de comprendre et de fournir une solution aux difficultés soulevées par l'analyse/la composition et finalement leur formalisation dans un cadre computationnel serait-il celui du manque de cohésion et de connexions entre les différents niveaux/temps de la composition ?

I.4.2.1 Connexion Sémantique Son-Description

Le premier chaînon manquant est logiquement celui qui nous a principalement occupé jusqu'à présent, celui de la jonction sémantique entre le son et sa description.

Ce problème est essentiel pour tous les travaux effectués par les sémioticiens de la musique²⁶ (voir [Nattiez, 1987], [Meeùs, 2001]) - existe-t-il une relation spécifique entre

²⁵A la différence de la musique instrumentale, dans laquelle la notion de note comme unité est relativement claire, il n'existe pas à proprement parler d'unité structurale en musique électroacoustique.

²⁶Et, au sens large, l'ensemble de la sémiotique...

le signifiant et le signifié, entre le produit et le ressenti ?

Sans vouloir simplifier les débats (très animés par ailleurs) en cours, il nous paraît tout d'abord que le problème se situe à nouveau dans une perspective *scalair*e - il n'existe aucune relation *formelle* entre une structure sonore et sa description. Les différentes théories déjà mentionnées (et en particulier l'objet sonore de Schaeffer, ou la spectro-morphologie de Smalley, qui s'attachent particulièrement à trouver un système de représentation - fût-il uniquement textuel) ne permettent de trouver un système commun de représentation iconique.

I.4.2.2 Connexion Logique Structures-Structures

Nous désignons sous le terme d'*hyperconnectique* les liens qui se créent entre structures de niveau d'organisation inférieur.

Il s'agit à proprement parler d'un *réseau organisationnel* qui se tisse entre les différentes structures sonores : tout comme la musique tonale fonctionne par un système de pondération des degrés - qui déterminent leurs fonctions au milieu d'un *contexte* - la musique électroacoustique semble fonctionner de manière similaire ; les multiples qualificatifs dynamiques employés dans les analyses sont l'expression des relations complexes qui se tissent entre les différentes structures.

I.4.2.3 La barrière du *representamen*

A Sign, or Representamen, is a First which stands in such a genuine triadic relation to a Second, called its Object, as to be capable of determining a Third, called its Interpretant, to assume the same triadic relation to its Object in which it stands itself to the same Object.²⁷

in *A Syllabus of Certain Topics of Logic*, [Peirce Edition Project, 1998, p. 272]

Nous voyons combien le concept peircien de *representamen* est consistant et résume parfaitement le problème qui nous occupe. La nature multiple des structures sonores, leurs imbrications et, en quelque sorte, leur "généalogie"²⁸, force à une relation du type *representamen*, quant au système représentationnel à l'œuvre dans une pièce. Les

²⁷ *Un Signe, ou Representamen est un Premier placé dans une telle relation triadique avec un Deuxième, appelé son Objet, qu'il est capable de déterminer un Troisième, appelé Interprétant, qui occupera la même relation triadique avec son Objet.* Traduction personnelle.

²⁸ La dimension temporelle et les principes gestaltiques impliquent une "évolution contrôlée" des structures sonores, en ce sens que pour garder une cohérence perceptive, ces structures sonores ne doivent pas être déformées au-delà d'un certain seuil. Il s'agit d'ailleurs d'un principe clairement exposé dans les cours de composition [Falk, 1958], [Vaggione, 2002] ou même d'orchestration [Adler, 1989].

processus de transformation du son couramment employés peuvent eux-mêmes être assimilés à des *representamen*, car ils imposent une lecture nouvelle de la structure - au moins au niveau esthétique - et donc une nouvelle structure *per se*, un autre objet, ou *representamen*.

Pourtant, toutes les méthodes analytiques que nous avons présentées jusqu'ici ne portent que peu d'intérêt (voire aucun) à la multiplicité des échelles de lecture, et donc se heurtent en plein à la *barrière du representamen*²⁹. Il est vrai qu'en offrant toutes les possibilités de *composition du son*, la musique électroacoustique a également ouvert la boîte de Pandore, et en même temps a conduit à une complexification du langage musical sans précédent dans l'histoire de la musique, très résistante à l'analyse.

Cependant, en ayant défini de manière technologique et théorique les problèmes liés à l'analyse esthétique des œuvres de musique électroacoustique, la définition d'un principe analytique clair est rendue bien plus aisée. Nous allons maintenant étudier les possibilités pour la définition d'une nouvelle approche analytique, basée sur l'étude critique que nous venons de réaliser.

²⁹Nous avons auparavant, dans [Dahan, 2001] défini ce problème grâce à une analogie avec le problème, en physique, du *principe d'incertitude* défini par Heisenberg [Heisenberg, 1969] - cette analogie, bien que largement valide quant aux problèmes de niveaux de représentation rencontrés par l'analyse, est limitée sur les problèmes relationnels typiquement rencontrés.

Chapitre II

Analyse schismogénétique

II.1 Summary

We introduce in this chapter a new analytical process. Based upon Gregory Bateson's works in the field of social anthropology in the late 30's, the concept of schismogenesis reveals a strong potential for a completely new theoretical approach for electroacoustic music analysis. Originally developed to help formalize the situation arising from cultural contact between heterogeneous social groups, the concept of *schismogenesis* seems to be adaptive enough to permit its use outside its original context. Based upon the observance of three different types of *differentiations* (symmetrical, complementary and reciprocal) leading to a segmentation of social groups, this conceptual tool proves to be very effective when dealing with complex situations.

We first started to work on a transposition of the schismogenesis concept to computer music analysis in [Dahan, 2000], by providing an aesthetical analysis of John Chowning's *Stria* and Jean-Claude Risset's first movement of *Sud*. From this early attempt, it appeared clearly that this tool was useful and well-adapted for understanding complex works, where multiple levels of abstraction were interacting (abstract, physical, factual).

We briefly present the core concept of schismogenesis, as applied to computer music analysis. Schismogenesis is to be thought as an *conceptual tool*, rather than *analytical process*. Technical choices remains to the analyst. Nevertheless, the analyst should take care than several points are respected in order to go ahead with the schismogenical analysis :

- (a) *Dynamical evolution* must exist - given the temporal nature of music, it is almost unavoidable,
- (b) Evidence of contrasting elements (corollary of (a)),
- (c) Existence of several *analytical levels* (independent of their nature : temporal, formal, conceptual, Idos).

Once these conditions are fulfilled, the analyst should be able to designate the following elements :

- (1) groups involved in schismogenesis and communication channels between them,

- (2) contextual characteristics of the schismogenesis³⁰
- (3) mechanisms or factors controlling the schismogenesis, being (at least) of three different types :
 - (a) loops of degenerative causality can be superimposed on schismogenesis, implying that when a certain intensity level is reached, some form of constraint is applied ;
 - (b) other cumulative interactions, besides schismogenesis, may exist³¹, may act in an opposite direction ;
 - (c) growth of the schismogenesis may be limited by environmental factors (internal or external), different from groups in contact in the schismogenetic loop³².

An analysis of *Ballade Dure*, by Jorge Antunes, is then presented, leading to a description of three different schismogenesis : synthetic vs. “concrets” sounds, linearty vs. mass, and man vs. machine. Of course these schismogenesis exists at different level of abstractions, but do interfere at some defined points. By defining these different interactions (or groups of interaction), the musical piece is more useful when thought as a system - we then introduce the concept of *multiscalar system*. Concepts such as micro-, meso-, macro- and meta-structures are defined then explained in the context of complex musical systems and schismogenesis.

³⁰i.e. topical conditions for the observation of schismogenesis

³¹i.e. another schismogenesis, on another level, but causing local disturbances on the schismogenesis under investigation.

³²i.e. in the case of musical installation

II.2 Introduction

L'ensemble des remarques que nous avons formulées dans le précédent chapitre nous amène à présenter une nouvelle approche pour l'analyse des musiques électroacoustiques. A la lecture de l'ouvrage principal de Gregory Bateson, *Steps to an Ecology of Mind* [Bateson, 1972], la description du concept de *schismogenèse* a retenu notre attention et a paru particulièrement adapté à au problème précis de l'analyse des musiques électroacoustiques.

Le parcours atypique de Gregory Bateson nous a paru essentiel à rappeler : sa trajectoire intellectuelle visant effectivement à se débarrasser des carcans habituels de pensée enracinée dans un domaine spécifique. Comme il le dit dans les *métalogues* servant de prolégomènes à son exposé de l'écologie de l'esprit :

We all have lots of ready-made phrases and ideas, and the printer has ready-made sticks of letter, all sorted out in phrases. But if the printer wants to print something new - say, something in a new language, he will have to break up all that old sorting of the letters. In the same way, in order to think new thoughts or to say new things, we have to break up all our ready-made ideas and shuffle the pieces.³³.

³³*Nous avons tous des tas de phrases et d'idées toutes prêtes, et le typographe possède des baguettes toutes prêtes de lettres, classées en phrases. Mais si le typographe veut imprimer quelque chose de nouveau - disons, dans une nouvelle langue, il devra casser tout son ancien classement. De la même manière, nous devons casser nos idées toutes prêtes et mélanger les pièces.* [Bateson, 1972, p. 16]

II.3 Définition

Issue des travaux de Gregory Bateson dans le domaine de l'anthropologie sociale, la *schismogénèse* est un outil pertinent dans le cas de l'analyse de situations complexes, dans lesquelles un nombre d'éléments hétéro(-gènes, -morphes) sont mis en rapport. Par conséquent, il s'agit d'un outil pertinent dans le cadre de l'analyse des musiques électroacoustiques, étant donné la variété des techniques (technologiques et conceptuelles) que nous avons évoquées au cours du premier chapitre.

Le terme de schismogénèse, forgé par Bateson, vient du grec *σμιζειν* (couper) et *γενεσις* (l'origine) - il s'agit d'étudier comment deux systèmes parviennent, après contact, à maintenir un état stable, ou créer un nouveau système hétéromorphe.

II.3.1 Bateson

Dans le cas de théories si complexes que celles de Bateson, il serait illogique de ne pas brièvement évoquer ses travaux, tant ils éclairent et permettent de mieux saisir l'essentiel de sa pensée.

La plupart des travaux de Gregory Bateson ont été écrits et publiés comme articles de journaux, et sont axés sur quatre sujets : anthropologie, psychiatrie, évolution biologique et génétique.

Après une période consacrée à l'étude anthropologique en Nouvelle-Guinée (1932-1940), Bateson se rend à New-York en tant que spécialiste des artefacts balinais à l'*American Museum of Natural History*. A la conférence Macy sur la cybernétique de 1942, il rencontre Warren McCulloch et Julian Bigelow qui lui font part de leur concept de "feedback", concept qui lui a manqué pour son étude *Naven* [Bateson, 1958].

Après une période en Europe peu féconde pendant la guerre, Bateson retourne à New York en 1945, et commence ses travaux sur la psychiatrie. Entre 1949 et 1962 il reçoit une bourse de recherche de la fondation Rockefeller pour travailler sur le rôle des paradoxes dans l'abstraction de la communication. Il développe alors le concept de *double bind*, essentiel pour la compréhension de la schizophrénie.

Son intérêt passe alors à la zoologie et il travaille sur la communication entre cétacés et humains (1963). C'est à cette période qu'il développe un concept de nouvelle épistémologie - mélange de théorie systémique et d'écologie.

Steps to an Ecology of Mind [Bateson, 1972] est constitué par un ensemble chronologique des travaux de Gregory Bateson.

II.3.2 Origine

Le principe de la schismogénèse a été énoncé pour la première fois dans un article de 1935, publié dans *Beyond The Frontier*, intitulé “Culture Contact and Schisogenesis”. Nous nous référerons à [Bateson, 1972], car il est étendu par de multiples références au sein de cet ouvrage, notamment dans les articles “Bali : The Balue System of a Steady State” et “Effects of Conscious Purposes on Human Adaptation”.

Au centre de la discussion, selon Bateson pour critiquer un certain nombre “d’erreurs répandues dans le milieu des anthropologues”³⁴, se trouve le résumé des résultats possibles lors de la mise en contact de deux groupes culturels :

- (a) la fusion complète des groupes différents à l’origine,
- (b) l’élimination d’un ou des deux groupes,
- (c) la persistance des deux groupes en équilibre dynamique à l’intérieur d’un groupe majoritaire³⁵.

C’est bien entendu le cas (c) qui a intéressé Bateson et qui sert de base au concept de *schismogénèse*. Lors de la description de ce cas, il déclare :

This is probably the most instructive of the possible end results in contact, since the factors active in the dynamic equilibrium *are likely to be identical or analogous* with those which, in disequilibrium, are active in cultural change. Our first task is *to study the relationships* obtaining between groups of individuals with different behavior patterns, and later *to consider what light these relationships throw upon* what are more usually called “contacts”.^{36 37}

En clair, il s’agit d’un résumé des problèmes fondamentaux et du programme de recherche qui formeront la cybernétique et la théorie des systèmes, encore à venir :

³⁴“certain errors prevalent among anthropologists” [Bateson, 1972, p. 67]

³⁵ [Bateson, 1972, p. 72]

³⁶voir [Bateson, 1972, p. 67].

Il s’agit probablement du plus instructif des résultats finaux possibles dans le contact, puisque les facteurs actifs dans l’équilibre dynamique sont très possiblement identiques ou analogues avec ceux qui, en déséquilibre, sont actifs lors de changements culturels. Notre première tâche est donc d’étudier les relations obtenues entre des groupes d’individus avec des motifs de comportement différents, et ensuite de considérer quel éclairage ces relations jettent sur ce qui est normalement appelé “contacts”.
Traduction personnelle.

³⁷C’est nous qui soulignons.

- (1) trouver les facteurs qui provoquent une stase ou un dérèglement d'un système,
- (2) étudier les relations entre éléments du système,
- (3) comprendre de quelle manière ces relations influent sur l'état général du système étudié.

II.3.2.1 *Schismogenèse* : Principes

Au centre de la discussion, se trouve donc les différents procédés qui provoquent un changement dans l'état du système - il est impossible de passer outre l'importante notion de *différenciation*.

II.3.2.1.a *Les procédés de différenciation*

Pour étudier un système complexe et hétéromorphe - né de la persistance de deux groupes dans un équilibre dynamique - Bateson définit tout d'abord deux procédés de différenciation :

"The possibilities of differentiation of groups are by no mean infinite, but fall clearly into two categories : (a) cases in which the relationship is clearly symmetrical [...], and (b) cases in which the relationship is *complementary* [...]." ³⁸

Nous parlerons donc de *différenciation symétrique* et de *différenciation complémentaire*, ces deux cas menant soit à l'effondrement (*break-down*) du système, soit à un nouvel "équilibre". A ces deux cas de schismogenèse *stricto sensu*, Bateson ajoute un autre cas, dit de *différenciation réciproque*, dans lequel l'équilibre dynamique n'est pas rompu.

Différenciation symétrique

Il s'agit du premier cas décrit. Il survient lorsque les deux groupes sociaux, ayant "les mêmes aspirations et les mêmes modèles comportementaux" ³⁹, mais utilisent un schéma de comportement identique lors des relations entre membres de groupes opposés.

³⁸ [Bateson, 1972, p. 67].

Les possibilités de différenciation entre groupes ne sont en aucun cas infinies, mais tombent clairement en deux catégories : (a) cas dans lequel la relation est clairement symétrique [...], et (b) cas dans lequel la relation est complémentaire. Traduction personnelle.

³⁹"[...] the same aspirations and the same behaviour patterns" [Bateson, 1972, p. 68]

Thus members of the group A exhibit behaviour patterns A,B,C in their dealings with each other, but adopt the patterns X,Y,Z in dealing with members of group B. Similarly, group B adopt the patterns A,B,C among themselves, but exhibit X,Y,Z in dealing with group A. Thus a position is *set up* in which the behaviour X,Y,Z is the standard reply to X,Y,Z.⁴⁰

Différenciation complémentaire

Le deuxième cas est d'une grande simplicité. Il est observable lorsque les groupes ont "des comportements et des aspirations fondamentalement différentes"⁴¹.

Thus members of group A treat each other with patterns L,M,N, and exhibit the patterns O,P,Q in dealings with group B. In reply to O,P,Q, the members of group B exhibit the patterns U,V,W, but among themselves they adopt patterns R,S,T. Thus it comes that O,P,Q is the reply to U,V,W, and vice versa.⁴²

Différenciation réciproque

La définition de la schismogénèse aurait pu s'arrêter ici. Pourtant un troisième cas vient troubler le système de classification. La différenciation *réciproque* étant le cas dans lequel le système dynamique reste dans un état constant, il était donc important de l'inclure dans la définition des processus de différenciation :

In this type the behavior patterns X and Y are adopted by members of each group in their dealings with the other group, but instead of the symmetrical system whereby X is the reply to X and Y is the reply to Y, we find here that X is the reply to Y. Thus in every single instance the behavior is asymmetrical, but symmetry is regained over a large number of

⁴⁰ [Bateson, 1972, p. 68]. C'est nous qui soulignons.

Ainsi les membres du groupe A utilisent les motifs comportementaux A,B,C entre eux, mais adoptent X,Y,Z avec les membres du groupe B. De manière similaire, le groupe B adopte les motifs A,B,C entre eux, mais exhibe X,Y,Z avec le groupe A. De telle manière qu'une position est mise en place dans laquelle le comportement X,Y,Z est la réponse standard à X,Y,Z. Traduction Personnelle.

⁴¹"the behaviour and aspirations of the members of the two groups are fundamentally different" [Bateson, 1972, p. 68]

⁴² [Bateson, 1972, p. 68].

Ainsi les membres du groupe A utilisent les motifs L,M,N entre eux et emploient les motifs O,P,Q avec le groupe B. En réponse à O,P,Q les membres du groupe B utilisent les motifs U,V,W, mais entre eux adoptent les motifs R,S,T. Cela revient à considérer O,P,Q comme la réponse à U,V,W, et vice-versa. Traduction personnelle.

instances since sometimes group A exhibit X to which group B reply with Y, and sometimes group A exhibit Y to which group B reply with X.⁴³

Ce type de différenciation ne tend pas vers la schismogénèse, mais tend au contraire vers un système homéostatique.

II.3.2.1.b Schismogénèse, Homéostasie, Cybernétique

Par conséquent, il n'est pas rare de voir comparer les concepts de *schismogénèse* et d'*homéostasie*, du grec ομοιοσ, stable et στασις, état, concept apparu dans les mêmes années sous la plume du physiologiste américain W.B. Cannon (voir [Cannon, 1932]). L'homéostasie désigne le mécanisme d'autorégulation d'un système dynamique et en même temps la condition d'un système lorsqu'il est capable de maintenir ses variables essentielles dans des limites acceptables pour ses structures en face de perturbations inattendues. Il est alors possible de considérer que la schismogénèse et ses différenciations sont une manière d'expliquer le comportement de systèmes en état homéostatique, et qu'un système homéostatique constitue l'un des objets d'études les plus intéressants de la première cybernétique⁴⁴.

II.3.3 Formulation musicologique

Au vu des problèmes soulevés dans le précédent chapitre par l'analyse des musiques électroacoustiques, l'adaptation de ces concepts de schismogénèse à la théorie musicale paraît pratiquement évidente.

II.3.3.1 Définition

De par son mode de fonctionnement, indépendante de toute conception formelle, car il est possible de l'employer quelle que soit la nature du système dynamique étudié, l'outil schismogénétique s'applique bien à la problématique de l'analyse musicale. En effet, la musique (en particulier les musiques de la seconde moitié du XXe siècle) peut être envisagée comme un système dynamique, dont les éléments complexes interagissent. L'avènement et l'engouement, au cours des deux dernières décades du XXe siècle, pour

⁴³ [Bateson, 1972, p. 69].

Dans ce type de comportement les motifs X et Y sont adoptés par les membres de chaque groupe dans leurs échanges avec l'autre groupe, mais au lieu du système symétrique dans lequel X est la réponse à X et Y la réponse à Y, nous trouvons ici que X est la réplique à Y. Ainsi dans chaque instance le comportement est asymétrique, mais la symétrie est reconquise après un grand nombre d'itérations, puisque quelques fois le groupe A exhibe X au groupe B répliquant par Y, et parfois le groupe A exhibe Y au groupe B qui répond par X. Traduction personnelle.

⁴⁴Comme l'ont montré les expériences décrites dans [Ashby, 1952].

les musiques utilisant des systèmes temps-réels montrent bien la *dynamisation* (ou complexification) des procédés de composition, d'interprétation et d'implémentation⁴⁵.

La schismogénèse, de par son mode de fonctionnement, indépendant de tout *a priori* formel sur les structures et le fonctionnement du système à étudier, s'intéresse au comportement *global* d'un système - par conséquent, elle est aisément adaptable à tout niveau d'analyse : appliquée au niveau *local* (étude du comportement et de la structuration des timbres, micro-construction des structures, etc.), elle peut permettre d'extraire un modèle applicable à un niveau supérieur ; utilisée au niveau général (contrastes dynamiques, conceptuels, etc.) elle peut permettre de déterminer une macro-structure précise, et par conséquent, d'inférer des structures locales conjointes à une structuration particulière.

Il nous faut particulièrement insister sur *ce qu'est* la schismogénèse appliquée à l'analyse : il n'existe pas de *critères* qui permettent de définir la schismogénèse comme une *méthode analytique* - il s'agit bel et bien d'un *outil conceptuel*. Cela induit une grande différence de démarche et d'utilisation ; là où les méthodes analytiques (comme celles mentionnées dans le premier chapitre) proposent une "recette" sous forme d'ensemble d'outils⁴⁶ - généralement pour chercher à produire un modèle réduit et simplifié⁴⁷ d'une pièce, la schismogénèse laisse l'analyste libre du choix de ses outils et de son approche, sans l'enfermer dans un carcan technique spécifique, et veut lui permettre d'approcher et de rendre compte *au mieux* de la complexité, en déterminant *comment* micro-, méso- et macro-structures interagissent dans un système esthétique⁴⁸ dynamique complexe. Virtuellement toutes les manifestations de la musique - de l'électroacoustique aux cantates de Bach⁴⁹ - sont analysables *via* la schismogénèse.

II.3.3.2 Implications formelles

Dans un souci de complétude, nous allons décrire le cas général d'application de l'approche schismogénétique à l'analyse musicale.

⁴⁵Nous considérons pour notre part, avec [Vaggione, 2002], que le recours à ces systèmes provoque un certain manque de profondeur du discours dans la plupart des cas, due au report de certaines difficultés compositionnelles (liées justement à l'emploi de la technologie) sur l'interprétatif.

⁴⁶Les exemples les plus convaincants de ce type d'approche sont bien entendus encore une fois l'analyse paradigmatique de Nicolas Ruwet [Ruwet, 1972] et les différentes variantes de l'analyse schenkerienne [Forte, 1982].

⁴⁷simplifiant ?

⁴⁸au sens large ; il peut être aussi pertinent de n'étudier que l'aspect purement fonctionnel - *poiétique* - d'une œuvre.

⁴⁹Et il serait possible de tenir compte de la dimension de l'interprétation dans l'analyse !

II.3.3.2.a *Evolution dynamique*

Pour qu'un *système musical*⁵⁰ soit descriptible par l'analyse schismogénétique, il faut que les conditions suivantes soient vérifiées :

- (a) Existence de la notion d'*évolution dynamique* - quasi-inévitable du fait de la nature temporelle de la musique⁵¹,
- (b) Présence d'éléments contrastants (corollaire de (a)),
- (c) Existence de plusieurs "niveaux analytiques" (indépendamment de leur nature : temporel, formel, conceptuel,...).

II.3.3.2.b *Segmentation fonctionnelle*

Dès lors que ces conditions sont remplies, l'analyste devrait pouvoir formellement identifier les points suivants :

- (1) les groupes impliqués dans la schismogénèse et les voies de communication qui les relient,
- (2) les caractères contextuels de la schismogénèse⁵²,
- (3) les mécanismes ou facteurs qui contrôlent la schismogénèse, qui peuvent être (au moins) de trois types différents :
 - (a) des boucles de causalité dégénérative peuvent être superposées à la schismogénèse, ce qui implique que lorsque celle-ci atteint une certaine intensité, une forme de contrainte est appliquée ;
 - (b) il peut exister, en plus de la schismogénèse, d'autres interactions cumulatives⁵³, agissant dans un sens opposé ;
 - (c) l'augmentation de la schismogénèse peut être limitée par des facteurs qui

⁵⁰Nous reviendrons largement sur ce concept de système musical. Pour le moment, il suffit de considérer celui-ci comme le sur-ensemble de l'œuvre, à savoir méthode compositionnelle, méthode d'interprétation s'il y a lieu, etc.

⁵¹On se référera à [ESCOM04, 2004] pour plusieurs discussions approfondies de la notion du temps en musique contemporaine.

⁵²C'est à dire les conditions réunies pour l'observation de la schismogénèse.

⁵³Peut-être une autre schismogénèse, à un autre niveau, mais ayant des conséquences locales sur la schismogénèse objet d'étude.

sont, de manière interne ou externe, environnementaux aux groupes en jeu dans le circuit schismogénétique⁵⁴.

II.3.3.2.c Méthode et mise en œuvre

L'analyste doit ensuite trouver lui-même une méthode technique pour rendre compte efficacement du statut schismogénétique de la pièce. En premier lieu, la démarche doit donc être "classique" : recherches des éléments principaux, analyses spectrographiques de ces éléments, caractérisations, plan d'écoute, tout ces outils restant absolument nécessaires. Après avoir "disséqué" formellement la pièce, l'hypothèse schismogénétique doit être vérifiée (rappelons que virtuellement toutes les œuvres musicales rentrent dans ce cadre analytique).

Ensuite seulement vient l'interprétation schismogénétique, qui consiste finalement à repérer les éléments moteurs (dynamiques) et leurs mises en relation, à expliquer les comportements qu'ils exhibent lors de leurs contacts, et d'inscrire l'ensemble de ces observations dans l'évolution dynamique globale du système musical.

⁵⁴Par exemple dans le cas des musiques d'installation.

II.4 Application : le cas de *Ballade Dure* de Jorge Antunes

Le choix de le *Ballade Dure* de Jorge Antunes pour illustrer le fonctionnement et l'intérêt de l'analyse schismogénétique paraît presque évident, tant l'œuvre fonctionne sur différents niveaux structurels et symboliques.

II.4.1 Pré-analyse

La *Ballade Dure* est, dès le premier abord, une pièce imposante : d'une durée de 20 minutes et 30 secondes, elle utilise, comme nous allons le décrire brièvement, une succession de séquences enregistrées et synthétiques, qui permettent, *grosso modo* de diviser la pièce en trois sections.

L'emploi d'une longue séquence enregistrée (1'59 à 4'00), dans un métro parisien, qui est restituée sans traitement apparent (rappelant l'approche "anecdotique" de Luc Ferrari) oblige l'auditeur à se détacher du sentiment hypnotique induit par l'utilisation des sons synthétiques employés jusque là. Détachement complet confirmé encore par l'utilisation du discours d'un chômeur faisant la manche (3'30 à 4'30) et qui va devenir le motif principal du développement consécutif jusqu'à 7'30 et l'introduction d'un nouvel enregistrement, celui d'une manifestation, employé jusqu'à 8'10.

A partir de 9'15 est introduit une nouvelle dynamique rythmique, confirmé par l'utilisation de "tranches sonores" d'une durée réduite vers 10'40. S'ensuit un crescendo et l'arrivée à 12'20 à l'introduction d'un nouveau motif enregistré (bruit d'une caisse enregistreuse), mélangé à des sons synthétiques extraits du début de la pièce, suivant un descrescendo d'intensité jusqu'à 15'10.

La reprise variée du motif du début de 15'10 à 18'21 est suivie d'un nouvel enregistrement, d'un homme qui court, puis reprend son souffle avant de repartir. La reprise finale du motif est entendue de 19'34 à 20'30 et est précédée d'un "blanc" d'une dizaine de secondes.

II.4.2 Analyse schismogénétique

Il est évident que cette œuvre fonctionne sur un jeu de tensions entre différents niveaux organisationnels (structurels, morphologiques, temporels, matériels et symboliques). Par conséquent, l'utilisation de l'analyse schismogénétique est justifié.

II.4.2.1 Détermination des structures

Le premier groupement structurel utile pour notre analyse est celui, aussi bien matériel que symbolique, qui sous-tend l'ensemble du discours, à savoir l'opposition entre les sons synthétiques et les séquences concrètes. Nous allons dans un premier temps recenser ces différents groupes.

II.4.2.1.a Groupes synthétiques

Le thème synthétique principal est exposé dès le début de la pièce, exposé jusqu'à 0'33 consiste en une série de motifs ascendants et/ou descendants répétés ; certains de ces "traits" apparaissent avec une phase stable. La figure II.1 présente un sonagramme d'un extrait de ce motif, pris de 9 à 15 secondes.

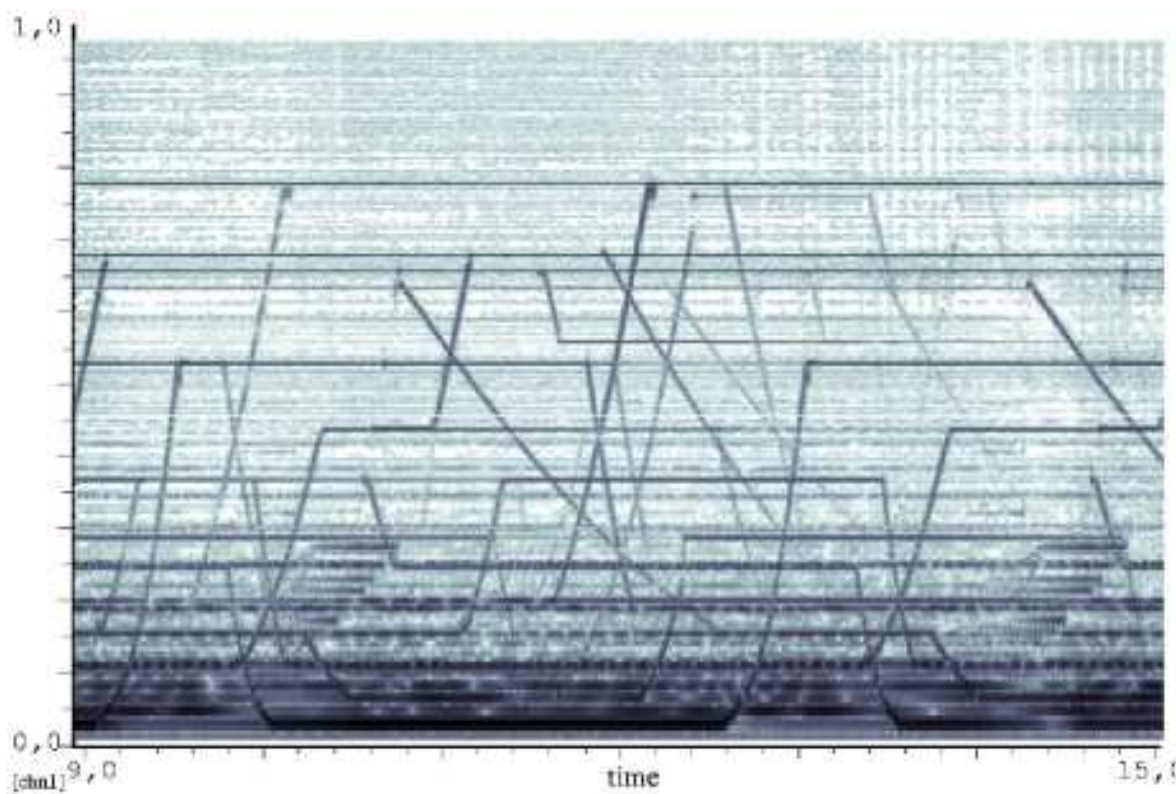


FIG. II.1 – Sonagramme 0'09s à 0'15s - Fenêtre type Kaiser (facteur de forme 0.38) - taille de fenêtre : 2048

La structuration est clairement identifiable : les éléments mobiles (traits), plus ou moins rapides, se stabilisent généralement à une fréquence donnée, dans une zone comprise entre 4000 et 11200 Hz, associé à un "bourdon", constitué d'un ensemble de fréquence dans la zone de 59 à 226 Hz, sorte de magma duquel ces traits émergent. C'est

l'enchevêtrement de ces traits qui structurent ce premier motif, de type *continuum*⁵⁵.

Immédiatement après l'exposé de ce premier motif surgit une première variation. La présence du bourdon est plus forte, plus grave (emphasis sur la partie inférieure), et se situe maintenant à 37 Hz (soit un rapport dominante / tonique, 59Hz donnant un Sib et 37Hz un Mib), la zone fréquentielle dans laquelle les traits sont compris est moins importante (de 2000 à 6000 Hz). Ces deux thèmes sont échangés jusqu'à 1'55 environ, avec une évolution des textures en traits (par échange) beaucoup plus lente.

Il faut attendre 9'30 pour avoir l'introduction d'un nouveau motif purement synthétique pendant environ une minute - un spectre centré sur une fréquence de 687Hz est varié de manière périodique (environ 20Hz), créant un trémolo régulier (de moins 10Hz).

De nouveaux sons d'*apparence synthétique* apparaissent alors, de 10'30 à 11'30, pour être ensuite superposé à la séquence qui a précédée (trémolo) conjointement.

II.4.2.1.b Groupes enregistrés

La première séquence "anecdotique" (au sens de Luc Ferrari) est comprise entre 1'55 et 4'04. L'intérêt d'analyser au moyen d'outil spectrographiques une telle séquence est habituellement relativement inutile, mais nous verrons que les informations qu'elle nous rapporte éclaire les développements ultérieurs.

La séquence est composée par le bruit d'une rame de métro, suivi de l'ouverture des portes et de leur fermeture. La sirène de fermeture de porte est alors entendue, avec une fréquence principale de 310 Hz (le spectre est formé autour des fréquences de la série harmonique de 310 Hz : 310, 620 et 1240, soit fondamentale, première et deuxième harmoniques). S'ensuit le démarrage du métro et le monologue du "clochard" [Antunes, 1999]. La structuration de ce monologue est très intéressante.

Comme indiqué sur ce sonagramme annoté, le discours est construit en 8 parties, toutes caractérisées par un groupe dont l'inflexion terminale est descendante, dont voilà les transcriptions :

- A) "Messieurs-Dames Bonjour excusez moi de v-de vous déranger."
- B) "Je suis au chômage en fin de droit je ne touche plus de quoi subvenir à mes besoins quotidiens."
- C) "Je sais également que c'est interdit dans le métro tout comme dans le RER."

⁵⁵De par le nombre et les différences temporelles - quasi-rythmiques - des sous-structures, cette technique compositionnelle s'apparente d'ailleurs à la technique de *Mikropolyphonie* employée par Györgi Ligeti dans des pièces comme *Lux Aeterna* (1966), ou alors le fameux *Continuum* (1968).

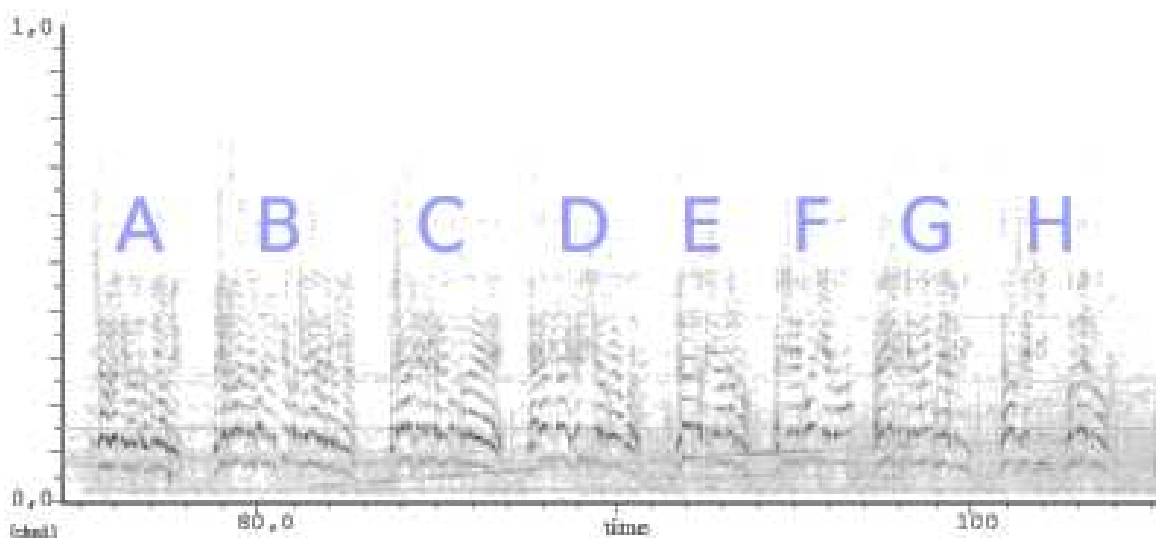


FIG. II.2 – Sonogramme - Type de fenêtre Parzen - taille de fenêtre : 4096

- D) “Mais à 48 ans il est très difficile de retrouver un emploi.”
- E) “Je ne demande même pas spécialement de l’argent.”
- F) “Un ticket de métro un ticket restaurant.”
- G) “A la rigueur quelques pièces de monnaie pour m’aider à survivre.”
- H) “D’avance, Merci, || Bonne journée à tout le monde”.

Il est aisé de repérer sur le sonogramme que le discours se structure sur un crescendo/décroscendo fréquentiel basé sur le début de chaque groupe, culminant exactement au centre du discours, soit les séquences D et E. *Grosso modo*, car il est toujours délicat d’obtenir des fréquences fondamentales de manière sûre sur un discours parlé, nous obtenons la suite : $F_{monologue} = \{417, 495, 516, 602, 591, 581, 516, 473\}$ Hz. La cohésion entre la forme structurelle et sémantique du discours est donc parfaite : le point culminant structurel correspond bien au centre sémantique (plainte/demande) du discours. La présence du bruit de fond du métro (ligne fréquentielle ascendante et fréquence de fond continue à 554Hz) est également un élément important.

La deuxième séquence enregistrée est celle de la manifestation, exposée à 7’30, tout d’abord mêlée aux motifs synthétiques présents depuis le début. Cette séquence semble plus musicalement travaillée que la précédente, qui ne laisse pas supposer de retouches, ni de montage. Les éléments sémantiques sont les suivants :

- A) [Foule] (Cho Cho Cho) Chômage ras l’bol

- B) [Mégaphone] Le Chômage ça suffit !
- C) [Bruits de sifflets / Sirènes]

Le sonagramme II.3 montre bien la construction en miroir des lignes synthétiques et des motifs concrets :

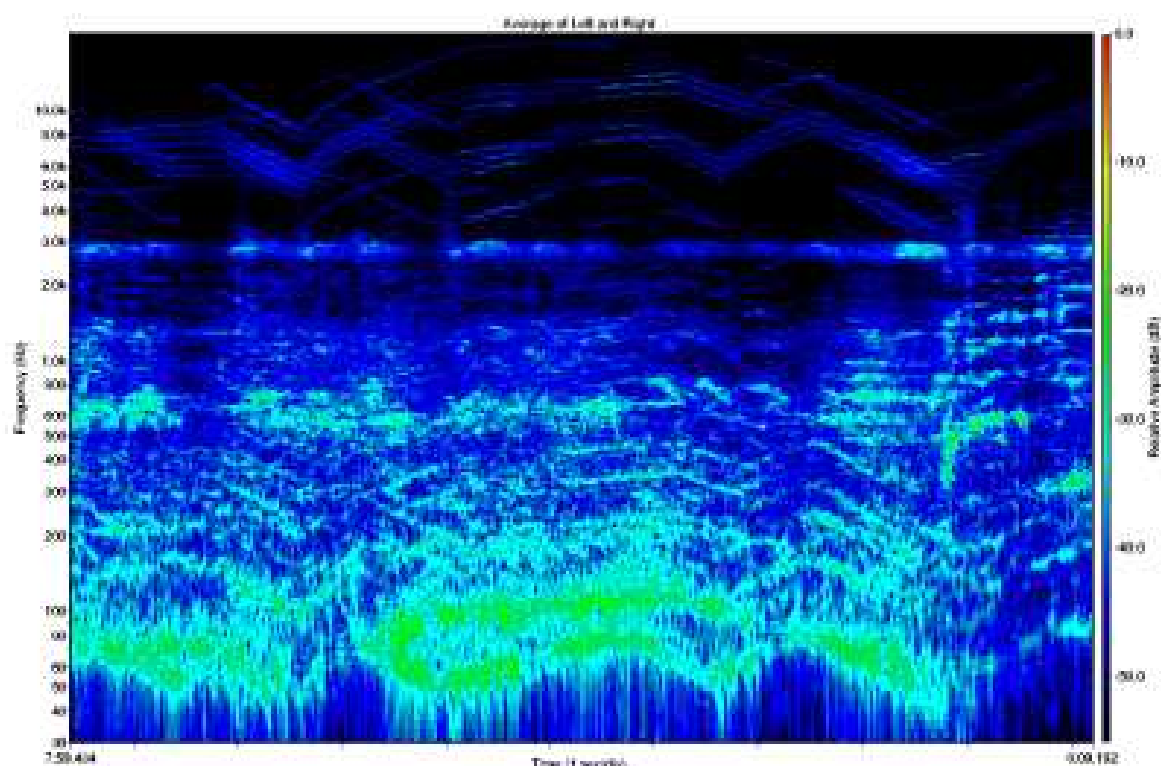


FIG. II.3 – Sonagramme - Type de fenêtre Parzen - taille de fenêtre : 16384

Le troisième élément concret est le son d'une caisse enregistreuse employé à 12'15. La morphologie spectrale constituée de deux bandes de bruits, l'un faible l'un fort, est évidente, sur la représentation de la figure II.4.

Finalement, le quatrième élément est celui de la séquence finale, employé uniquement de 18'20 à 19'30. Bien entendu la portée sémantique/symbolique de cette séquence est indéniable, mais le rapport musical est tout aussi présent. Les courses rappellent le montage fait à partir des bruits de caisse enregistreuse, la séquence d'essoufflement se rapproche de la subdivision en groupes du monologue. Il est possible de distinguer deux groupes morphologiques distincts : le bruit de halètement (formé autour de deux harmoniques principales, généralement 251 et 1786 Hz), et celui de bruit guttural, dont

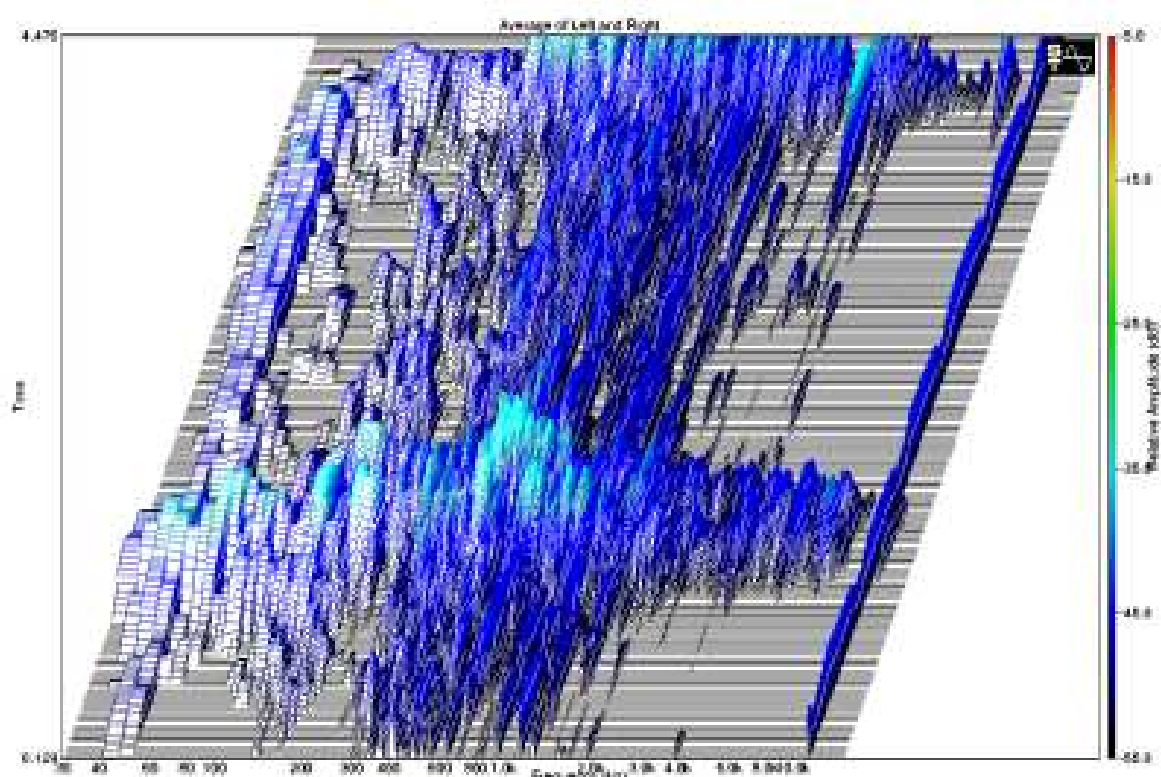


FIG. II.4 – Spectrogramme 3D - Type de fenêtre Kaiser - taille de fenêtre : 8192

les fréquences augmentent petit à petit (123, 148, 153 Hz, pratiquement une montée constituée d'une tierce majeure et d'un demi-ton). L'auditeur comprend, grâce à la qualité de l'enregistrement, de sa nature, mais également de par la structuration de ce passage, qu'il est confronté à une "mise en scène" - ce qui donc inverse la manière dont laquelle le message est reçu : il ne s'agit pas d'un élément "concret" comme ceux qui ont été exposés jusqu'à présent.

II.4.2.2 Développement et Mise en rapport

La première séquence mixte (de 4'05 à 9'30) utilise au départ un procédé de détournement - l'utilisation des sons synthétiques du début de la pièce pour poursuivre et *travestir* les sons concrets qui viennent d'être exposés. Le début de cette section (de 4'05 à 5'35) ressemble à une gigantesque convolution entre les sons synthétiques (les traits et bourdon du début de la pièce) et la séquence du métro.

Ensuite, le climax de cette séquence est atteint par l'utilisation d'une filtre en peigne utilisé pour modifier les résonances du monologue. Ici, Antunes choisit deux fréquences de résonances - le choix de ces deux fréquences de résonances a bien entendu été conditionné par la structuration du discours que nous avons évoquée - la fréquence initiale étant *grossièrement* donnée par le son de la sirène de fermeture des portes (5'37). En premier lieu, c'est donc à l'utilisation de la série harmonique découlant de 310 Hz qu'on assiste, et finalement celle de 410 Hz, soit quasiment un rapport de dominante à tonique (les hauteurs reliées sont Mib et Lab). Variant entre ces deux fréquences de résonance, l'emploi de cet effet ajoute une dimension surréaliste - l'utilisation des rapports harmoniques, à la fois au sens physique et musical, dans un cadre essentiellement de bruit, ici à la fois au sens musical et sémantique⁵⁶ - et, en quelque sorte, transcende le discours sémantique pour lui conférer une dimension ascétique. Il s'ensuit un développement centré sur l'extrait central - et le plus fort sémantiquement - du monologue (groupe D : "Il est très difficile de retrouver un emploi" employé exclusivement dans le canal gauche et "Retrouver un emploi" dans le canal droit), créant un contrepoint par phénomène d'écho. Le développement est ponctué par le son de sirène, employé à quatre reprises et annonçant l'utilisation de la séquence enregistrée suivante - la manifestation - lors de sa dernière utilisation. C'est par un "fondu enchaîné" que la séquence est introduite.

La dimension humaine - associée à la parole, et par conséquent aux fréquences de la série harmonique de 410 Hz - est dans le développement qui suit systématiquement

⁵⁶Il est par exemple possible d'entendre, durant le monologue, l'intervention sémantiquement lointaine des dialogues entre passagers de la rame

opposé aux sons mécaniques - dont la série découle du 300 Hz du signal de fermeture des portes. L'opposition, dans ce développement est frontale : au départ exposés de manière séparée, les différents éléments sont réexposés conjointement, jusqu'à l'entrée du motif de manifestation.

Le principe de convolution est réexploité tout au long de la séquence qui voit l'introduction du bruit de caisse enregistreuse (de 10'00 à 15'05 environ) - c'est d'ailleurs la première fois que l'apparition d'un motif est précédée par une de ces transformations (changement de la fréquence d'échantillonnage). On note le synchronisme entre les sons de synthèse et la reprise d'éléments enregistrés : la séquence qui va servir à introduire ces nouveaux sons de caisse enregistreuse est signalée de 11'47 à 11'58 par l'utilisation d'un trait qui couvre dynamiquement l'ensemble de la texture utilisée jusqu'alors et possède un ambitus fréquentiel très important (d'environ 40Hz à 11000Hz) - ce trait annonce en premier le son de sirène de métro (12'00), qui est lui presque immédiatement suivi par l'exposition du son de caisse enregistreuse, exposé sans transformation, et pratiquement à nu.

Cette section se prolonge par un rappel de la thématique du début (les traits), mais rajoute une voix "mélodique", sorte d'ostinato déréglé qui revient périodiquement (de 15'05 à 17'37). Groupée autour d'un groupe de fréquence fondamentales choisies :

$$F_{melodie} = \{160, 180, 150, 140, 180, 205, 113, 214\},$$

elles définissent un embryon de "leitmotiv"⁵⁷, dans le sens où l'auditeur est conscient de la volonté mélodique du compositeur mais son emploi, désorganisé rythmiquement et logiquement, semble n'être qu'une esquisse. Cet ostinato provoque une sorte de "dérèglement" du motif de texture en trait - créant des *points nodaux* ou zones de turbulences qui accélèrent le mouvement des traits et les forcent à se produire dans la vicinalité de la série harmonique découlant des notes de la mélodie. L'ensemble de cette section se conclue avec la reprise quasi-littérale du thème du début.

Après le dernier élément concret - la course et les bruits de souffle - et la "zone blanche" d'une dizaine de secondes (19'20 à 19'30), c'est par un ultime rappel de la séquence initiale - "alourdie" par l'utilisation conjointe des deux bourdons (37 et 59 Hz) - que se conclue la pièce, de 19'34 à 20'19. *Aucun* des éléments enregistrés, qu'ils soient intacts ou modifiés, ne sont employés comme "base sonore" pour cette fin. Mais la similitude des différents éléments provoque une sorte de *rémanence*, forçant l'auditeur à revenir à ses réflexions, cette reprise finale agissant comme un prisme sur l'ensemble

⁵⁷Il s'agit de l'ordre de nouvelle occurrence et non de l'ordre mélodique.

des développements précédents.

II.4.2.3 Evolution/Conséquence

Au vu des informations que nous a apportée cette description complète des différents éléments et moments de la pièce, l'outil de la schismogenèse est bien évidemment à employer.

II.4.2.3.a Synthétique vs. Concret

La première schismogenèse qui va nous intéresser est bien évidemment celle qui se joue entre le groupe des sons de synthèse et celui des sons concrets. De par leur nature respective, ils sont diamétralement opposés ; en outre, le contenu associatif véhiculé par les sons enregistrés est sans commune mesure avec les associations qui peuvent être faites avec les sons synthétiques⁵⁸. Bien entendu, au vu de la durée de la pièce, il est impossible d'envisager la schismogenèse existant entre le *monde synthétique* et le *monde concret* comme seule et unique. Tout comme les groupes sociaux de Bateson sont subdivisibles⁵⁹, cette schismogenèse, bien que générale, se joue sur un ensemble de petits actes isolés.

La manière dont se déroule le début de la pièce (exposition des sons synthétiques, exposition de la séquence enregistrée, développement mixte) est extrêmement intéressante car elle permet de confronter l'auditeur à une situation d'opposition implicite. Antunes insiste justement pour présenter les différents matériaux "à nu", pour évacuer toute tentative d'analyse sur d'autres critères que celui de la "source", de l'origine du son. La tentative de fusion qui s'ensuit résulte en une schismogenèse : malgré les effets complexes de filtre, la séquence concrète est facilement reconnaissable - la tentative d'utiliser des techniques de traitement synthétiques à la séquence enregistrée échoue : nous retrouvons bien une nouvelle séquence concrète, marquant une fois de plus l'opposition radicale entre les deux techniques.

Tout au long de la pièce, les séquences d'opposition se succèdent, les tentatives de mise en relation également.

⁵⁸Il faut également remarquer que Jorge Antunes prend bien soin de ne pas utiliser des sons de synthèse qui peuvent se rapprocher d'un son soit instrumental (type synthèse FM inharmonique qui rappelle inmanquablement un son de cloches), soit concret (par exemple une nappe de bruit blanc filtrée avec des enveloppes évoquant le bruit des vagues), mais se situe délibérément dans un "entre-deux" en rapport avec la dimension complexe qu'il tente d'évoquer.

⁵⁹On se référera au paragraphe II.3.2.1.

II.4.2.3.b *Linéarité vs. Masse*

Outre l'*origine*, la morphologie des différents éléments (synthétiques et concrets) est diamétralement opposée : à la linéarité générale des sons synthétiques s'oppose la masse des sons concrets. La situation est cependant plus complexe, comme nous allons le voir.

Tout d'abord, au fur et à mesure du discours, les éléments d'un "monde" ou de l'autre empruntent les caractéristiques morphologiques de l'autre : l'exemple le plus flagrant est bien entendu celui de la séquence de la manifestation (7'30, voir la figure II.3), où la tentative fusionnelle de la part des sons synthétiques est évidente (la courbure des traits correspond *exactement* à celle des sons de sirènes).

II.4.2.3.c *Homme vs. Machine*

Egalement corollaire de l'opposition synthétique/concret, la schismogenèse entre le domaine de l'humain et celui de la machine transpose à un niveau symbolique les schismogenèses précédentes. Car c'est en fait le *cru* de la pièce - l'opposition entre l'humain et l'inhumain, l'homme et la machine.

II.4.3 Conclusion

Afin de faire passer son message, Jorge Antunes utilise le maximum d'oppositions possible, que nous récapitulons :

- Matériaux : sons synthétiques / sons enregistrés
- Construction : Linéarité / Segmentation
- Fréquences : zone aiguë / grave
- Symboliques : homme / machine, rêve / réalité
- Morphologiques : groupes complexes / lignes simples
- Spatiales : oppositions panoramiques⁶⁰

⁶⁰La spatialisation, bien que nous ayons choisi de la mettre de côté de notre analyse schismogénétique reste un élément compositionnel assez fort dans cette pièce, servant à souligner notamment les oppositions sémantiques.

Comme nous l'avons vu, la mise en rapport de ces différents groupes opposés nous permet d'utiliser l'outil schismogénétique, et par conséquent d'étudier l'évolution de ce *système compositionnel*.

II.5 Pertinence de l'analyse schismogénétique : approche multiscalaire

L'analyse schismogénétique est par conséquent valide quelque soit le plan sur lequel on veut l'employer : symbolique, structurel, syntaxique, motivique, son utilisation permet aisément de mettre en relation des niveaux compositionnels qu'il est généralement difficile de faire se rencontrer, dans le cas d'une analyse qui va se centrer sur un niveau de structuration particulier (comme par exemple les motifs dans l'analyse paradigmatique).

II.5.1 La schismogenèse comme outil

Il faut cependant bien garder à l'esprit que la schismogenèse se veut en premier lieu n'être qu'un *outil*, et non une *méthode analytique* à part entière. Là où la *méthode* implique un ensemble de règles à satisfaire, ainsi qu'une *démarche* précise, la schismogenèse laisse l'analyste libre de choisir les différents plans qu'il veut mettre en avant.

Bien entendu, l'analyse de l'ensemble des schismogenèses d'une pièce (et plus particulièrement celles des niveaux "inférieurs", purement compositionnel, des matériaux) entraîne un certain nombre d'obligations quant au respect de l'outil et de l'œuvre : l'étude d'un effort structurel compositionnel ne saurait exempter d'un effort structurel l'analyste qui étudie ces structures.

II.5.2 Schismogenèse et approche multiscalaire

Nous venons de rappeler le principal intérêt de la schismogenèse : correctement utilisée, elle permet d'analyser l'ensemble des processus qui se déroulent dans une pièce, qu'il s'agisse des micro-, méso-, macro-, ou méta-structures - qu'elle permet bien souvent de révéler⁶¹. Il a souvent été fait référence, aux différents niveaux compositionnels, et de nombreux textes définissent leurs termes de manière personnelle (nous renvoyons le lecteur à [Nattiez, 1987], [Barrière, 1991], [Courtot, 1992], ou [Windsor, 1995] notamment). Même si les termes généraux sont généralement très proches, les définitions possèdent un certain nombre de différences fines, et par conséquent nous nous permettons d'ajouter une nouvelle brique dans l'ensemble. . .

⁶¹Voir les analyses de *Stria* de John Chowning et du premier mouvement de *Sud* de Jean-Claude Risset, dans [Dahan, 2000]

II.5.2.1 Micro-structures

Les *micro-structures* sont définies comme étant les ensembles qui permettent de définir un spectre, utilisé pour la composition, et généralement composé. Pour être utilisable pour l'analyse proprement dite, les micro-structures doivent avoir un rôle fonctionnel fort, comme c'est particulièrement le cas dans les pièces utilisant la synthèse granulaire (voir [Iturbide, 1999], ou [Roads, 2001]) - la notion de *composition du timbre* est très importante.

Rappelons que les micro-structures ne sont pas *atomes sonores*, mais bel et bien des objets composés, possédant une *morphologie* et un *ordre* interne fort et globalement homogène. Par conséquent, l'ordre temporel des micro-structures est très varié : il est possible de définir des éléments composés d'une fraction de seconde (de l'ordre du dixième), mais également des micro-structures de quelques secondes (micro-structures complexes, qui utilisent des techniques compositionnelles micropolyphoniques). Selon le contexte, cependant, de telles structures pourraient être considérées comme des méso-structures.

II.5.2.2 Méso-structures

Généralement, l'agrégation d'un ensemble de timbres sur une durée limitée à quelques secondes définit une *méso-structure*. Sur cette durée, il est possible de rencontrer deux types distincts de méso-structure : une forme verticale et une forme horizontale.

II.5.2.2.a Définition verticale

En quelque sorte basées sur des techniques de *Klangfarbenmelodie*, les méso-structures possèdent une organisation structurelle forte et une morphologie généralement hétérogène⁶².

II.5.2.2.b Définition horizontale

La zone méso-structurelle est également le niveau du motif, de la mélodie, du *thème* - un agrégat temporellement cohérent de différentes occurrences d'un même spectre.

⁶²L'utilisation de spectres similaires, mais d'une zone fréquentielle largement séparée peut également déterminer une méso-structure.

II.5.2.3 Macro-structures

Il serait simpliste de limiter la définition de la macro-structure à celle, beaucoup plus connue et employée en musicologie traditionnelle, de la *forme*. Cependant, le niveau macro-structurel est, semble-t-il multiple : selon la manière dont la composition est envisagée, différentes conceptions sont cohérentes. Les travaux exposés dans [Vaggione, 2001b] permettent de comprendre la macro-structure comme une structure d'un plus grand ordre qui comprend les liaisons dynamiques (i.e. les interactions) qui se jouent entre les différentes sous-structures. D'autres travaux, comme par exemple [Smalley, 1986], introduisent également la macro-structure comme une "enveloppe" qui définit le comportement dynamique des structures inférieures ; le concept de forme est escamoté au profit des notions de structure et de *processus structurant*, Smalley allant même jusqu'à employer le terme fort de "pondération de fonction" (*function weighting*, [Smalley, 1986, p. 87]) pour définir les caractéristiques dynamiques des macro-structures⁶³.

II.5.2.4 Méta-structures

"Ce qui vient avec les structures" - il s'agit du domaine, extrêmement complexe pour l'analyste, du symbolique, du *sens* implicitement porté par une structure musicale. Dans les termes, maintenant classiques, de la sémiotique, telle que définie par [Molino, 1975] et [Nattiez, 1987], il s'agit du niveau *esthétique*, celui qui contient les informations qui font de l'œuvre une œuvre d'art. Bien évidemment, la compréhension fine des méta-structures est tout sauf implicite, et son appréhension est délicate et extrêmement dépendante du *contexte* dans lequel les structures évoluent⁶⁴.

II.5.2.5 Conclusion

Ces définitions ne sont, bien entendu, qu'un compte-rendu d'une première approche, suffisantes pour la compréhension du concept de schismogenèse. Nous aborderons plus tard, au chapitre V, les conséquences et les implications compositionnelles des interactions entre ces différentes structures, ainsi que les définitions précises de ces différents niveaux d'abstraction.

⁶³La critique du terme "forme" est aussi très présente, dans [Smalley, 1986, p. 89] :

We have studiously avoided the word "form" which historically has come to imply a relative consistency of external structural design common to several or many composers. Instead, we have adopted the term "structure" and "structuring process" [...]

C'est ici le concept historique de la notion de forme qui est clairement rejeté.

⁶⁴Voire également du méta-contexte. Les notions de *contexte* seront développées plus avant, au chapitre V.

Chapitre III

Formalisation de l'analyse schismogénétique

III.1 Summary

Our precedent chapters clearly showed the limits of current analytical methods and the usability of the schismogenesis approach. In this chapter, we will discuss a formal description of the schismogenesis as applied to music. Using conclusions from chapter I we will first describe musical specifics using logical terms. Amplitude, frequency, and spectrum will thus be expressed logically. Schismogenesis process is then described, and its logical expression appears to be a specific case of Holland's *adaptive plan*. This logical description of schismogenesis provides the basis for implementing this particular analytical approach in computing terms.

A computer-oriented approach is then presented, using the programming concept of "objects", to define an approximative "grammar" for electroacoustic music analysis and composition.

III.2 Introduction

Les exemples précédents ont bien montré l'intérêt de la démarche d'analyse schismogénétique. Etant donnée la nature de cet outil, il paraîtrait souhaitable de pouvoir transposer les parties fastidieuses (recherches des informations pertinentes, détermination des différences morphologiques/structurelles, évaluation de l'évolution du système, confrontation au résultat) dans une application "automatisée" qui permettrait de donner un premier résultat.

Dans ce chapitre, nous allons décrire la formalisation d'un tel outil, ainsi qu'un premier aperçu de sa réalisation.

III.3 Vers une formalisation logique

La première étape à la réalisation d'un outil d'analyse assistée par ordinateur est la transposition du fonctionnement de la méthode d'analyse à un domaine *logifié*. Réaliser une telle transposition implique d'arriver à déterminer les critères qui sont déterminants lors d'une analyse schismogénétique, d'où une première difficulté en raison du poids important donné à des caractères "morphologiques", par définition difficilement généralisables.

III.3.1 Modèle et Formalisation

III.3.1.1 Le rejet de l'induction

En outre, il nous faut mentionner qu'une telle entreprise ne pourrait fonctionner qu'en utilisant le paradigme d'*induction*, et il est notoire que sa validité est rejetée par les épistémologues depuis [Popper, 1934]. Ce faisant, Popper a *instrumentalisé* la notion même de modèle formel, qui n'est plus porteur d'une vérité, mais devient en quelque sorte un *representamen*. Implicitement, le modèle formel ne devient qu'une illustration d'une théorie, d'application plus générale.

III.3.1.2 Modèle et Formalisation

Mais par-delà la notion de modèle scientifique, c'est bien entendu la notion de "modèle musical" qui est en jeu. Car il est vrai que certains éléments dans certaines structures langagières peuvent être formalisables et l'ont été. Les différentes techniques médiévales d'harmonisation du texte inventées par Guido d'Arezzo, les procédés d'écriture basés sur des jeux de nombres, chez Dufy, Machaut et plus généralement l'*Ars Nova* française⁶⁵ (rapporté par [Hoppin, 1978, chap. IX, X et XVII]), certaines formes mêmes de la musique tonale (canon, aria, fugue, passacaille), se prêtent facilement à la formalisation *dans leurs structures globales*. De la même manière, les manuels de composition classique, comme par exemple [Falk, 1958], regorgent de "recettes" pour développer un thème (procédés d'augmentation, de diminution, etc.), qui sont autant d'outils de formalisation pour les *structures locales*.

Plus récemment, ce sont les outils de la grammaire générative chomskyenne qui ont été, de manière assez brillante, appliqués à la musique tonale, dans [Lerdahl &

⁶⁵Rappelons que la musique a durant tout le moyen-âge, été enseigné dans le cadre du *Quadrivium*, celui des sciences, aux côtés de l'arithmétique, la géométrie et l'astronomie, l'enseignement des "humanités", dénommé *Trivium* étant composé de la grammaire, la dialectique et la rhétorique.

Jackendoff, 1983]. Malheureusement, et comme nous l'avons évoqué dans le premier chapitre, l'adaptation des grammaires génératives aux musiques électroacoustiques est impossible, du fait du manque même de structures "langagières" préexistantes - cette remarque nous permet d'ailleurs de démontrer une incohérence structurelle de Lerdahl et Jackendoff, qui déclarent dans la première page :

We take the goal of music theory to be a *formal description of the musical intuitions of a listener who is experienced in a musical idiom* [Lerdahl & Jackendoff, 1983, p. 1]⁶⁶.

...ce qui sous-entend qu'une grammaire générative appliquée à l'acousmatique serait tout à fait plausible (il existe bien plus d'un auditeur "entraîné" à l'écoute de ces musiques!). Malheureusement, les analyses qui suivent se basent sur un formalisme extrêmement rigide et peu adapté à la multiplicité des "écoutes" possibles. Si le formalisme se base sur des *a-priori* d'analyse perceptive, il évacue les notions pourtant indispensables de psychologie différentielle.

La première étape consistera donc à définir les termes descriptifs généraux pertinents.

III.3.2 Définition des termes

Les différents paramètres constitutifs d'un son seront bien évidemment les principaux éléments descripteurs : amplitude, hauteur, et timbre. Si les deux premiers éléments sont relativement simples à isoler et à décrire (il est possible d'effectuer des mesures physiques), obtenir une approximation d'un timbre, et surtout sa classification relève de la gageure. Parmi plusieurs approches qui ont tenté de concilier les exigences musicologiques et une certaine rigueur scientifique, il convient de rappeler celle de Denis Smalley [Smalley, 1986], appelée *spectromorphologie*, déjà mentionnée dans le premier chapitre, qui utilise une grille d'analyse très précise mais suffisamment flexible pour être adaptable à la plupart des cas [Hirst, 2002]. Malheureusement, la limite de cette approche (et sa subjectivité) la rend impropre à la tâche simple de détermination des critères intéressants pour l'analyse.

Il convient par conséquent de se tourner vers la psychoacoustique "classique". Les principaux termes utiles pour notre analyse sont en effet l'*amplitude*, la *hauteur* et

⁶⁶Nous considérons le but de la théorie musicale comme étant une description formelle des intuitions musicales d'un auditeur habitué à un idiome musical. Traduction personnelle. Nous ne soulignons pas.

le *spectre*. Même s'il n'y a pas lieu ici de décrire de manière systématique ces différents éléments⁶⁷, chaque élément sera brièvement décrit et surtout mis en relation dans le contexte de la démarche analytique que nous proposons. Enfin, nous présenterons chaque dimension sous la forme d'un couple de termes qui met en relation la dimension factuelle, physique à la dimension perceptive, psychologique.

III.3.2.1 Notations

Avant d'entamer la discussion plus avant sur la définition logique des différents termes, voilà les conventions de notation que nous avons suivies :

- le signal est noté S , et est considéré comme un ensemble de signaux tels que $S = S_1 + \dots + S_n$
- la partie discrète du signal à l'instant t est notée S_t ,
- les valeurs temporelles sont notées de 0 à n , la durée (ou longueur) du signal S est par exemple $n(S)$,
- les variables sont communément dénotées par x , y , ou toute autre lettre de l'alphabet minuscule à l'exception de n et de t .

III.3.2.2 Amplitude et Dynamiques

Paramètre certainement le plus immédiat, la notion d'*amplitude* est certainement celui dont la mesure est la plus simple. Encore qu'il faille tenir compte de l'environnement immédiat du son analysé, ainsi que la zone fréquentielle dans lequel il se trouve - nous en avons fourni l'exemple au cours du premier chapitre [Leipp, 1971].

Nous désignerons l'amplitude à l'instant t par la notation A_t ⁶⁸. Celle-ci est définie par

$$A_t = \sum_{i=0}^n A_t(S_i) \quad (\text{III.1})$$

On peut noter a_i l'amplitude individuelle des composants fréquentiels du signal S_i .

⁶⁷Nous renvoyons pour cela le lecteur à [Leipp, 1971] pour une orientation plus "technique" et surtout à [Cook, 1999] pour une introduction complète du domaine

⁶⁸Ou $A(S_t)$ - nous préférons cependant la notation courte pour l'ensemble de ce chapitre

III.3.2.3 Fréquence et Hauteurs

La détermination exacte de la *hauteur* en musique électroacoustique est problématique.

L'ensemble des fréquences d'un signal S à l'instant t est défini comme étant l'ensemble des fréquences le composant, soit :

$$F_t(S) = \{f_0, f_1, \dots, f_n\}_t \quad (\text{III.2})$$

On appelle signal $\sigma(t)$, l'ensemble des caractéristiques morphologiques correspondants aux fréquences F_t , soit :

$$\sigma(t) \supset F_t \quad (\text{III.3})$$

En conséquence de (III.2) pour l'ensemble du signal S , nous obtenons :

$$F = \{\{f_0, f_1, \dots, f_n\}_0, \{f_0, f_1, \dots, f_n\}_1, \dots, \{f_0, f_1, \dots, f_n\}_n\} = F_0, F_1, \dots, F_n \quad (\text{III.4})$$

III.3.2.4 Spectre et Timbres

Si les notions d'amplitude et de fréquences se laissent assez facilement considérer sous un angle logique ou mathématique (ils s'agit pleinement de mesures physiques, même s'il existe des facteurs psychoacoustiques qui peuvent modifier légèrement ces mesures), la notion de spectre ou de timbre est beaucoup plus délicate à définir de manière logique.

Il est pourtant possible de considérer le spectre (noté \aleph_t) comme un ensemble étant composé des éléments fréquentiels F_t et dynamiques A_t , soit pour un signal S_i :

$$\begin{aligned} \aleph_t(S_i) &\ni A_t(S_i) \\ \aleph_t(S_i) &\ni F_t(S_i) \end{aligned} \quad (\text{III.5})$$

III.3.3 Grammaire analytique

La définition des termes principaux - S , A , F , et \aleph - étant faite, il nous faut maintenant combiner ces définitions logiques dans une grammaire pouvant servir de base à l'analyse musicale.

Considérons dans un premier temps les définitions d'instruments *Csound* suivantes :

```
sr = 44100
kr = 44100
ksmps = 1
nchnls = 2

instr 1 ; plucked instrument

k1 expseg p4, (3*p3)/5, p5, p3/5, p4, p3/5, 1
k2 expon 1000, p3, 2775
k3 expon p8, p3, p9
k4 expseg p6, (2*p3)/5, p7, (2*p3)/5, p6, p3/5, 1

a4 oscil 300, p10, 4

alfo oscil k2, k3, 3

a1 pluck 10000, 32, 128, 0, 3, 1

a3 = (a1*a4) + alfo

a1 butterlp a3, k1/1.09

a5 vdelay a3, rnd(500), 1000

ar butterlp a5, k4/1.09
```

```
outs al / 100, ar / 100

endin

;
;
;

instr 2 ; trame fm

kenv xadsr p11, .1, 1, p12

kndx expseg p8, p3/2, p9, p3/2, p9

asig foscil kenv, p5, p6, p7, kndx, 3

if p10=0 goto outst
if p10=1 goto outl
if p10=2 goto outr
if p10=3 goto outl2r
if p10=4 goto outr2l

outst:
kampl=ampdb(p4)
kampr=ampdb(p4)

goto out

outl:
kampl=ampdb(p4)
kampr=ampdb(0)
```

```
goto out
```

```
outr:
```

```
kampl=ampdb(0)
```

```
kampr=ampdb(p4)
```

```
goto out
```

```
outl2r:
```

```
kampl line ampdb(p4), p3, 1
```

```
kampr line 1, p3, ampdb(p4)
```

```
goto out
```

```
outr2l:
```

```
kampr line ampdb(p4), p3, 1
```

```
kampl line 1, p3, ampdb(p4)
```

```
goto out
```

```
out:
```

```
outs asig*kampl, asig*kampr
```

```
endin
```

```
;
```

```
;
```

```
;
```

```
instr 3 ;cristal
```

```
a1 fmbell 1, p5, 1, 1.2, 0.2, 6, 3, 3, 3, 3, 3
a2 fmbell 1, p5*p6, 1, 1.2, 0.2, 6, 3, 3, 3, 3, 3
a3 fmbell 1, p5*p6*p6, 1, 1.2, 0.2, 6, 3, 3, 3, 3, 3
a4 fmbell 1, p5*p6*p6*p6, 1, 1.2, 0.2, 6, 3, 3, 3, 3, 3
a5 fmbell 1, p5*p6*p6*p6*p6, 1, 1.2, 0.2, 6, 3, 3, 3, 3, 3
a6 fmbell 1, p5*p6*p6*p6*p6*p6, 1, 1.2, 0.2, 6, 3, 3, 3, 3, 3
```

```
asig sum a1, a2, a3, a4, a5, a6
```

```
if p7=0 goto outst
if p7=1 goto outl
if p7=2 goto outr
```

```
outst:
kampl=ampdb(p4)
kampr=ampdb(p4)
```

```
goto out
```

```
outl:
kampl=ampdb(p4)
kampr=ampdb(0)
```

```
goto out
```

```
outr:
kampl=ampdb(0)
kampr=ampdb(p4)
```

```
goto out
```

```
out:
```

```
outs asig*kampl, asig*kampr
```

```
endin
```

Chaque instrument définit un spectre distinct, soit $\aleph_0, \aleph_1, \aleph_2$, par conséquent à un instant t donné où tous les instruments sont présents :

$$\aleph_t = \{\aleph_{0,t}, \aleph_{1,t}, \aleph_{2,t}\}$$

Il est difficile d'envisager une méthode qui permette de faire une ségrégation des spectres \aleph_n du spectre général \aleph ⁶⁹.

Bien entendu, un autre problème posé est celui de la ségrégation des timbres au niveau temporel, soit l'organisation de *motifs*. Selon les principes de groupement issus de la *Gestalt-Theorie* ([Koffka, 1935], repris pour l'audition par [Bregman, 1990]), les constituants d'un motif doivent être perceptuellement assez proches pour pouvoir être perçus comme faisant partie d'un ensemble cohérent. Il convient par conséquent de définir l'ensemble des relations perceptuelles possibles. Cet ensemble dénoté Ψ désigne un ensemble de relations r portant sur des éléments x du spectre à l'instant t sur une durée δ arbitraire, tel que :

$$\Psi_t(S) = \{r_{x,t} = \{s \in x^l | x \in \aleph_{S,t}, l > 1\}\} \quad (\text{III.6})$$

Par conséquent, un motif peut être compris comme un mot μ de longueur n défini par un l-uplet des relations définies dans Ψ :

$$\mu_n = r_{x,1}r_{x,2} \dots r_{x,n} = (r_{x,ti})_{i=0,n} \quad (\text{III.7})$$

⁶⁹La problématique de ségrégation des signaux, et par conséquent des spectres est terriblement complexe. Une large partie de la littérature du traitement du signal traite de ce problème dans deux champs spécifique, l'analyse et la modélisation de l'audition (*Auditory Modeling* et *Information Retrieval*, nous ne pouvons que renvoyer le lecteur aux actes des conférences *ISMIR* actuelles et plus précisément, outre l'ouvrage classique [Bregman, 1990], aux travaux de [Cooke, 1993] et [Tucker & Brown, 2002]

Il est également possible de définir μ comme un mot choisi parmi une concaténation des ensembles Ψ_n possibles soit :

$$\mu_n \in \Psi_1 \times \Psi_2 \times \dots \times \Psi_n \quad (\text{III.8})$$

Par conséquent, cette définition du motif permet d’appréhender par exemple la technique de *Klangfarbenmelodie*, comme dans la *Passacaglia op n°1* d’Anton Webern, dans laquelle les thèmes sont distribués sur un ensemble très divers de timbres orchestraux, tout en gardant la cohérence perceptuelle nécessaire à la compréhension de l’évolution contrapuntique.

Cette définition du *motif* est la notion de base pour une grammaire analytique des musiques électroacoustiques. Elle permet également d’appréhender la notion de *variantes* du motif, comme étant des modifications légères des paramètres, dans les limites d’une cohérence : il s’agit du concept de *variations*.

Nous pouvons là employer le concept de plan adaptif ainsi que les outils associés exposés dans l’ouvrage de [Holland, 1992, Chap. II]. Il est intéressant de considérer une composition comme un ensemble d’objets⁷⁰ (A, Ω, I, τ) , avec :

- Ω , défini par l’ensemble des opérateurs ω de choix possibles, de telle manière que ω permette d’obtenir un nouvel élément motivique par concaténation d’un premier élément de motif avec une relation appartenant à l’ensemble Ψ suivant⁷¹ :

$$\omega : (\mu_i \times \Psi_{i+1}) \rightarrow \mu_{i+1} \quad (\text{III.9})$$

⁷⁰Système adaptif.

⁷¹Pour être complet, la description des ces opérateurs devrait mentionner l’existence d’une “mémoire”, qui permettrait de caractériser l’évolution des opérateurs en fonction du contexte ; néanmoins, une telle précision n’est pas déterminante dans le cas du système compositionnel étudié, celui-ci n’étant pas effectivement déterministe.

L'ensemble des motifs possibles A_{Ψ_n} ⁷² est défini par :

$$A_{\Psi,n} = \{a_n = s_1 \dots s_n \mid s_i \in r_{x,i}, r_{x,i} \in \Psi_i\} \quad (\text{III.10})$$

Il est possible d'écrire la relation suivante pour Ω :

$$\Omega_n : \Psi_1 \times \dots \times \Psi_n \rightarrow A_{\Psi,n} \quad (\text{III.11})$$

- I , l'ensemble des entrées possibles dans le système depuis l'environnement⁷³, et
- $\tau : I \otimes A \rightarrow \Omega$ le plan adaptif qui détermine, sur la base de l'entrée et des structures à l'instant t , quel opérateur employer à cet instant.

III.3.3.1 Grammaire schismogénétique

Pour la schismogenèse, l'important est de pouvoir analyser l'évolution de groupes structurels les uns par rapport aux autres, et pour cela l'emploi des conséquences strictes des outils de Holland ne nous est plus utile pour un temps⁷⁴. Il est évident que l'entité la plus importante pour la musique électroacoustique est le motif.

En premier lieu, il convient de définir de manière formelle les différents procédés de différenciation qui constituent l'axe central du principe schismogénétique.

III.3.3.1.a Différenciations

La différenciation est notée par Δ , avec les lettres S, C ou R en indice, et les ensembles de motifs A et B . Nous expliquerons les concepts de différenciations en prenant pour exemple une pièce de John Chowning, *Stria*, analysée en détail dans [Dahan, 2001].

⁷²Il s'agit donc de l'ensemble des *variantes* perceptuellement reconnaissables pour un motif, comme par exemple la réécriture rythmique, dynamique, ou fréquentielle dans une limite perceptuellement satisfaisante.

⁷³Il est délicat à ce niveau de la discussion d'expliquer ce qui est contenu dans cet ensemble. Pour la formalisation qui nous intéresse, cet ensemble sera considéré comme nul, mais il est inclus ici pour être conforme à la définition générale de Holland

⁷⁴En effet, ces outils ne permettent que de considérer l'*ensemble* des structures contenues Υ , sans pouvoir déterminer ou travailler de manière locale avec les composants.

Différenciation symétrique

Nous nous appuyons sur la définition qui a été donnée au paragraphe II.3.2.1.a. Musicalement, cette différenciation consiste en une fonction associant un choix identique de variations à un couple de motifs. Par conséquent, la différenciation symétrique Δ_S est définissable par :

$$\begin{aligned}\Delta_S : A_{\Psi_{S_1,i}} \times B_{\Psi_{S_2,j}} &\rightarrow \Omega_{S_1,i} \cup \Omega_{S_2,j} \\ A_{\Psi_{S_1,i}} \times A_{\Psi_{S_1,i}} &\rightarrow \Omega_{S_1,i} \\ B_{\Psi_{S_2,j}} \times B_{\Psi_{S_2,j}} &\rightarrow \Omega_{S_2,j}\end{aligned}\tag{III.12}$$

La différenciation symétrique est présente dans *Stria* par l'augmentation dynamique des deux motifs principaux de la pièce, dès qu'ils sont mis en rapport (de 1'00 à 2'45), alors que ces motifs, exposés séparément, présentent une stabilité dynamique relative.

Différenciation complémentaire

L'équivalent musical de la situation décrite au paragraphe II.3.2.1.a peut se traduire comme l'association d'un couple de choix de variations à un couple de motifs, ce qui nous permet de donner la définition logique de Δ_C suivante :

$$\begin{aligned}\Delta_C : A_{\Psi_{S_1,i}} \times B_{\Psi_{S_2,j}} &\rightarrow ((\Omega_{S_1,i} \setminus \Omega_{S_2,j}) \cup (\Omega_{S_2,j} \setminus \Omega_{S_1,i}))^2 \\ A_{\Psi_{S_1,i}} \times A_{\Psi_{S_1,i}} &\rightarrow \Omega_{S_1,i} \\ B_{\Psi_{S_2,j}} \times B_{\Psi_{S_2,j}} &\rightarrow \Omega_{S_2,j}\end{aligned}\tag{III.13}$$

Dans *Stria*, il est possible de retrouver la différenciation complémentaire, les motifs fréquentiels aigus évoluant vers le grave (10'45) lorsqu'ils sont mis en contact avec les motifs issus des zones fréquentielles basses.

Différenciation réciproque

La différenciation réciproque, décrite au paragraphe II.3.2.1.a, est établie par une fonction qui détermine un choix bilatéral de relations à un couple de motif, soit :

$$\begin{aligned}
\Delta_R : A_{\Psi_{S_1,i}} \times B_{\Psi_{S_2,j}} &\rightarrow (\Omega_{S_1,i} \cup \Omega_{S_2,i})^2 \\
(a_i, b_j) &\mapsto (X, f(X)) \\
f : \Omega_{S_1,i} &\rightarrow \Omega_{S_2,j}
\end{aligned} \tag{III.14}$$

Stria se termine par un exposé relativement clair de la différenciation réciproque : le système se stabilise autour d'éléments qui se maintiennent dans une sorte de *stase* aux niveaux dynamiques, fréquentiels et rythmiques, de 12'00 à 14'39, chaque motif exhibant tour à tour des phénomènes de crescendo/decrescendo, et de diminution/augmentation de leur ambitus fréquentielle.

III.3.3.1.b Schismogénèse

Il est par conséquent possible de définir la schismogénèse comme étant l'ensemble des opérations de différenciations, et qui par conséquent revient à définir τ dans la définition de plan adaptatif de Holland :

$$\tau \in \Delta_S, \Delta_C, \Delta_R \tag{III.15}$$

III.3.3.2 Implications

En utilisant la proposition formelle de segmentation des termes comme nous l'avons définie ci-dessus, la création d'un outil informatique pour ce type de grammaire formel est relativement aisé, notamment en utilisant un langage appliqué à l'intelligence artificielle, type *LISP* ou *Prolog*. Ce type de langage utilisant un paradigme *symbolique*, il est par conséquent aisé d'implémenter une grammaire formelle, *a fortiori* si toute implication autre que logique est exclue⁷⁵.

⁷⁵Nous n'avons par conséquent pas à nous soucier des détails techniques pour la ségrégation des spectres, etc. Des outils sont déjà disponibles, comme par exemple [Cooke, 1993] ou [Smaragdis, 1997]

III.4 Un outil d'analyse schismogénétique assisté par ordinateur

Créer un outil d'analyse musicale formalisée - ou assistée par ordinateur - a souvent été l'objet d'études et de travaux (par exemple [Mesnage & Riotte, 1993] ou [Spevak & Polfreman, 2000]). Cependant, comme nous l'avons noté, l'absence d'outils théoriques adaptés à la musique *électroacoustique* a bien souvent été un frein au développement de tels logiciels ; comme nous l'avons vu, les spécificités des musiques électroacoustiques obligent à définir clairement les termes qui seront à employer.

C'est justement cette définition générique, *non contextuelle*, que nous avons donnée pour les éléments constitutifs (amplitude, fréquence, spectre, motif). En outre, l'utilisation d'une méthode analytique - la schismogénèse - qui s'est montrée réductible en une méthode classique en informatique - le plan adaptif de Holland - nous permet d'envisager l'implémentation d'un tel logiciel facilement. Cependant, différents concepts connus en informatique ont été étudiés auparavant. La question d'une *grammaire formelle* a été également posée, d'une manière indépendante de toute orientation analytique, et ce pour permettre une utilisation de la grammaire des termes *ab absoluto*.

III.4.1 Vers une grammaire des structures musicales

Notre première approche a par conséquent consisté à utiliser une approche objet des structures musicales [Dahan & Pollet, 2004]. En utilisant un certain nombre de technologies et de grammaire formelles prédéfinies (comme le *MDA*⁷⁶ ou l'*UML*⁷⁷), nous avons tenté de définir une approche *objet* de l'informatique musicale. Si cette technologie et cette approche particulière possède un intérêt certain (notamment lors de l'implémentation, comme nous le verrons dans les prochaines parties), l'utilisation de ce type de méthode seule est insuffisante dans le cas spécifique de l'analyse, et ne permet pas de définir une grammaire formelle suffisamment forte pour l'analyse⁷⁸. Néanmoins, un certain nombre d'aspects techniques et leurs implications au point de vue formel sont intéressants dans le cas qui nous intéresse (la possibilité de définir des objets ayant une morphologie similaire et un comportement altéré par exemple). Au niveau des *interactions* - dont nous connaissons maintenant l'importance dans un concept comme la schismogénèse - il est évident que la flexibilité du concept de l'*objet* est d'un grand

⁷⁶Model Driven Approach

⁷⁷Universal Modelling Language

⁷⁸Le cas, bien plus générique et surtout plus "ouvert", de la composition sera étudié dans les prochains chapitres.

intérêt.

III.4.2 Description

Le logiciel *Schismo* a été spécifiquement développé pour aider l'analyste à déterminer les groupes de tensions, ainsi que les évolutions des différents groupes - en suivant les principes de la schismogenèse définis plus haut. Même si l'état actuel du développement est encore primaire, les quelques informations que nous avons pu obtenir sont suffisamment prometteuses pour être, au moins, évoquées.

III.4.2.1 Implémentation

L'état de l'art, en traitement du signal, pour si avancé qu'il soit, ne nous permet cependant pas de pouvoir, de manière définitive, définir *strictement* les différents spectres et motifs de manière automatique. Pour arriver à un semblant d'automatisme, nous avons décidé d'utiliser l'implémentation décrite par [Spevak & Polfreman, 2000] - brièvement, la technique employée est d'utiliser un réseau de neurones particulier, les *SOM*⁷⁹, nourri par une représentation temps-fréquence obtenue par transformée de Fourier *FFT* d'un fichier son⁸⁰, et ce afin d'obtenir une carte de *similarité spectrale*.

Cette carte est ensuite passée à un module d'*intelligence artificielle* (implémenté en *Prolog*) qui contient l'ensemble des définitions logiques formelles de la schismogenèse. Après traitement, le logiciel fournit une liste des éléments constitutifs (au niveau motivique et spectral) de la schismogenèse, avec leurs occurrences temporelles, leurs éventuelles transformations, et finalement le résultat de leur mise en rapport.

Au final, les données sont compilées sous forme textuelle ou graphique, et peuvent fournir une première base à l'analyste.

III.4.2.2 Résultats

Bien entendu la complexité de la tâche est encore trop grande, particulièrement au niveau du traitement pour la ségrégation spectrale. L'utilisation de *Schismo* pour une analyse musicale de grande envergure est pour l'instant inenvisageable. Les résultats obtenus ont été cependant concluants, dans le cas de séquences courtes (inférieures à 30 secondes) et avec une forte dissimilarité entre les motifs et spectres.

⁷⁹*Self Organizing Maps* décrites dans [Kohonen, 1995]

⁸⁰Nous avons également tenté d'employer un autre type de représentation appelé *strands* [Cooke, 1993], mais celles-ci ne sont pas adaptées réellement au type d'informations (richesse, similarité, *grouping*) contenues dans un signal musical - nous avons cependant, avec Guy Brown, essayé différentes modifications des paramètres de l'algorithme, en donnant un résultat prometteur.

III.4.3 Intérêt et Futur

Pouvoir obtenir une “cartographie” de haut-niveau d’une pièce est intéressant pour l’analyste, en supplément des supports classiques type spectrogrammes ou partitions d’écoute.

De nombreux développements sont déjà planifiés : implémentation de différentes méthodes de traitement pour obtenir une représentation de haut niveau (*strands* déjà évoquées, *LPC*, etc.).

Deuxième partie

Mosaïques

I must create a system,
or be enslav'd in another Man's
- *William Blake*

Chapitre IV

L'objet compositionnel

IV.1 Summary

In the last chapter, we introduced the notion of *object*. Since we intend to use this term in a very specific way, it is now needed to provide a complete definition of it in an electroacoustic music perspective.

Evidently the computing notion of object - in the programming and database sense - is providing the basis for our discussion. To fully understand this complex notion, a brief history is provided, and then a explanations of the common “jargon” used in object-oriented computing : class, object, inheritance and polymorphism⁸¹.

It is extremely difficult to provide a non-technical definition of objects in the context of electroacoustic music, as it is very commonly used in strong relation to a specific programming or implementation context. However, Horacio Vaggione in [Budon, 2000] gives us a basis for our discussion, stating that a *compositional object* can be envisioned as a multiscalar, multimorphic, and multifunctional complex compound. Inevitably, however, with dealing with these multiple levels of representation, the composer is confronted to the *representamen barrier*, as analysts are.

We therefore propose to supplant the classical algorithmic and/or symbolic computation approach to sound structures and composition with a more modern interaction-based concept. Involving dynamics and self-awareness between compositional objects, this concept will provide the basis for a further complexification in the next chapters.

⁸¹For a comprehensive approach on the subject, refer to [Meyer, 1992]

IV.2 Introduction

Les différentes méthodes analytiques peuvent par conséquent se résumer à un ensemble de variations autour d'un seul concept, celui d'*objet* - qu'il soit par exemple motif (μ) ou spectre (\aleph). Il faut souligner que ce terme n'est pas employé dans le sens "trivial" qui lui est couramment affecté en musicologie, mais celui, philosophique, d'entité de travail. En ce sens, l'objet ne possède pas uniquement une *morphologie* mais également un *comportement*, c'est-à-dire une capacité à la *réaction*, dans le sens behavioriste du terme. Notre propos est ici d'établir clairement la notion d'objet appliquée non plus uniquement à l'analyse, mais généralisée à l'ensemble des techniques et des outils qui composent la musique électroacoustique.

IV.3 L'objet en informatique

La notion d'objet est, en informatique, une notion très forte et très caractérisée. Pour comprendre l'utilité et la pertinence du concept informatique d'objet dans le cadre de la composition électroacoustique, il nous faut tout d'abord rappeler ses principales caractéristiques et implications dans son domaine d'origine.

IV.3.1 Une définition de la notion d'objet

Si la notion d'objet en informatique est relativement récente, il n'en reste pas moins que cette approche architecturale a été très suivie au niveau de la programmation et de l'implémentation des logiciels des vingt dernières années⁸².

IV.3.1.1 Historique

Le premier langage à employer les concepts objets a été *Simula*⁸³ en 1967. Bien que ce langage fut créé en Norvège, le terme spécifique d'*orientation objet* a cependant été employé pour la première fois par Alan Kay. *Simula 67* a introduit la plupart des concepts que nous allons évoquer dans les paragraphes suivants : objet et classes, héritage et procédures virtuelles.

La problématique principale adressée par *Simula* était celle du développement d'outils précis pour la description et la simulation de systèmes homme-machine complexes. L'idée de construire un langage qui pourrait à la fois décrire un système (homme) et des instructions de prescription (machine) émergea, et pour ce faire il devint évident qu'un tel système nécessitait de contenir un langage algorithmique.

Plus tard le groupe de recherche d'Alan Kay au Xerox PARC utilisa *Simula* pour construire le langage *Smalltalk*, dont l'implémentation objet fait encore aujourd'hui référence. Un de ses intérêts est l'inclusion d'une interface graphique dans le système et le contrôle interactif de l'exécution des programmes (*langage interprété*).

Au cours des années 1980 d'importantes ressources ont été déployées dans les programmes de recherche en intelligence artificielle, notamment pour le développement d'*ADA* aux Etats-Unis et de *Prolog* (programme japonais d'informatique de cinquième génération⁸⁴). Cependant la dominance des langages orientés objets ne s'est jamais

⁸²Même si malheureusement les principes architecturaux fondateurs de ce concept sont très rarement suivis, ce qui nuit à la qualité finale des logiciels. . .

⁸³*Simula I*, en 1962, mais surtout *Simula 67*. Les deux langages ont été développés par Ole-Johan Dahl et Kristen Nygaard.

⁸⁴Il faut noter que les premiers développements ont été effectués à l'université d'Aix-Marseille par

démentie ; la multitude des langages (nous citerons *Eiffel*, [Meyer, 1992], *CLOS*, [Bobrow *et al.*, 1988], qui tente une synthèse avec un langage couramment employé en intelligence artificielle, le *Lisp*, ou encore *SELF*, [Ungar & Smith, 1987]), et plus récemment l'avènement d'internet, qui a permis la diffusion massive de *Java*, et donc par conséquent l'utilisation des langages orientés objets génériques est devenue un standard pour la programmation et le développement de systèmes complexes comprenant de nombreuses interactions (homme-machine, mais aussi machine-machine).

IV.3.1.2 Vocabulaire et concepts associés

Le concept d'objet est en fait un *méta-concept* qui englobe un ensemble de termes utilisés pour décrire les caractéristiques d'un objet. Malgré le côté fastidieux et académique, nous allons présenter et définir celles-ci. Les termes de jargon essentiels sont soulignés en italique.

IV.3.1.2.a Classe

Chaque objet est en fait une *instance* d'une *classe*, en quelque sorte l'actualisation d'un schéma prédéfini. Une classe est définie par un ensemble morphologique qui détermine ses *attributs* et un ensemble de fonctions comportementales appelées *méthodes*. Les méthodes sont dites *privées* ou *publiques* en fonction de leur accessibilité par d'autres objets ou non - cette technique est connue sous le nom d'*encapsulation*.

IV.3.1.2.b Objet

L'objet est le résultat de l'*instanciation* d'une classe, c'est à dire son actualisation (ou réalisation). La classe, en soi, est présente uniquement au niveau conceptuel⁸⁵, et par conséquent c'est l'ensemble des objets qui structurent le système.

IV.3.1.2.c Héritage

La notion d'*héritage* est évidente. Il s'agit de la propriété qu'ont les classes à pouvoir obtenir certains attributs d'autres classes. Par conséquent, il est possible de créer des classes de plus en plus spécialisées sans pour autant avoir à redéfinir des caractéristiques

Alain Colmerauer et Phillipe Roussel, en collaboration avec Robert Kowalski de l'université d'Edinburgh, voir [Colmerauer & Roussel, 1996] pour un historique technique complet.

⁸⁵Certaines techniques permettent cependant d'utiliser directement les classes dans des cas bien précis, qui ne nécessitent pas l'instanciation d'un objet, ou dans lesquels l'utilisation d'un objet ne ferait qu'ajouter de la confusion au système. En *Smalltalk*, le concept de *métaclasses* permet d'utiliser directement les classes pour accéder à une méthode spécifique.

communes, et en ajoutant des méthodes et des attributs nouveaux. Il existe également la possibilité d'*héritage multiple* qui permet d'hériter des caractéristiques de plusieurs classes différentes.

IV.3.1.2.d Polymorphisme

Le *polymorphisme* désigne la possibilité pour les classes de définir plusieurs méthodes réagissant différemment selon le contexte où elles sont appelées⁸⁶.

IV.3.2 Une définition de la notion d'objet en musique électroacoustique

Le concept d'objet a été relativement rapidement adopté par la communauté de la musique électroacoustique⁸⁷, et donc les logiciels dédiés à la musique électroacoustique ont tiré profit de cette technologie (les exemples sont légion - nous mentionnerons *Max/MSP* et *SuperCollider*).

Cependant, malgré quelques rares exceptions (*Siren*, et plus généralement les outils et méthodes développés par Stephen Pope, décrits notamment dans [Pope, 1992]), les tentatives pour définir de manière cohérente et complète le concept d'objet pour la musique électroacoustique sont inexistantes. Nous allons en premier lieu tenter de définir quelques principes qui nous paraissent importants pour définir l'objet en musique électroacoustique de manière claire, sans faire référence à la définition informatique de l'objet.

IV.3.2.1 Première approche de l'objet compositionnel électroacoustique

IV.3.2.1.a Définitions

La notion d'*objet* en musique électroacoustique recouvre un certain nombre d'aspects très distincts, qui se situent sur différents plans. Une première définition *fonctionnelle* nous est donnée par Horacio Vaggione, dans [Budon, 2000] :

First of all, we must say that an object –in the computer software sense of the term– is a complex unit that may simultaneously contain different

⁸⁶Ce type de polymorphisme se nomme *surcharge*. Il existe d'autres variantes, comme le *polymorphisme par template*, ou le *polymorphisme d'héritage*

⁸⁷Historiquement, la grande diffusion des systèmes *NeXT* et *Apple* dans les milieux universitaires, systèmes très fortement basés sur la notion d'objet (le système d'exploitation *NeXTStep* est programmé entièrement en *Objective C*, avec un accès facilité à la programmation bas-niveau, est toujours considéré comme exemplaire, et moderne [Jaffe & Boynton, 1989] - les innovations de *NeXTStep* ont d'ailleurs été largement reprises par le récent *OSX*), a favorisé le développement de logiciels basés sur ces langages, et donc orientés objet.

representations, or codes, related to as many procedures (specific actions) as there are data elements (sounds and time structures) covering many scales or operating levels. It should be mentioned that this concept of the object has nothing to do with the notion of an "object of cognition", nor with the subject-object duality that the latter implies. Neither does it have anything to do with the "object as a representational model" of a reality, which may be "out there." Kandinsky's question, "What replaces the object?" has no meaning in an auto-referential art such as music. Indeed, these two meanings have subtended the definition of the sound-object proposed by Pierre Schaeffer (1966) : the first expresses a desire for objectification (this is the taxonomic aspect, the *sofège* of the object as conceived by Schaeffer) . The second, a descendant of the first, gives rise to the vast subject of the semantics of concrete sounds (and which Schaeffer himself attempted to short-circuit by means of the notion of "reduced listening" derived from phenomenology). But more importantly, the concept of object that I am discussing here must also be clearly distinguished from Schaeffer's sound-object, because the present concept not only designates a purely macroscopic entity (a building block that supplants the "note") but above all a multiscale ensemble that includes events of different order of magnitude. Thus our object is an operational category, that is, a technical concept developed to realize a given musical action, capable of incorporating (encapsulating) different time levels into a complex entity which nevertheless has defined boundaries, and thus can be manipulated within a network. ⁸⁸

⁸⁸Premièrement, nous devons dire qu'un objet - dans le sens informatique du terme - est une unité complexe qui peut contenir de manière simultanée plusieurs représentations, ou codes, reliés à autant de procédures (actions spécifiques) qu'il y a d'éléments de données (structures sonores et temporelles) couvrant plusieurs échelles ou niveaux opératifs. Il faut mentionner que ce concept d'objet n'a rien à voir avec la notion d'"objet cognitif", ni avec une dualité objet-sujet qu'implique cette notion. Il n'a pas non plus à voir avec l'"objet comme modèle représentatif d'une réalité", qui pourrait être "au-delà". La question de Kandinsky, "Que remplace un objet?" n'a aucun sens dans un art auto-référentiel tel que la musique. En fait, ces deux sens ont nourri la définition de l'objet sonore proposé par Pierre Schaeffer (1966) : la première exprime un désir d'objectisation (il s'agit de l'aspect taxonomique, le *sofège* de l'objet conçu par Schaeffer). Le second, descendant du premier, ouvre le vaste sujet de la sémantique des sons concrets (et que Schaeffer lui-même s'arrange pour court-circuiter en employant la notion d'"écoute réduite" dérivée de la phénoménologie). Mais de manière plus importante, le concept d'objet que je décris ici doit également être distingué de l'objet sonore schaefferien, car le concept présent désigne non seulement une entité purement macroscopique (une brique qui supprime la "note") mais surtout un ensemble multiscale qui inclut des événements d'ordre de magnitude différents. Ainsi un objet est une catégorie opérationnelle, c'est-à-dire un concept technique développé pour réaliser une action musicale donnée, capable d'incorporer (encapsuler) différents niveaux temporels dans une entité complexe qui possède malgré tout des frontières définies, et peut ainsi être manipulée à l'intérieur d'un

La notion d'objet compositionnel peut donc se comprendre comme un agrégat multiscalaire, multimorphe et multifonctionnel, dont les caractéristiques ne sont pas uniquement considérables sur le plan esthétique, mais surtout sur le plan technique.

Il est difficile, en effet, de rejeter cette définition : le compositeur travaille bien sur différents niveaux d'abstraction, et donc les répercussions "technologiques" sont multiples et difficiles à quantifier. L'étude de [Nuhn *et al.*, 2002] est extrêmement intéressante à ce propos : la multitude des outils proposés et utilisés par les compositeurs induit la création d'objets compositionnels complexes et dont la "trace" n'est plus immédiatement lisible ou disponible⁸⁹.

IV.3.2.1.b *Representamen*

Pour autant qu'il essaye d'englober l'ensemble des niveaux représentationnels, le concept de l'objet compositionnel se heurte finalement à la même barrière que l'analyse : la *barrière du representamen* est encore à l'œuvre, et empêche une lisibilité verticale du travail ; c'est ce que [Nuhn *et al.*, 2002] décrit, de manière différente sur une orientation technologique :

The observed "voyage of discovery" nature of composition, whereby refinement of an artifact (convergent thought) may lead to new inspiration (divergent thought) and unanticipated compositional activity, has software implications. Consequently, composers may multitask their activities, thus creating multiple incomplete concurrent transactions. Support for concurrent transactions is standard for multi-user systems, but not for single user systems. Also, the conventional requirements for transaction correctness, i.e., the ACID (atomicity, consistency, independence and durability) test, does not hold, since these are concerned with semantic isolation of transactions, such that they do not interfere with each other.⁸⁹

réseau. *Traduction personnelle.*

⁸⁹Contrairement aux méthodes disponibles jusqu'au début des années 90, environ. Une très intéressante étude des traces de la gestation d'une œuvre dans un contexte analytique est d'ailleurs disponible dans une analyse de *Contours* de Jean-Claude Risset par Agostino Di Scipio, dans [Licata, 2002, chap. 7].

⁸⁹La nature perçue de "voyage initiatique" de la composition, par lequel le raffinement d'un artefact (pensée convergente) peut conduire à une inspiration nouvelle (pensée divergente) et à une activité compositionnelle non préparée, a des implications sur le logiciel. Par conséquent, les compositeurs peuvent effectuer plusieurs activités en parallèle, créant ainsi de multiples transactions concurrentes incomplètes. Le support des transactions concurrentielles est standard dans les systèmes multi-utilisateurs, mais pas pour les systèmes destinés à un utilisateur unique. Parallèlement, les prérequis conventionnels pour la validité de la transaction, i.e. le test ACID (Atomicité, Consistance, Indépendance et Durabilité), ne sont pas remplis, car préoccupés par l'isolation sémantique des transactions,

IV.3.2.2 L'objet compositionnel et ses principes

Les caractéristiques de l'objet compositionnel - dont les principes ont été évoqués ci-dessus - entraînent un certain nombre de conséquences sur la manière dont l'implémentation technologique sera orientée.

IV.3.2.2.a *Multiscalarité*

Le premier principe, qui conditionne les suivants, est la *multiscalarité*. Ce principe est celui qui permet à l'objet compositionnel d'être employé *indépendamment du contexte*, temporel ou structurel.

En effet, l'approche *transformationnelle*, décrite dans [Vaggione, 1996], est marquée par le fort poids porté au contexte - la position temporelle des structures les unes par rapport aux autres dans l'évolution de la pièce. Mais c'est en premier lieu ce contexte qui détermine le niveau scalaire d'une structure.

Travailler avec des objets compositionnels multiscalaires suppose une morphologie spécifique, qui permette à cet objet non seulement d'être cohérent à certains niveaux, mais de posséder une identité définissable indépendamment du niveau scalaire dans lequel il est employé.

IV.3.2.2.b *Multimorphisme*

L'adaptation à des niveaux d'organisation très différents implique une morphologie particulière des objets compositionnels - une morphologie *adaptive*. Comme l'objet compositionnel est au moins définissable par une appartenance au minimum à deux échelles⁹⁰ - phénotype et génotype - nous allons explorer les manifestations morphologiques qui s'expriment dans ces deux domaines. Première conséquence de la multiscalarité de l'objet compositionnel, le *multimorphisme* induit la possibilité, pour un même objet *compositionnel* de pouvoir exister sous plusieurs formes. Bien entendu la multiscalarité entraîne la manifestation d'*avatars* différents, selon le contexte dans lequel se trouve la pièce. Encore une fois le contexte influe sur la représentation morphologique d'un objet. En outre, il est évident qu'un objet compositionnel se présente donc sous une multitude de formes (morphologies) : structure sonore, algorithme, *gesture*⁹¹.

de telle manière qu'il n'existe pas d'interférence. *Traduction personnelle.*

⁹⁰ou système représentationnel

⁹¹La notion de "geste" nous paraît trop impliquer une intentionnalité définie, ainsi qu'une contingence "mécanique" - le terme anglo-saxon de *gesture* contient au contraire la notion de fortuit, d'induction approximative.

Contexte esthétique

Le phénomène de multimorphisme est bien connu en composition : en termes classiques, il se rapproche du concept de "variation", de "mutation". Par ailleurs un ensemble de facteurs perceptifs (que nous avons désigné par la variable Ψ dans III.3.3) est également en jeu pour obtenir une ségrégation complète des motifs [Hewlett & Selfridge-Field, 1998, chap. 1] - et donc une approche complète de la notion de multimorphisme dans le cas d'un objet esthétiquement complexe. C'est d'ailleurs sur ce type de paradigme que se basent bon nombre d'approches "reproductives" - pour l'instant expériences basées sur la reformulation de styles "classiques" et non électroacoustiques, comme par exemple les travaux de David Cope, synthétisés dans [Cope, 2001].

Contexte technique

Dans un contexte technique, le multimorphisme fait évidemment se rapprocher la notion d'objet en musique électroacoustique de la notion informatique : il s'agit de la conséquence de la possibilité pour les utilisateurs de définir des *polymorphismes*, notion que nous avons évoquée plus haut.

IV.3.2.2.c Multifonctionnalité

Deuxième corollaire, la multifonctionnalité est également une conséquence logique du multimorphisme de l'objet compositionnel. L'utilisation d'un objet dont certaines caractéristiques sont extraites pour être employées comme processus transformationnel sur d'autres objets est un phénomène acquis - les techniques de transformation du signal par décorrélation ne sont qu'un exemple (voir [Lansky, 1979]), et sur l'échelle de l'esthétique, les processus de transformations dérivées d'objets sonores sont très couramment employées (nous citerons les exemples classiques de la première partie de *Sud* de Jean-Claude Risset, ou les procédés graduels de transformations (*morphing*) des sons dans *Red Bird* de Trevor Wishart⁹²).

⁹²Bien qu'il ne s'agisse pas encore d'un travail *assisté par ordinateur*, l'approche de Wishart est très largement transformationnelle, dans le sens où la *contextualisation* des objets compositionnels est très marquée. Il ne s'agit bel et bien plus ici de fonctionnel (i.e. de structures en état de tension plus ou moins marqué), mais bel est bien de *contextuel* (i.e. le contexte général *implique* une tension sur les structures sonores, et par conséquent sur l'objet compositionnel). Les travaux de Wishart sur la théorie de la composition électroacoustique sont par ailleurs d'un intérêt important quant à la compréhension de ce changement de paradigme. Nous renvoyons le lecteur à [Wishart, 1994]

IV.3.2.3 L'objet compositionnel

En conclusion, l'objet compositionnel correspond bel et bien au *representamen* : la multiplicité de lecture et ses implications aux niveaux morphologiques et fonctionnels impliquent des relations à d'autres objets, eux-mêmes *representamen* d'autres structures.

Comme le *representamen* peircien, l'objet compositionnel est triple : les différents aspects - scalaires, morphologiques, fonctionnels - que nous venons de décrire sont réductibles dans la définition triadique peircienne - *representamen*, objet, interprétant. La notion de reproductibilité et d'adaptabilité des processus fonctionnels recoupe le concept de "representamen interprétant" sous-tendu par la définition peircienne⁹³, dans le sens où le procédé d'adaptation d'un objet en processus compositionnel s'apparente à une relation de type "representamen-interprétant" avec cet objet.

Cependant, cette logique fait apparaître encore une fois la difficulté de saisir l'*objet compositionnel même* ; enfermé dans un ensemble cumulatif *representamen-interprétant-objet*, le véritable objet n'apparaît jamais. Ce que Vaggione désigne par une "pluralité de systèmes représentationnels"⁹⁴, ne serait-il en fait que l'expression empirique des *representamens* ?

⁹³Peirce fait explicitement référence à cette implication [Hartshorne & Paul Weiss, 1931-1958, 5.138] :

I call a *representamen* which is determined by another *representamen*, an *interpretant* of the latter.

(*J'appelle representamen qui est déterminé par un autre representamen, un interprétant de ce dernier.*)

⁹⁴

There is no musical composition process (instrumental, electroacoustic, or otherwise) without representational systems at work - *a plurality of representational systems*, depending at which level or time scale we are operating.

in [Vaggione, 2001b], nous soulignons.

IV.4 Interactions

Nous ne le pensons pas.

Les relations particulières qui lient d'autres objets - representamens - entre eux ne sont pas des liaisons inertes et fixes à un objet unique.

Une autre implication importante des propriétés de l'objet compositionnel est son *dynamisme* et donc son aptitude à la *réaction*. C'est par conséquent de manière assez naturelle (et pour suivre le paradigme informatique d'orientation objet) que nous avons choisi d'exposer ces relations sous le terme d'*interactions*.

IV.4.1 Algorithmes

Originellement, les procédés de transformations et de mise en rapport entre les objets compositionnels ont été conduits par des *algorithmes* [Mathews & Pierce, 1989, chap. 16, 17 et 21]⁹⁵. Bien entendu, il s'agit d'une relation historique, due à la puissance limitée des ordinateurs disponibles avant les années 90 - les langages de programmation *disponibles* ne permettant pas des conceptions structurelles ou des définitions d'objets très complexes⁹⁶. Les possibilités sémantiques d'un algorithme sont relativement limitées (les exemples donnés par Lejaren Hiller dans [Roads, 1989, chap.8] sont éloquentes), et donc fonctionnent dans un système représentationnel et référentiel par définition fermé.

En conséquence, un algorithme peut-être considéré comme un *objet transformateur*, constitué uniquement par des méthodes, et avec lequel aucune "communication" n'existe entre objets. Encore une fois, il s'agit également du résultat de l'emploi du paradigme de programmation procédurale (à opposer à la programmation objet), laquelle se base sur la conception de la machine de Turing. La notion d'évolution des objets compositionnels est donc quasiment inexistante : l'ensemble des possibilités d'évolution d'un système est contraint par la finitude des algorithmes. L'utilisation d'algorithmes impose d'employer la notion de *processus*.

⁹⁵Il est d'ailleurs courant de voir l'intitulé *algorithmic music* utilisé pour désigner le champ plus vaste de l'étude de la composition assistée par ordinateur

⁹⁶Cependant, les *paradigmes* de programmation orientée objet, ou ceux de programmation par contraintes existaient déjà. Mais leurs *implémentations* et leur utilisation nécessitaient des systèmes lourds à mettre en place, contrairement à la facilité de déploiement actuelle.

IV.4.2 Interaction versus processus

Il peut paraître contradictoire d'opposer interaction et processus, les deux termes faisant référence à une notion dynamique d'évolution. Pourtant, *une interaction est distincte et différente d'un processus*, dans le sens où le terme processus sous-entend l'utilisation d'un facteur extérieur pour générer le dynamisme, ou, pire encore, l'utilisation d'un objet *statique* pour réaliser un traitement.

La notion d'objet compositionnel se suffit à elle-même. Dans sa définition, nous avons mentionné l'existence de méthodes, qui définissent des comportements, et par conséquent la désirable absence de procédés extérieurs de traitement - les processus.

Les formes les plus complexes de processus - le concept de *feedback*⁹⁷ - ne permettent qu'une *simulation* d'interaction. L'évolution des théories du *feedback* ont ensuite mené à l'un des principaux "mythes fondateurs" [Laliberté, 1993] de l'informatique : l'imitation de l'intelligence humaine. Tel que [Ashby, 1952] le définissait, l'ensemble était considéré comme un système homéostatique, régulé par un ensemble de boîtes noires fonctionnant par *feedback*. En associant les différents concepts cybernétiques aux grammaires génératives de Noam Chomsky [Chomsky, 1957], une nouvelle discipline s'est formée, l'*intelligence artificielle*, et plus précisément la *computation symbolique*. Les recherches dans ce domaine n'ont pas été à la hauteur des espérances, ce qui a été la cause de la perte de dominance de cette approche au profit des outils connexionnistes.

IV.4.3 L'entre-objet

A l'opposé d'une approche de type "computation symbolique", la conception "ouverte" (post-connexionniste), introduite en informatique par la non-finitude et le non-déterminisme, inhérente aux méthodes objets nous permet d'introduire le concept d'espace. *L'entre-objet* est cet espace dans lequel les objets compositionnels tissent ou sont amenés à tisser des relations entre eux, par le truchement d'algorithmes ou de morphologies spécifiques. Par conséquent, cet espace génère une morphologie et un comportement qui lui est propre, dépendant des différents éléments qui le composent.

En fait, l'entre-objet peut être défini par la situation dynamique générée par la mise en rapport de deux (ou plusieurs) objets compositionnels. Il s'agit d'un ensemble complexe, dont l'évolution se comporte en *système émergent*.

Mais avant de décrire plus avant la notion de système et ses implications sur la composition, il nous faut parler d'un paramètre essentiel de la musique, celui de la

⁹⁷Il nous faut mentionner que ce concept nous vient des théories de la première cybernétique.

temporalité.

Chapitre V

Problèmes de temps

V.1 Summary

The notion of temporal scales have been exposed in depth in the previous chapters. We believe there is a strong correlation between the temporal and structural levels, however the current musicological terminology is relatively imprecise as to define clearly structural levels. Instead of speaking of *form* - an imprecise word - we prefer to use the term *structure*, which can be itself expanded into micro- meso- and macro-structure.

Structures can be described by *motives* - as explained in the previous chapter. However, used as building blocks in composition (as opposed to), the definition must be corrected to take into account the *genetic* approach of their evolutions. The set of evolutions of a motive forms what we call a structure, and the ensemble of structures gives a macro-structure. The notion of meta-structure is usually understood as “what is carried by the structures”, that is, the esthetic notion of a message contained by the music. We prefer to think of metastructures as carrier of three distinct information : functional, esthetic, and poietic.

The roles played by the metastructure imply the existence of *context markers*, used to determinate not only the functional level of the corresponding structures, but also their relations. *Context markers* are the basic blocks used to define the composition act as a *complex system*.

V.2 Introduction

Comme nous l'avons vu, l'essentiel des problèmes qui composent l'acte compositionnel peut se définir dans une perspective d'échelle temporelle.

Nous allons voir dans ce chapitre en quoi les changements d'échelle temporelle peuvent nous permettre de mieux appréhender l'exercice compositionnel électroacoustique pour aboutir à une formulation structurée des différents niveaux d'abstraction (ou échelles temporelles) et de leurs rapports.

Nous introduirons également les concepts de contexte et de *marqueur de contexte*, indispensables pour permettre une lecture et une vision cohérente des problèmes de structuration et de scalarisation.

V.3 De la *Forme* à la *Métastructure*

Avant d'entamer la discussion détaillée des différentes évolutions structurelles, il nous faut comprendre la nuance entre forme et structure - hiatus dont nous avons déjà évoqué la nature (paragraphe II.5.2.3) - pour nous permettre de définir la notion de *marqueur de contexte*.

Si la notion de forme a été rejetée par [Smalley, 1986, p.89], il nous semble que la justification n'est pas cohérente sur un plan musicologique. Pourtant, la justification sur le rejet de la notion de forme a été formulé par Jean Barraqué en 1965 [Feneyrou, 2001, p. 400] :

Les formes sont en apparence de permanentes contradictions, à tel point que toute forme historiquement reconnue parvient à détruire son essence. Une forme nouvelle récuse tout droit de citation, étant déjà perdue. Non plus les contradictions formelles en devenir, mais les devenirs non saisis à coups de cris interrompus dans le langage, voulant devenir forme compréhensible, et s'appuyant sur quelle bannière, syntaxe créatrice de la matière. L'informulé est, sans le S.O.S. de l'apparence formelle, la rhétorique du formel.

Il nous semble que c'est la dichotomie entre tradition et méthodes de composition actuelles qui justifie l'abandon de ce terme imprécis, source de confusion, et nous fait préférer la notion de structure, qui a l'avantage d'éviter la référence à un passé préconçu.

Nous nous concentrerons donc sur les aspects évolutifs de ces *structures*, du plus bas niveau d'organisation au plus haut.

V.3.1 Des *Motifs* à la *Structure*

Une structure n'est pas un ensemble simple, nous l'avons vu au chapitre précédent. Les différents objets et interactions qui la composent se regroupent en *motifs*.

V.3.1.1 Motif : définition

La définition logique (voir l'équation III.8) que nous avons obtenue précédemment (paragraphe III.3.3), va nous être utile pour obtenir une description plus complète. Il est facile de se rendre compte que celle-ci est limitée pour ce qui nous occupe maintenant, car elle se concentre sur l'aspect analytique - en d'autres termes, il s'agit d'une description *phénotypique*, alors que notre but présent est d'obtenir une définition *génétique*, pour servir à l'élaboration et à la compréhension des procédés compositionnels.

Pour étendre cette définition, il nous faut prendre en compte les aspects manipulateurs - transformationnels - qui composent le motif sur le plan génétique⁹⁸. L'aspect génétique permet dans une certaine mesure de caractériser l'ensemble Ψ , que nous avons précédemment défini comme un ensemble de facteurs perceptifs permettant la compréhension cohésive d'un motif, comme étant constitué en grande partie par les *processus transformationnels*⁹⁹ décrits dans le chapitre précédent¹⁰⁰.

V.3.1.2 Motifs - Objets - Structure

Un ensemble de motifs s'organise en une structure. Il est logique de considérer en premier lieu, et en dépassant notre définition liminaire, un motif comme un agrégat d'objets compositionnels. En réalité, ces deux définitions sont identiques, selon la position dans laquelle se trouve l'observateur : analytiquement, il est correct de considérer le motif comme un élément sémantique de base - un *sème*, tandis que le point de vue compositionnel préférera considérer le motif comme un ensemble d'objets compositionnels¹⁰¹.

Rappelons la nature *transversale* de l'objet compositionnel : de part sa nature multiple, un ensemble d'objets peut devenir, à un instant t , un objet compositionnel à part entière : c'est le cas notamment pour les compositions utilisant l'autosimilarité. Par conséquent, ayant désigné le motif comme un ensemble d'objets, et la structure comme un ensemble de motifs, la structure semble également être réductible à un ensemble d'objets. Cependant, le principe d'agencement à l'oeuvre dans le processus compositionnel nous permet de définir logiquement les rapports objets-motifs-structures de la manière suivante :

$$S \supset (\mu_{0\dots n}) \quad \text{et} \quad \mu \supset (\lambda_{0\dots n}) \quad (\text{V.1})$$

Il existe un facteur particulier concernant ledit *agencement* qui détermine la *pertinence* d'un motif. Encore une fois la notion de *plan adaptatif*, notion que nous avons

⁹⁸Il aurait été également possible d'employer les principes de la tripartition, et de dénommer cet aspect comme *poïétique*. Cependant, l'utilisation des concepts de génotype/phénotype nous paraît plus juste que l'opposition esthétique/poïétique dans la problématique compositionnelle.

⁹⁹A ne pas confondre avec processus de transformation. L'adjectif - fort - *transformationnel* suffit pour décrire la notion d'interaction et évacuer toute notion extérieure.

¹⁰⁰Obtenir une lecture transformationnelle pour l'analyse n'est pas fondamental. Tout comme la précision locale - poïétique - est rarement nécessaire en analyse esthétique, l'analyste peut se contenter de commenter la *forme* des structures qu'il étudie, et non pas leur nature - et *a fortiori* la nature des processus qui les composent

¹⁰¹*A priori*. Il est possible également de considérer un seul objet compositionnel comme définissant un motif, ce cas particulier n'invalidant pas notre raisonnement.

employée dans le chapitre III (voir équation III.3.3), permet de mieux caractériser ces aspects.

V.3.2 De la *Structure* à la *Macrostructure*

Les structures s'amalgament tout au long d'une pièce, et se groupent de la même manière (*transformationnellement* aux niveaux structurels bas et *perceptuellement* aux hauts niveaux d'abstraction) que les motifs, en formant des structures d'un niveau de complexité plus élevé, les macrostructures.

La principale différence entre structure et macrostructure est la difficulté de segmenter de la même manière une macrostructure. La notion de *directionnalité* est en effet très forte au niveau macrostructurel, au point qu'il devient délicat de scinder ces différents éléments d'un point de vue autre que purement fonctionnel : plus que pour les structures, qui sont principalement portées par leur architecture interne, c'est l'aspect téléologique des macrostructures qui est leur principale caractéristique. Cet aspect téléologique de la macrostructure est magnifiquement mise en avant dans la pièce *In the light of the Above* [Eigenfeldt, 1989] : le tissu macrostructurel, continu, ne s'effiloche que par moment (8'10, 12'30) pour finalement se dissoudre en laissant ultimement apparaître les structures qui le composent (14'30). L'utilisation d'un bruit blanc "construit" (i.e. il ne s'agit pas d'une bande de bruit blanc générée aléatoirement) implique l'existence de structures clairement définies, mais non caractérisables perceptuellement à l'écoute de la pièce - l'aspect volontairement directionnel et superstructuré de l'oeuvre montre bien la nullité d'une approche décomposante pour l'analyse des macrostructures.

En reprenant notre logique formelle, la macrostructure (M) devient un *vecteur* de l'ensemble des structures qui le constituent :

$$M = \overrightarrow{S_0, S_{\dots}, S_n} \quad (\text{V.2})$$

V.3.3 De la *Macrostructure* à la *Métastructure*

Le débat sur la téléologie fonctionnelle des macrostructures porte naturellement la discussion sur les problèmes de la *métastructure*. Car le sens porté, à la fois fonctionnellement et esthétiquement, par l'ensemble de ces macrostructures constitue la métastructure. Porteuse de sens, elle contient également en potentiel l'ensemble des processus transformationnels d'une oeuvre.

V.3.3.1 Aspects

Il convient de résumer les aspects informatifs portés par la métastructure :

- *sens fonctionnel* : si une bonne part de l'information fonctionnelle est déjà portée par la/les macrostructures d'une oeuvre, il reste que ces informations sont *a priori* disponibles uniquement à l'analyse. La métastructure donne un ensemble d'informations qui permettent une lecture directe du sens fonctionnel
- *sens esthétique* : bien entendu, la part esthétique (considérable d'une certaine manière comme un méta-ensemble des informations fonctionnelles) est contenue entièrement dans la métastructure.
- *sens poïétique* : de manière diaphane, la métastructure contient également la notion de *style*, que nous préférons assimiler au paramètre poïétique de la musique.¹⁰²

V.3.3.2 Transversalité

Le deuxième point important de la notion de métastructure est sa *transversalité*. Pour des raisons rhétoriques, il est capital de comprendre le rôle capital joué par la macrostructure dans le fonctionnement et la réception d'une oeuvre, mais il reste que la métastructure est un concept complètement adaptatif, et par conséquent il est possible de parler de métastructure pour les objets compositionnels également.

¹⁰²Contrairement à François Nicolas, qui déclare [Nicolas, 1998] :

Un style de pensée musical ne relève donc pas du poïétique ni de l'esthétique proprement dits. Faut-il dire qu'il relève alors du niveau neutre? Je ne crois guère en fait que cette tripartition soit ici pertinente car elle tend à s'inscrire dans une logique de réception de l'oeuvre musicale, logique que je récuse. En ce sens, la catégorie de niveau neutre ne saurait à mes yeux nommer correctement l'immanence de l'oeuvre musicale. Je préfère, de ce point de vue, recourir à un tout autre vocabulaire et parler à son propos de sujet musical. Vous comprendrez que prendre l'oeuvre comme sujet de la musique relève bien d'une autre orientation de pensée.

Nous pensons que la notion de style est particulièrement sensible dans les informations poïétiques portées par la métastructure.

V.4 De la *Métastructure* au *Système*

L'ensemble des caractéristiques que nous venons d'évoquer nous permet d'introduire la notion de métastructure comme objet d'une complexité telle qu'il est possible de la considérer comme un *système*, qui comprend une logique interne sous forme de grammaire et une *ontologie*, qui s'exprime sous une forme esthétique. Avant d'envisager un tel problème, nous devons définir la notion cruciale de *marqueur de contexte*.

V.4.1 Marqueurs de contexte

Il est une notion qu'il devient urgent de développer pour permettre de mieux comprendre l'ensemble des relations entre objets compositionnels interactifs et micro-, méso-, macro-, méta-structures, celle de *marqueur de contexte*.

V.4.1.1 Définition

Il existe un certain nombre de critères qui permettent de déterminer un contexte. C'est l'ensemble de ces critères que nous désignons par "marqueur de contexte". Si la notion est directement compréhensible dans d'autres domaines, la transposition à l'analyse et à la composition à la musique électroacoustique est beaucoup plus complexe.

V.4.1.1.a *Echelle temporelle*

Le premier facteur qui vient à l'esprit pour déterminer un marqueur de contexte est l'*échelle temporelle*. Ce concept a connu un certain succès depuis l'avènement des techniques compositionnelles transformationnelles (voir [Vaggione, 1998], [Truax, 1999], [Budon, 2000] ou [Roads, 2001]). Ce facteur temporel est en effet primordial. Comme l'explique [Truax, 1999]¹⁰³ :

The "arrow of time" is not defined at the micro level; that is, at the quantum level of the grain, a symmetrical grain is also symmetrical in time - it sounds the same forwards and backwards. It is at the next higher level that the envelope and the succession of events establish the directionality of time and the sense of rhythm.¹⁰⁴

¹⁰³Cette réflexion permet d'éclairer la notion non-vectorielle des micro-structures, à l'opposé de la directionnalité forte affichée dans notre définition logique de la macrostructure (équation V.2).

¹⁰⁴La "flèche du temps" n'est pas définie au niveau microscopique; ce qui veut dire, qu'au niveau quantique du grain, un grain symétrique est également symétrique en temps - il sonne de la même manière lu à l'endroit ou à l'envers. C'est au niveau supérieur suivant que l'enveloppe et la succession des événements établit la directionnalité temporelle et le sens du rythme. *Traduction personnelle*.

La notion d'échelle temporelle est un marqueur de contexte directement perceptible : selon une échelle d'évènements allant de la microseconde à la temporalité "esthétique" (i.e. le temps d'une oeuvre), cette notion permet de faire cohabiter une multitude de contextes qui sont autant de supports à la composition. Une schématisation est représentée V.1.

Par rapport à la notion classique d'échelle de temps comme moteur du processus compositionnel, sa subordination à la notion de marqueur de contexte permet une conception plus flexible de l'approche transformationnelle.

V.4.1.1.b *Dynamique intrinsèque*

Le deuxième marqueur de contexte est défini de manière assez large par la notion de *dynamique intrinsèque*. Chaque structure contient de manière inhérente un paramètre dynamique - dans le sens large - et par conséquent permet de s'inscrire dans une évolution, en déterminant un contexte particulier.

L'exemple de *Threads* d'Elainie Lillios [Lillios, 2000] permet de mieux saisir les propriétés de ce type de marqueur de contexte, car les différences entre objets compositionnels sont frappants. Nous citerons notamment les effets de fibres (0'18) constamment opposés à l'effet de staccato (0'30) pour finalement aboutir à la création d'un objet composite (2'30 et surtout 3'15)¹⁰⁵. Chaque objet réemployé indique une micro-variation d'un de ses paramètres, qu'il est facile d'interpréter comme marqueur de contexte (par exemple l'effet d'écho sur le staccato final, forcément pré-conclusif (4'30)).

V.4.1.2 Généralisation

La force du concept de marqueur de concept est sa *réversibilité*. La figure V.2 symbolise schématiquement la transversalité des situations compositionnelles que l'on peut obtenir.

L'utilisation des marqueurs de contexte permet d'introduire la notion de système. Comme on le voit, il faut dépasser le cadre des outils conceptuels habituellement employés pour permettre une lisibilité et une approche complète de ce mode de fonctionnement.

¹⁰⁵Le lecteur notera d'ailleurs qu'une telle pièce est un exemple typique dans lequel l'emploi de la schismogénèse permet une compréhension approfondie

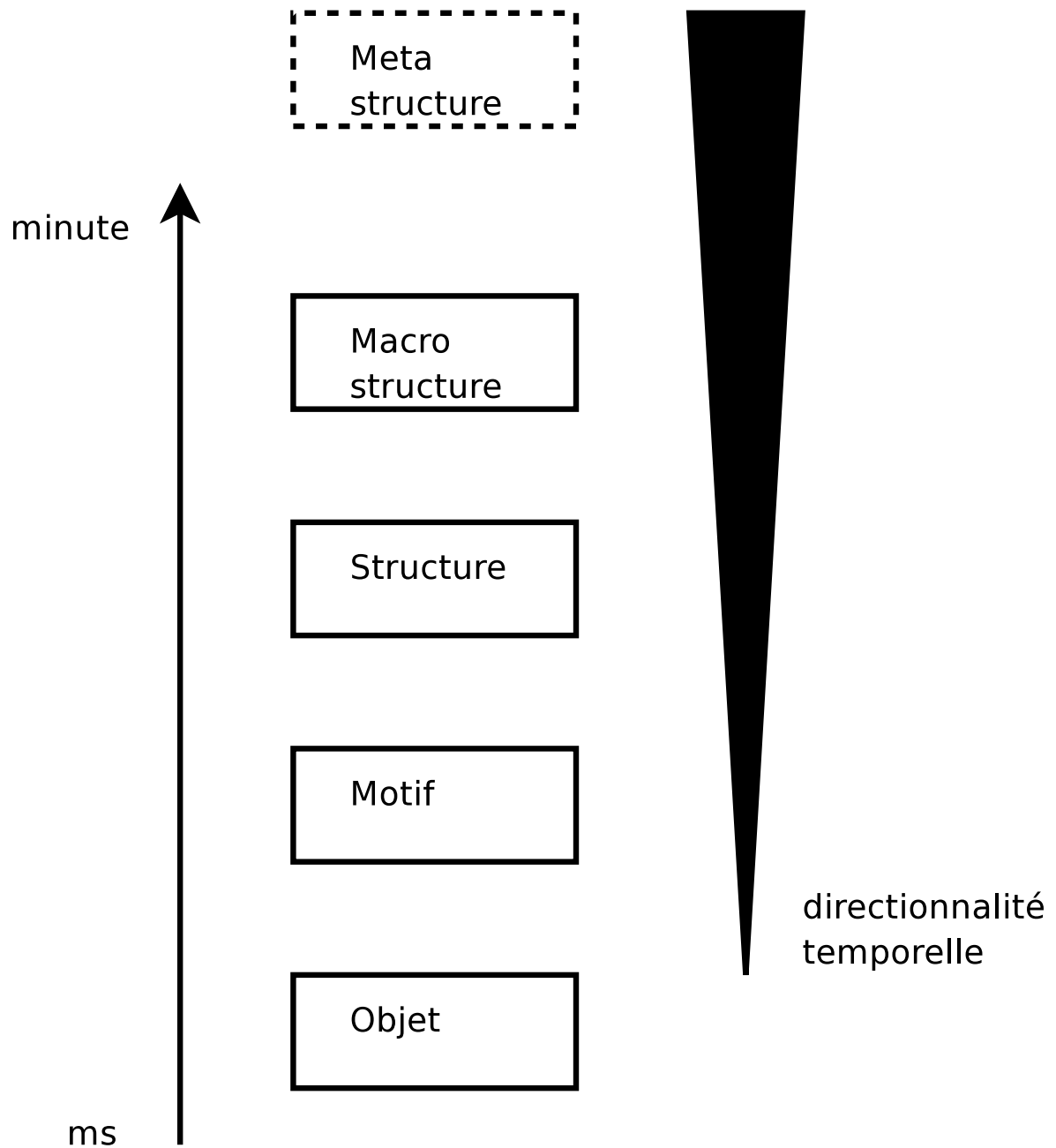
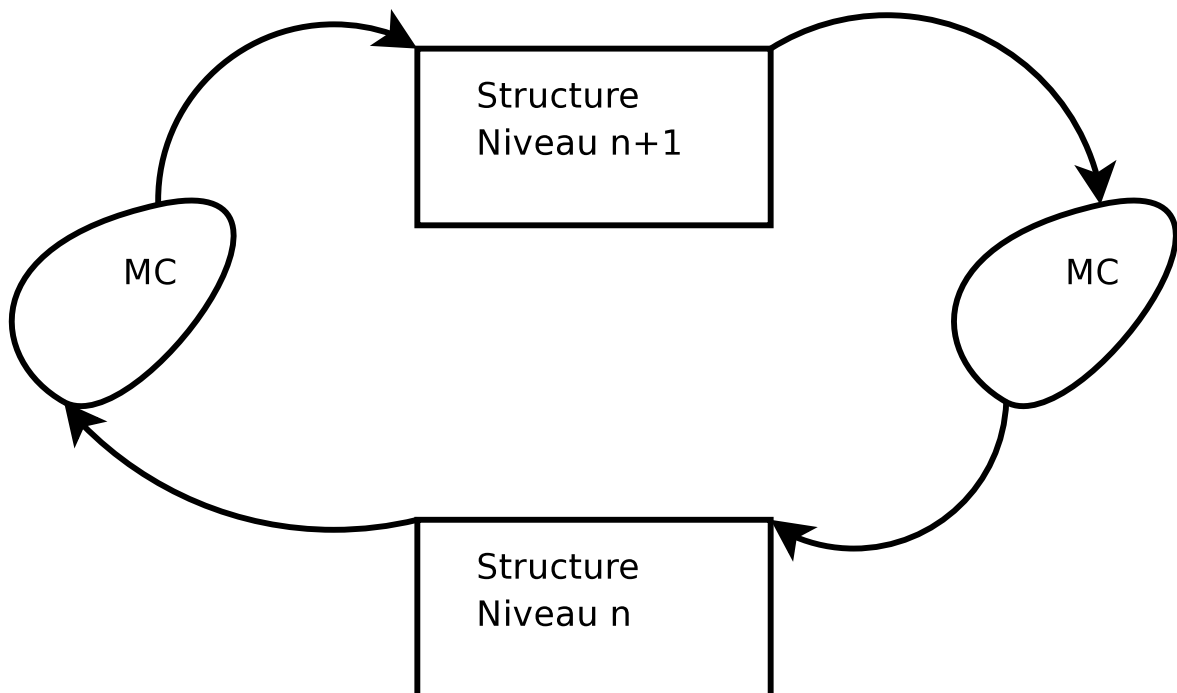


FIG. V.1 – Rapports structurels à l'échelle de temps

FIG. V.2 – Transversalité des *marqueurs de contexte*

V.4.1.3 Système complexe

Nous laisserons pour l'instant de côté la définition stricte du système, qui sera détaillé dans le prochain chapitre. Pour convaincre le lecteur de l'aspect complexe engendré par un fonctionnement par marqueur de contexte, nous proposons la figure V.3 qui présente une situation potentielle obtenue avec un ensemble *simple* de marqueurs de contexte (i.e. deux marqueurs par niveau structurel, deux structures au même niveau).

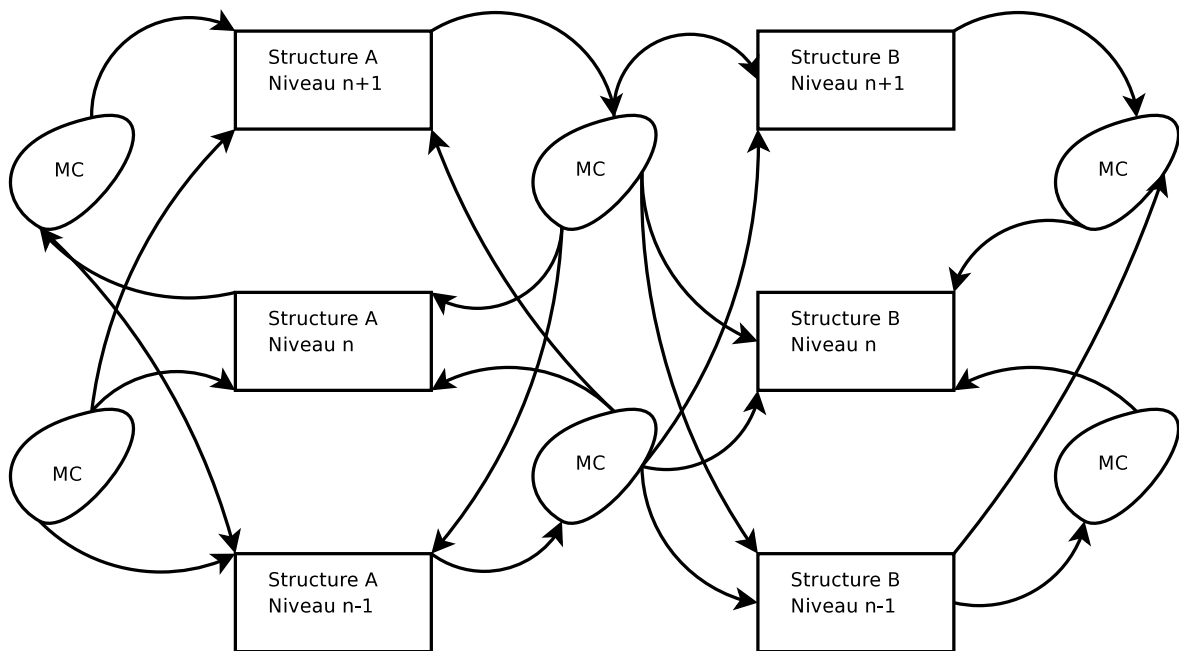


FIG. V.3 – Une situation complexe

Chapitre VI

L'approche systémique et complexe de la composition électroacoustique

VI.1 Summary

The previous chapters introduced and refined the elementary notions used in the object approach to composition (also called “transformational approach”).

Expanding the relationships described in the previous chapter between the temporal and structural levels, we develop the notions of *correlation* and *decorrelation*. The principle of decorrelation is then used to underpin the fundamental similarity that exists in a transformational composition system between processes and structures.

We then develop a basic theory of a dynamical composition system.

VI.2 Introduction

L'ensemble des remarques concernant les processus compositionnels et les théories objets de la composition (dites "approche transformationnelle") que nous avons évoqués jusqu'à présent tendent à présenter les musiques électroacoustiques comme des *systèmes complexes* fonctionnant à des niveaux d'abstraction différents, mais loin d'être strictement distincts.

La principale difficulté consiste maintenant à établir quelques règles élémentaires de fonctionnement de tels systèmes, et d'arriver à définir de manière précise les implications qui découlent d'une théorie compositionnelle non plus uniquement basée sur un assemblage d'éléments, mais sur des notions de transversalité, d'a-directionnalité et d'interaction.

VI.3 Niveaux temporels / Niveaux structurels

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, il est possible de subdiviser les différents niveaux structurels en suivant un ordre de grandeur temporelle.

VI.3.1 Corrélations

Il existe en effet une certaine corrélation entre niveau structurel et niveau temporel, que nous avons désignée grâce aux marqueurs de contexte.

Les éléments structurels en composition électroacoustique sont fortement ancrés dans une temporalité établie. Dans les techniques récentes de composition granulaire, par exemple, il est évident que le "grain" définit une unité à la fois de structure¹⁰⁶ et sert également de mesure temporelle [Roads, 2001].

Toujours dans le cadre de la composition par grains, les techniques accumulatives - aussi nommées nuages (*clouds*) - servent à définir un autre niveau structurel et donc temporel.

Dans d'autres systèmes compositionnels, et notamment dans le référentiel classique¹⁰⁷, les unités structurelles ont généralement un rôle structurel fort, et par conséquent les deux domaines sont intimement liés, formant également, comme noté ci-dessus, des unités sémantiques. C'est la relation diadique qui forme un marqueur de contexte définissant une relation de corrélation. La schématisation d'une telle relation est représentée VI.1.

VI.3.2 Décorrélations

La réversibilité de l'utilisation du marqueur de contexte temporel permet également d'effectuer des décorrélations entre les échelles temporelles et structurelles.

C'est le cas notamment dans les oeuvres se basant sur des réflexes compositionnels axés sur le timbre, et dont l'évolution entraîne une décorrélation entre unité structurelle et temporelle. Un exemple de ce type d'approche est particulièrement présent dans *Stria* de John Chowning, où les rapports structurels et temporelles sont issus d'un marqueur de contexte extérieur, qui néanmoins constitue l'unité principale du discours, le nombre d'or. Les marqueurs de contexte sont par conséquent situés en relation triadique dans ces cas particuliers, au lieu de la relation diadique usuelle. Un tel marqueur de contexte, aboutissant à des situations comme représentées VI.2, est nommé "décorrélé".

¹⁰⁶Et, par extension, une unité sémantique

¹⁰⁷Nous utilisons ce terme pour décrire la subdivision "classique" de la musique en notes, mélodie, etc.

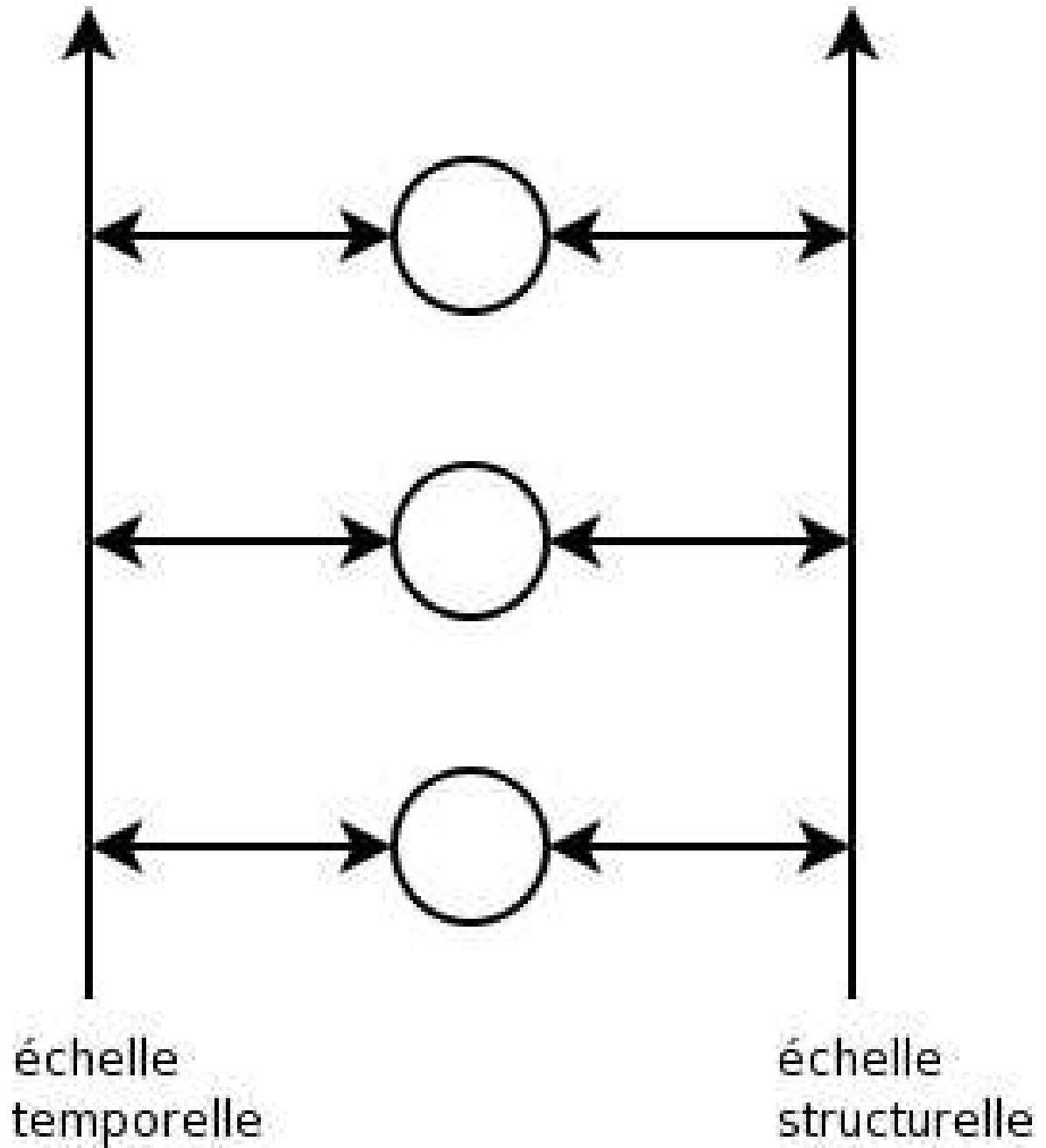


FIG. VI.1 – Marqueurs de contexte : Relation diadique/corrélée

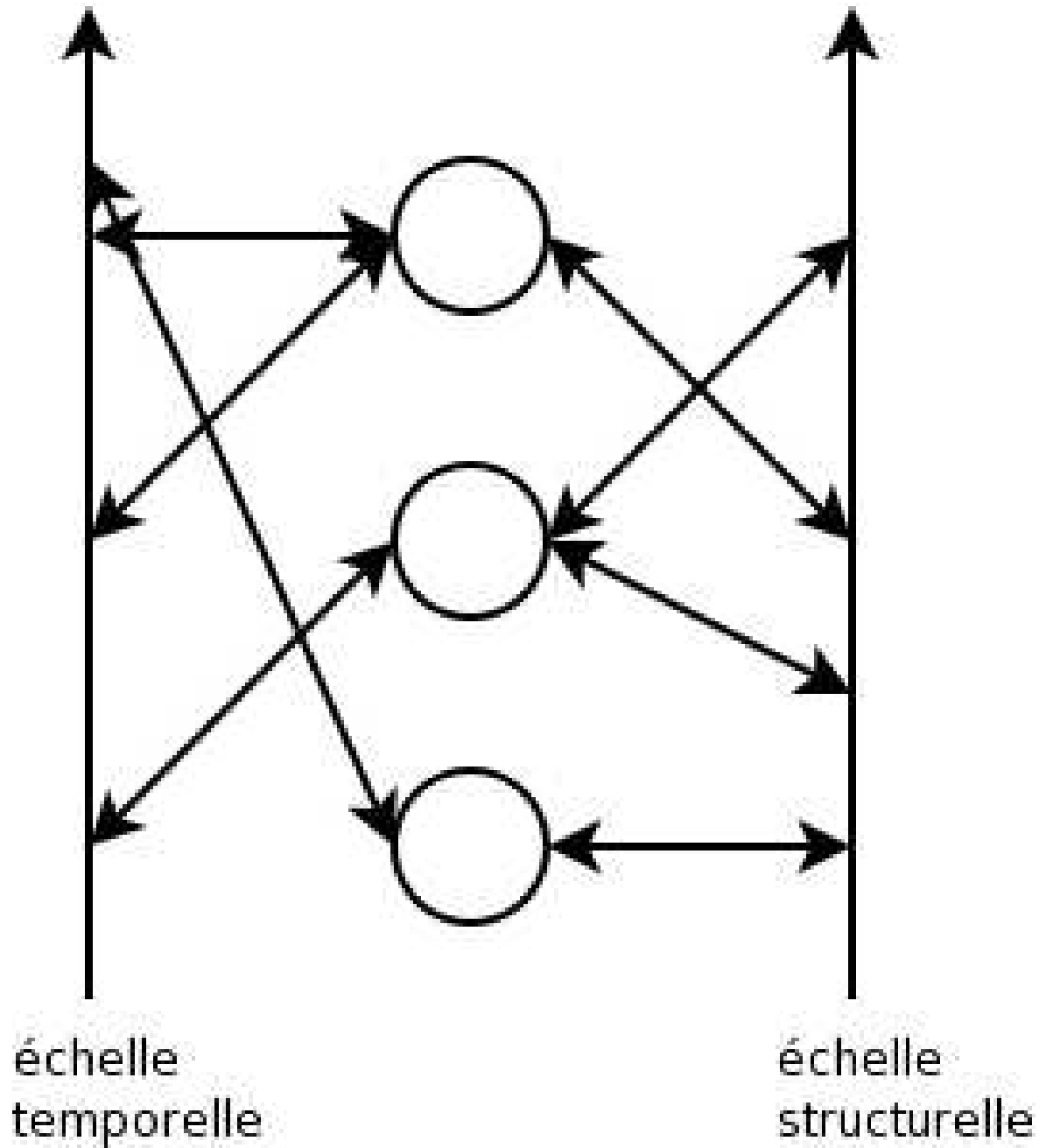


FIG. VI.2 – Marqueurs de contexte : Relation triadique/décorrelée

Bien évidemment, l'introduction de ces différents concepts de marqueurs de contexte nous amène, inévitablement, à parler des mécanismes employés pour les définir. C'est évidemment la généralisation du concept d'objet en composition qui ouvre le champ, extrêmement vaste, des problèmes morphologico-fonctionnels. Ces éléments introduisent à leur tour le concept de *processus*, qui permet d'éclairer la notion de marqueur de contexte comme objet.

VI.4 Vers l(a-)différenciation des processus et des structures

Employer les théories objets et les principes d'interactions permet au compositeur de s'affranchir des méthodes classiques de travail procédural. Nous avons déjà (chapitre IV) fait allusion aux problèmes liés à l'utilisation des concepts procéduraux dans le cas de la création musicale assistée par ordinateur. Nous allons maintenant reprendre le concept de processus en l'opposant, non plus au concept d'objet, mais à celui de *structure*.

VI.4.1 La notion de processus

Nous nous sommes rendus compte, après de longues recherches, que la définition précise des processus en oeuvre dans la musique n'avait pas été encore donnée de façon claire. La plupart des textes prennent comme acquis la définition des termes, ne cherchant pas à éclaircir des expressions pourtant relativement vagues. Il est important, pour mener à bien notre proposition de système compositionnel adapté à la composition musicale, de bien comprendre les mécanismes à l'oeuvre dans la composition, et par conséquent il convient de définir clairement les différents processus qui y prennent part.

VI.4.1.1 Processus de l'écoute musicale

Contrairement aux idées reçues, l'organisation de l'écoute musicale se découpe en deux étapes : dans un premier temps, un acte perceptif, l'audition, et ensuite un acte purement cognitif, qui consiste à ordonner et co-ordonner les données perçues. De cette manière, les trois facettes de la musique - écouter, produire, concevoir - sont inextricablement liées [Kelso, 1995, p. 26].

VI.4.1.1.a L'acte d'entendre

La littérature disponible sur la perception auditive est relativement importante, les actes de colloque sur la psychoacoustique et la perception musicale se multiplient ces dernières années. Le sujet est maintenant relativement connu de toutes les personnes qui sont concernées par la musique informatique (chercheurs, informaticiens, compositeurs), et c'est pourquoi nous avons décidé de présenter l'écoute selon l'approche, relativement peu connue (du moins en France), de la psychologie écologique.

La psychologie écologique considère les phénomènes acoustiques en étudiant les caractéristiques physiques d'un évènement sonore, et la capacité de l'auditeur à détecter les informations transmises par l'évènement. Pour James Gibson (précisément [Gibson, 1966] et [Gibson, 1979]), l'information doit être chargée de sens et spécifique au contrôle

et aux besoins de l'action. La perception (visuelle, chez lui), est simplement le processus d'extraction de l'information qui est présente dans l'environnement. Bien entendu, cette information ne peut-être comprise que si l'on prend en considération l'inscription corporelle de la perception (la perception comme outil du comportement)¹⁰⁸ comme sous-tendue dans l'extrait suivant [Gibson, 1979, p. 225] :

The rules that govern behavior are not like laws enforced by an authority or decisions made by a commander ; behavior is regular without being regulated. The question is how this can be.¹⁰⁹

Il est intéressant de noter que son approche (dénommée "écologique" par son auteur même) n'a été prise en compte que relativement tardivement par les psychologues de la perception, et a fortiori par les cognitivistes ; c'est d'ailleurs en premier lieu les chercheurs californiens de la réalité virtuelle qui ont compris la portée à la fois conceptuelle et technique de cette approche non plus seulement basée sur les organes de la perception, mais également sur le corps in extenso. La conception de Gibson peut-être simplement résumée en une seule phrase : "je perçois naturellement grâce à mes organes sensoriels ; mais, en outre, les informations qui me sont transmises vers mon corps (c'est-à-dire mes autres organes - sensoriels ou non) forment une part intégrante de l'acte perceptif". Comme nous l'avons déjà dit, Gibson s'intéresse principalement à la perception visuelle. Cependant, les travaux récents sur la simulation d'un environnement sonore spatialisé par le biais de transformations fréquentielles, spectrales et dynamiques du son - censées reproduire le traitement de l'oreille (HRTF) - prouvent en définitive l'importance de l'inscription corporelle pour la perception sonore [Malham, 1998].

VI.4.1.1.b L'acte de faire (composer)

Considérant que la perception est un pur processus d'extraction des informations pertinentes pour le comportement, il paraît essentiel qu'elle soit suivie d'une deuxième étape, d'ordre cognitif. Une fois les données recueillies (toujours selon Gibson, "formées") par les oreilles et l'acte perceptif, elles sont traitées par le cerveau. Un certain nombre de recherches en psychoacoustique ont porté sur la manière dont se déroulait ce

¹⁰⁸Il convient de remarquer la position de précurseur de Gibson en ce qui concerne la place attribuée au corps pour la perception - cette position, marginale au départ, est maintenant reprise dans les théories les plus modernes de la cognition ([Varela, 1979], [Maturana & Varela, 1980], et condensée dans [Varela, 1996])

¹⁰⁹Les règles qui gouvernent le comportement ne sont pas comme une autorité supérieure ou des décisions d'un commandant ; le comportement est régulier dans être régulé. Le question est comment cela est-il possible. *Traduction personnelle.*

processus cognitif. Contrairement aux idées reçues, la partie cognitive de l'audition ne se fait pas sur un seul niveau d'organisation ; le cerveau "classe" les données qu'il reçoit selon un ordre d'importance (également selon ce sur quoi nous avons décidé de porter notre attention), par exemple en extrayant les différents thèmes, en faisant abstraction des différentes figures d'accompagnement, etc. La mémoire joue le rôle de "tampon" - retenant uniquement les figures jugées "importantes" et les classant ensemble, en fonctionnant par analogie (voir [McAdams *et al.*, 1995] et [McAdams, 1996] ; nous avons déjà également évoqué les principes gestaltiques de la perception). Bien entendu, les méthodes d'organisation du matériau sont différentes pour chacun - et plus encore pour chaque culture - mais fonctionnent de toute façon sur ce modèle hiérarchique non linéaire. C'est ce qui nous permet, par exemple, de pouvoir nous rappeler globalement d'un thème, sans pouvoir nous remémorer l'harmonie sous-jacente.

Certains psychoacousticiens ([Bregman, 1990] et [McAdams, 1996]) voient dans ce procédé de classement le début du processus compositionnel. Il est vrai que la méthode d'organisation (figures organisées dans un plan général, deuxième niveau correspondant aux mutations des figures principales et éléments secondaires, troisième niveau contenant l'accompagnement) ressemble bien aux temps de la composition (recherche de thème et de structure, placement des éléments dans cette structure, ajout des éléments d'ornementation) décrit par [Messiaen, 1945]. De cette façon, l'écoute "attentive", donc forcément "active", constitue d'une certaine manière un acte compositionnel.

VI.4.1.2 Processus de la composition musicale

Il ne s'agit pas pour nous dans cette section d'expliquer les raisons de l'inspiration, ni d'expliquer "comment" on compose. Cependant, dans le cadre de notre projet de recherche, il est indispensable de tenter de comprendre les différents processus cognitifs à l'oeuvre lors de la composition musicale, qu'elle soit *atimbrale*, c'est-à-dire sans emphase particulière sur le matériau sonore (le timbre), ou *timbrale*, c'est-à-dire en faisant ressortir les différents liens qui unissent les différents niveaux structurels et temporels d'une pièce¹¹⁰.

VI.4.1.2.a *La composition musicale atimbrale*

L'emploi du terme *atimbrale* peut a priori apparaître comme étant exagéré, car la notion de timbre a toujours plus ou moins été présente à l'esprit des compositeurs. Ce terme désigne, selon nous, une approche compositionnelle qui ne considère pas le timbre

¹¹⁰Ce qu'il est possible d'appeler approche transformationnelle.

comme paramètre *séminal* de la musique. Bien entendu les travaux d'orchestration du XVIIIe et XIXe siècle nous prouvent l'attachement des compositeurs pour le paramètre de timbre, mais, comme nous le montre Hector Berlioz, la principale préoccupation à cette époque n'est pas d'utiliser le timbre comme facteur *fonctionnel*, mais de l'utiliser à des fins de coloration¹¹¹ :

L'application de ces divers éléments sonores soit à *colorer* la mélodie, l'harmonie et le rythme, soit à produire des impressions *sui generis* (motivées ou non par une intention expressive), indépendante de tout concours des trois autres grandes puissances musicales, constitue l'art de l'instrumentation. [Berlioz, 1843]

L'organisation du travail compositionnel pour la musique non-électroacoustique fait généralement abstraction (dans un premier temps) du paramètre timbre. De cette manière, le travail s'oriente spécifiquement sur un seul plan temporel, une échelle de temps unique, médiane, directement perceptible. La stratégie compositionnelle est d'organiser diverses structures d'importance différente (mais de même ordre perceptif) sur une échelle temporelle (et perceptive) unique.

Il est donc possible de parler de la composition non-électroacoustique comme d'une retranscription du processus de l'écoute - une sorte de processus d'inférence. En extrapolant, il est possible de penser que la composition peut se comprendre comme le processus cognitif de l'écoute, mais mis à nu, c'est-à-dire effectué de manière consciente, et surtout, se déroulant dans une temporalité élargie¹¹². Le paramètre du timbre, qui lui possède d'emblée une lecture à plusieurs niveaux, comme démontré par plusieurs expériences de Stephen Mc Adams et son équipe sur la perception du timbre et sa place dans la structure musicale (notamment [McAdams *et al.*, 1995]), n'est pas stricto sensu "composé", à part quelques tentatives notables dans le début de la musique du XXe siècle (Varèse par exemple - [Horodyski, 1999]), mais avec des moyens dérisoires pour une telle tâche.

Il faut cependant bien sûr noter les préoccupations d'un Debussy (très au fait des travaux sur l'acoustique de [von Helmholtz, 1896]) pour lequel structure musicale et sonorités commencent à se confondre (d'une manière très sensible dans les Préludes pour piano), sans qu'on puisse parler véritablement de souci de l'organisation du timbre. Les recherches de l'école de Vienne tentent d'établir une corrélation entre organisation

¹¹¹Nous citerons également l'exemple du *crescendo de Mannheim*, aux environs de 1740.

¹¹²Sur les rapports de temporalité entre composition/exécution/écoute, le lecteur se référera à [Heijink *et al.*, 2000] et [Timmers, 2002]

formelle et orchestration, dans la pièce "Farben" des 5 Orchesterstücke op. 16 de Schoenberg (1909), puis, de manière encore plus dense, la 3e pièce des 5 Orchesterstücke op.10 de Webern (1913), mais sans véritablement dépasser la limite imposée par la perception auditive, c'est-à-dire en offrant au timbre qu'une place égale aux autres paramètres de la note (hauteur et durée), sans pouvoir s'occuper d'une corrélation entre structure spectrale et structure formelle. Il faut attendre les années 70 pour qu'une pièce comprenne non pas "l'émancipation du timbre" comme il a trop souvent été dit, mais, au contraire, "l'innervation du timbre" dans la composition musicale.

VI.4.1.2.b *La composition musicale timbrale*

Dès lors que le paramètre interne du son, le timbre, entre en jeu dans le processus compositionnel, le travail du compositeur se déplace dans un univers soudainement enrichi de n dimensions. En effet, la composition, jusqu'alors maintenue dans une relative simplicité, du fait de la perception directe de ses structures (même en ce qui concerne le sérialisme, où chaque paramètre est finalement issu d'une catégorie a priori de la perception, même si ceux-ci représentent quelque part le seuil limite à la fois de la perception mais aussi de l'interprétation), se trouve maintenant projetée dans une approche multi-échelle, tant sur le plan de la perception que ceux de la structuration, et de l'interprétation.

Il s'agit de l'approche transformationnelle, que nous avons détaillée, et qui va nous intéresser pour examiner les conceptions dynamiques et systémiques de la création musicale assistée par ordinateur.

VI.4.2 Contre le typage

La notion de "type" complexifie la situation en création musicale assistée par ordinateur. Elle implique de *penser* non seulement en termes structurels, mais également à des problèmes de représentation *interne* au système¹¹³

VI.4.2.1 Notion de *type*

La notion de type est essentiellement liée aux problèmes rencontrés par les informaticiens pour permettre à un logiciel d'avoir une consistance interne.

¹¹³Le problème sémantique entre représentations internes et représentations externes sera développé d'un point de vue plus technique au chapitre suivant.

La notion de "type" permet d'informer un environnement de quelle manière une certaine donnée va être traitée et par conséquent d'orienter le flux procédural¹¹⁴.

VI.4.2.2 Création musicale assistée par ordinateur et typage

Dans notre domaine, le problème se pose à un niveau supérieur. Afin de bénéficier des propriétés d'un système persistant, d'une certaine manière il faut permettre à l'utilisateur de *transgresser* le typage, ce qui induit l'évacuation des concepts de processus.

Par définition, le *processus* est lié à un *contexte* particulier. Dans le cas de la création musicale assistée par ordinateur, le contexte est changeant en fonction de la tâche que le compositeur souhaite accomplir (macro-organisation, synthèse sonore, ...), et par conséquent les processus à l'oeuvre sont complètement différents.

Dans le cas de l'approche transformationnelle, l'ontologie du domaine implique une certaine *réplication*¹¹⁵ des méthodes de travail sur les structures compositionnelles. Conséquemment la notion de typage devrait être rendue obsolète, de même que la notion linéaire impliquée par la démarche procédurale¹¹⁶ - invalide dans le fonctionnement recherché dans la démarche transformationnelle.

¹¹⁴La définition du *Computing Dictionary* [Howe, 1993-2004] est la suivante :

Type (Or "data type") : A set of values from which a variable, constant, function, or other expression may take its value. A type is a classification of data that tells the compiler or interpreter how the programmer intends to use it. For example, the process and result of adding two variables differs greatly according to whether they are integers, floating point numbers, or strings. Types supported by most programming languages include integers (usually limited to some range so they will fit in one word of storage), Booleans, floating point numbers, and characters. Strings are also common, and are represented as lists of characters in some languages. If *s* and *t* are types, then so is *s* -> *t*, the type of functions from *s* to *t*; that is, give them a term of type *s*, functions of type *s* -> *t* will return a term of type *t*.

¹¹⁵Pour ne pas dire équivalence.

¹¹⁶En outre, la linéarité n'est pas une notion applicable à la perception auditive, comme nous l'avons mentionné au paragraphe I.3.1.1.a.

VI.5 Système dynamique

VI.5.1 Introduction générale aux systèmes

La définition d'un système dynamique ne peut se limiter à sa description, c'est-à-dire à la simple observation qu'un ensemble "d'individus" se structurent et interagissent à l'intérieur d'un environnement. Pour aboutir à la compréhension d'un système dynamique, il faut également arriver à définir un ensemble de règles (mathématiques, conceptuelles) qui permettent de décrire le comportement du système en fonction des divers éléments en présence, ainsi qu'aux facteurs environnementaux extérieurs à ce système.

VI.5.1.1 Définition des systèmes dynamiques

Malgré la diversité (à la fois morphologique et comportementale) des systèmes envisagés, il est possible de dégager certains caractères communs, qui ont suscité différentes approches théoriques, que nous allons exposer. D'une manière générale, il convient de remarquer que les systèmes dynamiques ne sont pour nous qu'une manière de caractériser un cas particulier de systèmes dits "ouverts" [von Bertalanffy, 1968, p. 143-158].

VI.5.1.1.a Systèmes \rightarrow Systèmes fermés / Systèmes ouverts \rightarrow Organisation

Systèmes fermés & Systèmes ouverts

La notion de système est désormais largement répandue et est relativement bien connue. Nous évoquerons simplement les différences entre système "fermé" et système "ouvert". Comme leur nom l'indique, les systèmes ouverts ont plus d'échanges avec l'extérieur (leur environnement), tandis que les systèmes fermés possèdent une plus grande autonomie - d'où une certaine faculté d'auto-organisation. Bien entendu chaque système est plus ou moins fermé, sous peine de destruction, si bien que tout système est une sorte d'entre-deux états (ni totalement ouvert, ni totalement fermé).

Organisation générale des systèmes

Il est possible de distinguer principalement deux types d'organisations pour les systèmes d'une certaine complexité : l'organisation en modules et l'organisation hiérarchique. La première considère que chaque système est constitué par un ensemble de sous-systèmes, eux-mêmes formés par de multiples sous-systèmes, et ainsi de suite ; la seconde est plus moderne et considère que chaque système se structure (ou se décrit ?) par le degré d'organisation de la totalité qui fait passer d'un niveau hiérarchique au

niveau supérieur, en générant de nouvelles propriétés. Cette notion d'organisation hiérarchique est donc similaire à celle d'émergence dans laquelle un état global émerge spontanément en fonction de l'organisation des éléments internes (auto-organisation).

Globalement, la typologie de [Lesourne, 1976] permet de classer différents systèmes d'une manière simple et efficace. Elle distingue :

- *Les systèmes à états* : transformation entrées/sorties, sans régulation interne (moteur de voiture),
- *Les systèmes à buts* : régulation interne intégrée, capacité d'atteindre des objectifs (thermostat, missile autoguidés),
- *Les systèmes à apprentissage* : avec mémoire, mécanismes de calcul, capacité de "décision" et d'adaptation en fonction des données mémorielles et par méthode heuristique - niveau où l'auto-organisation devient possible (systèmes experts en stratégie militaire),
- *Les systèmes à décideurs multiples* : structure complexe de plusieurs systèmes à buts, s'organisant de manière spontanée ou de façon hiérarchique (jeux, organisations ; au stade hypercomplexe, sociétés humaines).

VI.5.1.1.b *Systèmes -> Systèmes dynamiques*

Système dynamique : définition historique

A ces catégories il nous faut cependant adjoindre la notion de système dynamique. Les mathématiques de la seconde moitié du XXe siècle se sont orientées vers la description de phénomènes plus complexes, dans le cadre des recherches sur le chaos déterministe. A cette occasion, un nouveau concept de système a été forgé : les systèmes dynamiques. Il s'agissait de caractériser des systèmes hypercomplexes, qui semblent en apparence exhiber des comportements désordonnés (chaotiques). La notion principale est la présence d'un "ordre" (sous forme généralement d'ensembles de règles mathématiques) plus complexe que l'ordre visible et exprimable par des règles d'auto-organisation.

Au nombre de ces règles d'auto-organisation (dans les systèmes dynamiques), il faut noter celles d'équilibre dynamique, de structures dissipatives, et de transitions de phase. Dans l'étude des systèmes dynamiques, c'est probablement la synergetique définie par

[Haken, 1977], qui a été l'approche la plus féconde. L'utilisation de ses concepts et modèles mathématiques dans le cadre d'une étude neuroscientifique de la cognition et du comportement humain par J. A. Scott Kelso a créé un certain engouement il y a quelques années. Il est possible d'utiliser certains de ses résultats dans le cadre de notre étude, notamment en ce qui concerne la gestion des rythmes par le cerveau [Kelso, 1995, p. 102-107]. D'une manière générale, la littérature, abondante, sur le sujet des systèmes dynamiques (et des systèmes "instables") ne peut que nous apporter de nouveaux éléments pour la compréhension de notre domaine d'étude.

Systèmes dynamiques et informatique

Il n'a pas encore été étudié de manière systématique les correspondances entre systèmes dynamiques et informatique (au sens large - comprenant notamment les interactions avec l'utilisateur). Cependant, deux axes de recherche ont été menés conjointement. D'un point de vue théorique, les recherches de Paul Wegner, portant sur l'orientation récente de l'informatique, qui se dirige de plus en plus vers l'interaction en délaissant l'algorithmique [Wegner & Goldin, 2003], sont à notre sens un point de départ vers une compréhension de l'informatique comme système ouvert (au contraire du système fermé que représente le paradigme de l'automate de Turing) - et par conséquent comme système dynamique. Par ailleurs, et pour une approche plus technique, les travaux sur les ordinateurs synergétiques offrent des perspectives intéressantes, notamment pour ce qui est du traitement et la reconnaissance de données complexes (voir [Haken, 1988], et [Andreyev *et al.*, 1995]).

VI.5.2 Non-linéarité

La question d'appliquer les théories des systèmes complexes à la composition électro-acoustique n'a que très récemment été abordée, et de façon mineure (le lecteur se référera notamment à [Truax, 2003]).

L'aspect non-linéaire de l'approche transformationnelle nous semble essentiel à l'évolution du langage musical. En effet, provoquer la non-linéarité, c'est permettre à des structures spontanées d'émerger. Bien évidemment il s'agit d'une des conséquences de la substitution de l'algorithmique (aux comportements par définition balisés) à l'interaction.

VI.5.3 Enaction

Le principe d'enaction fait référence à des systèmes, qui sont appelés "auto-organisés". L'exemple classique est le système biologique, mais il est possible de penser qu'à une échelle macroscopique, l'univers entier peut-être considéré auto-organisé (les développements récents des recherches en astrophysique semblent par exemple confirmer ce point de vue pour l'univers). L'idée principale est qu'une certaine situation fasse émerger une forme particulière d'auto-organisation dans un système. Par exemple, lors de l'expérience de Rayleigh-Bénard, en physique, les molécules d'un liquide, soumises à un échauffement particulier, créent spontanément des motifs macroscopiques organisés, même si leur comportement local s'apparente au chaos.

Quant à elle, l'interaction est composée des trois éléments : le stimulus, la réponse et le renforcement. Ces trois éléments agissent l'un sur l'autre comme un schéma spiral. C'est ce qui compose le procédé d'interaction. Comme la terminologie l'indique, l'interaction, au fur et à mesure du temps qui passe, complexifie un message et valide une certaine relation. Nous pensons que la notion d'interaction est corollaire à celle d'enaction. Un système enactique ne peut se concevoir sans interaction (interaction interne entre éléments, interaction ouverte du système avec son environnement, etc.).

Troisième partie

Recul

Information

“That which reduces uncertainty.”

- *Claude Shannon*

Information

“That which changes us.”

- *Gregory Bateson*

Chapitre VII

Une approche non-linéaire du système de composition assistée par ordinateur

VII.1 Summary

This chapter will present a compositional environment, *The Sketcher*, developed at Sheffield University during 2003.

A complete description of the software internals is provided, with explanation of the main concepts¹¹⁷. The non-linear approach we wanted to undertake is implemented by means of several conceptual choices :

- Untyped workspace : no predefined behaviour, no temporal nor frequential directionality are initially present,
- No structural typing : as defined in the previous chapters, we didn't rely on any strong typing mechanisms in the system, making no difference on how to process morphologically different structures (i.e. sound files are treated as MIDI files),
- Statistical approach is provided by means of a database backend, initially conceived as to permit later modelling of compositional activities.

These startpoints lead us to elaborate the concept of *virtual score*, which can be understood in two different ways :

- Object definition : the notion of score is understood as an object, hence the user can choose its own notation conventions, spatial disposition, and so on.
- Conceptual definition : *virtual score* integrates the notion of virtual composition - that is, coexistence of multiple paths for a given composition.

We then the concept of *lexemes* as a compound of two structures and a specific relationship link. Complexity arising from composing with objects and lexemes is phenomenal, and we give some keys for the use of the concept in composition.

¹¹⁷Please refer to the appendix.

VII.2 Introduction

L'aspect théorique des précédents chapitres nous a permis de définir une base assez large sur lequel construire un système de composition réel. Il est maintenant temps de passer à la présentation de notre tentative de réalisation de logiciel qui tienne compte de l'ensemble des remarques que nous avons faites jusqu'à présent.

La principale question qui se posait était : "comment envisager les solutions techniques permettant de retranscrire le plus fidèlement possible les différents éléments théoriques que nous avons définis?". En effet, bien qu'ayant évoqué plusieurs pistes techniques dans les précédents chapitres (programmation orientée objet, adaptation de méthodes de formalisation telles qu'*UML* ou *MDA*), la question de l'implémentation restait ouverte.

VII.3 *The Sketcher* : un cahier d'esquisse virtuel

Le prototype d'environnement compositionnel *The Sketcher* a été développé au cours de l'année 2003 dans le groupe *MISTRES* de l'Université de Sheffield, dans le cadre du projet de recherche européen *MOSART* (Music Orchestration Systems in Algorithmic Research and Technology).

Nous avons choisi de nous baser sur un certain nombre de paradigmes qui - de notre point de vue - ont largement été sous-exploités (voire sous-considérés). Après une revue générale des caractéristiques du logiciel, nous détaillerons son fonctionnement, puis déterminerons les implications que ce type de logiciel peut avoir, sur le plan du compositeur.

VII.3.1 Description du logiciel

The Sketcher a été entièrement écrit à partir d'une implémentation libre du langage *Smalltalk*, *Squeak*¹¹⁸. Ce langage a été choisi car il s'agit d'un langage objet *strict*, à la différence de langages plus répandus comme *C++* ou *Java*. C'est bien entendu ce concept de "tout-objet" qui nous permet de manipuler et d'implémenter plus simplement les différents concepts évoqués jusqu'à présent. Conséquemment, l'environnement graphique se révèle être une *interface - stricto sensu*, complètement relié aux mécanismes internes, comme nous allons le voir. Bien que nous n'allons pas entrer dans la description complète du fonctionnement du système dans ce paragraphe, nous expliquerons les principales méthodes utilisées à l'intérieur du système.

VII.3.1.1 Externe

Le pari graphique de *The Sketcher* était de proposer à l'utilisateur un espace "vierge" dans lequel n'importe quelle structure pouvait être importée, modifiée, exploitée et reliée à une ou plusieurs autres structures. Cet espace vierge devait également permettre de poser des éléments non interprétables par le système¹¹⁹.

L'autre aspect de l'interface est son *a-vectorialité*. Il n'existe aucune contrainte temporelle ou fréquentielle dans la représentation que le système propose à l'utilisateur¹²⁰. La conséquence directe est la possibilité de placer des structures n'importe où sur la

¹¹⁸Voir <http://www.squeak.org>

¹¹⁹Au sens de reconnaissable comme *éléments à interpréter*, i.e. fichiers sons, MIDI, etc. Nous reviendrons sur cet aspect et ses implications dans la description du fonctionnement détaillé du logiciel.

¹²⁰Une fonctionnalité est prévue pour passer en mode vectoriel pour autoriser un arrangement "traditionnel" des structures

page virtuelle, uniquement reliées par des liens établis par condition et/ou par spécification directe. Il est à noter que ce mode de représentation réalise de manière explicite un des principaux points de la *programmation visuelle*.

VII.3.1.2 Interne

La construction interne du système a représenté l'essentiel de notre travail. Nous avons choisi de nous concentrer sur une architecture complètement nouvelle, sans tenir compte, comme nous l'avons dit, du *typage* fort, comme il est habituel dans ce type de logiciel.

VII.3.2 Fonctionnement

Le fonctionnement de *The Sketcher* est observable à différents niveaux. Nous allons dans un premier temps décrire l'architecture globale, puis nous rentrerons dans le détail des classes qui composent le logiciel.

VII.3.2.1 Architecture globale

Le point principal de l'architecture de *The Sketcher* est sa *modularité* complète. En conséquence, il a été décidé de définir un objet central sur lequel *l'ensemble* des autres objets, morphologiques ou fonctionnels, allaient s'intégrer. L'interface est également définie complètement à part du reste du système, ainsi que les représentations graphiques qui ne sont pas intégrées directement à l'interface en elle-même, mais constituent une sorte de "pont" entre les représentations internes du système et les représentations choisies par l'utilisateur. Le diagramme de classe UML (figure VII.1) représente l'architecture générale du système, en mentionnant les principales méthodes associées aux objets.

VII.3.2.2 Classes

Nous allons maintenant décrire l'ensemble des classes principales qui constituent *The Sketcher*. Ces classes sont divisées en plusieurs groupes, chaque groupe gérant une partie spécifique de l'architecture : *Sketcher-Ethos*, *Sketcher-Eidos*, *Sketcher-Oikos*, *Sketcher-Chronos*, et *Sketcher-Mask*.

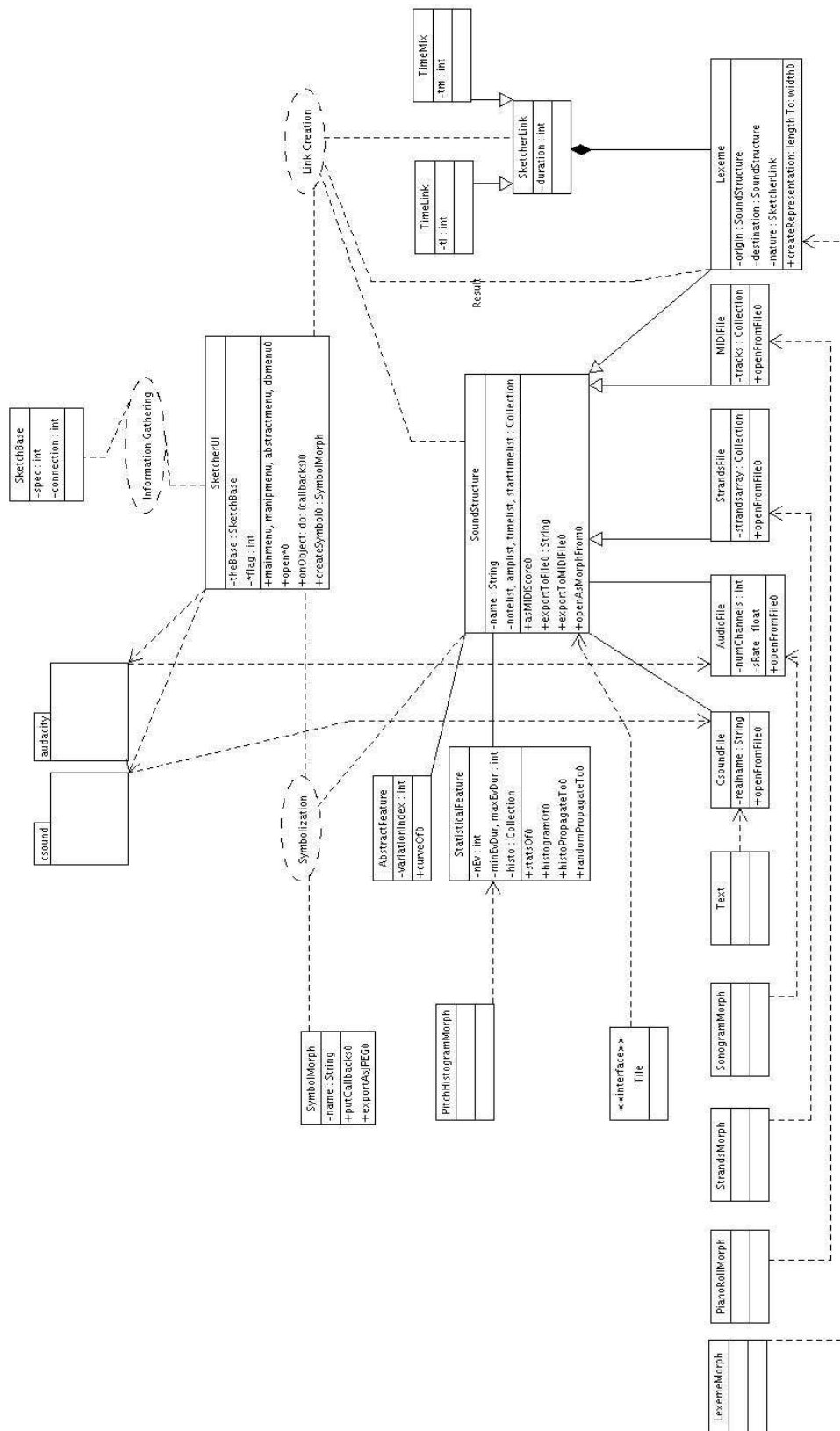


FIG. VII.1 – Architecture générale de *The Sketcher*

VII.3.2.2.a Ethos : les classes fonctionnelles

SoundStructure

La classe *SoundStructure* est la classe centrale du système, autour de laquelle s'articulent à la fois l'interface et les modèles de représentation internes et externes. Le squelette de classe est défini comme suit :

```
Object subclass: #SoundStructure
    instanceVariableNames: 'notelist timelist starttimelist
                           amplist channels name symbol
                           mouse tile smallname '
    classVariableNames: ''
    poolDictionaries: ''
    category: 'Sketcher-Ethos'
```

Outre les variables de nommage (*name*, *smallname*), cette classe contient les définitions d'une série de listes :

- *notelist* contient la liste des évènements fréquents,
- *timelist* contient la liste des durées,
- *starttimelist* contient la liste des *onsets*,
- *amplist* contient les informations dynamiques.

Les autres variables correspondent à des *sémaphores* permettant d'obtenir des informations sur le comportement de l'objet à l'instant *t*.

Event

La classe *Event* est une classe "tampon", qui permet de structurer les listes à partir d'informations contenues dans un fichier audio¹²¹.

```
SoundStructure subclass: #Event
    instanceVariableNames: 'startTime stopTime duration
                           amplitude channel pitch '
    classVariableNames: ''
    poolDictionaries: ''
    category: 'Sketcher-Ethos'
```

¹²¹Dont la gestion revient à la sous-classe *Audiofile*

Notons qu'il s'agit de la seule classe destinée à travailler sur des événements simples :

- *startTime*, *stopTime* et *duration* désignent les informations temporelles de l'évènement,
- *pitch* contient l'information de hauteur,
- *amplitude* la dynamique,
- *channel* les informations de canal.

AudioFile

Cette classe s'occupe principalement de la gestion des entrées/sorties des fichiers audio, grâce aux méthodes *openFromFile* : et *exportToFile* .:

```
Event subclass: #AudioFile
  instanceVariableNames: 'numChannels sRate '
  classVariableNames: ''
  poolDictionaries: ''
  category: 'Sketcher-Ethos'
```

Les informations extraites lors de l'ouverture du fichier audio permettent d'instancier un nombre n d'objets *Event* qui vont constituer la représentation interne des informations audio.

CsoundFile

De la même manière, la classe *CsoundFile* permet l'entrée/sortie des fichiers *orc/sco* de *Csound*¹²².

```
SoundStructure subclass: #CsoundFile
  instanceVariableNames: 'realname '
```

¹²²En pratique, l'implémentation de cette classe n'est pas complète. Les délais de développement de la nouvelle version de *Csound* [Ffitch, 2002-2004] n'ont pas permis de développer un module complet. Néanmoins, *The Sketcher* fonctionne en chargeant les fichiers désirés, en permet l'édition en interne, effectue la compilation en appelant *Csound* en externe - encore une fois, la librairie dynamique prévue au développement est absente - et importe le fichier son rendu en tant qu'objet *AudioFile*. Cette manière de travailler, bien que relativement lourde, permet d'exploiter les possibilités de ce langage de synthèse sonore. Nous comptons intégrer l'équipe de développement de *Csound*, à la demande de John Ffitch, pour travailler spécifiquement sur cet aspect

```

classVariableNames: ''
poolDictionaries: ''
category: 'Sketcher-Ethos'

```

StrandsFile

Basée sur la méthode de représentation nommée *strands* [Cooke, 1993], cette classe permet d'obtenir une liste précise d'évènements à partir d'un fichier audio. L'intérêt est de pouvoir permettre un échange multi-directionnel entre informations audio et MIDI, sans pour autant générer une perte d'informations¹²³. L'inconvénient de l'algorithme employé est sa lourdeur, et sa difficulté d'adaptation à des structures sonores complexes (à l'origine, cette représentation a été développée pour la ségrégation de la parole). Néanmoins, en ajustant certains paramètres (nombre de filtres, réglages plus fins des fréquences de résonances) nous avons pu obtenir des résultats relativement intéressants.

```

SoundStructure subclass: #StrandsFile
instanceVariableNames: 'framerate file strandsarray
                        totallength maxamp
                        freqsum ampsum '
classVariableNames: ''
poolDictionaries: ''
category: 'Sketcher-Ethos'

```

Les informations spécifiques à la représentation comprennent *framerate*, *maxamp* et *totallength*. Ces attributs permettent de prédéfinir une stratégie pour la représentation graphique des informations. L'ensemble des données contenues dans le fichier *strands* est retranscrit dans une structure interne, *strandsarray*, qui est par la suite parcouru pour obtenir les différentes listes qui constituent les attributs de *SoundStructure*.

Lexeme

Structure complexe, nous avons défini le lexème comme étant un composite de deux objets *SoundStructure*¹²⁴. Conséquemment, cette classe ne constitue qu'un *conteneur*, faisant référence aux deux structures qui la composent.

```

SoundStructure subclass: #Lexeme

```

¹²³La totalité des informations audio étant toujours disponible dans sa forme originelle

¹²⁴Le concept même de lexème sera développé plus bas.

```

instanceVariableNames: 'origin destination nature
                        midifiable '
classVariableNames: ''
poolDictionaries: ''
category: 'Sketcher-Ethos'

```

Les attributs *origin* et *destination* sont des références vers les structures constitutives, *midifiable* est un sémaphore spécifiant si le lexème est réductible en informations MIDI (par exemple, lexème composé d'un fichier MIDI et d'un fichier strands).

SketcherScore

Si la notion de lexème est suffisamment flexible pour pouvoir déterminer un maximum de structures, il est des cas spécifiques (par exemple répétitions multiples de micro-structures) dans lequel l'utilisation des lexèmes est fastidieuse. Nous avons choisi d'implémenter une autre classe pour servir à la mésostructuration, fonctionnant sur le principe des lexèmes, mais en permettant à l'utilisateur d'associer un nombre indéfini de structures entre elles. La classe *SketcherScore* se charge de gérer ces objets.

```

SoundStructure subclass: #SketcherScore
instanceVariableNames: 'objectlist relationlist
                        midifiable duration '
classVariableNames: ''
poolDictionaries: ''
category: 'Sketcher-Ethos'

```

Calquée sur le modèle de *Lexeme*, cette classe emploie des listes (*objectlist* et *relationlist*) pour stocker les différents objets qui la composent.

VII.3.2.2.b Eidos : les classes d'abstraction

Pour permettre une lisibilité plus simple du système, l'ensemble des classes permettant de travailler à un niveau abstrait ont été regroupées sous l'appellation *Eidos*. Il s'agit de classes qui permettent de regrouper des informations globales sur les objets. Bien entendu ces classes ont été définies dans l'optique de permettre un ajout simple de méthodes.

StatisticalFeature

Les informations statistiques obtenues sur une *SoundStructure* permettent d'instancier un nouvel objet *StatisticalFeature*. Cet objet peut ensuite être modifié et les informations obtenues peuvent être appliquées à une structure complètement nouvelle.

```
Object subclass: #StatisticalFeature
  instanceVariableNames: 'nEv minEvDur maxEvDur
                        histo histoMax ref '
  classVariableNames: ''
  poolDictionaries: ''
  category: 'Sketcher-Eidos'
```

Dans l'état de l'implémentation, la classe implémente les attributs suivants :

- *nEv*, *minEvDur* et *maxEvDur* donnent les informations spécifiques aux nombre d'évènements, ainsi que les informations sur les durées minimales et maximales des évènements contenus dans une structure,
- *histo* et *histoMax* sont des structures de type histogrammes.

Les méthodes de propagation (*histoPropagateTo* :, *randomPropagateTo* :) permette l'application des informations contenues dans l'objet vers une structure.

AbstractFeature

D'une manière générale, cette classe devrait permettre de regrouper toutes les informations complexes *non statistiques*¹²⁵ d'une structure. Pour le moment la méthode *curveOf* : permet d'obtenir la direction générale d'une structure (au sens mélodique).

```
Object subclass: #AbstractFeature
  instanceVariableNames: 'variationIndex '
  classVariableNames: ''
  poolDictionaries: ''
  category: 'Sketcher-Eidos'
```

De la même manière que *StatisticalFeature*, il existe des méthodes de propagation.

¹²⁵Dans une certaine mesure, non numériques.

Autres classes

- La classe *TheSketch* maintient le dictionnaire de symbole.
- La classe *SketchBase* s’occupe de la base de données¹²⁶.

VII.3.2.2.c Chronos

Les relations temporelles employées dans la définition des lexèmes sont également des objets.

SketcherLink

```
Object subclass: #SketcherLink
  instanceVariableNames: 'duration '
  classVariableNames: ''
  poolDictionaries: ''
  category: 'Sketcher-Chronos'
```

Comme nous le voyons, cette classe constitue la classe de référence pour les liaisons temporelles ; un seul attribut, *duration* permet de fixer et modifier la durée d’un lien.

TimeLink

```
SketcherLink subclass: #TimeLink
  instanceVariableNames: ''
  classVariableNames: ''
  poolDictionaries: ''
  category: 'Sketcher-Chronos'
```

La méthode *isTimeLink* permet de définir le comportement de l’objet, en spécifiant que les deux événements liées doivent s’enchaîner *après* la fin du premier, après une durée spécifiée par *duration*.

TimeMix

```
SketcherLink subclass: #TimeMix
  instanceVariableNames: ''
  classVariableNames: ''
```

¹²⁶Les problèmes associés à la base de données constituent la prochaine section de ce chapitre.

```
poolDictionaries: ''
category: 'Sketcher-Chronos'
```

La méthode *isTimeMix* permet de définir le comportement de l'objet, en spécifiant que les deux évènements doivent commencer simultanément, mais le début du second objet peut être décalé d'une durée spécifiée par *duration*.

VII.3.2.2.d *Oikos*

Oikos contient l'ensemble des différentes représentations associées aux structures de données. Principalement elle définit les objets graphiques, sans se préoccuper de l'interface générale.

La classe particulière *SketcherSymbolicProject* mérite d'être mentionnée. Il s'agit d'un objet particulier, qui permet de définir *uniquement* la macrostructure d'une oeuvre au niveau purement symbolique, sans aucune association.

VII.3.2.2.e *Mask*

Mask contient la spécification générale de l'interface utilisateur. Nous ne détaillons pas les détails d'implémentation qui ne sont pas spécialement importants pour la compréhension de la logique de *The Sketcher*.

VII.3.3 Ambitions/Limitations

Organiser l'ensemble d'un logiciel autour d'une *métaclasse* qui définit les types de base pour permettre à l'utilisateur de s'adresser sans contrainte de type de données aux différents éléments qui constituent ses structures est une approche d'un type nouveau.

Nous avons déjà mentionné au cours du texte les principaux problèmes et manque d'implémentation : il faut rappeler que ce logiciel constitue avant tout en un *prototype*, pour permettre de tester la validité de certaines hypothèses de travail¹²⁷.

¹²⁷Une étude, similaire à celle mentionnée dans [Nuhn *et al.*, 2002] est planifiée à l'Université de Sheffield, pour permettre de mieux mesurer les apports et les défauts de ce type d'approche.

VII.4 Données

Outre l'aspect organisationnel et structurel décrit, *The Sketcher* permet également aux utilisateurs de fonctionner avec une base de données¹²⁸, afin de permettre à terme de fournir un modèle statistique des méthodes de travail, et de faire en sorte que l'environnement *s'adapte* de lui-même aux manipulations déjà rencontrées.

Il se trouve qu'à cette occasion, nous nous sommes rendus compte qu'un certain nombre de principes se retrouvaient mis en question.

VII.4.1 Composition électroacoustique et base de données

Les systèmes d'aide à la composition deviennent maintenant tellement complexes, qu'ils deviennent assimilables à des bases de données, et donc partagent avec elles plusieurs problématiques. Tout comme les bases de données, les logiciels actuels permettent la création, la manipulation et la configuration de multiples objets structurés qui créent la composition. Ces structures doivent être persistantes tout au long de la composition, et sont souvent réutilisées pour des compositions ultérieures [Eaglestone, 1994], et donc nécessitent un outil permettant le stockage et la gestion des différents objets et structures. L'architecture de référence ANSI-SPARC X3 [Burns *et al.*, 1986], décrite figure VII.2, expose l'architecture de référence des bases de données.

En informatique musicale, les travaux des pionniers en la matière ([Buxton *et al.*, 1978] et [Rubenstein, 1987]) utilisaient ces méthodes conventionnelles de structuration de données : les principes des bases de données ont été appliqués de telle manière qu'une solution pour la composition corresponde aux perceptions que l'utilisateur a du domaine. Bien entendu, cette vision du processus créatif est foncièrement fautive - comme nous l'avons déjà mentionné, les études de [Clowes, 2000] et [Eaglestone & Ford, 2002] montrent l'intérêt de l'étude du processus créatif en fonction du *contexte*¹²⁹.

¹²⁸Une base de donnée est optionnellement utilisée pour stocker l'ensemble des informations sur les manipulations de l'utilisateur, ainsi qu'un certain nombre de paramètres et de structures.

¹²⁹Nous citerons [Gregory, 1987, p.171] :

Our brains are at their most efficient when allowed to switch from phases of intense concentration to ones in which we exert no conscious control at all.

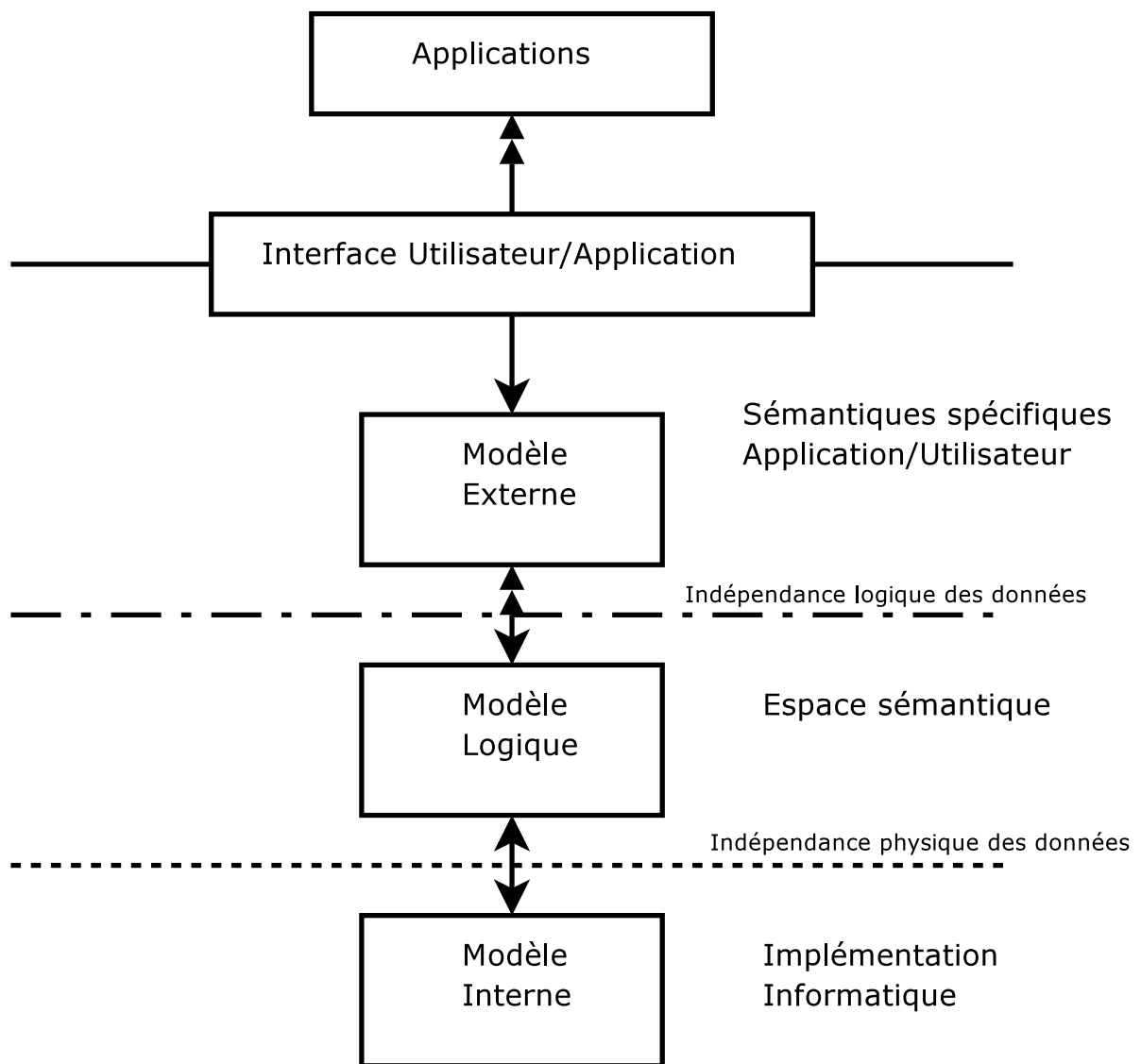


FIG. VII.2 – Bases de données : modèle classique à trois niveaux

VII.4.2 Nouvelle approche

En suivant l'approche classique (l'architecture de référence décrite VII.2), les problèmes compositionnels sont décrits de la manière suivante : un modèle logique représentent une conceptualisation de la problématique du compositeur, son implémentation (i.e. son travail) est définie par un modèle interne, alors que les modèles externes sont créés *en fonction* des approches spécifiques du compositeur ou de l'application sur le modèle logique. Bien entendu, l'hétérogénéité des styles compositionnels, la préexistence de solutions déjà établies (au niveau logiciel) et la nature expérimentale du domaine forcent à concevoir une architecture de données adaptive¹³⁰ en fonction de l'utilisateur. Par conséquent, définir les principes généraux des systèmes de gestion pour la composition semble *a priori* plus indiqué que chercher à implémenter une solution globalisante.

Une différence majeure entre l'utilisation "classique" des systèmes de données et l'utilisation pour la composition doit être soulignée : l'environnement créé dans le premier cas fonctionne en se peuplant de structures logiques, contraintes et processus qui représente les sémantiques définies dans la problématique envisagée¹³¹, ce qui est loin d'être le cas du domaine de la composition électroacoustique¹³² - l'importance du hasard dans le processus compositionnel contribue bien évidemment à la complexité sémantique des données.

Utiliser un système à base de données multiples [Bukhres & Elmagarmid, 1996] conduit également au problème de l'hétérogénéité des données ; si ce système peut résoudre dans une certaine mesure ces problèmes (chaque outil compositionnel peut stocker ses propres structures de données dans des bases qui ne sont pas restreintes à un type d'architecture), la gestion des diversités est conceptuellement entièrement différente, un système compositionnel cherchant à *agréger* les différentes données, au contraire d'un système à base de données multiples, qui cherchera à les intégrer, en appliquant des modèles sémantiques globaux riches qui prennent le pas sur les modèles sémantiques spécifiques de chaque composant. L'accès direct et l'échange des diverses

¹³⁰Une solution préconçue n'est pas à même de résoudre l'*ensemble* des problèmes potentiellement rencontrés. De par la nature de notre approche (axée sur l'*interaction* en lieu et place du paradigme de Turing), il est strictement impossible de concevoir un espace fini pour la gestion et l'archivage des artefacts compositionnels.

¹³¹Par conséquent, ce type de système est opérationnel dans le cas de domaines dans lesquels les principes et méthodes sont connus et *entièrement* formalisés

¹³²Nous avons noté l'absence de grammaire claire, et notre formalisation (voir le chapitre III) ne tient compte que de l'aspect *analytique*, et qui plus est, ne fonctionne *a priori* que dans le cadre schismogénétique.

données entre les parties du système compositionnel est donc rendu inintéressant pour le compositeur, qui a besoin des idiosyncrasies spécifiques des différents composantes du système compositionnel qu'il utilise.

Il s'agit donc de pouvoir définir un modèle externe sans contenu, contrainte ou sémantique prédéfini, permettant au compositeur d'associer librement et dynamiquement l'ensemble des modèles correspondant aux structures qu'il travaille. L'accès direct aux différents niveaux d'abstraction est une conséquence de ce type d'architecture. Le rapport complexe du compositeur au temps et à la temporalité doit pouvoir également exister dans le système qu'il utilise pour stocker ses artefacts, d'où l'utilisation mixte de systèmes de base de données temporelles [Landau *et al.*, 1995] et de versions [Conradi & Westfechtel, 1997].

VII.5 La partition virtuelle

L'expérience de *The Sketcher* nous a permis en retour d'éclairer une notion particulièrement intéressante, que nous nommons la *partition virtuelle*. Ce concept se rapproche de celui énoncé par Gérard Assayag dans l'article "CAO : vers la partition potentielle" [Assayag, 1993]. Cependant, là où l'auteur est fortement ancré dans un discours axé sur le concept de modèle en musique - notion que nous développerons plus avant, mais dont nous pouvons déjà pour le moment souligner la fragilité quant à la restitution des nombreux paramètres et niveaux de représentation nécessaires à la composition¹³³.

- Le concept de "partition virtuelle" peut se comprendre de deux manières distinctes :
- Définition d'objectivisation : la notion de partition est comprise comme étant celle d'un *objet* (au sens trivial) et par conséquent permet à l'utilisateur de choisir ses conventions de notation, la disposition spatiale de son discours, et bien entendu le degré de complexité en fonction des artefacts qui constituent son discours musical ;
 - Définition conceptuelle : en dehors de tout support concret, la partition virtuelle permet d'intégrer des *processus variables* et donc permet de façonner l'oeuvre à l'envie, en choisissant autant de "chemins" d'exécution possible - autant de *virtualités* de la composition.

Encore une fois c'est dans la multiplication des niveaux représentationnels, conceptuels et structurels, *inextricablement liés*, que se façonne le discours musical - c'est cet espace de virtualisation que nous avons nommé *partition virtuelle*.

Afin de résoudre les problèmes soulevés par le fort potentiel de possibilités qu'offre l'interface de *The Sketcher*, ainsi que par nos réflexions sur le concept de partition virtuelle, nous avons essayé d'élaborer un début de "grammaire structurelle", basée sur une brique fondamentale simple, mais dont les propriétés structurelles ainsi que les arrangements combinatoires possibles rendent l'utilisation complexe.

VII.5.1 Des lexèmes pour la composition

Après avoir longtemps hésité sur le terme approprié à ces structures complexes de base pour notre projet de grammaire, nous avons finalement retenu le concept de

¹³³Signalons pour clarifier que ce texte de Gérard Assayag s'intéresse principalement à la notion de composition assistée par ordinateur dans un cadre d'*écriture instrumentale* - ce qui réduit considérablement la complexité structurelle et multiscalaire du domaine.

*lexème*¹³⁴.

VII.5.1.1 Définition

Nous définissons le lexème comme l'association de deux structures dans l'espace compositionnel. Il n'existe aucune restriction concernant le type de structures utilisées, ni morphologique, ni fonctionnelle.

De la même manière, le type de l'association est *indépendant* de la notion de lexème. Ce que nous dénommons par *lien lexémique* est constitué par la nature de la relation que l'on veut instaurer entre deux structures (ou objets compositionnels)¹³⁵.

VII.5.1.2 Implication

Un certain nombre de problèmes découlent de l'emploi de lexèmes. Outre la difficulté d'implémentation - qui doit se baser sur un canevas tel que celui décrit par *The Sketcher* - la complexification engendrée sur le plan conceptuel devient rapidement redoutable. La figure VII.3 montre bien les niveaux d'imbrications qu'il est possible d'obtenir avec comme réservoir trois structures musicales et en employant un seul type de lien lexémique.

En développant les différents lexèmes et en prenant comme a priori une relation temporelle d'enchaînement définissant le lien lexémique, nous obtenons :

- Lexème 1 : Composé de Structure 1 et de Structure 2
- Lexème 2 : Composé de Lexème 1 et de Structure 3, soit un composé ordonné de Structure 1, Structure 2 et Structure 3,
- Lexème 3 : Composé de Lexème 1 et de Lexème 2, soit un composé ordonné de Structure 1, Structure 2, puis Structure 1, Structure 2 à nouveau, suivi de Structure 3.

Pour un cas à trois structures (A, B, C), nous obtenons la matrice de lexèmes Λ suivante :

¹³⁴Notons que nous n'employons pas ce concept dans le sens strict, linguistique.

¹³⁵En quelque sorte, pour suivre l'analogie linguistique, l'objet compositionnel serait un *morphème*, si l'on se base sur l'approche lexémique prônée, entre autres, par [Aronoff, 1976].

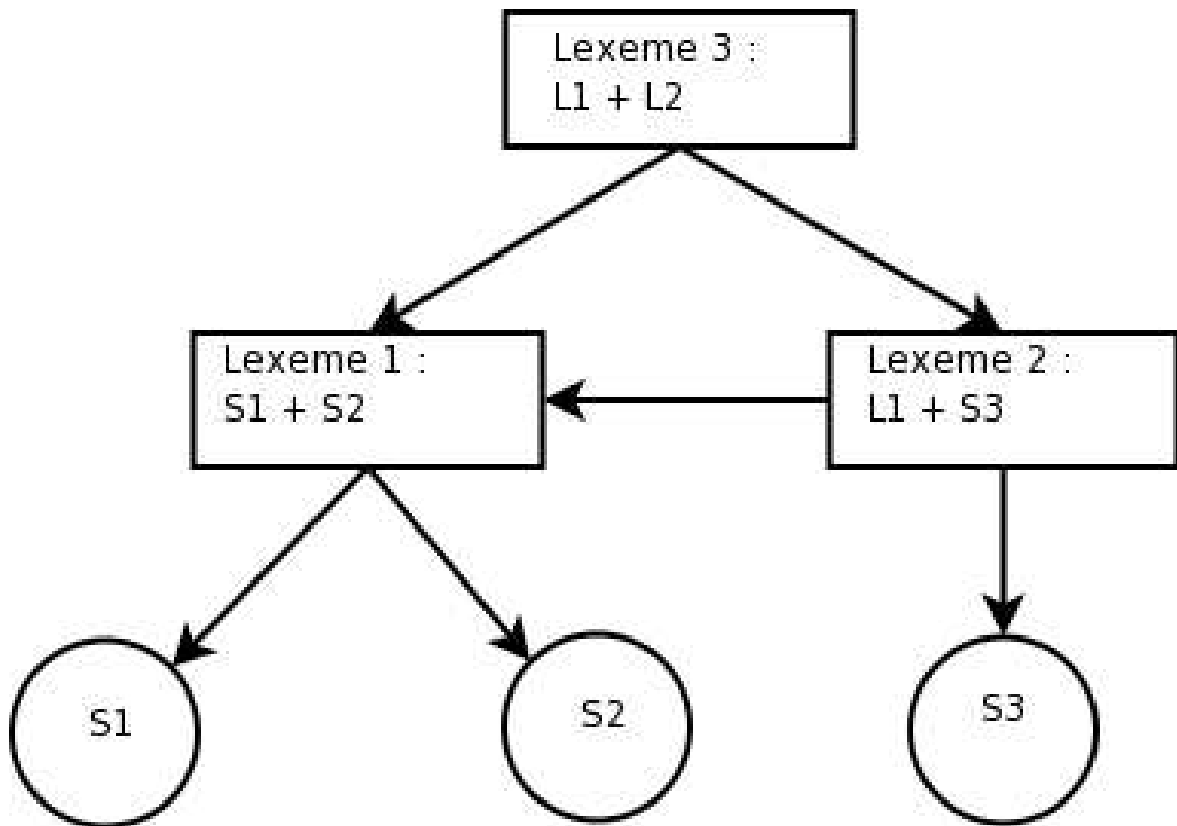


FIG. VII.3 – Situation complexe d'utilisation des lexèmes

$$\Lambda_{(A,B,C)} = \begin{pmatrix} \lambda_{A,A} & \lambda_{A,B} & \lambda_{A,C} \\ \lambda_{B,A} & \lambda_{B,B} & \lambda_{B,C} \\ \lambda_{C,A} & \lambda_{C,B} & \lambda_{C,C} \end{pmatrix}$$

La complexité *potentielle* d'une situation s'exprime donc au carré du nombre de structures utilisées, soit :

$$n(\Lambda_{(A,\dots,X)}) = X^2 \quad (\text{VII.1})$$

Si l'on rajoute la possibilité de deux types de liens lexémiques, notre matrice devient :

$$\Lambda_{(A,B,C)}^{x,y} = \begin{pmatrix} \lambda_{A,A} & \lambda_{A,B} & \lambda_{A,C} \\ \lambda_{B,A} & \lambda_{B,B} & \lambda_{B,C} \\ \lambda_{C,A} & \lambda_{C,B} & \lambda_{C,C} \end{pmatrix}^x \cdot \begin{pmatrix} \lambda_{A,A} & \lambda_{A,B} & \lambda_{A,C} \\ \lambda_{B,A} & \lambda_{B,B} & \lambda_{B,C} \\ \lambda_{C,A} & \lambda_{C,B} & \lambda_{C,C} \end{pmatrix}^y$$

Soit le nombre de possibilités :

$$n(\Lambda_{(A,\dots,X)}^{(x,\dots,n)}) = (X^2) * n \quad (\text{VII.2})$$

Comme on le voit les possibilités combinatoires évoluent de manière exponentielle dès lors que l'on procède à des associations entre lexèmes, et que l'on multiplie les possibilités de lien.

VII.5.1.3 Rationalisation

La nature dynamique du lien peut être exprimé comme un cas spécial d'objet, dans lequel l'objet B est exprimé comme un objet bidirectionnel lorsqu'il est employé en tant que lien :

$$B \sim \overset{\leftrightarrow}{B} \quad (\text{VII.3})$$

VII.5.1.3.a *Lexèmes*

Par conséquent, les lexèmes peuvent être exprimés de manière logique comme des agrégats d'objets A, B, C :

$$\Lambda_{A,B,C} = \langle A \overset{\leftrightarrow}{B} C \rangle^{136} \quad (\text{VII.4})$$

VII.5.1.3.b *Lexème composite*

Une situation classique est de lier un objet à un lexème existant. Si Λ_1 est défini par $\Lambda_1 = \Lambda_{A,B,C}$ et est lié par D à un objet E , nous obtenons :

$$\Lambda_{\Lambda_1,D,E} = \langle \Lambda_1 \overset{\leftrightarrow}{D} E \rangle = \langle \langle A \overset{\leftrightarrow}{B} C \rangle \overset{\leftrightarrow}{D} E \rangle \quad (\text{VII.5})$$

VII.5.1.3.c *Lexème de magnitude n*

Si le même lien (ici B) est utilisé pour définir un tel lexème, nous obtenons :

$$\Lambda_{\Lambda_1,B,E} = \langle \Lambda_1 \overset{\leftrightarrow}{B} E \rangle = \langle \langle A \overset{\leftrightarrow}{B} C \rangle \overset{\leftrightarrow}{B} E \rangle \quad (\text{VII.6})$$

Ce qui introduit la notion de *magnitude*. Un lexème est dit de magnitude n si le même lien est utilisé n fois pour définir des lexèmes imbriqués. Nous utilisons la notation suivante pour désigner ce cas spécifique, avec L comme objet lien :

$$\Lambda_{A,L,\dots,X}^n = \langle \langle A, \dots, X \rangle \cdot n \overset{\leftrightarrow}{L} \rangle^{137} \quad (\text{VII.7})$$

¹³⁶Et peut être simplifié sous la forme suivante : $\Lambda_{A,B,C} = \langle ABC \rangle$

¹³⁷ n correspond au nombre d'objets liées, et est nécessaire car il est possible d'avoir plusieurs instances du même objet.

VII.5.1.3.d *Lexème de lexèmes*

La complexité grimpe rapidement dans le cas de lexèmes définis par des *lexèmes de lexèmes*. Examinons la situation dans laquelle un lexème $\Lambda_1 = \Lambda_{A,B,C}$ est lié à un lexème $\Lambda_2 = \Lambda_{E,F,G}$ par le lien D :

$$\Lambda_{\Lambda_1, G, \Lambda_2} = \langle \Lambda_1 \xrightarrow{G} \Lambda_2 \rangle = \langle \langle A \xrightarrow{B} C \rangle \xrightarrow{D} \langle E \xrightarrow{F} G \rangle \rangle \quad (\text{VII.8})$$

VII.5.1.3.e *Score*

Enfin, une composition complète (*score* peut-être considérée comme un *meta-lexème*, constitué par l'agrégation de l'ensemble des lexèmes "locaux" arrangés dans le temps (grâce à un lien temporel t), de telle manière que :

$$\Lambda_\Sigma \supset \langle A, \dots, Z \rangle = \langle \langle A, \dots, X \rangle \cdot n \xrightarrow{t} \rangle = \Lambda_{A,t,\dots,Z}^n \quad (\text{VII.9})$$

Cette approche, que nous dénommerons *associative* est, d'une certaine manière, une extension de l'approche transformationnelle.

VII.5.2 **Trajet compositionnel**

La notion de lexème ouvre un nombre considérable de perspectives pour l'organisation d'une grammaire des structures basée sur l'approche transformationnelle et sur le concept d'objet compositionnel. Encore une fois, certaines approches linguistiques sont d'un intérêt certain pour une telle démarche (notamment l'approche *LMBM* de [Beard, 1995]), cependant la spécificité des objets compositionnels en oeuvre dans le processus compositionnel transformationnel prend le pas sur la complexité intrinsèque et formelle des lexèmes.

Un *trajet compositionnel* est considéré comme le chemin θ parmi les choix possibles dans le superensemble Δ comprenant la totalité des ensembles Λ possibles pour chaque association de morphèmes, soit :

$$\theta = \overrightarrow{\lambda_a, \lambda_b, \dots, \lambda_n} \in \Delta \quad (\text{VII.10})$$

138

Un trajet compositionnel est donc un vecteur d'un ensemble de lexèmes choisis parmi le réservoir potentiel de l'ensemble des lexèmes disponibles.

¹³⁸Il faut noter la directionnalité temporelle.

Chapitre VIII

Interface(s)

VIII.1 Summary

The problem of interfaces is very seldomly addressed in the computer music field. However, the multiplicity of musical data needs more complex representation approach than those currently used.

In particular the “flat”, track-based approach is very restrictive in terms of visualisation, and leads to the complexification of manipulation which are, in the conceptual sense, trivial. This method is frequently used for macro-structure representation. On the other hand, the production of motives and “objects” are usually driven by “patch-cord” interfaces, *à la Max/MSP*, or even textual programming languages, such as *SuperCollider* and *Csound*.

Our work has been to produce an usable untyped interface for music composition, that is there is no references whatsoever to temporal or frequential domains in the representation model. We then used Peirce’s semiotic terms to characterize the different elements at work in this model.

VIII.2 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons tâcher d'expliquer de quelle manière le travail de réflexion sur le design d'interfaces, graphiques ou haptiques, importe au processus compositionnel et influe sur lui.

Il existe effectivement, une relation plus forte qu'un rapport uniquement directeur entre l'utilisateur et son interface [Shneiderman, 1998]. C'est cet *espace de résistance* - bien connu des théoriciens de la réalité virtuelle [Burdea & Pierre, 1993] - qu'il convient de définir, et de dépasser.

VIII.3 Interface Homme-Machine

VIII.3.1 Nécessité d'une réflexion sur l'interface graphique pour la composition

Il existe actuellement un problème dans le développement d'interfaces graphiques pour les applications musicales, dans le sens où les applications en question semblent plus se soucier des aspects techniques, et négligent les facettes musicales et artistiques. Le développement de la littérature consacrée au domaine de la représentation des signaux audio, ainsi que les approches conjointes consacrées au traitement du signal et à leur implémentation mettent en lumière ce chiasme (nous avons parlé dans le premier chapitre des problèmes liés à la représentation pour l'analyse ; le lecteur se référera par exemple à [Poli *et al.*, 1991] ou [Roads *et al.*, 1997]). Pourtant, pratiquement aucune approche n'a été initiée pour prendre en compte le domaine symbolique et complexe des structures sonores et musicales - tel que nous envisageons le système compositionnel défini dans le précédent chapitre.

Il est possible de formuler la même critique pour les applications spécifiquement dédiées à l'audio, et le manque d'innovation graphique est flagrant. Mis à part quelques efforts intéressants - particulièrement dans le domaine de la spatialisation, domaine pour lequel les interfaces tridimensionnelles ont été employées (notamment par [Pachet & Delerue, 1998] ou [Vertegaal & Eaglestone, 1998]) ou encore le projet ambitieux *OSE* - décrit dans [Chaudhary & Freed, 1999], dans lequel l'idée d'"environnement virtuel" est employée¹³⁹. Pourtant, pratiquement aucune avancée n'a été faite pour permettre un support graphique plus cohérent face à des structures musicales plus complexes - comme notamment les objets compositionnels. En fait, la plupart des logiciels disponibles pour la composition (*OpenMusic*, *PWGL*) ou la gestion des systèmes temps-réel (*MAX/MSP* et *a fortiori PureData*) suivent le paradigme de "patches", qui découle du principe analogique de "boîtes noires" interconnectées¹⁴⁰. En outre, cette approche n'est finalement qu'une reproduction mimétique des procédures employées en studio "physique".

Nous pensons que cette situation inhibe l'efficacité des logiciels pour la composition musicale. Alors que de nombreuses avancées sont faites du côté des technologies et

¹³⁹Avec l'introduction de machines puissantes (notamment graphiquement) et relativement abordables, les années 90 ont vu un champ nouveau consacré à la réflexion sur la réalité virtuelle et donc sur les environnements virtuels - [Kelly *et al.*, 1989].

¹⁴⁰Un contre-exemple intéressant est le logiciel *FMOL*, un outil pour l'improvisation collective, qui introduit différents paradigmes graphiques [Jorda, 2001]

des techniques (par exemple, la qualité des nouveaux algorithmes pour le traitement des signaux audio, nouveaux modèles de synthèse, nouveaux systèmes de détection du mouvement pour les environnements interactifs), très peu d'efforts - voire aucun - n'ont été faits pour permettre une intégration fine de ces avancées dans des environnements de production qui permettraient au compositeur de les utiliser avec peu d'habileté technique. L'ensemble des précédents chapitres nous force maintenant à travailler sur l'aspect représentationnel, fonctionnel et ergonomique après avoir passé en revue les différents aspects conceptuels soulevés par l'emploi de l'ordinateur comme outil de production de structures musicales.

VIII.3.2 Paradigmes utilisés

Plusieurs études (voir [Clowes, 2000], [Eaglestone & Ford, 2002] et [Nuhn *et al.*, 2002]) ont montré que les aspects graphiques des logiciels utilisés habituellement pour la création musicale ne sont pas satisfaisants, et peuvent même s'avérer frustrants pour les compositeurs. En outre, les interfaces employées semblent être particulièrement inefficaces lors de leur emploi par le compositeur pour définir des structures musicales complexes, basées sur des objets compositionnels, ou tout au moins génèrent une résistance à l'utilisateur expert ([Vaggione, 2002] et [Pope, 2002] nous ont confirmé que ce problème leur est apparu). L'origine de ce problème va apparaître clairement après avoir passé en revue les paradigmes d'interfaces principaux employés dans les logiciels de composition.

VIII.3.2.1 Interfaces orientées macro-structures

Le style d'interface prédominant pour la phase macroscopique de composition (combinaison et arrangement des artefacts musicaux) est la notion de *séquençage*, c'est-à-dire d'*arrangement par pistes*. Les séquenceurs sont largement employés par les compositeurs pour procéder à la mise en place et au rendu final des pièces. Un exemple typique de l'interface graphique obtenue est montrée à la figure VIII.1.

Nous pensons que ce paradigme d'interface donne un exemple typique de la nature inhibitrice des solutions pour la composition disponibles actuellement.

De manière plus spécifique, ces logiciels sur-simplifient la macrostructure d'une composition, étant donné qu'ils n'opèrent qu'à un niveau d'abstraction unique et uniforme. La manipulation des paramètres sonores est par conséquent rendue anti-intuitive, et potentiellement destructrice. Il est fait référence à ce problème dans [Nuhn *et al.*, 2002] :

[...] principes important to the composer may be hidden by GUIs that operate at too high a level of abstraction. Availability of easy-to-use, heavily destructive (real-time) processing tools as well as the easiness to assemble a huge number of sounds over a short period of time seems to create a situation where composers are no longer aware of the processes involved in their sound manipulation. This can lead to over-processing and over clustering of sounds, resulting in music which does not refer to any common, shared experience but the experience within the composing community. Thus the accessibility of electroacoustic music to a non-expert audience is effectively denied.¹⁴¹

Par contrecoup, et pour conclure de manière claire, le fait de restreindre la manipulation des objets compositionnels à un seul niveau d'abstraction - l'approche par piste - rendent difficile l'implémentation et la réalisation de structures musicales complexes (les objets compositionnels), ce qui implique un encombrement de l'espace sonore (i.e. *bruit*), rendant l'accès aux musiques électroacoustiques difficile.

VIII.3.2.2 Interfaces orientées micro-structures

A l'opposé, c'est-à-dire dans le domaine des micro-structures, la notion dominante pour la construction d'interface est celle de la *spécification* des structures sonores par la définition d'un ensemble analogique simulé dans le style d'un patch de synthétiseur - la notion de *patchcord* employé par *Max/MSP*. La figure VIII.2 montre un exemple caractéristique de la situation obtenue avec un logiciel qui utilise cette approche.

Nous pensons que cette approche est trop largement utilisée. Bien que l'approche autorise effectivement le travail à des niveaux d'abstraction multiples, il impose la restriction d'un travail *uniforme*, dans un environnement analogique simulé¹⁴². En pratique

¹⁴¹[...] des principes importants pour le compositeurs peuvent être être cachés par des interfaces graphiques qui opèrent à un niveau d'abstraction trop élevé. La disponibilité d'outils de traitement (temps-réel) simples à utiliser et très destructifs ainsi que la facilité d'assemblage d'un nombre important de sons sur une période de temps courte semblent créer une situation dans laquelle les compositeurs ne sont plus conscients des procédés impliqués dans leurs manipulations sonores. Cela peut mener à un sur-traitement et une surabondance de sons, résultant en une musique qui ne se réfère plus à une expérience commune et partagée dans la communauté compositionnelle. De telle manière que l'accessibilité de la musique électroacoustique est effectivement rendue impossible. *Traduction personnelle.*

¹⁴²On arguera que les techniques disponibles sont fortement numériques. Pourtant, malgré le typage numérique fort, la représentation qui en est fait fonctionne sur une analogie complète des techniques de synthèse analogique, ce qui génère une sorte de schizophrénie, d'ambivalence complexe entre deux conceptions radicalement opposées.

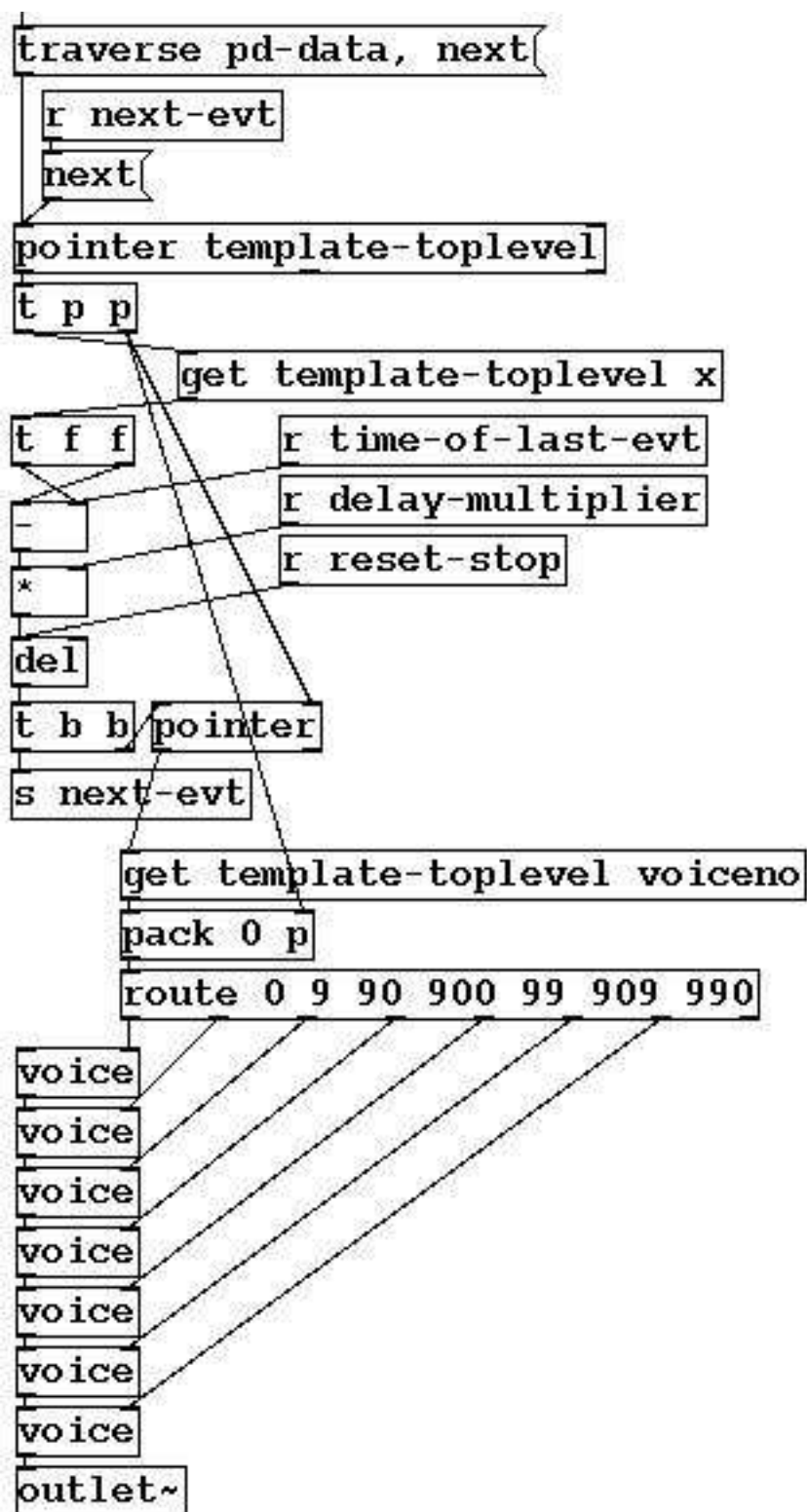


FIG. VIII.2 – Un patch dans *PureData*

(et compte tenu de cet aspect numérique de la technologie proposée), ces interfaces fournissent bien évidemment un modèle plus complexe qu'une transposition littérale d'un studio "réel", dans lequel les musiciens câblent des modules dans le but de modifier un signal musical. Il faut se rappeler bien entendu que la fonction principale des logiciels à *la* Max/MSP est de fournir un environnement pour les situations de temps-réel, i.e. de concert et d'exécution en direct. Mais, déjà, [Roads, 1996, p. 688] déclare :

The toolkit offers musicians a set of modules for creating interactive performance situations. Musicians can configure or "patch" the internal mechanisms of the setup to suit a particular musical idea. Most of the environments and microworlds [...] fall into this category.¹⁴³

...montrant le changement de paradigme qui s'est opéré entre "logiciel support de l'exécution" et "logiciel comme base principale de la composition". Ce changement de comportement de la part des compositeurs est aussi dû à l'explosion de la puissance de traitement des ordinateurs (notamment personnels) qui permettent d'effectuer en temps-réel des traitements complexes impossibles à imaginer auparavant, et donc de faciliter leur inclusion dans le processus compositionnel - il s'agit d'un courant maintenant majeur dans la composition assistée par ordinateur (voir [Essl, 1995], [Hanappe & Assayag, 1998] ou [Wüst & Jorda, 2001]).

Bien que le succès de ces outils de composition/exécution ne se soient jamais démenti tout au long de la dernière décennie, nous voyons l'absence de représentation adaptée à des objets complexes comme étant une limitation importante, et surtout inhérente au modèle choisi. En effet, la plupart des logiciels suivent le paradigme de "boîte noire" - lorsqu'un patch devient trop complexe, il est possible de le cacher dans un patch de plus haut niveau, devenant lui même un module de traitement à part entière. Récemment, Miller Puckette (architecte original de Max et à l'origine de PureData) s'est rendu compte de ce problème et a remis en question dans [Puckette, 2002b] l'utilisation des "listes de notes" - corollaire des représentations en patch - en affirmant qu'elles contribuaient à couper le compositeur des niveaux d'abstraction plus élevés (notamment le niveau symbolique contenu dans l'idée de *score*). Pour surmonter ce problème, PureData implémente une fonction qui permet aux compositeurs de travailler à partir de formes géométriques pour définir un score, comme le montre la figure VIII.3.

¹⁴³La boîte à outil offre aux musiciens un ensemble de modules pour créer des situations d'exécution interactive. Les musiciens peuvent configurer ou "raccorder" les mécanismes internes de l'environnement pour suivre une idée musicale particulière. La plupart des environnements et micro-mondes [...] tombent dans cette catégorie. *Traduction personnelle.*

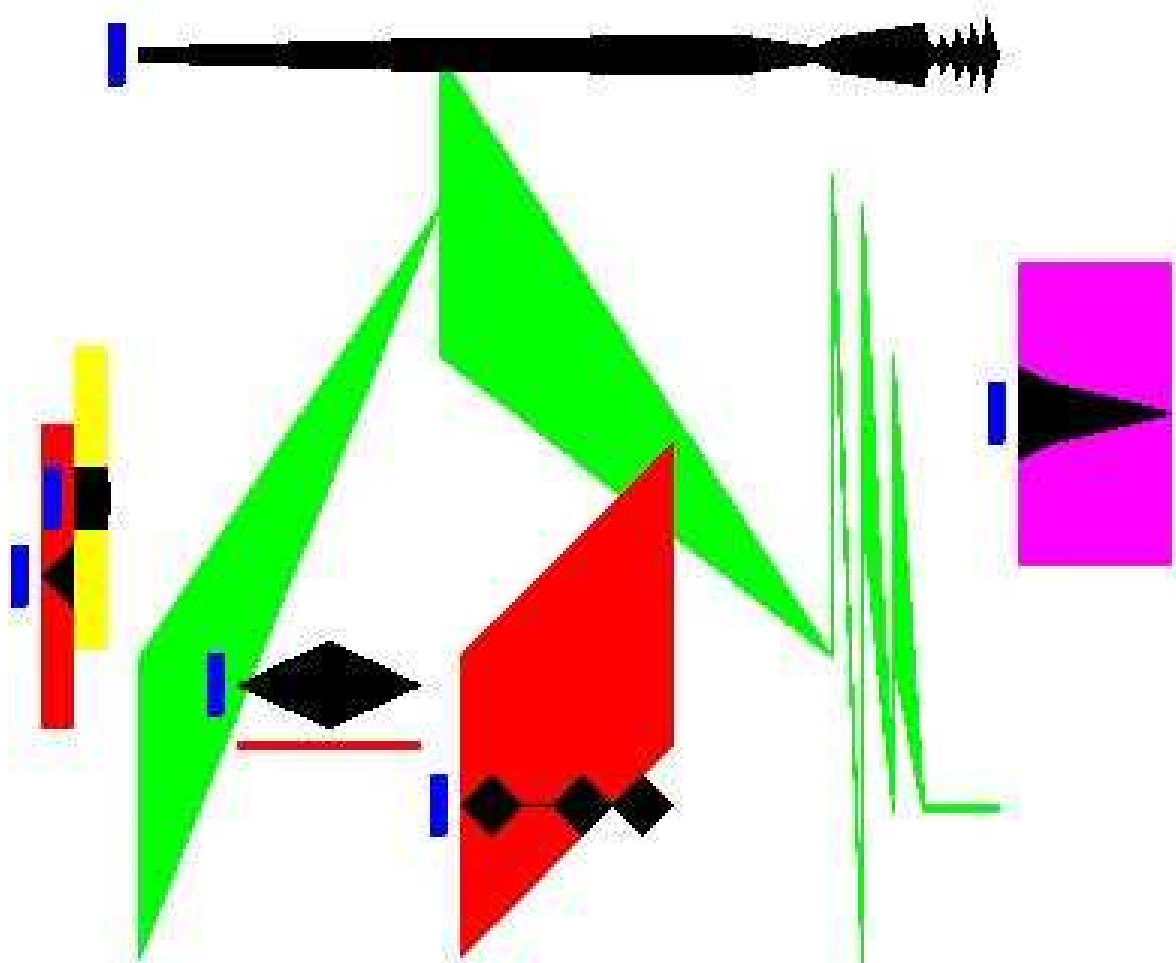


FIG. VIII.3 – Représentation en score dans *PureData*

Une discussion [Puckette, 2002a] a confirmé que la notion de patch devenait de plus en plus encombrante dans une logique compositionnelle et que cette fonction de représentation symbolique n'était qu'un palliatif, rarement employée à cause d'une certaine "lourdeur" de mise en oeuvre (les objets de scores ne sont que des objets graphiques attachés aux structures de données définies dans les patches). Finalement, l'utilisation de structures graphiques peuvent permettre aux compositeurs de se concentrer sur les problèmes de haut niveau de structuration d'une pièce, au lieu de travailler sur des problématiques bas niveau qui surviennent couramment en programmation. Pourtant, la difficulté de mélanger des représentations symboliques avec les niveaux plus bas de traitement et de programmation est toujours présente.

VIII.3.2.3 Interfaces temporelles

OpenMusic [Assayag *et al.*, 2001] représente, à notre sens, l'un des logiciels de composition à l'interface la plus aboutie pour le moment. L'utilisateur peut non seulement aisément naviguer entre différents niveaux d'abstractions, mais également entre différents types de données (morceaux de code, signaux audio) et de représentations de données (éléments programmés, notation traditionnelle), permettant ainsi de créer certains objets compositionnels complexes, comme le montre la figure VIII.4.

Les notions de structure musicale ne sont malheureusement que partiellement implémentées. De manière spécifique, nous noterons l'omniprésence du concept de patch et de patchcord, minant l'efficacité générale du système de représentation. Un problème plus avancé est celui de la représentation temporelle, qui devient récurrent dès l'émergence de macro-structures. Le concept de "maquette" a été introduit pour dévier le problème inhérent que nous avons détaillé à propos de la vision "analogique" du patch. Comme les auteurs la décrivent, "une maquette peut être pensée comme un patch spécial dans lequel une dimension temporelle est présente". Effectivement, comme le montre la figure VIII.5, le temps est représenté par une échelle temporelle en abscisse, et, mis à part cette contrainte, le comportement est identique à celui d'un patch "habituel".

La réintroduction du temps d'un point de vue représentationnel est évidemment très importante : elle permet de resituer la musique dans sa dimension canonique, celle d'occupation du temps ; cependant, à cause de la nature et du but de la maquette (réorganisation de matériaux pré-assemblés), elle n'est utilisable que pour le niveau macrostructurel - local ou global. Arriver à se détacher de cette notion macrostructurelle paraît cependant être très important dans le contexte actuel de contrôle fin sur le timbre demandé par de nombreux compositeurs. Rappelons qu'en 1996 Adrian Freed soulignait

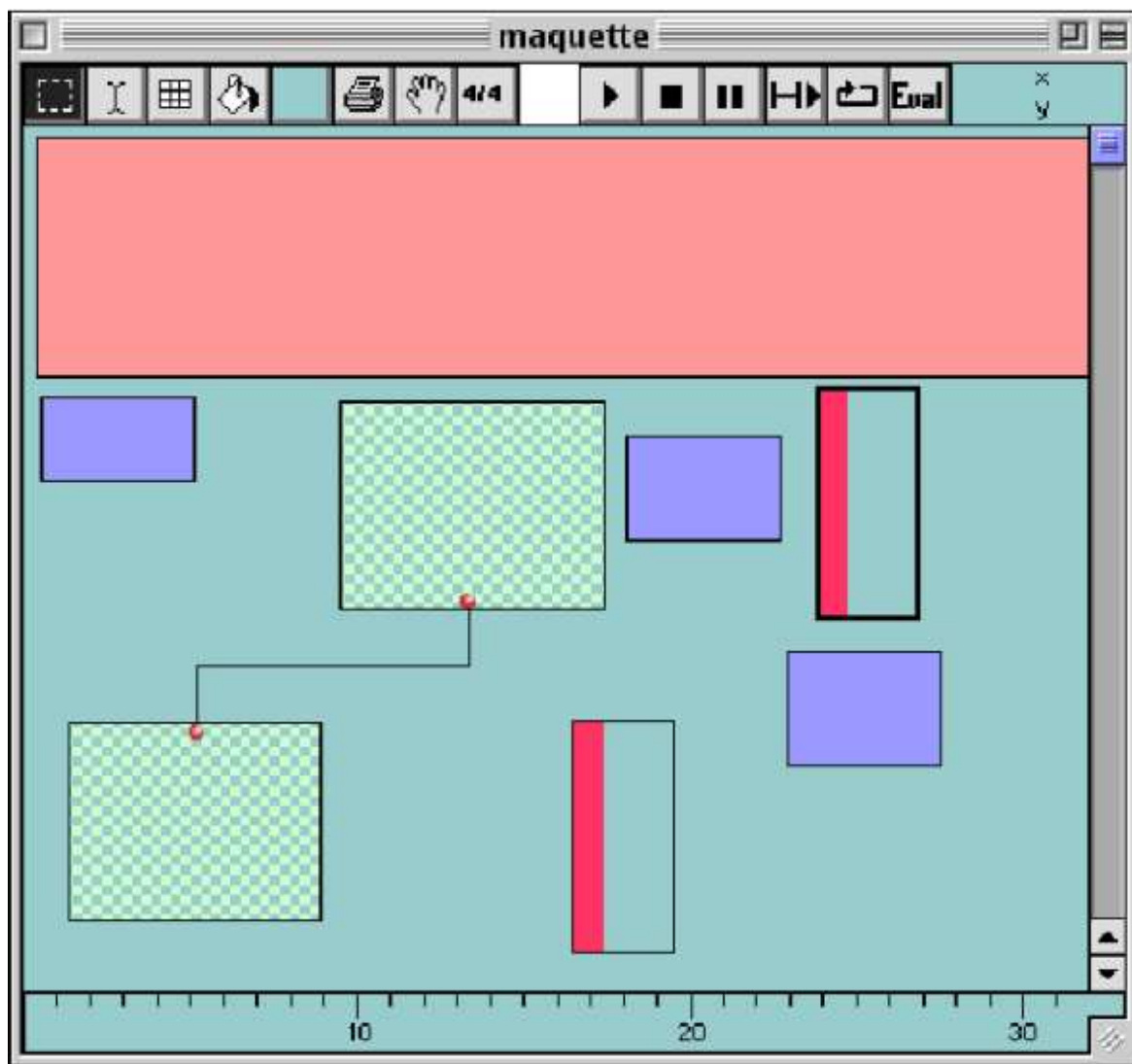


FIG. VIII.5 – *OpenMusic* : maquette

déjà, [Freed, 1996] :

The multi-dimensionality of musical data begs for higher dimensions of control and representation impossible with the current "paper on a desktop" metaphor.¹⁴⁴

En allant plus loin, il nous faut remarquer que cette approche se conforme encore aux paradigmes de computation symbolique et aux conceptions issues de la cybernétique de premier ordre [Ashby, 1956], qui sont malheureusement encore largement employées dans une majorité d'applications pour la composition musicale assistée par ordinateur. D'une certaine manière, l'emphase est encore mise sur les *processus*, plutôt que sur la *structuration* et l'*interaction*, que nous avons signalées dans les précédents chapitres comme étant les bases du travail compositionnel électroacoustique actuel.

¹⁴⁴La multi-dimensionnalité des données musicales demande d'autres dimensions de contrôle et de représentation impossibles avec la métaphore actuelle de "papier sur le bureau". *Traduction personnelle*

VIII.4 Interface Homme-Machine (*bis*)

Les conclusions sur l'architecture ainsi que les remarques que nous avons faites à propos des objets compositionnels (chapitre IV) vont nous permettre de proposer et de définir des alternatives à la représentations des structures musicales. Certaines de ces idées ont été implémentées dans le prototype *The Sketcher*, d'autres sont en passe de l'être. Plusieurs essais d'interface seront également évoquées. Le problème du representamen sera finalement traité.

VIII.4.1 Fondements d'une logique de l'interface

Trouver de nouvelles manières pour représenter la complexité des objets compositionnels est un champ extrêmement vaste. L'approche radicale que nous avons choisi d'explorer est reliée à l'architecture logicielle que nous avons décrite dans le précédent chapitre : la notion d'interface initialement vide de toute *sémantique* formelle.

Nous envisageons l'interface sans contenu, contrainte ou sémantique prédéfinis, car ainsi le potentiel du compositeur n'est guidé d'aucune manière que ce soit. L'utilisateur peut donc alors créer ses propres modèles pour décrire les structures et la sémantique qu'il compte développer pour une oeuvre précise. Par conséquent, le paradigme du patch n'est plus intéressant : si nous voulons permettre à l'utilisateur de travailler sur des structures basées sur des *objets compositionnels*, nous n'avons aucun besoin d'introduire les notions de processus et de traitement - l'objet compositionnel, rappelons-le, comporte en lui même une morphologie mais aussi un *comportement*.

VIII.4.1.1 Espace de travail non typé

Etant donné que les compositeurs utiliseront *de toute façon* les logiciels à leur service de manière hétérogène et non prévue, il serait inapproprié de leur fournir une interface "orientée". Plusieurs fonctionnalités sont dès lors impliquées : au lieu de proposer une interface sémantiquement riche comme les séquenceurs, dans lesquels l'espace de travail contient déjà un "sens" (orientation temporelle, espaces prédéfinis pour positionner les structures, etc.), il est plus intéressant de provoquer une réaction inverse et de faire en sorte que l'interface réclame qu'on lui donne un sens - celui de la pièce en cours, ou des méthodes de travail spécifiques. Par conséquent il sera possible de charger tout type de données (fichiers audio, texte, MIDI, etc.) dans le système¹⁴⁵ comme objets non typés sémantiquement (c'est à dire des objets sans spécification particulière pour le système -

¹⁴⁵Virtuellement s'entend. . .

il s'agit de la conséquence de la *classe unique* définie dans le précédent chapitre). Dans le sens inverse, les objets typés pour le système - interprétables ou interprétés - seront transparents pour l'utilisateur : aucun typage morphologique pour la représentation ne sera imposé, et il sera employé une représentation neutre signalant graphiquement la présence d'un objet.

VIII.4.1.2 Représenter la macrostructuration

Il est classique de définir la macrostructuration d'une pièce par un travail se faisant sur trois niveaux : un agencement temporel, un positionnement spatial et un ordonnancement dynamique. L'agencement traditionnel des structures en macrostructure est classiquement fait par les séquenceurs, ce qui impose une logique de travail particulière, par piste.

En utilisant les potentiels graphiques maintenant disponibles, il est évident qu'un paradigme plus directement relié à la perception des objets est à prendre en compte : celui de profondeur, largement employé en musicologie pour désigner les différents "plans" dynamiques des différentes structures simultanées d'une oeuvre, qui ne sont pas accessibles de manière intuitive au compositeur en employant des logiciels type séquenceurs [Moore, 2002-2004], qui ne proposent généralement qu'une édition de courbe sur la piste pour faire varier l'intensité dynamique.

VIII.4.1.3 Images du temps

Différentes options sont possible pour décrire l'organisation temporelle des structures.

VIII.4.1.3.a *Présentation linéaire*

Nous avons déjà évoqué la méthode de présentation linéaire, ou *directionnelle*, qui est couramment employée. En suivant la logique de l'espace non-typé, il paraît évident de considérer ce mode de représentation comme peu adapté. Cependant, la présentation directionnelle présente un avantage lors des derniers stades de mise en forme d'une composition.

VIII.4.1.3.b *Présentation adirectionnelle*

Le choix de ne pas utiliser de typage pour les éléments compositionnels doit également transparaître dans la manière d'envisager le temps. Par conséquent, il n'existe aucun repère qui permettrait une lecture du temps sur l'interface. Par conséquent, à

la suite de [Desainte-Catherine & Beurivé, 2002], nous avons notamment choisi d'employer la notion de *contrainte temporelle*, pour permettre d'établir dans un cadre précis l'ensemble des objets constituant la composition.

VIII.4.1.4 Prototype

Pour tester la validité de nos hypothèses sur de nouveaux modes de représentation macrostructurale, nous avons développé un prototype basique¹⁴⁶. Ce prototype permet de charger des fichiers sons, représentés par des rectangles de taille uniforme. L'utilisateur peut ensuite les arranger sur un espace de travail non typé, et peut exprimer des relations temporelles de deux types entre les différents éléments : concurrentielle ou relative. Ces contraintes temporelles n'influent pas sur le placement des objets qui reste totalement libre. Ce choix permet de travailler au même niveau d'abstraction (macrostructural, en l'occurrence) sur des structures extrêmement diverses du point de vue temporel, d'autant plus que leur représentation n'est pas guidée par leur durée.

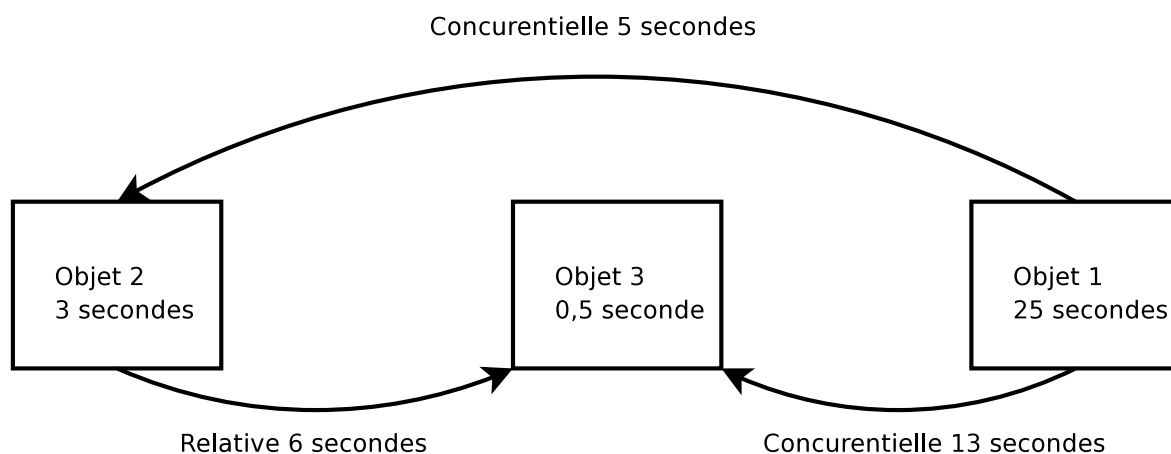


FIG. VIII.6 – Représentation schématisée d'une situation temporelle dans *mondrian*

Par exemple, la situation schématisée dans la figure VIII.6 est la suivante : un objet d'une durée de 25 secondes situé à la droite de l'espace de travail pourra être relié à un objet de 3 secondes positionné à l'extrême gauche, avec une contrainte temporelle concurrentielle de 5 secondes. Ce même objet pourra être connecté à un autre objet situé au centre de l'espace de travail d'une durée de 0,5 seconde grâce à une contrainte temporelle relative de 6 secondes, mais également au premier avec une

¹⁴⁶L'interface se nomme *mondrian*, est codée en C en utilisant la librairie graphique *evas*

contrainte concurrentielle de 13 secondes. La figure VIII.7 présente la résolution “classique” de cette situation. Chaque objet peut ainsi être lié un nombre indéfini de fois, ce qui permet d’introduire une notion plus propre de répétition littérale, plutôt que d’utiliser une fonctionnalité déstructurante du type *copier/coller*.

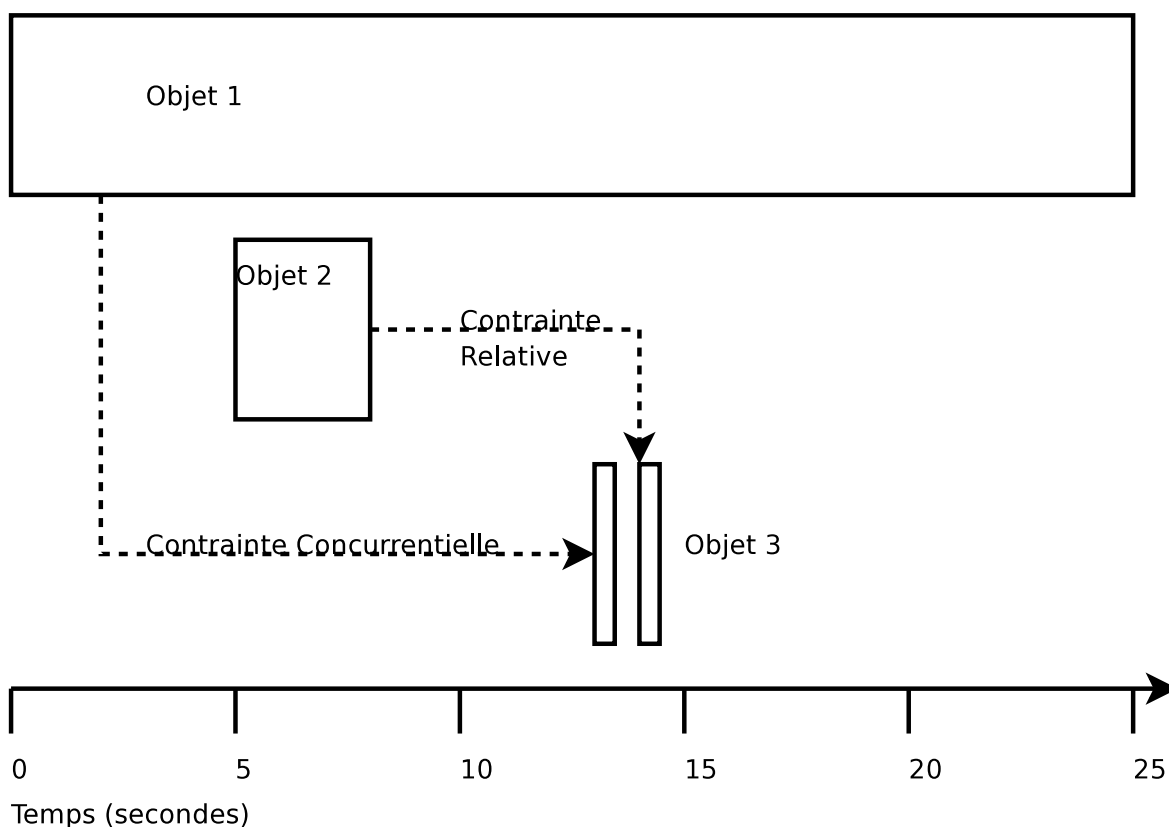


FIG. VIII.7 – Réalisation de la situation

La fonctionnalité de *résolution des contraintes temporelles* permet au compositeur d’obtenir une “partition” linéaire, ce qui est bien entendu utile lors de la phase finale de composition.

Le contrôle des paramètres de volume s’obtient par l’utilisation d’une propriété des outils graphiques actuels appelée *alpha blending*, qui permet de définir et contrôler un degré de transparence pour les objets graphiques (voir figure VIII.8).

Plusieurs objets peuvent ainsi être superposés avec différents degrés de transparence, ce qui permet au compositeur de visualiser directement les structures musicales situées aux différents plans dynamiques de sa composition.

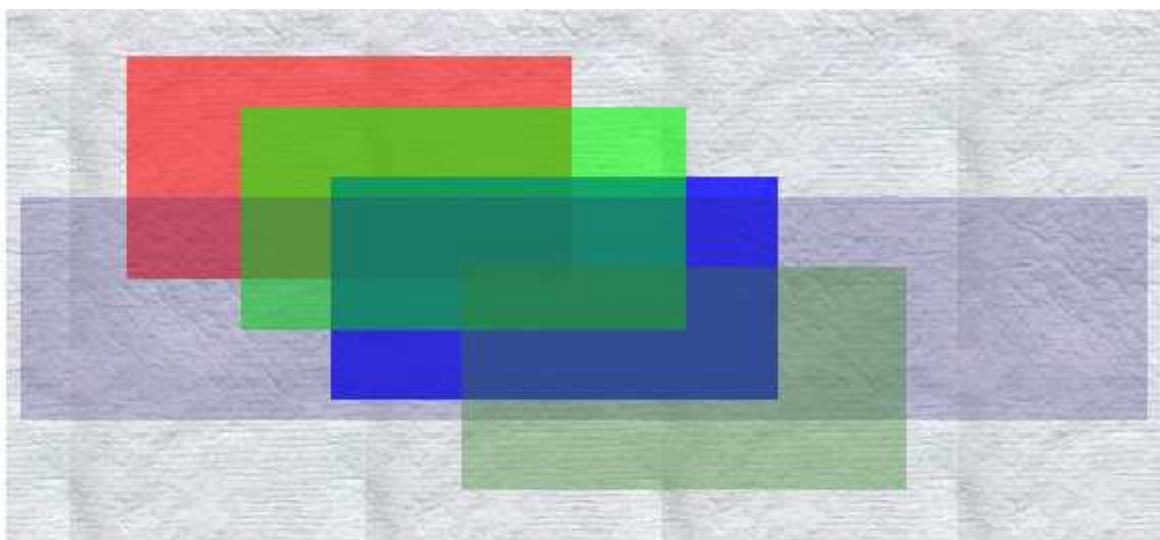


FIG. VIII.8 – Superposition de structures dans mondrian

Différentes pistes ont été évoquées, notamment l’emploi de graphismes tridimensionnels, tout en gardant la notion d’espace de travail non typé : ces structures graphiques pourraient par exemple servir à donner différentes représentations aux objets compositionnels (sonagrammes, représentation iconique, etc.). Un écran d’une situation typique de mondrian se trouve dans la figure VIII.9.

Plusieurs pistes sont envisagées pour améliorer la lisibilité de l’ensemble, notamment une notion de zoom, qui permettrait de travailler sur un espace beaucoup plus large, l’écran ayant vite tendance à se remplir...

VIII.4.2 L’interface comme manifestation du signe peircien

Nous avons basé une grande partie de notre réflexion sur la notion du *representamen* peircien dans la création et l’analyse des musiques informatiques, et l’utilisation de ce concept dans le domaine de la représentation “symbolique” - c’est-à-dire l’*interface graphique* - est évident. Nous allons voir dans quelle mesure les travaux sur la sémiotique de Peirce peuvent nous aider à comprendre et définir de nouvelles méthodes pour désigner l’interface dans les systèmes de création musicale assistée par ordinateur.

VIII.4.2.1 Eléments

Peirce a créé une nomenclature des signes en se basant sur le sens porté (i.e. la relation entre le *representamen* et l’objet), en différenciant *icône*, *index*, et *symbole* :

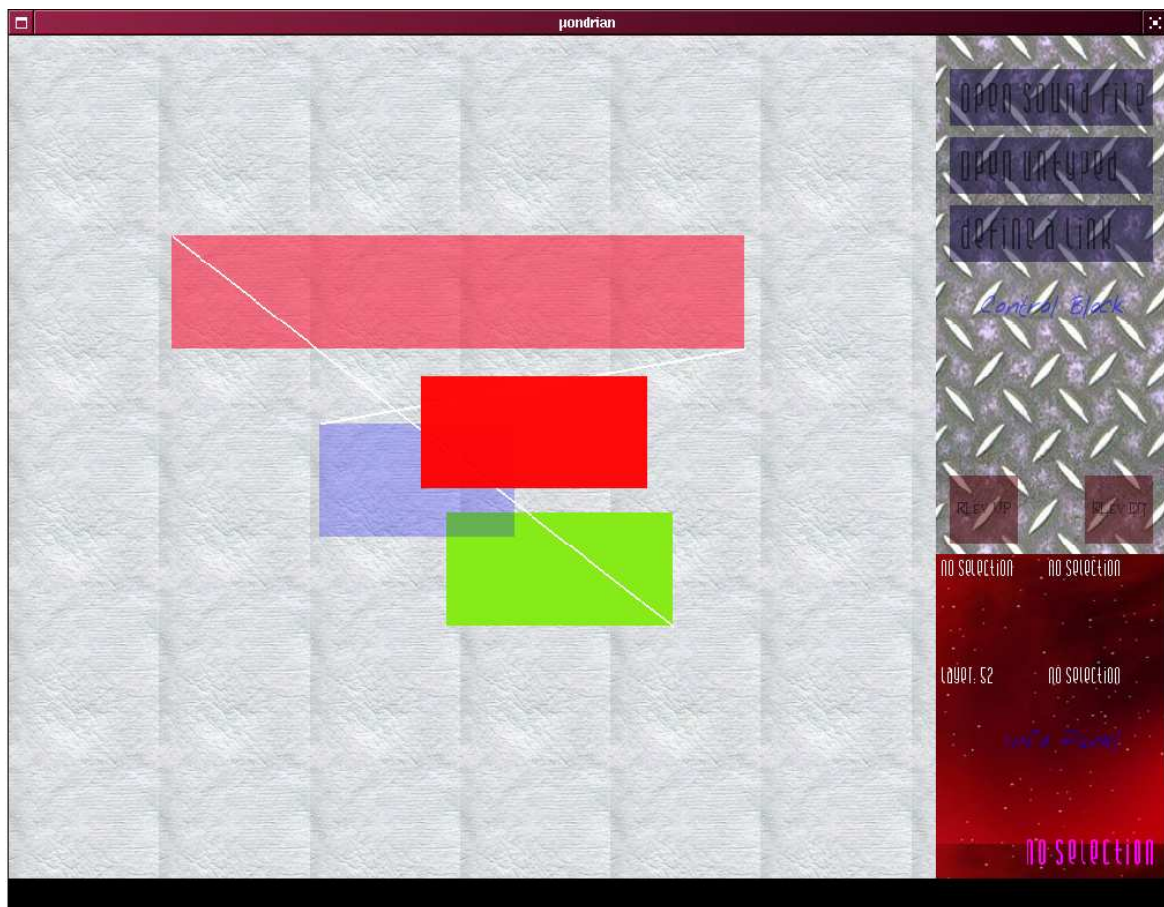


FIG. VIII.9 – Un espace de travail dans mondrian

- Un icône est un signe dans lequel le representamen est perçu comme ressemblant (i.e. ayant des qualités communes) à l'objet.

An Icon is a sign which refers to the Object that it denotes merely by virtue of characters of its own and which it possesses, just the same, whether any such Object actually exists or not.¹⁴⁷

- Un *icône diagrammatique* est un type d'icône qui préserve les propriétés géométriques de l'objet. En ce sens, la similitude n'est pas nécessairement basée sur la ressemblance en apparence, mais sur la relation entre leurs parties.

- Un index est un signe dans lequel le representamen est en quelque sorte (i.e. physiquement ou causalement) directement relié à l'objet. Contrairement à un icône, un index n'a pas de ressemblance à l'objet. Au contraire, il existe une relation "légale" entre le representamen x et l'objet y : si x , il existe toujours un y .

An index is a representamen which fulfills the function of a representamen by virtue of a character which it could not have if its object did not exist, but which it will continue to have just the same whether it be interpreted as a representamen or not.¹⁴⁸

- Un symbole est un signe dans lequel la relation entre le representamen et l'objet est arbitraire ou conventionnelle (i.e. doit être apprise).

A symbol is defined as a sign which is fit to serve as such simply because it will be so interpreted.¹⁴⁹

VIII.4.2.2 Interprétation

Il est évident que cette nomenclature précise doit être prise en considération lors de l'élaboration de l'interface. Le langage courant, ainsi que le jargon informatique, a

¹⁴⁷ *Un icône est un signe qui réfère à l'Objet qu'il décrit uniquement en vertu des propriétés qui lui sont propres et siennes, que l'Objet existe concrètement ou non.* Traduction personnelle. [Peirce Edition Project, 1998, p. 291]

¹⁴⁸ *Un index est un representamen qui remplit la fonction de representamen en vertu d'une propriété qu'il ne pourrait pas avoir si son objet n'existait pas, mais qu'il continuera d'avoir qu'elle soit interprétée comme representamen ou non.* Traduction personnelle. [Hartshorne & Paul Weiss, 1931-1958, 5.73]

¹⁴⁹ *Un symbole est défini comme signe capable de servir comme tel, simplement parce qu'il sera interprété comme tel.* Traduction personnelle. [Peirce Edition Project, 1998, p. 307]

tendance à faire peu de cas des subtiles différences entre les modes de représentation offerts, et le mot-clé de ce domaine est, bien entendu, “l’icône”.

Pour autant la classification établie par Peirce est relativement facile à adapter à nos habitudes d’interface, par exemple la notion de “symbole” prend évidemment tout son sens dans le cas de la musique informatique, lorsqu’il s’agit de définir de manière courte une opération transformationnelle complexe.

Chapitre IX

Coda : Système dynamique pour la CAO

IX.1 Summary

The different problems and theories we discussed throughout this text permit us to be able to properly describe a *dynamical system for computer-assisted musical creation*. However, we need to discuss a final problem, which is the case of “musical models”, a term used by analogy with scientific models.

Finally, a description of a dynamical system for music creation is given, and is expanded to take into account human and social factors : such a system is said to describe an *ecological dynamic system for computer music creation*.

IX.2 Introduction

L'évolution de nos conceptions dans l'ensemble des domaines abordés, de l'esthétique musicologique à l'ergonomie informatique, nous permet maintenant d'obtenir une vue d'ensemble sur le problème qui nous occupe, à savoir la définition d'un *système dynamique pour la création musicale assistée par ordinateur*.

IX.3 *Tabula Rasa*

IX.3.1 Pourquoi ?

Comme nous l'avons vu tout au long de ce texte, un ensemble de facteurs - conceptuels, techniques, technologiques, esthétiques - forcent à considérer l'approche de la création musicale assistée par ordinateur sous un angle nouveau.

Le manque de méthodes clairement définies et clairement appliquées pour la conception des systèmes compositionnels pour la représentation des structures compositionnelles électroacoustiques - compréhensible étant donné la multiplication, la segmentation et par conséquent la spécialisation de plus en plus profonde des domaines associés à l'informatique musicale (voir [Nuhn *et al.*, 2002] et [Kronland-Martinet, 2002-2004]) sont en partie responsables du problème, mais la partie immergée de l'iceberg est sans aucun doute la tendance formaliste en informatique musicale.

IX.3.2 Sur les modèles

Il est bien entendu illusoire de déclarer que les modèles ne sont d'aucun intérêt pour la musique informatique¹⁵⁰. Cependant, nous pensons qu'il existe une énorme différence entre l'acception généralement admise - celle de modèle scientifique - et le véritable sens du terme "modèle" en musique, et *a fortiori* en musique informatique.

IX.3.2.1 Qu'appelle-t-on un modèle scientifique ?

La question est simple et complexe à la fois. Généralement, il est considéré qu'un modèle scientifique représente une abstraction d'un grand nombre de données collectées et, d'une certaine manière, "généralisées", de manière à pouvoir en tirer une loi qui fonctionne dans la plupart des cas de figure envisageables. Cette définition est la définition inductive du modèle scientifique, qui considère que l'expérimentation précède la formalisation. Mais, depuis [Popper, 1934], les épistémologues rejettent l'induction comme critère de validité scientifique d'un modèle, et donc, par conséquent, le modèle scientifique ne peut plus être inductif. En fait, en formulant cette nouvelle définition du statut de la validité d'une démarche scientifique, Popper a, du même coup, instrumentalisé la notion de modèle, qui n'est plus porteur d'une vérité, mais est uniquement un representamen. Il est par conséquent sous-entendu qu'un modèle est une des illustrations d'une théorie, d'application plus globale.

¹⁵⁰Certaines approches particulières dans le présent texte n'auraient pu être envisageables sans une certaine formalisation, et donc l'emploi de modèles.

Après avoir défini ce qui est constitué par les modèles, nous devons nous demander ce qui est contenu dans un modèle. Si, comme nous l'avons vu, et en suivant Popper, il n'est pas possible de construire un modèle scientifique à partir d'observations, comment s'organise-t-il ?

IX.3.2.2 Modèle musical

La question du modèle musical est encore d'actualité. Rappelons que la musique a, durant tout le moyen âge, été enseignée dans le cadre du Quadrivium, celui des sciences, aux côtés de l'arithmétique, la géométrie et l'astronomie, avant d'être, après le XVI^e siècle, déchu de son statut de science. En fait, il a souvent été considéré que l'ensemble des règles qui encadrent la composition (spécifiquement pour les musiques modales ou tonales) pouvait être perçu comme une science, et donc formalisable (voir III).

IX.3.2.2.a Modèles extramusicaux et modèles scientifiques dans le cadre de la composition assistée par ordinateur

Comme la formalisation intégrale d'un idiome musical n'était pas réalisable dans son ensemble, de nombreux compositeurs ont cherché à intégrer dans leur langage une grande part de formalisme scientifique, sous la forme de modèles scientifiques issus de diverses théories (généralement différentes branches de la physique) « transposés » dans un contexte musical. Les exemples les plus fameux de ce type de tendance en musique sont bien évidemment les pièces de Iannis Xenakis, notamment *Metastasis* (1954) et *Pithoprakta* (1956). La démarche, comme on le voit, est relativement simple à comprendre : une théorie mathématique ou physique est extraite de son contexte et les différentes variables constitutives d'une formule sont remplacées par des paramètres musicaux, comme la hauteur, la durée, le timbre, . . . Dans *Pithoprakta*, c'est par exemple la loi de Maxwell-Boltzmann sur l'agitation moléculaire dans un gaz chauffé qui sert de base à Xenakis pour calculer les hauteurs, durées, volumes des pizzicati d'orchestre composé de cordes et des interventions ponctuelles d'un trombone.

Il existe une deuxième démarche, dans laquelle le modèle n'est, par exemple, qu'un ensemble de données complexes auxquelles le compositeur attribue des paramètres musicaux. Les travaux de [Mihalič, 2000] sont une parfaite illustration de ce type d'approche. Dans la pièce *Atoms*, le compositeur transpose les données de la table de Mendeleïev en éléments mélodiques. Ces différentes cellules mélodiques représentent pour l'auteur une sorte de “sonification” de la table des éléments - tout comme il était possible d'obtenir une “visualisation” de ces atomes (grâce au modèle de Bohr) - établissant

un parallèle entre le sonore et le visuel.

Ces remarques illustrent bien le besoin de nombreux compositeurs de chercher une dimension extramusicale à leurs œuvres (Saariaho, Xenakis, et même Murail), comme si la composition elle-même devait se trouver des "justifications" hors le champ musical. Le problème apparaît alors dans toute sa dimension dès lors que se trouvent posées les questions de la validité de telles démarches : quelles sont les différences entre un modèle extramusical et un modèle scientifique ? Jusqu'à quel niveau est-il possible d'accepter l'introduction de concepts et de modèles extérieurs sans que la musique ne perde sa fonction téléologique, c'est-à-dire sa portée esthétique ?

IX.3.2.2.b Différence entre modèle extramusical et modèle scientifique : le problème de la transduction

Malgré la volonté d'utiliser des modèles scientifiques validés pour décrire l'œuvre musicale, il reste toujours une grande part d'arbitraire dans les choix du compositeur à affecter tel ou tel paramètre musical plutôt qu'un autre. A elle seule, cette part d'arbitraire suffit à faire passer la musique issue de modèles extramusicaux pour une simple illustration musicale d'une théorie, une interprétation de cette théorie plutôt qu'une application à la musique. La plupart des compositeurs agissent comme si l'emploi de modèles scientifiques et extramusicaux dans leur musique leur donnait une "légitimité" scientifique.

En fait, le principal problème posé par l'introduction de modèles extramusicaux dans la musique reste la question de la transduction, c'est-à-dire l'opération par laquelle les paramètres d'un modèle vont être appliqués à la musique. Ce problème se pose de façon très aiguë dans la musique, où il n'existe aucun critère de validation. L'arbitraire de chaque compositeur se pose dans le choix de l'échelle de transduction, c'est-à-dire à quel paramètre scientifique faire correspondre telle ou telle catégorie musicale. Comme on le voit, par les termes mêmes, le problème est posé : il est difficile d'admettre qu'un paramètre puisse être équivalent à une catégorie. Le premier terme suppose une unidimensionnalité, là où le deuxième impose plusieurs dimensions - une matrice.

Le problème de l'utilisation de modèles extramusicaux (scientifiques ou autres) dans le cadre de la musique (informatique ou non) relève donc d'une approche plus complexe qu'un simple "transfert de données" d'un domaine à un autre.

IX.3.3 Niveaux d'abstractions / Complexité

Nous l'avons vu, le problème des niveaux d'abstraction est critique : l'approche transformationnelle l'amplifie de manière critique. Tâcher de trouver une manière unique et unifiée de représenter et rendre compte de la complexité d'une pièce est complètement illusoire. Au lieu de présenter un *moule représentationnel* - sémantique ou structurel - dans lequel les compositions devraient se couler, et les compositeurs se plier, le logiciel doit maintenant *lui-même* s'occuper du problème des multiples niveaux de représentation. L'utilisation d'espaces de travail non typés, de systèmes d'archivage et de gestion des objets compositionnels, et de l'absence de typage devraient permettre de résoudre un certain nombre de ces difficultés.

Une des clés pour exprimer la complexité semble être - de manière assez étrange - d'éviter la formalisation et les tentatives de représentation formelle. D'où notre intérêt pour les approches cognitivistes récentes (enaction, émergence) qui paraissent particulièrement adaptées pour la création musicale assistée par ordinateur.

Il est maintenant temps de proposer un système - conceptuel, technologique, esthétique - qui permette aux compositeurs d'utiliser d'une manière unifiée différentes sémantiques, qui ne les enferme pas dans une "façon de faire" spécifique - une méthode formalisée de construction du discours compositionnel.

IX.4 La composition comme système dynamique

IX.4.1 Le système machine

Il est difficile, fût-ce pour un compositeur ou un informaticien (et quand bien même celui-ci serait rompu aux techniques de simulation de réseaux de neurones), de concevoir qu'un système informatique fasse preuve d'auto-organisation. Il s'agit simplement, pour nous, d'une question de niveau d'observation. Généralement un créateur (compositeur, informaticien, etc. . .) se considère comme exclu du système qu'il crée. A ce paradigme du créateur-démiurge, nous substituons celui du créateur immergé dans sa création, c'est-à-dire, dans une certaine mesure, et avec toutes les précautions de langage nécessaires, faisant partie de sa création au moment de son actualisation.

Il ne s'agit pas non plus de prendre la position traditionnelle de l'analyste : au-dessus du système, il se pose comme observateur du produit (informatique, musical) de ce système de création. Notre position sera celle du démon qui, observant à la fois le système et son produit, et considérant comme partie intégrante du système, le "système" lui-même, procède à sa description. A ce niveau d'observation, il est évident que le système complet possède des propriétés d'auto-organisation, c'est-à-dire d'émergence de structures et de comportements. Etant donné qu'il s'agit d'une volonté (celle du créateur) de faire émerger des structures, qui, par contrecoup, (inter-)agissent sur elles, il nous semble tout à fait valide de parler d'enaction dans le cadre de notre description des systèmes de création musicale assistée par ordinateur.

C'est ce système que nous définissons comme *système machine*.

IX.4.2 Le système de composition

Après avoir défini de manière pragmatique les conditions observables d'un système dynamique de CMAO, il nous faut, dans un souci de clarté et de synthèse, présenter un ensemble de "règles" qui permettent de définir un système dynamique de CMAO. Le lecteur voudra bien nous pardonner la sécheresse des lignes qui vont suivre ; elle est nécessaire pour exprimer clairement toute idée complexe.

IX.4.2.1 Critères structurels

(1) Il est possible de considérer un système de CMAO comme un système dynamique à partir du moment où :

- (a) le système en lui-même est constitué de deux systèmes ou plus ;
- (b) le système, pour être considéré comme valide, doit être constitué d'un seul sous-système logiciel (cependant lui-même divisible en plusieurs sous-systèmes) ;
- (c) les systèmes constituant le système général fonctionnent en interaction, ce qui détermine l'appellation même de système ;
- (d) il est impossible de réduire le système général à la somme des systèmes qu'il contient - c'est-à-dire en faisant abstraction du réseau d'interactions qu'ils créent (i.e. l'intérêt du système ne porte ni sur ses sous-systèmes, ni sur les relations entre eux) ;
- (e) le système général montre un certain degré de stabilité et d'homéostasie (observable par la faculté mémorielle générale du système, et par une entropie relativement faible).

IX.4.2.2 Critères fonctionnels

(2) Un système dynamique de CMAO, comme défini en (1), pour être fonctionnel, doit présenter les modes opératifs suivants :

- (a) le système doit présenter un nombre illimité de modèles de structuration, ce qui conduit à une infinité de produits ;
- (b) le système doit pouvoir fonctionner dans sa totalité ou dans son minimum ;
- (c) le système doit pouvoir employer ses propres produits comme matériau générateur, et ce sans avoir besoin de ressources extérieures ;
- (d) le système ne doit pas avoir besoin de ressources extérieures pour arriver à ses fins.

IX.4.2.3 Critères de production

(3) Un système dynamique fonctionnel de CMAO, comme défini par (1) et (2), doit finalement, pour être considéré comme valide et opérationnel, être en mesure de produire des résultats de telle manière que :

- (a) ses produits soient potentiellement validés par le système lui-même ;
- (b) ses produits doivent pouvoir structurer le système par répercussion ;
- (c) le système doit pouvoir agir sur ses produits à n'importe quel instant t , lors de la phase de création.

IX.5 Par delà le simple système : l'*écosystème*

L'approche transformationnelle, l'utilisation de théorie systémique complexe, le changement de paradigme entre une approche linéaire, procédurale et une approche interactive, permettent de remettre au centre du système compositionnel le compositeur.

Prendre en compte le paramètre humain et social permet de marquer une ultime étape dans la définition d'une nouvelle approche pour les systèmes de création musicale assistée par ordinateur.

IX.5.1 La composition : une manifestation écologique

La notion de composition comme phénomène écologique peut paraître étrange. Cependant la notion d'*écologie* est à prendre au sens large [Dorst, 1972] :

Nous pouvons certes penser que l'écologie est une partie de la biologie qui s'occupe des relations des êtres vivants les uns avec les autres et avec leur milieu. Mais je crois que la définition est beaucoup plus générale. L'écologie, avant d'être une science, est une manière de penser d'une manière globale, se trouvant à la confluence d'une série de disciplines qui débordent très largement du cadre de la biologie. Cette approche synthétique nous permettra de sortir de l'ornière et de faire preuve d'imagination, pour trouver des solutions plus originales que celles que nous préconisons encore.

IX.5.2 L'*écosystème* de CAO

En ajoutant ce principe, considérer le compositeur comme partie intégrante du système - c'est-à-dire en tenant compte de sa manière de travail, sa psychologie¹⁵¹ - la notion d'*écosystème* prend tout son sens.

L'interaction des objets compositionnels entre eux, des systèmes de représentations et l'interaction finale entre l'utilisateur et cet ensemble, créent ce qu'il convient d'appeler l'*écosystème de création musicale assistée par ordinateur*.

¹⁵¹Ce que nous pensons obtenir par la sauvegarde méthodique des séances de travail sur *The Sketcher*.

Chapitre X

Conclusion

Nous avons traduit notre effort en trois mouvements. Envisager la création musicale électroacoustique comme un ensemble indissociable de trois aspects, un véritable *système dynamique complexe* tant par la complexité intrinsèque des esthétiques envisagées, la multiplicité des outils nécessaires à la production de ces musiques et finalement la diversité des champs associés nécessaires à l'analyse et l'implémentation de ces outils, nécessite une approche radicale se fondant sur des théories, techniques et approches diverses, hétérogènes et souvent extérieures au domaine envisagé.

En premier lieu, il nous a fallu détailler les problèmes rencontrés actuellement lors de l'analyse des musiques électroacoustiques. Malgré la diversité des outils et méthodes d'approche disponibles, l'esthétique des musiques électroacoustiques montre toujours une certaine résistance à l'analyse. Bien évidemment, cette résistance est en partie due à la diversité des modes d'expression disponibles. Il ressort cependant d'une étude détaillée des différentes approches disponibles (tant technologiques que conceptuelles) que la complexité est également introduite dans le problème par une trop grande rigidité des méthodes disponibles, qui devaient originellement permettre une *simplification* du domaine analytique. Malgré la haute technicité de ces approches, ces outils sont basés sur le principe d'une continuité linéaire de l'analyse. L'aspect dynamique de l'analyse des musiques électroacoustiques est pourtant évident, de part la place importante laissée à la microstructuration. Nous avons caractérisé ces approches par le terme de *logique de fragmentation* - qui désigne à la fois la segmentation entre l'optique technologique et l'optique conceptuelle (musicologique) qui est présente dans l'analyse, ainsi que le moteur qui les anime ("atomisation" du signal pour procéder à une analyse "destructive").

Toutes ces méthodes se heurtent par conséquent à ce que nous avons dénommé *barrière du representamen* - sorte de “point de non-retour” analytique qui empêche toute analyse “englobante” d’une oeuvre.

L’ensemble de ces travaux nous a amené à proposer un outil conceptuel nouveau pour l’analyse des musiques électroacoustiques, la *schismogenèse*. Largement basée sur une approche que nous dénommerons, à la suite de son auteur, d’*écologique*, car elle respecte l’ensemble du signal, cet outil envisage la composition dans sa globalité, à la fois intrinsèquement, sous le triple aspect de la sémiotique (poïétique, neutre, esthétique), mais également dans l’aspect extrinsèque d’une oeuvre *inscrite* dans un contexte particulier¹⁵² - cette proximité avec une multitude de niveaux de représentation et d’interprétation nous est particulièrement précieuse pour permettre de développer une théorie non plus seulement analytique de la composition de la musique électroacoustique mais également fonctionnelle et applicable au design et à l’architecture de logiciels dédiés à la création. Cet outil nous a permis de définir plus clairement quelques termes employés couramment lors de l’analyse et de la composition. Nous avons donc décrit *micro-structures*, *méso-structures* (en associant à ce terme générique une précision directionnelle, de *verticalité* ou d’*horizontalité*), *macro-structures* et *méta-structures*, en proposant, non pas une opposition radicale, mais un éclairage particulier sur la notion traditionnelle de *forme* en musicologie.

Mais, avant d’envisager inclure l’outil schismogénétique dans l’espace de travail compositionnel informatique, il nous fallait proposer une méthode qui nous permette aisément de transposer ce contenu théorique en proposition formaliste plus apte à l’implémentation informatique. Nous avons choisi d’utiliser un langage logique “classique” pour définir les termes de la schismogenèse. Par conséquent, il nous a fallu déterminer une stratégie d’approche particulière pour aborder cette transposition. Nous avons décidé d’utiliser une segmentation nouvelle des paramètres constitutifs d’un timbre, basée sur la notion de *grouping* du Gestalt¹⁵³. La description formaliste de l’outil schismogénétique nous a permis de faire le rapprochement entre celui-ci et l’outil de *plan adaptatif* de Holland, bien connu des informaticiens. En couplant cette prégrammaire

¹⁵²Qu’il s’agisse de contexte musical, social, ou personnel. L’analyse proposée de la pièce de Jorge Antunes nous a par exemple permis de comprendre des mécanismes esthétiques *sans les découpler* d’un contexte social et d’une volonté politique - non pas en amenant une glose sur le caractère *exprimé* de la pièce, mais bel et bien en mettant à nu ses mécanismes esthétiques et poïétiques.

¹⁵³Cependant différente des techniques utilisées en psychoacoustique, car n’envisageant pas le timbre comme unité.

formaliste aux dernières avancées conceptuelles dans le domaine de l'ingénierie logicielle (techniques de modélisation objet avancée, utilisation des *aspects*), nous sommes proches de la réalisation d'une *grammaire adaptative* pour l'analyse et la composition assistée par ordinateur. Les premiers prototypes¹⁵⁴ sont relativement prometteurs.

L'ensemble de ces réflexions nous a forcés à nous pencher sur la notion d'*objet* dans le cadre de la création électroacoustique assistée par ordinateur. Largement emprunté au jargon informatique, notre proposition du concept d'objet étend celle d'Horacio Vaggione, et permet notamment d'échapper à la barrière du representamen - en invoquant la notion dynamique des liaisons intersticielles entre objets : ces relations sont des relations d'*interaction*. L'ensemble d'une proposition ou d'un parti-pris compositionnel tient dans la notion ouverte de l'*entre-objet*, par opposition aux définitions classiques algorithmiques et/ou de type computation symbolique¹⁵⁵. L'objet compositionnel et les relations entre objets peuvent donc être considérées comme un système complexe.

Les remarques précédentes étaient faites *in abstracto*. Dans un contexte fonctionnel, la notion de *temps* est évidemment à prendre en compte. Avant de développer plus avant la notion de système dans le cadre de la création électroacoustique, il nous fallait définir clairement les paramètres temporels des relations inter-structurelles : si les relations des micro- et méso-structures sont logiquement des relations d'appartenance à des groupes, la relations entre les structures et la macrostructure est elle définitivement une relation *vectorielle* - c'est-à-dire que nous considérons l'aspect téléologique de la macrostructure comme une caractéristique essentielle la définissant. Pour permettre de différencier ces différentes notions nous avons développé la notion de *marqueur de contexte* - élément permettant de discriminer les différents niveaux d'abstraction, de manière temporelle (i.e. extrinsèque) ou par la dynamique intrinsèque d'une structure.

L'ensemble des paramètres préalables à l'approche systémique que nous souhaitons entreprendre étant à présent disponible, nous avons brièvement décrit la spécificité de ce type d'approche dans notre cadre d'étude en la comparant avec les théories génériques existantes, notamment les notions de systèmes complexes auto-organisationnels.

Un logiciel a finalement été développé en prenant en considération l'ensemble des conclusions auxquelles nous avons abouti. Il était évident que ce logiciel nécessiterait

¹⁵⁴Bien qu'ultra-rudimentaires. . .

¹⁵⁵Nous pourrions dénommer cette approche comme étant de type "post-connexioniste" - en ce qu'elle ne s'attache pas uniquement à la structuration formelle de ce qui va produire le message - approche connexioniste classique - mais également aux produits de cette structure *comme partie intégrante de la structure même*.

une adaptation en profondeur des *a priori* d'interface auxquels sont contraints bon nombre de logiciels - l'utilisation de "tracks" pour la macrostructuration et de "patch cords" pour les étapes microstructurelles, et ce souvent de manière non associée. La séparation¹⁵⁶ de la dimension temporelle que nous recherchions n'avait - à notre sens - pas été résolue dans les interfaces disponibles. Bien entendu, la quasi-totalité de celles-ci sont basées sur des paradigmes de reproduction analogique des conditions de studios "concrets" - et par conséquent, des concepts aujourd'hui lointain de la première cybernétique. L'invention nécessaire nous est apparue être celle de *l'espace de travail non-typé*, permettant de naviguer similairement entre niveaux de représentations typés et non-typés, micro- et macro-structurel, et en- et hors-temps. Réemployer les notions peirciennes du signe, de l'objet et du representamen, afin de percer la barrière du representamen de manière concrète dans un environnement compositionnel.

En reprenant l'ensemble des résultats de ce prototype, nous avons défini une logique quant à l'application de l'ensemble de nos recherches sur le caractère dynamique du système compositionnel. Il convient à présent d'envisager la création musicale assistée par ordinateur non plus uniquement comme un agrégat immobile de plusieurs matières et techniques, mais bel et bien comme un *système dynamique complexe*, et plus encore comme un *écosystème*, pour que sa dimension naturelle (celle de l'humain) soit prise en compte - tant au niveau poétique (*celui qui fait*) qu'au niveau esthétique (*celui qui reçoit*).

La multiplicité de niveaux représentationnels et l'ensemble des systèmes représentationnels associés, qui sont une caractéristique de l'activité de création musicale assistée par ordinateur, ne semblent donc pas incompatibles. La problème principal est en fait celui de la ségrégation des disciplines, qui, bien qu'ayant apporté un nombre exceptionnel de ressources pour la discipline compositionnelle, occasionne, à notre sens, un certain nombre d'inconvénients quant à l'évolution des langages électroacoustiques. Bien évidemment il est nécessaire de permettre un éventail conséquent de "choix" techniques pour le compositeur, mais l'appropriation de ces outils est rendue difficile par le manque de recherches postérieures sur la manière de "présenter" ces outils sous un angle fonctionnel, sans entrer dans des conceptions ergonomiques plus ou moins abstraites, mais en adaptant les modes représentationnels de ces techniques aux domaines (représentationnels et conceptuels) qu'elles sont censées traiter.

¹⁵⁶Forcément relative. . .

Ce manque d'*intégration* entraîne inévitablement une décorrélation entre les conceptions esthétiques et les procédés poïétiques en oeuvre lors de la composition. L'intégration raisonnée de procédés analytiques nous a permis de mettre en lumière la constante fondamentale de la création musicale électroacoustique, à savoir la multiplication des niveaux analytiques et le mouvement constant des représentations ainsi que leurs permutations. La description détaillée des principes de marqueurs de contexte, ainsi que de modélisation par objets a permis de mettre en place un contexte théorique complet pour servir à la modélisation d'un système de création musicale assistée par ordinateur.

L'approche dynamique du système de création musicale assistée par ordinateur n'en est encore qu'à ses prémises. Nous pensons cependant que les possibilités offertes par une telle approche, sa flexibilité, permettront une plus grande réflexion sur les outils et les modes de production des musiques électroacoustiques.

Table des figures

I.1	Ondelettes (ex <i>Attaques</i>) - Transformée en ondelettes Daubechies, facteur 10, taille de la fenêtre d'analyse : 2048	45
II.1	Sonagramme 0'09s à 0'15s - Fenêtre type Kaiser (facteur de forme 0.38) - taille de fenêtre : 2048	71
II.2	Sonagramme - Type de fenêtre Parzen - taille de fenêtre : 4096	73
II.3	Sonagramme - Type de fenêtre Parzen - taille de fenêtre : 16384	74
II.4	Spectrogramme 3D - Type de fenêtre Kaiser - taille de fenêtre : 8192	75
V.1	Rapports structurels à l'échelle de temps	128
V.2	Transversalité des <i>marqueurs de contexte</i>	129
V.3	Une situation complexe	130
VI.1	Marqueurs de contexte : Relation diadique/corrélée	135
VI.2	Marqueurs de contexte : Relation triadique/décorrelée	136
VII.1	Architecture générale de <i>The Sketcher</i>	155
VII.2	Bases de données : modèle classique à trois niveaux	164
VII.3	Situation complexe d'utilisation des lexèmes	169
VIII.1	Une situation typique de <i>Protocols</i>	179
VIII.2	Un patch dans <i>PureData</i>	181
VIII.3	Représentation en score dans <i>PureData</i>	183
VIII.4	<i>OpenMusic</i> : représentations multiples	185
VIII.5	<i>OpenMusic</i> : maquette	186
VIII.6	Représentation schématique d'une situation temporelle dans <i>mondrian</i>	190
VIII.7	Réalisation de la situation	191
VIII.8	Superposition de structures dans <i>mondrian</i>	192
VIII.9	Un espace de travail dans <i>mondrian</i>	193

D.1	Main menus of <i>the Sketcher</i>	243
D.2	<i>move</i> halo	243
D.3	<i>discard</i> halo	244
D.4	Histogram of a SoundStructure	250

Bibliographie

- ADLER, SAMUEL. 1989. *The study of orchestration*. 2e edn. New York : W. W. Norton and Company.
- AMATRIAIN, XAVIER, & HERRERA, PERFECTO. 2002. Transmitting Audio Content as Sound Objects. *In : Proceedings of the 22nd aes international conference on virtual, synthetic and entertainment audio*. AES, Espoo.
- ANDERSEN, P. B. 1992. Computer semiotics. *Scandinavian journal of information systems*, 4.
- ANDREYEV, YURI V., DMITRIEV, ALEXANDER S., & MATVEYEV, MICHAEL A. 1995 (July). Application of chaotic dynamical systems to the problems of recognition and classification. *Pages 249–252 of : Proceedings of the third international specialist workshop on nonlinear dynamics of electronic systems*. NDES, Dublin.
- ANTUNES, JORGE. 1999 (Mars). Archive de la liste cec-discuss.
- APPLE COMPUTER, INC. 1991 (August). *Audio interchange file format AIFF-C*.
- ARONOFF, MARK. 1976. *Word Formation in Generative Grammar*. Cambridge : MIT Press.
- ASHBY, WILLIAM ROSS. 1952. *Design for a brain*. London : Wiley and Sons.
- ASHBY, WILLIAM ROSS. 1956. *Introduction to cybernetics*. London : Chapman Hall. disponible à <http://pcspmc1.vub.ac.be/books/IntroCyb.pdf>.
- ASSAYAG, GÉRARD. 1993. *La composition assistée par ordinateur*. Paris : IRCAM. Chap. CAO : Vers la Partition Potentielle.
- ASSAYAG, GÉRARD. 1998. Computer assisted composition today. *In : First symposium on music and computers*.
- ASSAYAG, GÉRARD, & RUEDA, CAMILO. 1993. The music representation project at ircam. *In : Proceedings of the icmc 93 conference*. Tokyo : ICMA, for ICMA.

- ASSAYAG, GÉRARD, BABONI, JACOPO, & HADDAD, KARIM. 2001. *Open-music 4.0 user's manual reference*. IRCAM, Paris. Disponible à <http://www.ircam.fr/openmusic>.
- BARBAUD, PIERRE. 1968. *La musique, discipline scientifique*. Paris : Dunod.
- BARRIÈRE, JEAN-BAPTISTE (ed). 1991. *Le timbre, métaphore de la composition*. Paris : Christian Bourgois.
- BATESON, GREGORY. 1958. *Naven : a survey of the problems suggested by a composite picture of the culture of a new guinea tribe drawn from three points of view*. 2 edn. Stanford : Stanford University Press. 1ere ed. Oxford University Press, 1936.
- BATESON, GREGORY. 1972. *Steps to an ecology of mind*. New York : Ballantine. Ed. Pref. Steps to an Ecology of Mind, Chicago, The University of Chicago Press, 2000.
- BEARD, ROBERT. 1995. *Lexeme-Morpheme Base Morphology, a General Theory of Inflection and Word Formation*. Albany : SUNY Press.
- BELLEGARD, MATTHEW I., & TSANG, C. P. 1994. Harmonizing music the Boltzmann way. *Connection science*, 281–297.
- BENNETT, GERALD (ed). 1996. *Analyse en musique electroacoustique* Mnémosyne, for Académie Internationale de Musique Electroacoustique.
- BERLIOZ, HECTOR. 1843. *De l'instrumentation*. La Gazette Musicale. ed. Le castor astral, 1994.
- BEURIVÉ, ANTHONY. 2000. Un logiciel de composition musicale combinant un modèle spectral, des structures hiérarchiques et des contraintes. *In : Actes des journées d'informatique musicale 2000*. AFIM, Bordeaux.
- BOBROW, DANIEL G., DEMICHEL, LINDA G., GABRIEL, RICHARD P., KEENE, SONYA E., KICZALES, GREGOR, & MOON, DAVID A. 1988 (September). *Common lisp object system specification*. Tech. rept. v. 23. SIGPLAN Notices.
- BOULEZ, PIERRE. 1970. *Domaines*. New York : Universal Editions. Composition 1961 ; 1ère révision 1968 ; 2nde révision 1969.
- BREGMAN, ALBERT S. 1990. *Auditory scene analysis : The perceptual organization of sound*. Cambridge, Mass. : MIT Press.
- BRESIN, ROBERTO, FRIBERG, ANDERS, & DAHL, SOFIA. 2001. Toward a new model for sound control. *In : Proceedings of the cost g6 conference on digital audio effects*. DAFX, Limerick.

- BUDON, OSVALDO. 2000. Composing with objects, networks, and time scales : an interview with horacio vaggione. *Computer music journal*, **24**(3), 9–22.
- BUKHRES, OMRAN A., & ELMAGARMID, AHMED K. 1996. *Object-oriented multi-database systems*. New York : Prentice Hall.
- BURDEA, GRIGORI, & PIERRE, COIFFET. 1993. *La réalité virtuelle*. Paris : Hermès.
- BURNS, THOMAS, FONG, ELIZABETH N., JEFFERSON, DAVID, KNOX, RICHARD, MARK, LEO, REEDY, CHRISTOPHER, REICH, LOUIS, ROUSSOPOULOS, NICK, & TRUSZKOWSKI, WALTER. 1986. *Reference model for dbms standardization*. SIGMOD Record 15. Database Architecture Framework Task Group (DAFTG) of the ANSI/X3/SPARC Database System Study Group.
- BURTON, ANTHONY R., & VLADIMIROVA, TANYA. 1999. Generation of musical sequences with genetic techniques. *Computer music journal*, **23**(4), 59–73.
- BUSER, PIERRE, & IMBERT, MICHEL. 1983. *Audition*. Neurophysiologie Fonctionnelle, no. 3. Paris : Hermann.
- BUXTON, WILLIAM, BAEKER, WILLIAM, & MEZM, L. 1978. The use of hierarchy and instance in a data structure for computer music. *Computer music journal*, **2**(2).
- CANNON, WALTER BRADFORD. 1932. *The wisdom of the body*. New York : Norton.
- CHAUDHARY, AMAR, & FREED, ADRIAN. 1999. Visualization, editing and spatialization of sound representation using the ose framework. In : *Proceedings of the audio engineering society 107th convention*. AES.
- CHOMSKY, NOAM. 1957. *Syntactic structures*. La Hague : Mouton.
- CLOWES, MARK. 2000. *An investigation of compositional practices in the field of electro-acoustic music, with an evaluation of the main software environments currently in use*. M.Phil. thesis, University of Sheffield.
- COGAN, ROBERT. 1985. *New images of musical sounds*. Cambridge : Harvard University Press.
- COLMERAUER, ALAIN, & ROUSSEL, PHILIPPE. 1996. *History of programming languages*. ACM Press/Addison-Wesley. disponible à <http://www.lim.univ-mrs.fr/colmer/ArchivesPublications/HistoireProlog/19novembre92.pdf>. Chap. The birth of Prolog.
- CONRADI, REIDAR, & WESTFECHTEL, BERNHARD. 1997. Towards a uniform version model for software configuration management. In : *Proceedings of the scm-7 workshop on system configuration management*. SCM.

- COOK, PERRY R. (ed). 1999. *Music, cognition and computerized sound*. Cambridge, Mass. : MIT Press.
- COOKE, MARTIN (ed). 1993. *Modelling auditory processing and organisation*. Cambridge : Cambridge University Press.
- COPE, DAVID. 1997. *Techniques of the contemporary composer*. New-York : Schirmer Books.
- COPE, DAVID. 2001. *Virtual music*. Cambridge, Mass. : MIT Press.
- COURTOT, FRANCIS. 1992. *Carla : Acquisition et induction sur le matériau compositionnel*. Ph.D. thesis, IRISA.
- COURTOT, FRANCIS. 1993. *La création musicale assistée par ordinateur*. Paris : IRCAM. Chap. Entre le Décomposé et l'Incomposable.
- DAHAN, KEVIN. 2000. *Enjeux esthétiques de la synthèse sonore, pour une approche écologique du système de synthèse*. M.Phil. thesis, Université de Bourgogne.
- DAHAN, KEVIN. 2001. *Systèmes dynamiques dans la création musicale assistée par ordinateur*. M.Phil. thesis, Université de Paris 8.
- DAHAN, KEVIN, & POLLET, DAMIEN. 2004. Towards an object grammar for electroacoustic music analysis and composition. *In : Proceedings of the CIM'04 conference*. ESCOM, Graz.
- DAHAN, KEVIN, BROWN, GUY, & EAGLESTONE, BARRY. 2003. New strategies for computer-assisted composition system : a perspective. *In : Proceedings of the international computer music conference*. ICMA, Singapore.
- DE OLIVEIRA, ANDRE L. G., & DE OLIVEIRA, LUIS F. 2003. Toward an ecological aesthetics : music as emergence. *In : IX brazilian symposium on computer music*. <http://gsd.ime.usp.br/sbcm/2003/>.
- DELERUE, OLIVER, & AGON, CARLOS. 2000. Openmusic + musicspace = openspace. *In : Actes des journées d'informatique musicale*.
- DENECKE, MATHIAS. 2000. Object-oriented techniques in grammar and ontology specification. *In : Proceedings of the workshop on multilingual speech communication*. MSC, Kyoto.
- DESAINTE-CATHERINE, MYRIAM, & BEURIVÉ, ANTHONY. 2002. Time modeling for musical composition. *In : Proceedings of the 1st international conference on fuzzy systems and knowledge discovery : Computational intelligence for the e-age*. FSKD, Singapore.

- DORST, JEAN. 1972. Réflexions sur les rapports de l'homme et de la nature. *Critères*.
- DRUMMOND, JON. 1997. Integrated development environment for computer music composition. *In : Proceedings of the icmc 97 conference*. Thessaloniki : ICMA, for ICMA.
- EAGLESTONE, BARRY M. 1994. An artistic design system. *In : Sofsem '94 invited talks*. Czech Society of Computer Science, Milovy.
- EAGLESTONE, BARRY M., & FORD, NIGEL. 2002. Computer support for creativity : Help or hindrance. *In : ARiADA Texts*, vol. 2. University of East Anglia.
- ECK, DOUGLAS, & SCHMIDHUBER, JÜRGEN. 2002. *A first look at music composition using lstm recurrent neural networks*. Tech. rept. IDSIA-07-02. IDSIA, Manno.
- EIGENFELDT, ARNE. 1989. *In the light of the Above*.
- EMMERSON, SIMON (ed). 1986. *The language of electroacoustic music*. London : MacMillan.
- ESCOM04. 2004. *ESCOM - Musicae scientiae Discussion Forum*.
- ESSL, KARLHEINZ. 1995. Lexikon sonate. an interactive realtime composition for computer-controlled piano. *In : Second brazilian symposium on computer music*.
- FALK, JULIEN. 1958. *Précis technique de composition musicale, théorique et pratique*. Alphonse Leduc.
- FELDMAN, MORTON. 1965. *The king of denmark*. New York : C. F. Peters Corporation.
- FENEYROU, LAURENT (ed). 2001. *Jean Barraqué : Ecrits*. Publications de la Sorbonne.
- FFITCH, JOHN. 2002-2004. Communications Personnelles.
- FLETCHER, HARVEY. 1929. *Speech and hearing in communication*. New-York : Van Nostrand. reed. 1953.
- FORTE, ALLEN. 1982. *Introduction to schenkerian analysis*. New York : WW Norton Company.
- FREED, ADRIAN. 1996. *Improving graphical user interfaces for computer music application*. CNMAT website.
- GIBSON, JOHN J. 1966. *The senses considered as perceptual systems*. Boston : Houghton Mifflin.
- GIBSON, JOHN J. 1979. *The ecological approach to visual perception*. Boston : Houghton Mifflin.

- GIUNTI, MARCO. 1997. *Computation, dynamics and cognition*. Oxford : Oxford University Press.
- GREGORY, RICHARD L. (ed). 1987. *The Oxford companion to the mind*. Oxford : Oxford University Press.
- GRIFFITH, NIALL, & TODD, PETER M. (eds). 1999. *Musical networks : Parallel distributed perception and performance*. Cambridge, Mass. : MIT Press.
- HAKEN, HERMANN. 1977. *Synergetics*. Berlin : Springer-Verlag.
- HAKEN, HERMANN (ed). 1988. *Neural and synergetics computers*. Schloss Elmau : Springer-Verlag.
- HANAPPE, PETER. 1996. *Intégrations des représentations temps/fréquence et des représentations musicales symboliques*. Tech. rept. Université de Paris VI.
- HANAPPE, PETER. 1999. *Design and implementation of an integrated environment for music composition and synthesis*. Ph.D. thesis, Université de Paris VI.
- HANAPPE, PETER, & ASSAYAG, GÉRARD. 1998. Composition on top of real-time sound synthesis. *In : Actes des journées d'informatique musicale*. Publication du LMA.
- HARTSHORNE, CHARLES, & PAUL WEISS, (VOLS. 1-6), ARTHUR W. BURKS (VOLS. 7-8) (eds). 1931-1958. *Collected papers of Charles Sanders Peirce*. Cambridge, Mass. : Harvard University Press. 8 volumes.
- HEIJINK, HANK, DESAIN, PETER, HONING, HENKJAN, & WINDSOR, LUKE. 2000. Make me a match : An evaluation of different approaches to score-performance matching. *Computer music journal*, **24**(1), 43–56.
- HEISENBERG, WERNER K. 1969. *Der Teil and das Ganze*. Munich : R. Piper. Trad. "La Partie et le Tout, le Monde de la Physique atomique (Souvenirs, 1920-1965)", Paris, Flammarion.
- HEWLETT, WALTER B., & SELFRIDGE-FIELD, ELEANOR (eds). 1998. *Melodic Similarity : Concepts, procedures and applications*. Computing in Musicology, no. 11. Cambridge, Mass. : CCARH/MIT Press.
- HEWLETT, WALTER B., & SELFRIDGE-FIELD, ELEANOR (eds). 2001. *The Virtual Score : Representation, retrieval restoration*. Computing in Musicology, no. 12. Cambridge, Mass. : CCARH/MIT Press.
- HIRST, DAVID. 2002. Developing analysis criteria based on denis smalley's timbre theories. *Pages 43–52 of : Proceedings of the acmc 2002 conference*. ACMA, Melbourne.

- HOLLAND, JOHN H. 1992. *Adaptation in natural and artificial systems*. 5th printing edn. Cambridge, Mass. : MIT Press. Org. 1975. Version largement augmentée.
- HOPPIN, RICHARD H. 1978. *Medieval music*. New York : Norton. Trad. Fr. "La musique médiévale", 1995, Bruxelles, Mardaga.
- HORODYSKI, TIMOTHÉE. 1999. *Varèse : Héritages et confluences*. Ph.D. thesis, Université de Paris 8. Pub. Presses Universitaires du Septentrion.
- HOUSER, NATHAN, & KLOESEL, CHRISTIAN (eds). 1992. *The essential peirce. selected philosophical writings (1867-1893)*. Vol. 1. Bloomington : Indiana University Press.
- HOWE, DENIS (ed). 1993-2004. *Free On-line Dictionary of Computing*. <http://www.foldoc.org> edn. London : Imperial College.
- ITURBIDE, MANUEL ROCHA. 1999. *Les techniques granulaires dans la synthèse sonore*. Ph.D. thesis, Université de Paris 8.
- JAFFE, DAVID A., & BOYNTON, LEE R. 1989. An overview of the sound and music kits for the next computer. *Computer music journal*, **13**(2), 48-55.
- JORDA, SERGI. 2001. New musical interfaces and new music making paradigms. *In : Proceedings of the NIME Workshop*.
- KELLER, DAMIAN. 1999. *Touch 'n' go : Ecological models in composition*. M.Phil. thesis, Simon Fraser University, Burnaby.
- KELLY, KEVIN, HEILBRUN, ADAM, & STACKS, BARBARA. 1989. Interview with Jaron Lanier. *Whole earth review*.
- KELSO, JOHN A. SCOTT. 1995. *Dynamic patterns : The self-organization of brain and behavior*. Cambridge, Mass. : MIT Press.
- KIRBY, GRAHAM N. C. 1992. *Reflection and hyper-programming in persistent programming system*. Ph.D. thesis, University of Saint Andrews.
- KNUTH, DONALD E. 1997. *Fundamental algorithms*. 3e edn. The Art of Computer Programming, no. 1. Boston : Addison Wesley.
- KNUTH, DONALD E. 1998a. *Seminumerical algorithms*. 3e edn. The Art of Computer Programming, no. 2. Boston : Addison Wesley.
- KNUTH, DONALD E. 1998b. *Sorting and searching*. 2e edn. The Art of Computer Programming, no. 3. Boston : Addison Wesley.
- KOFFKA, K. 1935. *Principles of gestalt psychology*. New York : Harcourt Brace.

- KOHONEN, TEUVO. 1995. *Self-organizing maps*. New-York : Heidelberg.
- KRONLAND-MARTINET, RICHARD. 1988. The wavelet transform for the analysis, synthesis and processing of speech and music sounds. *Computer music journal*, **12**(4), 11–20.
- KRONLAND-MARTINET, RICHARD. 2002-2004. Communications personnelles.
- LALIBERTÉ, MARTIN. 1993. *Un principe de la musique électroacoustique et son incidence sur la composition*. Ph.D. thesis, EHESS-IRCAM.
- LANDAU, GAD M., SCHMIDT, JEANETTE P., & TSOTRAS, VASSILIS J. 1995. Historical queries along multiple lines of time evolution. *Vldb j.*, **4**(4).
- LANSKY, PAUL. 1979. *Six fantasies on a poem by Thomas Campion*.
- LARTILLOT, OLIVIER. 2004. *Fondements d'un système d'analyse musicale computationnelle suivant une modélisation cognitiviste de l'écoute*. Ph.D. thesis, Université de Paris 6.
- LEIPP, ÉMILE. 1971. *Acoustique et musique*. Paris : Masson.
- LERDAHL, FRED, & JACKENDOFF, RAY. 1983. *A generative theory of tonal music*. Cambridge, Mass. : MIT Press.
- LESOURNE, JACQUES. 1976. *Les systèmes du destin*. Paris : Dalloz.
- LICATA, THOMAS. 2002. *Electroacoustic music : Analytical perspectives*. Westport : Greenwood Press.
- LILLIOS, ELAINIE. 2000. *Threads*. eContact! 3.3 : Women in Electroacoustics.
- MALHAM, DAVID G. 1998. Soudn spatialization. *In : DAFX'98 Proceedings*.
- MALT, MIKHAIL. 1993. *Introduction á patchwork*. IRCAM, Paris.
- MANDELBRODT, BENOÛT. 1975. *Les objets fractals*. Paris : Gallimard.
- MATHEWS, MAX V., & PIERCE, JOHN R. (eds). 1989. *Current directions in computer music research*. Cambridge, Mass. : MIT Press.
- MATURANA, HUMBERTO, & VARELA, FRANCISCO. 1980. *Autopoiesis and cognition : The realization of the living*. Boston Studies in the Philosophy of Science. Boston : D. Reidel.
- MCADAMS, STEPHEN. 1996. *The mind-brain continuum*. Cambridge, Mass. : MIT Press. Chap. Audition : Cognitive Psychology of Music, pages 251–279.
- MCADAMS, STEPHEN. 1999. Perspectives on the contribution of timbre to musical structure. *Computer music journal*, **23**(3), 85–102.

- MCADAMS, STEPHEN, WINSBERG, S, DE SOETE, G, & KRIMPHOFF, J. 1995. Perceptual scaling of synthesized musical timbres : Common dimensions, specificities and latent subject classes. *Psychological research*, 177–192.
- MEEÛS, NICOLAS. 2001. Le statut sémiologique de l'analyse musicale. *Pages 549–562 of : Actes du troisième congrès européen d'analyse musicale - 1995*. Montpellier : L'Harmattan.
- MERLEAU-PONTY, MAURICE. 1945. *Phénoménologie de la perception*. Paris : Gallimard.
- MESNAGE, MARCEL, & RIOTTE, ANDRÉ. 1993. *La composition assistée par ordinateur*. Les cahiers de l'IRCAM. Paris : IRCAM. Chap. Modélisation informatique de partitions, analyse et composition assistée.
- MESSIAEN, OLIVER. 1945. *Technique de mon langage musical*. Paris : Alphonse Leduc.
- MEYER, BERTRAND. 1992. *Eiffel : The Language*. Object Oriented Series. Upper Saddle River : Prentice Hall.
- MEYER, BERTRAND. 1997. *Object Oriented Software Construction*. 2nd. ed. edn. Upper Saddle River : Prentice Hall.
- MICROSOFT. 2001 (December). *Multiple channel audio data and wave files*.
- MIHALIČ, ALEXANDER. 2000. *Modèles extramusicaux dans la composition musicale*. Ph.D. thesis, Université de Paris 8.
- MINSKY, MARVIN. 1985. *The society of mind*. New-York : Simon and Schuster. Ed. Fr. La société de l'esprit, InterEditions, Paris, 1988.
- MOLINO, JEAN. 1975. Fait musical et sémiologie de la musique. *Musique en jeu*, 17.
- MOORE, ADRIAN J. 2002-2004. Communications personnelles.
- MOORE, F. RICHARD. 1990. *Elements of computer music*. Englewood Cliffs : Prentice Hall.
- MOORER, JAMES A. 1976. *The use of linear prediction of speech in computer music applications*. Tech. rept. IRCAM.
- MOZER, MICHAEL C. 1994. Neural network music composition by prediction : Exploring the benefits of psychoacoustic constraints and multiscale processing. *Connection science*, 6, 247–280.
- NATTIEZ, JEAN-JACQUES. 1975. *Fondements d'une sémiologie de la musique*. Paris : Union Générale d'Éditions.

- NATTIEZ, JEAN-JACQUES. 1987. *Musicologie générale et sémiologie*. Paris : Christian Bourgeois.
- NICOLAS, FRANCOIS. 1998 (Février). *Qu'est-ce qu'un style de pensée musical ?* Séminaire Musique et Style.
- NIELSEN, JAKOB. 1995. Noncommand user interfaces. *Communications of the acm*, **36**(4), 83–99. Version augmentée disponible à <http://www.useit.com/papers/noncommand.html>.
- NUHN, RALPH, EAGLESTONE, BARRY, FORD, NIGEL, MOORE, ADRIAN J., & BROWN, GUY. 2002. A qualitative survey of composers at work. *Pages 572–598 of : Proceedings of the international computer music conference*. ICMA, Cuba.
- PACHET, FRANCOIS, & DELERUE, OLIVIER. 1998. A mixed 2d/3d interface for music spatialization. *In : First international conference on virtual worlds*. Lectures Notes in Computer Science. Springer.
- PAGE, MICHAEL P. A. 1994. Modelling the perception of musical sequences with self-organizing neural networks. *Connection science*, 223–246.
- PEIRCE EDITION PROJECT (ed). 1998. *The essential peirce. selected philosophical writings (1893-1913)*. Vol. 2. Indiana University Press.
- PICARD, ROSALIND. 1997. *Affective computing*. Cambridge, Mass. : MIT Press.
- POLI, GIOVANNI DE, PICCIALI, ALDO, & ROADS, CURTIS. 1991. *Representations of musical signals*. Cambridge, Mass. : MIT Press.
- POPE, STEPHEN. 2002 (Septembre). Communication personnelle.
- POPE, STEPHEN J. 1992. The SmOKe music representation, description language, and interchange format. *In : ICMA (ed), Proceedings of the icmc 92*.
- POPPER, KARL R. 1934. *Logik der forschung : Zur erkenntnistheorie der modernen naturwissenschaft*. Vienne : ??? Ed. Fr. La logique de la découverte scientifique, Payot, Paris, 1973.
- PRIGOGINE, ILYA. 1996. *La fin des certitudes*. Paris : Odile Jacob.
- PUCKETTE, MILLER. 2002a (Septembre). Communication Personnelle.
- PUCKETTE, MILLER. 2002b. Using Pd as a score language. *In : Proceedings of the icmc 02*. ICMA, Göteborg.
- RISSET, JEAN-CLAUDE. 1997. Problèmes d'analyse : quelques clés pour mes premières pièces numériques, little boy et mutations. *In : IMEB (ed), Actes de l'académie internationale de musique électroacoustique*.

- ROADS, CURTIS. 1985. *Composers and the computer*. New-York : William Kaufmann.
- ROADS, CURTIS (ed). 1989. *The music machine : selected readings from the Computer Music Journal*. Cambridge, Mass. : MIT Press.
- ROADS, CURTIS. 1996. *The computer music tutorial*. Cambridge, Mass. : MIT Press.
- ROADS, CURTIS. 2001. *Microsound*. Cambridge, Mass. : MIT Press. Refonte de La synthèse et la transformation des micro-sons, thèse de doctorat de l'Université Paris 8, 1998.
- ROADS, CURTIS, PICCIALI, ALDO S. T., & POLI, GIOVANNI DE. 1997. *Musical signal processing*. Heereweg : Swets Zeitlinger.
- ROBERTSON, GEORGE G., MACKINLAY, JOSH D., & CARD, KEVIN S. 1991. Cone trees animated 3d visualizations of hierarchical information. *Pages 189–194 of : Acm conference on human factors in computing systems*. CHI.
- ROSEN, CHARLES. 1972. *The classical style*. New York : W. W. Norton. Trad. fr. Le style classique : Haydn, Mozart, Beethoven ; Seuil.
- ROUET, OLIVIER. 1999. *Travail d'étude et de recherche sur les rapports entre l'informatique, les sciences cognitives et l'art*. Mémoire de DEA, Université de Paris I-Sorbonne.
- RUBENSTEIN, WILLIAM B. 1987. A database design for musical information. *In : Proceedings of the 1987 acm sigmod international conference on management of data*. ACM SIGMOD, San Francisco.
- RUWET, NICOLAS. 1972. *Langage, musique, poésie*. Paris : Seuil.
- SCHAEFFER, PIERRE. 1966. *Traité des objets musicaux*. Paris : Seuil.
- SCIPIO, AGOSTINO DI. 1998. Questions Concerning Music Technology, From Heidegger's View to Feenberg's Subversive Rationalization. *Switch*.
- SHNEIDERMAN, BEN. 1998. *Designing the user interface*. Reading : Addison Wesley.
- SMALLEY, DENIS. 1986. *The language of electroacoustic music*. London : MacMillan. Chap. Spectromorphology and Structuring Processes.
- SMARAGDIS, PARIS. 1997. *Information theoretic approaches to source separation*. Ph.D. thesis, MIT, Boston.
- SMITH, STEVEN W. 1999. *The scientist and engineer's guide to digital signal processing*. San Diego : California Technical Publishing.
- SOLOMOS, MAKIS. 1996. *Iannis xenakis*. Paris : Mercures.

- SOWA, JOHN. 2000. *Knowledge representation : Logical, philosophical and computational foundation*. Pacific Grove : Brooks Cole Publishing.
- SPEVAK, CHRISTIAN, & POLFREMAN, RICHARD. 2000. Analysing auditory representations for sound classification with self-organising neural networks. *In : Dafx'00 proceedings*. Disponible à <http://profs.sci.univr.it/dafx/DAFx-final-papers.html>.
- STEIN, LYNN A. 1999. *Interactive programming in java*. Tech. rept. MIT. Disponible à <http://www-cs101.ai.mit.edu/ipij/>.
- STROPPA, MARCO. 1984. The analysis of electronic music. *Contemporary music review*, 175–180.
- STROPPA, MARCO. 2000. Paradigms for the high-level control of digital signal processing. *In : Dafx'00 proceedings*.
- SUPPER, MARTIN. 2001. A few remarks on algorithmic composition. *Computer music journal*, **25**(1), 48–53.
- THOM, RENÉ. 1988. *Esquisse d'une sémiophysique*. Paris : InterEditions.
- TIMMERS, RENEE. 2002. *Freedom and constraints in timing and ornamentation : Investigations of music performance*. Ph.D. thesis, Katholieke Universiteit von Nijmegen. Pub. Shaker Publishing.
- TIMSIT-BERTHIER, M., BOOTZ, PH., FAVORY, J., FORMOSA, M., MANDELBROJT, J., PAILLARD, J., PROD'HOMME, L., & FRÉMIOT, M. 2004. Les Unités Temporelles Sémiotiques (UST) : Un nouvel outil d'analyse musicale. description et approche biosémiotique. *In : Colloque de rochebrune*.
- TRIVIÑO-RODRIGUEZ, JOSÉ LUIS, & MORALES-BUENO, RAFAEL. 2001. Using multiattribute prediction suffix graphs to predict and generate music. *Computer music journal*, **25**(3), 62–79.
- TRUAX, BARRY. 1999. Time and electroacoustic music. *In : Presentation to l'academie internationale de musique electroacoustique*. IMEB, Bourges.
- TRUAX, BARRY. 2003. Music and science meet at the micro level : Time-frequency methods and granular synthesis. *In : Proceedings of the music viva conference*. <http://www.sfu.ca/truax/mviva.html>.
- TUCKER, SIMON, & BROWN, GUY J. 2002. Timbral segregation of sonar transients using auditory processing techniques. *In : Proceedings of the underwater defence technology europe 2002 conference*. UDT, La Spezia.

- TUKEY, J. W., BOGERT, B. P., & HEALY, M. J. R. 1963. The quefrency alanalysis of time series for echoes : cepstrum, pseudo-autocovariance, cross-cepstrum, and sapher-cracking. *Pages 209–243 of : Proceedings of the symposium on time series analysis.* New York : John Wiley and Sons.
- TURING, ALAN J. 1936-7. On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem. *Pages 230–265 of : Proceeding of the london mathematical society*, vol. 2. London Mathematical Society, London. correction *ibid.* 43, pp 554-546 (1937).
- UNGAR, DAVID, & SMITH, RANDALL B. 1987. Self : The Power of Simplicity. *Pages 227–241 of : OOPSLA '87 Conference Proceedings.* OOPSLA, Orlando.
- VAGGIONE, HORACIO. 1996. Vers une approche transformationnelle en cao. *In : DE CAEN, UNIVERSITÉ (ed), Actes des journées d'informatique musicales.*
- VAGGIONE, HORACIO. 1998. Son, temps, objet, syntaxe. vers une approche multi-échelle dans la composition assistée par ordinateur. *Cahiers de philosophie du langage*, 169–202.
- VAGGIONE, HORACIO. 2000. Composition musicale et moyens informatiques : Questions d'approche. *In : Colloque musica e tecnologica domani.*
- VAGGIONE, HORACIO. 2001a. *Cours de troisième cycle.* Université de Paris 8.
- VAGGIONE, HORACIO. 2001b. Some ontological remarks about music composition processes. *Computer music journal*, **25**(1), 54–64.
- VAGGIONE, HORACIO. 2002 (Septembre). Communication Personnelle.
- VARELA, FRANCISCO. 1979. *Principles of biological autonomy.* New-York : Elsevier (North Holland).
- VARELA, FRANCISCO. 1996. *Introduction aux sciences cognitives.* Paris : Seuil. Trad. enrichie de "Cognitive Science : A cartography of current ideas", non publié ; trad. "Connaître. Les Sciences Cognitives, tendances et perspectives", Paris, Seuil, 1989.
- VERTEGAAL, ROEL, & EAGLESTONE, BARRY. 1998. Looking for sound? selling perceptual space in hierarchically nested boxes. *In : Summary of the acm chi'98 conference on human factors in computing systems.* ACM SIGCHI, Los Angeles.
- VON BERTALANFFY, LUDWIG. 1968. *General systems theory.* New York : George Braziller.
- VON HELMHOLTZ, HERMANN F. 1896. *Die lehre von den tonempfindungen als physiologische grundlage für die theorie der musik.* 5 edn. Braunschweig : Vieweg und Sohn. Trad. "Physiologie de la Musique", Paris, Ed. Jacques Gabay, 1990.

- WEGNER, PETER, & GOLDIN, DINA. 2003. Computation beyond turing machines. *In : Communications of the acm.* ACM.
- WEHINGER, RAINER, & LIGETI, GYÖRGY. 1970. *Artikulation. an aural score.* Mainz : Schott.
- WIENER, NORBERT. 1948. *Cybernetics, or control and communication in the animal and machine.* Cambridge, Mass. : MIT Press.
- WINDSOR, WILLIAM L. 1995. *A perceptual approach to the description and analysis of electroacoustic music.* Ph.D. thesis, University of Sheffield.
- WISHART, TREVOR. 1994. *Audible design.* York : Orpheus the Pantomime.
- WITTGENSTEIN, LUDWIG. 1922. *Tractatus logico-philosophicus.* London : Routledge Kegan Paul, Ltd.
- WRIGLEY, STUART N., & BROWN, GUY J. 2001. A neural oscillator model of auditory attention. *Pages 1163–1170 of : Lecture notes in computer science*, vol. 2130. Berlin : Springer-Verlag.
- WÜST, OTTO, & JORDA, SERGI. 2001. Architectural overview of a system for collaborative music composition over the web. *In : Proceedings of the international computer music conference.* ICMA, La Havana.
- XENAKIS, IANNIS. 1963. *Musiques formelles.* Vol. 253-254. Paris : Revue Musicale. Reed. (pref.) Paris, Stock, 1981.
- XENAKIS, IANNIS. 1967. *Pithoprakta.* New York : Boosey Hawkes. Composition 1955-1956.

Quatrième partie

Annexe : User's Guide to the Sketcher

The Sketcher

v0.99

User's Guide

Kevin Dahan
University of Sheffield
kevin.dahan@wanadoo.fr

Annexe A

INTRODUCTION

The Sketcher is a software tool for computer assisted composition. Unlike the majority of the others computer-aided composition systems, it is strongly oriented towards electroacoustic music. Its name also evokes this first goal : to provide the composers with a tool that let them work throughout their sketches of a composition, instead of providing a system with "only" the facilities to produce a final composition. For example, one of the main requirements for it has been the possibility of providing the user with a totally untyped workspace, in which he can freely arrange the artefacts (files, drawing, etc. . .) used to create a composition without the limitation of a time- or frequency-oriented paradigm. The Sketcher has been developed over a period of one year (with only 6 months of actual implementation) needless to say, it misses a lot of features, but introduces several concepts that are quite new in the world of computer-assisted composition. This is what will be described in this guide. The Sketcher is still (of course!) under development¹⁵⁷, and many improvements are yet to be done.

¹⁵⁷A major rewriting is currently under investigation.

Annexe B

REQUIREMENTS

The Sketcher can theoretically run on an impressive number of platforms, thanks to the language used for its implementation it has been developed using the Squeak Smalltalk implementation working in a Linux system. However, the installation may be tricky, that's why we provide a LiveCD image. All you'll have to do is to put the CD-ROM in your computer, tell the BIOS to boot from it, and voilà, you are in front of a Linux system. Just click on The Sketcher icon, wait a moment (the image is quite big), and you are now in the system! As a rough guide, here are the system requirements :

- 1) To use the Sketcher LiveCD : x86-compatible computer (min. 500Mhz, 1GHz+ recommended), 256MB RAM (512MB recommended), CD-Rom drive, Recommended : Monitor that can do 1024x768.
- 2) To use a Sketcher image : any supported architecture (x86 running linux, windows ; ppc running MacOS9, OSX ; IRIX), 256MB RAM (512MB recommended), a Squeak executable (please use the one we provide, unless you know how to re-configure and recompile a Squeak VM), To use the external tools : a Csound installation ; an Audacity installation. To use the database : an installation of MySQL, with a 'sketcher' account (password : 'sketcher'). Forms are provided in the zip file.

Annexe C

CONCEPTS

The Sketcher works with a number of concepts you should make yourself familiar with before starting to read through the description of its functionalities.

C.1 SQUEAK JARGON

This is perhaps the most important vocabulary to learn at first. It is widely used in this guide, and will surely help you feel more at ease when working with The Sketcher.

C.1.1 VM IMAGE

The first and most important concept to grasp is that of how Squeak functions (and, by extension, all Smalltalk implementations do). Basically, you need two distinct parts to make a Squeak system. One is system-dependent, and is called the Virtual Machine (VM), while the other is system-independent (theoretically, and of course, if you don't use complicated extensions to make system-specific calls), and is called the image. The VM is used to "translate" Squeak code into platform-understandable code, making it easy for the programmer to port his software on a variety of platforms. The Sketcher is in fact, you guessed it, the image part of a Squeak system.

C.1.2 PROJECTS

A project is a specific part of an image. Usually programmers put in a project everything related to software they're working on. A project can also contain projects, and so on, creating a tree within the image, with the root being the image itself. A project is graphically represented by its desktop, very much like the usual desktop one

can find in modern operating system. "Entering" a project is really easy : just click on the small window that represents a miniature of the project's desktop.

C.1.3 UI

Squeak's user interface is really straightforward. The mouse controls everything, and all three buttons are used (if you have only two buttons, the third button is usually emulated by clicking both buttons at the same time). Clicking on the desktop with the left-hand button will pop-up 'The World Menu', which content is self-explanatory. The right-hand button is used to select graphical objects. When you use this command, a number of small, circled pictograms will pop-up around the selected object, called 'halos'. Each halo let you perform a certain action on the object. A description of the action is given when you leave your cursor over the halo for a second.

C.1.4 VARIOUS TOOLS AND UTILITIES

There are several other tools that you may find interesting when working with The Sketcher you can open them all by selecting "The World Menu". First of all is the "Transcript", commonly used to echo information about running processes. You will probably find useful to keep one open in a corner of your desktop when working on a composition, since The Sketcher will send many information through this medium. Once you will be more used to the system, perhaps you will find interest in debugging and/or enhancing the code. You will then need to use the "Browser", which is used to navigate though classes, and the "Workspace" really useful to evaluate small portions of code. Unfortunately, it is well beyond the scope of this guide to teach you how to code in Smalltalk...

C.2 THE SKETCHER ENVIRONMENT

C.2.1 OBJECTS-VOCABULARY

The Sketcher takes full profit of the object-orientation facilities the Squeak language provides. Everything in The Sketcher is an object that sends and reacts to messages other objects send. Without going into implementation details, we will describe what you need to know about objects in The Sketcher before using it.

C.2.1.1 SoundStructures

Whatever you do, you will be using SoundStructures (if you want to do music, that is!), so you should make familiar with the concept. A SoundStructure is the term we use to designate every musical object in the system that means MIDI, AIFF, Csound, Strands files, plus Lexeme and Score.

C.2.1.2 Special Cases of SoundStructures

There are two special cases of SoundStructures :

C.2.1.2.a *Lexeme*

A Lexeme is a special SoundStructure composed by two SoundStructures and a time relation, which can be of two types, TimeLink (meaning the first structure is played, there is a n second gap, and then the second structure is played), or TimeMix (meaning the first structure is played, and the second is started after n seconds).

C.2.1.2.b *Score*

A Score functions essentially like a Lexeme, except there is no limitation to the number of structures you can use.

C.2.1.3 StatisticalFeature

Out of SoundStructures you can create StatisticalFeature objects, which represents the original SoundStructure's statistical data. These StatisticalFeature objects can be modified and can be used to alter any SoundStructure you wish.

C.2.1.4 Symbol

A Symbol is a drawing the user attaches to a SoundStructure.

C.2.2 FEATURES

The Sketcher has been designed so as to provide the more control it can to the composer. One way of doing it is to provide the user total control over the way of representing the structures used in a composition. That means any SoundStructure can be represented by a number of ways. It is possible to roughly classify the representations in four groups :

- (a) Abstract The user defines himself the representation, with symbols,

- (b) Neutral System’s default, tile-representation,
- (c) Physical Dependent upon the file’s type, from piano roll to sonagram, approximate the most unbiased view on an object,
- (d) Meta-Data Mostly statistical data on an object (for now).

The other strong point of The Sketcher lies in the fact that there is little ultimately no differences between the files you can use¹⁵⁸. To the user it is evident in that, no matter of what type is a file, you can use the same operations, and, moreover, indifferently transfer the result of the operations from one type to another. The Sketcher is also a spy : every action the user does on an object is stored into a database. Although this is for the moment purely a logging facility, there is an enormous potential to exploit the data created.

¹⁵⁸In fact, this is true (at the moment) for 4 classes out of 6 that handle musical files

Annexe D

WORKING WITH THE SKETCHER

D.1 (VERY) QUICK TOUR

Everything in The Sketcher is menu-driven, so you shouldn't have to worry about complex manipulations there is nothing complicated in the interface. Here's a screenshot of the basic desktop :

The workspace is blank, with the exception of the menu and of the right-hand corner : this is a miniature of a sub-project, called "Symbolic Sketch", in which the user can only work on symbols, hence concentrating on the symbolic arrangement of structures without being distracted by the profusion of objects that scatter the workspace.

Soon after having loaded a few files, your desktop will be containing a number of tiles, neutral representation of objects. They stick on the workspace, so that you cannot drag them out inadvertently. In order to move them, you need to right-click on it, and then select the "move" halo :

And if you want to get rid of an object, select the "discard" halo :

This is true for most of graphic objects in the Squeak environment.

D.2 FUNCTIONS

We will now proceed to the formal description of the functions you will find in The Sketcher, starting from the main menu.

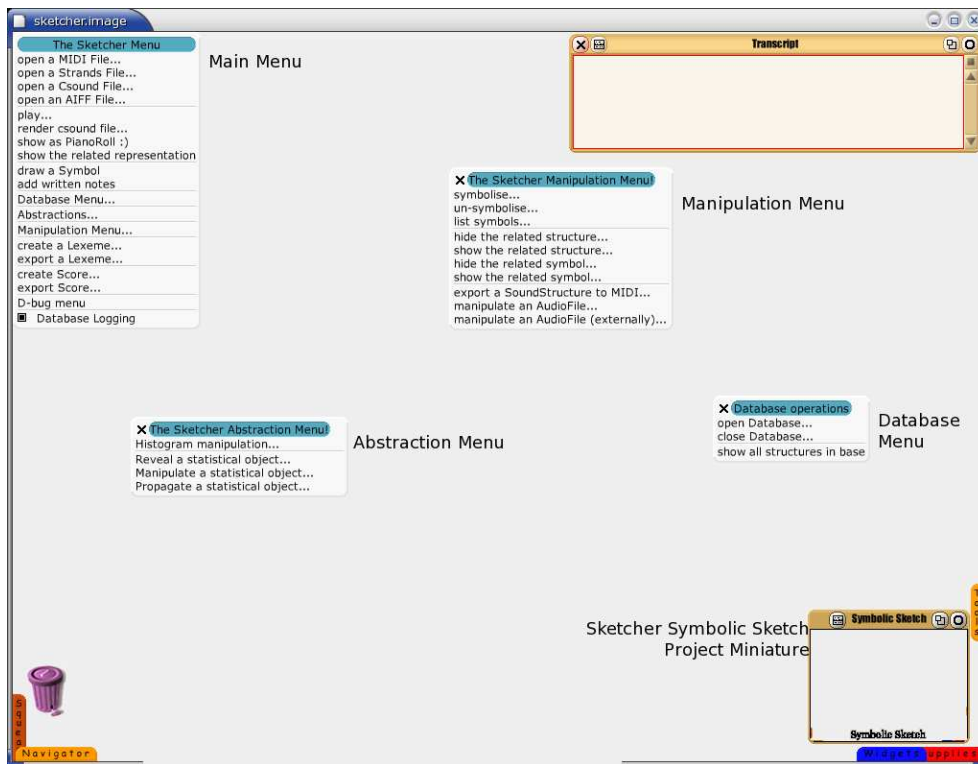


FIG. D.1 – Main menus of *the Sketcher*



FIG. D.2 – *move* halo

FIG. D.3 – *discard* halo

D.2.1 SKETCHER MENU (MAIN MENU)

D.2.1.1 File Functions

D.2.1.1.a Open a MIDI File

Effect

Selecting this option will pop up a file list, allowing you to load a .mid file. The file loaded will be shown on the desktop as a tile, the name of which will appear when selected.

Limitation

Use complex polyphonic MIDI files at your own risk. You may lose data, or it will simply not work.

D.2.1.1.b Open a Strands File

Effect

Selecting this option will pop up a file list, allowing you to load a .strands file. The file loaded will be shown on the desktop as a tile, the name of which will appear when selected. Strands file are created using a special Java program by Guy Brown.

Limitation

Strands file are not created from within The Sketcher. The time needed to create them is long and their use per se in a composition raise the problem, among others,

of the resynthesis quality.

D.2.1.1.c Open a Csound File

Effect

Selecting this option will pop up a file list, allowing you to load a .sco file. The file loaded will be shown on the desktop as a tile, the name of which will appear when selected. An instance of Csound is launched, and the file is rendered. This takes some time before getting the hand back.

Limitation

This will work only if the matching .orc exists (same name). Not all features of SoundStructures will work.

D.2.1.1.d Open an AIFF File

Effect

Selecting this option will pop up a file list, allowing you to load a .aiff or .aif file. The file loaded will be shown on the desktop as a tile, the name of which will appear when selected.

Limitation

Not all features of SoundStructures will work.

D.2.1.2 Play/Representation functions

D.2.1.2.a Play

Effect

This will allow the user to select a graphical object. The object corresponding to the graphical object selected is then played.

Limitation

None.

*D.2.1.2.b Render Csound File**Effect*

This will allow the user to select a Csound object (or a symbol related to a Csound object). The corresponding files will be sent to an instance of Csound for rendering. On UNIX platforms, errors are reported on tty0.

Limitation

None.

*D.2.1.2.c Show as Piano Roll**Effect*

Will allow the user to select a graphical object. The object corresponding to the graphical object is shown as a MIDI piano roll.

Limitation

Will only work for MIDI, Strands File, and certain types of Lexemes and Scores.

*D.2.1.2.d Show the related representation**Effect*

Will allow the user to select a graphical object. The object corresponding to the graphical object is then shown using its (typed) physical representation as follow :

- (a) MIDI files are shown as piano roll,
- (b) Strands files are shown using their time-frequency representation,
- (c) Csound files are shown using text editors,
- (d) AIFF files are represented using a sonogram,
- (e) Lexemes are shown using a graphical time-based representation.

Limitation

Scores are not representable.

D.2.1.3 User-defined objects

D.2.1.3.a Draw a Symbol

Effect

The user will be presented an icon, which, when dropped, will allow him to define a free-hand drawing. Once done, the user is asked a name, and the drawing is saved as a .jpeg file for database purpose.

Limitation

None.

D.2.1.3.b Add written notes

Effect

The user will be presented a box, in which he can enter text. Once finished, he can put the text anywhere on the desktop.

Limitation

None.

D.2.1.4 Lexeme Operations

D.2.1.4.a Create a Lexeme

Effect

The user is asked to select a first, a second structure, a link type, then finally a duration. A new object is created, whose tile representation can be dropped anywhere on the desktop.

Limitation

None.

D.2.1.4.b Export a Lexeme

Effect

The lexeme object selected is exported as a .sklx file.

Limitation

None.

D.2.2 Score Operations*D.2.2.0.c Create Score**Effect*

The user is asked to select a structure, a second, a link type and duration, as long as he wishes. He can end the process by clicking on a blue rectangle in the bottom-left hand corner.

Limitation

None.

*D.2.2.0.d Export Score**Effect*

The Score object is exported as a .sksc file.

Limitation

None.

D.2.3 DATABASE MENU**D.2.3.1 Open Database***D.2.3.1.a Effect*

Will open the standard database.

D.2.3.1.b Limitation

None.

D.2.3.2 Close Database*D.2.3.2.a Effect*

Will close the standard database.

D.2.3.2.b Limitation

None.

D.2.3.3 Show all Structures in Base*D.2.3.3.a Effect*

Will output on the transcript all the structures stored in the “sketcher_{base}”table(maintable).

D.2.3.3.b Limitation

None.

D.2.4 ABSTRACTION MENU**D.2.4.1 Histogram Operations***D.2.4.1.a Histogram Manipulation**Effect*

Will ask the user to select a SoundStructure. A histogram representation is then created :

The user can then move the handles to define a range of MIDI pitch and define a maximum number of events.

- (a) clicking on Crop will cut all events above the vertical handle,
- (b) clicking on RangeIn will remove all events outside the range defined by the horizontal handles,
- (c) clicking on RangeOut will remove all event inside the range defined by the horizontal handles,
- (d) clicking on Propagate will allow the user to select a SoundStructure to which the histogram will be applied as a filter.

Note : The histogram will be INEFFECTIVE unless the Propagate button is clicked and a SoundStructure selected.

Limitation

None.

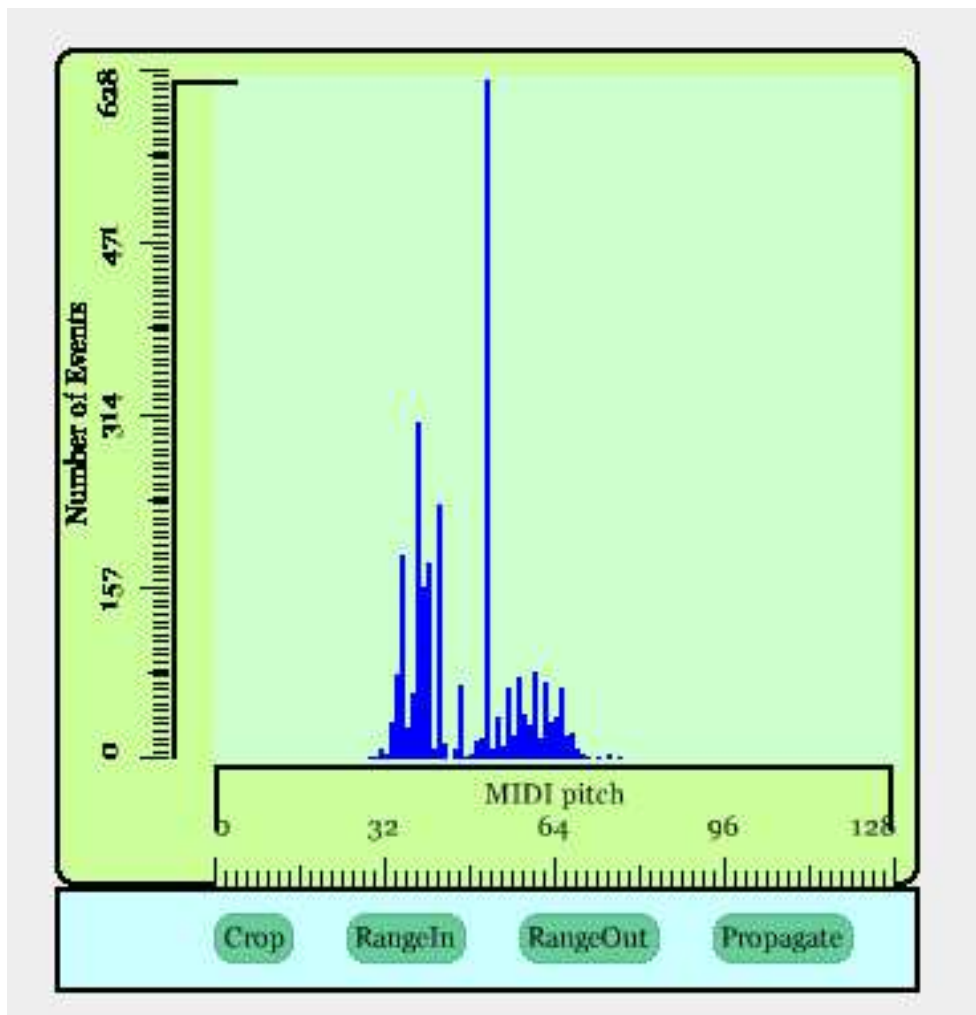


FIG. D.4 – Histogram of a SoundStructure

D.2.4.2 Statistical Object Operations

D.2.4.2.a Reveal a Statistical Object

Effect

Let the user select a SoundStructure, and create the related StatisticalFeature object.

Limitation

None.

D.2.4.2.b Manipulate a Statistical Object

Effect

Allow the user to select a StatisticalFeature object. He can then change, through a number of dialog windows, the values of the object.

Limitation

No default value is set. The user should take care of retyping the current value given to avoid losing data inadvertently.

D.2.4.2.c Propagate a Statistical Object

Effect

Works in the same way the "propagate" button on the histogram. Let the user select a SoundStructure the statistical data contained in the StatisticalFeature object is then (randomly) applied to it.

Limitation

No choice on the method of propagation.

D.2.5 MANIPULATION MENU

D.2.5.1 Symbolic Functions

D.2.5.1.a Symbolise

Effect

Let the user select a Symbol (i.e. a drawing he made), then a SoundStructure. The symbol is now bound to the SoundStructure and every operation normally applied to the SoundStructure object can be done directly by selecting the symbol instead.

Limitation

None

D.2.5.1.b Un-Symbolise

Effect

Let the user select an associated (active) symbol. The symbolic association is destroyed and the symbol becomes a (system) meaningless drawing.

Limitation

None

D.2.5.1.c List Symbols

Effect

Query the database about the active symbolic associations. The output is directed on the transcript.

Limitation

Works only when the database is active.

D.2.5.1.d Hide the Related Structure

Effect

Let the user select a symbol. The corresponding SoundStructure is hidden if visible.

Limitation

None.

*D.2.5.1.e Show the Related Structure**Effect*

Let the user select a symbol. The corresponding SoundStructure is shown if hidden.

Limitation

None

*D.2.5.1.f Hide the Related Symbol**Effect*

Let the user select a SoundStructure. The corresponding symbol is hidden if visible.

Limitation

None

*D.2.5.1.g Show the Related Symbol**Effect*

Let the user select a SoundStructure. The corresponding symbol is shown if hidden.

Limitation

None.

*D.2.5.2 Miscellaneous Functions**D.2.5.2.a Export the SoundStructure to MIDI**Effect*

Will export the file using the format : <original name>-<time stamp>.mid.

Limitation

Does not work on AIFF and Csound files.

*D.2.5.2.b Manipulate an AudioFile**Effect*

After an AIFF or Csound file is selected, a sample editor window will pop up.

Limitation

None.

*D.2.5.2.c Manipulate an AudioFile (externally)**Effect*

After an AIFF or Csound file is selected, will trigger an instance of the *audacity* sound file editor on the given file.

Limitation

Depending on your hardware, you may or may not have sound output on the *audacity* instance.

Cinquième partie

Annexe : CD

Le CD-Rom contenu en annexe contient la version 0.99 de *The Sketcher* et s'utilise comme *LiveCD* bootable sur machines x86.

Il suffit de l'insérer dans le lecteur et de forcer l'ordinateur à démarrer sur le CD au lieu du disque dur. La plupart des BIOS modernes permettent cette opération.