



HAL
open science

Fondements d'un système d'analyse musicale computationnelle suivant une modélisation cognitive de l'écoute

Olivier Lartillot-Nakamura

► **To cite this version:**

Olivier Lartillot-Nakamura. Fondements d'un système d'analyse musicale computationnelle suivant une modélisation cognitive de l'écoute. Interface homme-machine [cs.HC]. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2004. Français. NNT : . tel-00006909

HAL Id: tel-00006909

<https://theses.hal.science/tel-00006909v1>

Submitted on 17 Sep 2004

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.

THÈSE DE DOCTORAT
de
l'UNIVERSITÉ PARIS 6
SPÉCIALITÉ : INFORMATIQUE
présentée par
Olivier LARTILLOT-NAKAMURA
pour obtenir le grade de
Docteur de l'UNIVERSITÉ PARIS 6

FONDEMENTS D'UN SYSTÈME
D'ANALYSE MUSICALE COMPUTATIONNELLE
SUIVANT UNE MODÉLISATION COGNITIVISTE
DE L'ÉCOUTE

soutenue le 25 février 2004 devant un jury composé de

M. Marc CHEMILLIER	Rapporteur
M. Jean-Marc CHOUVEL	Rapporteur
M. Jean-Pierre BRIOT	Examineur
M. Christian QUEINNEC	Examineur
M. Nicolas MEEÛS	Invité
M. Gérard ASSAYAG	Co-Directeur
M. Emmanuel SAINT-JAMES	Co-Directeur

à Junko

Table des matières

Introduction	11
0.1 Résumé de la thèse	11
0.2 Plan général de la thèse	12
0.3 Guide de lecture	12
0.3.1 Parcours non-fléché	12
0.3.2 Itinéraire informatique	13
0.3.3 Itinéraire musicologique	13
0.4 Remerciements	13
I Reproduire, reconnaître et découvrir les schémas musicaux	15
1 La musique : une reproduction de schémas	16
1.1 (Re)produire la musique	16
1.1.1 Les trois échelles structurelles de l'expression musicale . .	16
1.1.2 Le schématisme musical	19
1.1.3 Le mimétisme	22
1.1.4 Forme résultante et schéma formel	24
1.1.5 Les mémoires	26
1.1.6 Le fondement structurel de la signification musicale . . .	27
1.2 Écouter la musique	32
1.2.1 L'écoute musicale suivant les trois niveaux structurels . .	32
1.2.2 La signification musicale, du point de vue de l'auditeur .	34
1.3 L'adéquation entre production et réception	36
1.3.1 La communication culturelle	36
1.3.2 Une poïétique soucieuse de l'esthétique	37
1.3.3 Une compréhension explicite de la musique	38
2 L'analyse musicale : reconnaissance et découverte de schémas	40
2.1 Une discipline de l'appréhension du musical	40
2.1.1 L'avènement de la musicologie	40
2.1.2 L'étude du phénomène musical	41
2.1.3 Quelques applications de l'analyse	41
2.2 L'analyse musicale suivant les échelles structurelles	42
2.2.1 La transcription élémentaire	42
2.2.2 L'analyse locale	43
2.2.3 L'analyse schématique	43

2.3	Les modes d'articulation des schémas	44
2.3.1	La recherche schématique ciblée	44
2.3.2	La reconnaissance schématique spontanée	45
2.3.3	La découverte schématique	45
2.4	Description, explication, tripartition	47
2.4.1	L'appréhension pure	47
2.4.2	Théorie et observation	48
2.4.3	Difficultés d'une induction poïétique	49
2.4.4	Difficultés de l'explication esthétique normative	50
2.4.5	L'inexistence du niveau neutre	51
2.4.6	L'écoute, justification centrale de l'analyse	52
2.5	Expliciter l'analyse	55
3	Expliciter l'analyse	56
3.1	Le structuralisme hjelmslévien	58
3.1.1	Le système de la langue saussurienne	58
3.1.2	La structure du langage hjelmslévien	58
3.1.3	L' <i>a priori</i> refoulé	59
3.1.4	La recherche schématique	61
3.1.5	Le rationalisme chomskyen	63
3.2	La tentative de systématisation empiriste de RUWET	64
3.2.1	La démarche analytique	64
3.2.2	Un point de vue taxinomique	65
3.2.3	Une division récursive	66
3.2.4	Le paradigme de la segmentation	68
3.2.5	La répétition	70
3.2.6	Une procédure non-formalisée	71
3.2.7	Une mise en application intuitive	71
3.3	L'analyse sémiologique de NATTIEZ	75
3.3.1	Une explicitation déçue	75
3.3.2	La disposition de LÉVI-STRAUSS	78
3.3.3	Une méthodologie intuitive	81
3.3.4	Connaissance et langage	81
3.3.5	La crise persistante de l'analyse musicale	82
3.4	Vers une syntagmatique non-sémiologique	82
3.4.1	Une linguistique non-sémiologique	83
3.4.2	La syntagmatique	85
4	L'invariance de l'écoute	91
4.1	Les invariants de l'écoute	91
4.1.1	La singularité de l'écoute	91
4.1.2	La régularité de l'écoute	92
4.1.3	La variabilité de l'écoute	93
4.2	L'écoute locale	93
4.2.1	Le gestaltisme	93
4.2.2	La théorie de LERDAHL et JACKENDOFF	94
4.2.3	La démarche implicative de NARMOUR	96
4.3	L'écoute schématique	98
4.3.1	Le schéma	98
4.3.2	Groupement local et schéma	98

4.3.3	L'attente musicale, selon MEYER	99
4.4	L'écoute formelle	100
4.4.1	La hiérarchisation globale unique des groupements locaux	101
4.4.2	La hiérarchisation locale homogène des reproductions de schémas	101
4.5	Systematiser l'analyse suivant l'écoute	102
4.5.1	L'analyse et l'écoute, côte à côte	102
4.5.2	La nécessaire subjectivité	103
4.5.3	Le potentiel d'écoute	104
4.5.4	Le potentiel de mémoire	105
4.5.5	Une seconde transcendance de l'écoute	106
4.5.6	Le culturel et l'universel	107
4.5.7	Expliciter le système de la musique	108

II Automatiser la découverte de schémas motiviques 109

5	Panorama synthétique des approches actuelles	110
5.1	Automatiser la découverte de schémas musicaux	110
5.1.1	L'automatisation de la découverte	110
5.1.2	Reconnaissance et découverte	112
5.1.3	Une analyse motivique	114
5.2	La généralité de la représentation MIDI	114
5.3	Monodie et polyphonie	116
5.3.1	La syntagmaticité	116
5.3.2	Polyphonie et monodie	116
5.3.3	La successivité	117
5.4	L'identification	118
5.4.1	L'identité exacte	118
5.4.2	L'identité partielle	118
5.4.3	La similarité	119
5.4.4	L'identité relative	120
5.4.5	L'alignement de motifs	120
5.5	La recherche d'identifications	121
5.5.1	L'approche statistique	121
5.5.2	L'approche par comparaison exhaustive	121
5.5.3	La recherche de facteurs	122
5.6	La sélection	124
5.6.1	La discrimination en amont	124
5.6.2	La discrimination pendant la classification	124
5.6.3	La discrimination en aval	124
5.6.4	La sélection globale en aval	125
5.6.5	La segmentation	126
5.7	L'analyse de la polyphonie	127
5.7.1	L'approche relative	127
5.7.2	La généralité polyphonique	127
5.7.3	L'approche géométrique	128
5.7.4	La succession large	130
5.8	Synthèse critique et propositions	131
5.8.1	Grouper, et non segmenter	131

5.8.2	Un point de vue adaptatif	131
5.8.3	L'exhaustivité, à l'encontre de la sélectivité	132
5.8.4	Une généralisation progressive de la syntagmaticité	132
5.8.5	Une modélisation de l'écoute	133
6	Les conditions de l'identification des motifs	135
6.1	L'identité du motif	135
6.1.1	L'identification schématique	135
6.1.2	L'identification locale, par delà la similarité globale	136
6.1.3	La mise en évidence expérimentale	137
6.2	L'invariant mélodique	137
6.2.1	La hauteur « absolue »	137
6.2.2	L'échelle locale	138
6.2.3	L'intervalle mélodique	139
6.2.4	Le contour mélodique	140
6.3	L'invariant rythmique	142
6.3.1	La valeur rythmique absolue	142
6.3.2	La pulsation	142
6.3.3	Le rapport rythmique local	143
6.3.4	Le contour rythmique	143
6.3.5	La durée	144
6.4	Une identification progressive	144
6.4.1	La dépendance paramétrique des invariants	144
6.4.2	L'indépendance paramétrique des invariants	145
6.4.3	La continuité paramétrique locale des invariants.	145
6.5	La description formelle	146
6.6	Conclusions	147
7	La construction du réseau motivique	148
7.1	L'espace de mémoire	148
7.2	Les notes	149
7.2.1	La position temporelle	149
7.2.2	La hauteur	151
7.3	Rapport et relation syntagmatiques	151
7.3.1	Le rapport syntagmatique	151
7.3.2	Le graphe syntagmatique	152
7.3.3	La chaîne syntagmatique réduite	153
7.3.4	La relation syntagmatique	154
7.3.5	Le rapport rythmique	154
7.4	La description syntagmatique des notes	156
7.4.1	Une description dépendante du contexte syntagmatique	156
7.4.2	Formalisation de la description	156
7.5	Rapport et relation associatifs	157
7.5.1	Le rapport associatif	157
7.5.2	La relation associative	158
7.5.3	Les relations associatives élémentaires	159
7.5.4	La conjonction de relations associatives	161
7.6	Les relations associatives schématiques	161
7.6.1	Principe	161
7.6.2	Les schémas originaires	165

7.6.3	L'arborescence schématique	167
7.6.4	Le rattachement de la reproduction à son schéma	168
7.6.5	Déroulement temporel du prolongement schématique	169
7.7	Utilités du réseau motivique	173
8	La minimisation du réseau motivique	174
8.1	Inclusion et relations de spécificités	175
8.1.1	Les relations de spécificité entre relations associatives	175
8.1.2	La conjonction de schémas	176
8.1.3	Les relations de spécificité entre schémas	178
8.2	Optimisation et maximisation de la description	181
8.2.1	Une description unique des classes	181
8.2.2	Une description spécifique des classes	181
8.2.3	Conséquences	182
8.2.4	Statut du critère	184
8.2.5	Mise en œuvre temporelle du critère	184
8.3	Réalisation du principe de maximisation de la description	186
8.3.1	Une nécessaire relation de spécificité entre classes associatives identiques	186
8.3.2	Un simple dénombrement de classes en relation de spécificité	187
8.4	Le graphe de spécificité des reproductions	188
8.4.1	Description du graphe de spécificité	188
8.4.2	La détermination des groupements les plus spécifiques	191
8.4.3	Le parcours du graphe de spécificité des préfixes	191
8.4.4	L'ordonnancement des extensions schématiques de chaque préfixe	192
8.4.5	L'optimisation du graphe de spécificité	192
8.5	Conclusion	195
9	Les reproductions périodiques	196
9.1	La périodicité mélodique	196
9.1.1	Le prolongement redondant combinatoire	196
9.1.2	L'efficacité partielle de la règle de non-recouvrement	200
9.1.3	L'efficacité de la règle du rebouclage schématique mélodique	202
9.2	La périodicité rythmique	205
9.2.1	Le prolongement redondant combinatoire	205
9.2.2	La règle de rebouclage schématique, appliquée au cas rythmique	206
9.3	L'émergence de groupements par-dessus une trame périodique	208
9.3.1	Description du problème	208
9.3.2	Le prolongement émergent des groupements émergents	209
10	Le groupement de groupements	210
10.1	Les successions de groupements	210
10.1.1	Les difficultés du groupement de groupements	210
10.1.2	Rapport et relation syntagmatiques entre reproductions d'un schéma	211
10.2	La découverte des groupements de groupements	213
10.2.1	Les relations associatives des relations syntagmatiques entre reproductions d'un schéma	213

10.2.2 Les schémas de schémas	213
10.3 Le groupement de groupements de groupements	214
10.4 Conclusions	215
11 Résultats et perspectives	216
11.1 La présentation des résultats	216
11.1.1 Le logiciel <i>OpenMusic</i>	216
11.1.2 La représentation graphique des résultats	217
11.1.3 Les résultats	218
11.2 Travaux futurs	221
11.3 Conclusion	222
III Appendices	224
A Analyses	225
A.1 <i>Menuet</i> , K1, de MOZART.	225
A.2 <i>Boléro</i> de RAVEL	228
B Code	235
Table des figures	243
Liste des tableaux	246
Index	247
Bibliographie	252

Introduction

0.1 Résumé de la thèse

Dans cette thèse est développée une méthode informatique de recherche automatique de répétitions au sein de partitions musicales. La musique est en effet régie suivant le principe de *répétition* : l'expression musicale procède par une *reproduction* de *schémas*, tandis que l'écoute consiste en une reconnaissance de ces schémas. C'est un des objectifs principaux de la musicologie que de déterminer les schémas caractéristiques de styles musicaux sous forme de théories musicales, ainsi que de mettre en évidence leur présence au sein de chaque œuvre, par l'intermédiaire de l'*analyse musicale*.

Une systématisation de l'analyse musicale offre deux avantages. D'une part, là où une entreprise humaine laisse une large part aux intuitions implicites de l'analyste, l'explicitation des procédures mises en œuvre — aussi restreintes soient-elles — assure une objectivité des résultats obtenus. D'autre part, une mise en œuvre informatique rend possible une automatisation de la démarche, et ouvre l'accès à un niveau supérieur de détail, tendant vers une certaine exhaustivité. En opposition à l'approche structuraliste, qui suppose l'existence d'une structure immanente et considère la procédure de découverte de cette structure comme secondaire, il est soutenu que l'œuvre musicale ne peut être saisie, de manière générale, que suivant la démarche de l'écoute. C'est alors la dimension invariante de l'écoute, responsable de l'illusion de la structure immanente, qui rend possible cette systématisation.

L'approche proposée envisage l'écoute sous la forme d'une mémorisation progressive. L'analyse consiste en une réactivation, suivant deux modes d'accès, des éléments de la mémoire : l'accès syntagmatique rend compte de l'articulation du discours musical sous la forme d'une succession de relations entre notes successives, alors que l'accès associatif réactive les éléments partageant une même identité définie suivant certains paramètres. Le motif musical, c'est-à-dire la répétition séquentielle, résulte alors de l'articulation de ces deux modes d'accès : chaque extension successive d'un motif résulte d'une mise en rapport associatif des extensions syntagmatiques. Une telle modélisation du motif musical est optimisée en temps, car le rapport associatif, qui prend la forme d'une table de hache, dispense de tout parcours de la mémoire. De plus, grâce à une telle modélisation du motif musical, chaque extension successive d'un motif peut être définie suivant une dimension musicale propre.

Sur la séquence de notes se construit ainsi un réseau de motifs, subsumés à des classes motiviques, lesquelles forment une structure arborescente. Au sein de ces deux réseaux peuvent être tissées des relations de spécificité, rendant compte

en particulier des inclusions entre motifs. Ces graphes de spécificité permettent de plus une minimisation des deux réseaux, par annihilation des structures directement déductibles d'autres structures plus détaillées. Cette minimisation assure une optimisation en espace, tout en rendant compte d'une orientation naturelle de la mémoire vers le plus spécifique. Elle permet en outre de remplacer la notion de segmentation musicale au profit du concept de groupement optimal superposable. Enfin, la combinatoire que peut provoquer la répétition successive de classes motiviques est maîtrisée à l'aide d'un mécanisme de rebouclage des classes.

La nouvelle librairie du logiciel *OpenMusic* qui résulte de cette investigation offre des résultats d'une grande fiabilité, qui semblent concorder, pour une grande partie, avec la logique musicale, telle qu'elle est mise en œuvre par l'écoute. Les capacités combinatoires offrent à la fois une échelle de détail extrêmement fine, et une investigation de longue haleine sur une longue séquence. Une telle analyse, contrairement à la démarche intuitive humaine, peut ainsi être menée de manière exhaustive. D'autre part, le faible temps de calcul de ces analyses permet d'envisager une application dans le cadre de bases de données musicales. Cet outil informatique suggère ainsi la possibilité d'une explicitation et d'une systématisation de l'analyse musicale, ainsi que d'une modélisation de certains principes mis en jeu lors de l'écoute musicale.

0.2 Plan général de la thèse

La thèse se présente en deux parties qui peuvent être lues de manière indépendante.

La première partie envisage le problème de la découverte de schémas de manière théorique, au sein de la musique en général (chapitre 1), et de l'analyse musicale en particulier (chapitre 2), mettant en évidence les enjeux musicologiques et les difficultés épistémologiques. L'approche proposée est située par rapport aux diverses tentatives, lesquelles relèvent généralement soit de la linguistique (chapitre 3), soit de la psychologie (chapitre 4).

Le seconde partie se concentre sur les aspects computationnels de la recherche. Un panorama synthétique des approches actuelles (chapitre 5) met en évidence des problématiques centrales, dégageant ainsi les grandes lignes de la solution proposée par la suite. Celle-ci est développée suivant trois aspects : les hypothèses de base d'identification progressive des motifs (chapitre 6), le mécanisme général de construction du réseau motivique (chapitre 7), et les règles de minimisation (chapitre 8) et de factorisation (chapitre 9) de ce réseau. Les résultats de cette approche sont alors présentés (chapitre 11).

0.3 Guide de lecture

La thèse peut être parcourue de diverses manières, en fonction des attentes du lecteur.

0.3.1 Parcours non-fléché

La thèse peut bien évidemment être lue de manière linéaire et exhaustive, mais en même temps sélective. Le résumé (§ 0.1) donne une vision synthétique du

contenu. Ce qui permet ensuite au lecteur de se situer au sein de la progression du texte, notamment à l'aide du plan (§ 0.2). Au cours de la lecture, l'introduction de chaque chapitre offre au lecteur la possibilité d'établir un parcours partiel et personnalisé. Un index, situé dans les dernières pages de l'ouvrage, permet, lorsqu'un terme rencontré au cours de la lecture nécessite un éclaircissement, un retour aux sections où celui-ci a été préalablement défini ou expliqué.

0.3.2 Itinéraire informatique

Un lecteur désirant entrer directement dans le vif du sujet informatique pourra se restreindre à la lecture de la deuxième partie de la thèse. Il lui est suggéré, toutefois, la lecture préalable de l'introduction générale au mécanisme des schémas (§ 1.1.1 et 1.1.2), ainsi que de la justification de la fondation de la systématisation de la découverte de schémas sur les principes de l'écoute (§ 4.5).

0.3.3 Itinéraire musicologique

Si, au contraire, le lecteur est peu familiarisé avec la formalisation informatique, il pourra se concentrer principalement sur la première partie. En complément, le chapitre 5, malgré sa technicité, lui donnera un aperçu des difficultés rencontrées par les approches informatiques de l'analyse motivique. Les solutions proposées au paragraphe 5.8 indiquent les grandes lignes de l'approche mise en œuvre dans cette thèse. Le chapitre 6, dédié à la mise en place de règles élémentaire d'identification progressive des motifs, ne pose pas de difficultés particulières de compréhension. Dans les chapitres suivants, plus techniques, la simple lecture des figures et de leur légendes permet une compréhension superficielle de la problématique. Enfin, la présentation des résultats (chapitre 11) donne un aperçu du chemin accompli.

0.4 Remerciements

Je suis très reconnaissant à mon directeur de thèse Emmanuel SAINT-JAMES de m'avoir accordé une aide très précieuse tout au long de cette thèse. Je le remercie d'avoir assuré des conditions optimales pour son déroulement, de m'avoir laissé la liberté de développer une réflexion musicologique, tout en veillant activement au bon déroulement de l'investigation informatique. La thèse, telle qu'elle se présente ici, doit beaucoup à ses conseils avisés, tant du point de vue du fond que de la forme.

Je tiens également à remercier mon co-directeur de thèse Gérard ASSAYAG de m'avoir chaleureusement accueilli au sein de son équipe « Représentations Musicales » à l'Ircam, et pour avoir fait en sorte que ces années de thèse se déroulent dans d'excellentes conditions. J'ai pu apprécier à la fois l'important espace de liberté qu'il offre à chacun de ses étudiants et ses conseils experts qui m'ont parfois aidé à modifier l'orientation de mes recherches lorsqu'elles prenaient une tournure excessivement théorique.

Je remercie infiniment mes deux rapporteurs Jean-Marc CHOUVEL et Marc CHEMILLIER pour avoir pris la grande peine de lire ma thèse et pour m'avoir aidé à y apporter des améliorations, tout ceci dans des délais excessivement restreints. Je remercie d'autre part les membres du jury d'avoir accepté de se

pencher sur mes travaux. Les remarques que Nicolas MEEÛS a eu l'amabilité de me communiquer, concernant le caractère particulièrement descriptif de mon approche, ont stimulé le développement de ma réflexion concernant le description et l'explicatif (§ 2.4).

Je remercie tous ceux qui m'ont offert la possibilité de communiquer mes idées toutes fraîches à une large audience. Je pense en particulier à Jean-Marc CHOUVEL, Fabien LÉVY, François NICOLAS, Eleanor SELFRIDGE-FIELD, Gottfried MARSCHALL. Je suis reconnaissant envers ceux qui ont eu l'amabilité de se pencher sur mes travaux et d'y apporter des remarques : en particulier, Douglas HOFSTADTER, François PACHET, Tim CROWFORD, Geraint WIGGINS, David MEREDITH, Roger DANNENBERG, Holger HOOS, Fabrice MARANDOLA, Pierre-Yves ROLLAND, Nicolas DONIN et Frans WIERING.

J'exprime ma gratitude envers l'Ircam et ceux en son sein qui m'ont apporté leur soutien très précieux : Bernard STIEGLER, Hugues VINET, Karim HADDAD, François DÉCHELLE, Sylvie BENOÎT, Didier PERINI, Florence QUILLIARD, Dominique DOUBLET, Youcef BENSALID, Olivier LABAT, Laurent GHYS, Diemo SCHWARZ et tout ceux que je n'ai pas cités. Je remercie les professeurs du DEA ATIAM de m'avoir offert la possibilité de mener des études passionnantes. Je remercie en particulier Olivier WARUSFEL et Marie-Thérèse JOIN pour leur aide.

Parmi les membres de l'équipe de Gérard ASSAYAG, j'ai une pensée tout particulière pour Benoît MEUDIC, qui a effectué sa thèse au même endroit, au même moment, et sur un sujet complémentaire du mien [MSJ04]. Sa présence a offert à ces années studieuses un caractère fort sympathique, et a été l'occasion de nombreuses discussions passionnantes et enrichissantes, qui ont eu une influence significative sur le cours de mes idées. Par exemple, mes réflexions sur la représentation MIDI ont été sensiblement inspirées par certaines réflexions de Benoît.

Je remercie Carlos AGON pour son aide experte concernant le logiciel *Open-Music*. Un autre membre de l'équipe qui a joué un rôle majeur au cours de cette thèse est Moreno ANDREATTA. Les passionnants séminaires *MamuX* — mariant mathématiques, musique et de nombreuses autres disciplines — qu'il prend le soin d'organiser à l'Ircam ont été l'occasion de nombreuses découvertes et rencontres. J'ai pu en particulier découvrir les travaux de Chantal BUTEAU [But03], dont le champ d'étude présente de grandes affinités avec celui considéré dans cette thèse. Je la remercie pour son aide et son soutien. Je salue également les autres membres de l'équipe « Représentations Musicales » : Benoît, Charlotte, Dominique, Dorothea, Elaine, Emilie, Florent, Gerardo, Jean, Jean-Luc, Johnathan, Jose, Kilian, Mauro, Nicolas et Patricio.

Cette thèse, je la dois en premier lieu à mes parents et à ma famille. Qu'ils me pardonnent, en outre, de les avoir délaissés les derniers mois de sa rédaction. Je remercie mes frères Bruno, Nicolas et Christophe pour l'aide qu'ils m'ont apportée.

Enfin, je dédie le fruit de ces travaux à mon épouse Junko, qui a dû assumer une part importante de l'effort engagé, et qui a apposé à cette période doctorale une touche de bonheur.

Première partie

Reproduire, reconnaître et découvrir les schémas musicaux

Chapitre 1

La musique : une reproduction de schémas

Ce chapitre présente dans un premier temps (§ 1.1.1) les notions sur lesquelles se fonde le modèle présenté dans cette thèse. Sont présentées trois articulations essentielles de l'expression musicale : la *note*, la *synthèse locale* et la *reproduction de schémas globaux*. Les deux premières articulations seront considérées comme non-problématiques : les analyses partiront toujours des notes et considéreront une formalisation simple de la synthèse locale. C'est autour de la troisième articulation du *schéma* (§ 1.1.2) que se concentrera la thèse.

La suite du chapitre engage une réflexion théorique sur l'importance de la notion de schéma. Celle-ci résulte du fort *mimétisme* de l'expression musicale (§ 1.1.3), et joue un rôle majeur au sein des dimensions de la *forme* (§ 1.1.4) et de la *signification* (§ 1.1.6). La possibilité de *communication*, qui résulte du mimétisme musical, remet en cause, au passage, l'idée d'indépendance franche entre production (*poïétique*) et réception (*esthétique*) (§ 1.3), deux composantes de la tripartition sémiologique [Nat75], dont la troisième (le *niveau neutre*) sera critiquée ultérieurement (§ 2.4.5).

1.1 (Re)produire la musique

1.1.1 Les trois échelles structurelles de l'expression musicale

On propose d'envisager l'expression musicale à trois échelles :

1. à l'échelle *élémentaire*, l'expression musicale se décompose en *notes*,
2. à l'échelle *locale*, ces notes se relient entre-elles suivant des rapports temporels de simultanéité et de succession,
3. à l'échelle *globale*, ces successions locales tissent entre elles des relations associatives et s'unifient sous des *schémas*.

Les notes

De manière générale, l'expression musicale semble se construire à partir de notes. La note est un concept qui représente, du point de vue de l'interprète,

une action élémentaire, consistant en l'émission d'un son stabilisé autour d'un ensemble de paramètres déterminés. L'expression musicale peut également présenter un vocabulaire gestuel plus élaboré. Ainsi certaines formes de fluctuations temporelles, au sein de l'espace des paramètres musicaux, peuvent être elles-mêmes stabilisées en des archétypes gestuels. Ou encore, la manière précise d'émission du son peut elle-aussi être spécifiée par une certaine codification. Une telle complexité semble cependant, du moins dans la culture occidentale, se construire *au-dessus* de la structure fondamentale que constitue la note.

En marge de ce principe général, certains langages musicaux, la musique concrète en particulier, ne se fondent pas sur une discrétisation intrinsèque de son expression, mais envisagent d'emblée la substance sonore dans sa continuité et sa complexité. Remarquons qu'en raison de cette violation du principe fondamental de la note, de telles esthétiques sont parfois exclues du domaine de la musique *stricto sensu*, et sont alors considérées comme « art du son ». D'autres esthétiques, telles que la musique spectrale, partagent un même intérêt pour les formes sonores concrètes, tout en conservant l'expression discrétisée dans l'objectif de communiquer des ordres clairs aux interprètes. De telles approches ne pourront être considérées dans notre étude, restreinte aux logiques musicales fondées intégralement sur la discrétisation de la note.

Dans le modèle computationnel développé dans la seconde partie de la thèse, les notes constitueront les noeuds élémentaires du réseau motivique (§ 7.2).

La synthèse locale

Les notes, qui constituent le degré élémentaire de la structuration musicale, sont *reliées* entre elles et forment des *groupements*. Ces groupements se fondent dans un premier temps sur la configuration *locale*, c'est-à-dire sur les relations entre notes dans un voisinage temporel.

La synthèse temporelle. À l'échelle temporelle locale, les notes s'agrègent les unes aux autres en raison de certains types de proximité temporelle :

- D'une part, toute apparition *simultanée* de notes est perçue sous la forme d'un agrégat unifié.
- D'autre part, lorsque deux notes apparaissent à des instants proches, et qu'aucune autre note n'apparaît entre ces deux instants, ces deux notes forment une *succession* et sont reliées l'une à l'autre par l'intermédiaire de cette relation de succession. Il en est de même, de manière générale, pour les successions d'agrégats.

La présence de notes (ou agrégats) à des instants intermédiaires peut parfois ne pas remettre en cause l'existence d'une succession entre les deux notes extrêmes, notamment lorsque celles-ci présentent une certaine similarité qui n'est pas partagée par les notes intermédiaires. Remarquons ainsi qu'une telle notion de succession, bien que semblant fonder les mécanismes essentiels de l'écoute musicale, et se prêtant *a priori* à une description évidente, cache en fait une réalité bien plus complexe.

La relation de succession entre notes, qui fonde le mécanisme de groupement local, et, par la suite, celui de reproduction de schémas, sera intégrée dans le réseau conceptuel (§ 7.3) sous la dénomination — tirée de la linguistique saussurienne (§ 3.4) — de *relation syntagmatique* (figure 1.1). Les successions de



FIG. 1.1 – *Les notes successives s’agrègent les unes aux autres par l’intermédiaire de relations syntagmatiques (flèches). L’agrégation successive forme des chaînes syntagmatiques, ou groupements. La multiplicité des chaînes syntagmatiques constitue un graphe syntagmatique (figure 7.5).*

relations syntagmatiques forment des *successions syntagmatiques* ou des *chaînes syntagmatiques*.

Difficultés d’une segmentation locale. Dans ses deux formes, la synthèse présente une certaine variabilité de degré. Des notes présenteront une relation synthétique d’autant plus forte qu’elles seront en proximité timbrale, de hauteur, ou temporelle. Certaines théories psychologiques (§ 4.2.1 et 4.2.2) supposent que des discontinuités au niveau de cette synthèse temporelle conduisent à l’émergence de véritables groupements locaux, définis par les frontières de telles segmentations.

L’existence d’un mécanisme de segmentation systématique — valable non seulement pour un individu donné, mais pour l’ensemble des individus d’une culture donnée, par exemple — reste à prouver. En particulier, la détermination exacte des facteurs présidant à une telle segmentation semble assez hasardeuse.

Une synthèse locale non clôturante. Nous proposons ici de conserver de l’idée de groupement local le simple mécanisme de synthèse temporelle, et laissons de côté la question de la clôture des groupements locaux, c’est-à-dire de la segmentation locale, dont nous venons de souligner les difficultés.

D’autre part, devant la complexité des questions soulevées par une tentative de modélisation computationnelle, nous serons amenés à simplifier au maximum notre approche. Nous nous limiterons, comme la plupart des approches informatiques actuelles (§ 5.3), à un cadre strictement monodique, et nous réduirons la synthèse temporelle en une simple agrégation de notes successives (§ 7.3.3).

La reproduction du schéma

À une échelle globale, des successions syntagmatiques, à divers instants d’une séquence musicale, voire d’un ensemble de séquences musicales, peuvent ensuite être mises en correspondance réciproque en raison de similarités, ou plutôt, comme nous le montrerons (§ 6.1.2), d’identités particulières. Ces groupements locaux s’unifient ainsi autour d’un *schéma* commun, c’est-à-dire d’un « groupement » abstrait, qui ne contient pas de notes effectives, mais représente les identités partagées par tous ces groupements. Ces identités seront alors appelées les *invariants* du schéma. Les groupements concrets, quant à eux, sont appelés des *reproductions* du schéma (§ 7.6).

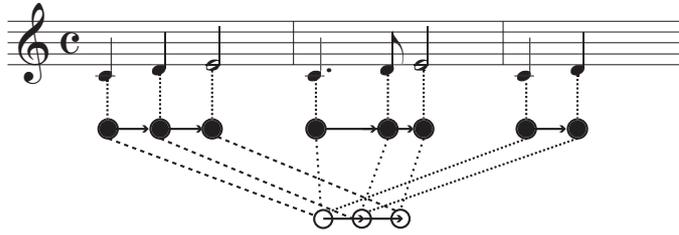


FIG. 1.2 – Les trois successions syntagmatiques (correspondant à chaque mesure de la partition) sont rattachées à un schéma séquentiel commun (chaîne de noeuds blancs). Chaque chaîne syntagmatique est alors une reproduction (chaîne de noeuds noirs) du schéma (figure 7.21). Une reproduction peut n'être que partielle, et n'être rattachée qu'à un préfixe du schéma (troisième mesure).

La mise en correspondance de contextes temporellement éloignés par l'intermédiaire d'identifications est réalisée par ce qui sera appelé ultérieurement des *relations associatives* (§ 7.5), suivant, une fois encore, la terminologie saussurienne (§ 3.4).

1.1.2 Le schématisme musical

Le mécanisme de la reproduction du schéma constitue le coeur de cette étude. Nous allons montrer dans la suite de ce chapitre qu'il en constitue également le moteur de l'acte musical, ainsi que de l'écoute (§ 1.2). Le chapitre 2 mettra ensuite en évidence l'importance d'une telle articulation au sein de l'analyse musicale.

La schéma séquentiel

Un schéma et ses reproductions sont dits *séquentiels* lorsque l'identité constitutive du schéma se décompose en une succession d'identité entre chaque élément successif de chacune de ses reproductions (figure 1.2). Le schéma et ses reproductions sont ainsi isomorphes au niveau de leur structuration temporelle.

Diversité des schémas séquentiels. De nombreux concepts musicaux, en raison de leur reproductibilité, peuvent être envisagés en terme de schémas séquentiels. En voici quelques exemples :

- Une œuvre musicale à part entière est un schéma séquentiel, dont les reproductions sont chaque interprétation de cette œuvre.
- Une partie d'une œuvre musicale, si elle est répétée, devient elle-même un schéma séquentiel.
- Un *motif* est un schéma séquentiel de faible étendue temporelle, mais qui acquiert un statut particulier en fonction de la présence que ses productions occupent, en raison de leur saillance perceptive ou de leur fréquence d'apparition au cours du discours. C'est principalement cette notion de motif qui va être le centre de notre investigation, notamment au niveau computationnel.

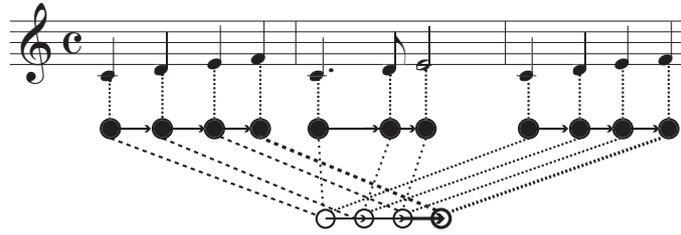


FIG. 1.3 – Un schéma peut accepter un prolongement. Ainsi le préfixe du schéma de la figure 1.2 accepte ici un prolongement (noeud blanc en gras). L'ensemble des schémas forme alors une chaîne.

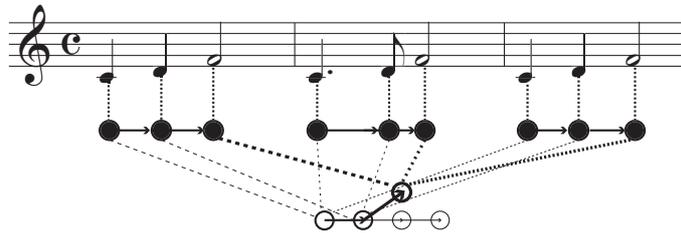


FIG. 1.4 – Un schéma peut accepter plusieurs prolongements. Ainsi le préfixe du schéma de la figure 1.2 connaît ici un nouveau prolongement (noeud blanc en gras). L'ensemble des schémas forme alors un arbre.

L'arborescence des schémas séquentiels. Chaque reproduction de schéma apparaît progressivement à l'écoute : d'abord une note, puis deux, etc., jusqu'au groupement total. Si cette découverte progressive s'interrompt définitivement à un stade intermédiaire, une telle forme restreinte peut malgré tout être considérée comme un préfixe du schéma et sera donc associée à un tel schéma-préfixe (troisième mesure de la figure 1.2).

De même, des reproductions d'un même schéma peuvent se voir ultérieurement prolongées par une même série d'extensions successives. Ces prolongements forment alors de nouveaux schémas dont le schéma initial constitue un schéma-préfixe. Se constitue ainsi une chaîne de schémas, les uns étant les préfixes des autres (figure 1.3).

Cela étant, des reproductions de même schéma peuvent être étendues de diverses manières et constituer tout un ensemble de schémas différents, non préfixes les uns des autres, mais acceptant le même schéma initial comme schéma-préfixe commun (figure 1.4). Les schémas se groupent ainsi non pas sous forme de chaînes simples, mais sous forme d'arborescence (§ 7.6.3).

Les schémas non-séquentiels

À l'opposé, un schéma est *non-séquentiel*, si la dimension temporelle n'est pas partie prenante de sa description. Ses reproductions s'identifient au schéma en raison de l'identification de l'ensemble des éléments de cette reproduction au schéma, abstraction faite de l'ordonnancement temporel.

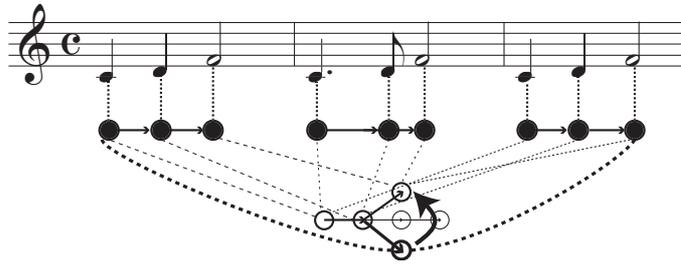


FIG. 1.5 – Les reproductions des mesures 1 et 3 partagent une identité supplémentaire du point de vue du rythme. Un nouveau schéma peut être constitué (noeud blanc en gras). Ce schéma mélodico-rythmique est plus spécifique que le schéma mélodique. Une relation de spécificité est donc établie du noeud plus spécifique au noeud moins spécifique (flèche).

Parmi les schémas non-séquentiels, on peut citer en particulier les échelles et les gammes, qui unifient des contextes temporels présentant un même ensemble de hauteurs ou d'intervalles temporels. Certains concepts plus élaborés, tels que, par exemple, la tonalité, doivent se traduire sous forme de schémas d'une plus grande complexité.

Devant les nombreuses difficultés qui vont être rencontrées, notre étude, notamment informatique, devra se limiter aux schémas séquentiels. Malgré tout, dans ce chapitre ainsi que dans le prochain, dédié à l'analyse musicale, la notion de schéma pourra être considérée dans toute sa généralité.

Les invariants du schéma

Les invariants du schéma peuvent être de divers ordres. Ils peuvent représenter des paramètres intrinsèques aux notes — tels que la hauteur — ou bien des paramètres associés aux relations entre les notes, tels que, en particulier, les intervalles de hauteur et les rapports rythmiques.

La hiérarchie de schémas

Parmi les multiples reproductions d'un schéma, un certain nombre d'entre elles peuvent partager des invariants supplémentaires en commun. Un schéma plus précis peut alors être associé à ce sous-groupe et peut être mis en relation avec le schéma général en tant que schéma plus particulier (figure 1.5). Il se forme alors un réseau de *relations de spécificité* entre schémas (§ 8.1.3).

Les reproductions périodiques

Une succession de reproductions d'un schéma est dite *périodique*, lorsque la dernière note de chaque reproduction est également la première note de la reproduction suivante (figure 1.6). Une telle configuration se rencontre couramment dans le discours musical. Une pulsation, par exemple, est une séquence rythmique cyclique de deux éléments : c'est la durée entre ces deux éléments qui définit le tempo. D'autre part, cette configuration cyclique induit un ensemble

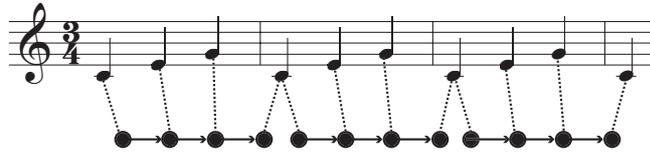


FIG. 1.6 – Ces motifs étant répétés successivement, à chaque motif de trois notes peut être ajouté l'intervalle de la dernière note du motif vers la première note du motif suivant. La série de reproductions est alors dite périodique.

de caractéristiques structurelles qui doivent être pris en compte avec beaucoup de soin par une approche computationnelle (chapitre 9).

1.1.3 Le mimétisme

Une partie importante de l'acte musical consiste en une mise en œuvre de schémas. Certains sont créés pour l'occasion, en tant que figures remarquables et durables de l'œuvre, caractérisant sa thématique. D'autres résultent d'œuvres spécifiques et en invitent leur remémoration. D'autres enfin, et non des moindres, émanent d'une longue tradition stylistique. Ces derniers forment un « langage » partagé par une communauté de musiciens et d'auditeurs.

Un tel mimétisme, si profondément ancré au sein de la technique musicale, ne peut être dompté par le musicien lui-même. Laissant s'exprimer sa créativité, le musicien ne peut être que partiellement conscient, et souvent *a posteriori*, du choix et de l'élaboration des innombrables schémas qu'il reproduit. Il en ira de même pour l'auditeur, qui, dans l'écoute d'une telle complexité, devra se contenter de saisir les schémas tel qu'ils lui apparaissent sans pouvoir les mémoriser et les consigner explicitement dans leur totalité (§ 1.2.1).

Un mimétisme omniprésent

L'acte musical peut consister en une *reproduction* explicite par le musicien — en une interprétation — d'une séquence de grande ampleur — d'un morceau en particulier. Ou bien il peut consister en un acte créatif de *production* — une composition ou une improvisation — d'une nouvelle séquence musicale. Mais plutôt que d'une véritable Création à proprement parler, il s'agirait plutôt, pour une grande part, d'une construction à partir d'une reproduction de schémas appris implicitement ou explicitement et qui se trouvent ainsi recyclés sous une nouvelle forme. Même les pratiques exacerbant la part de créativité ou de spontanéité de l'interprétation trahissent fatalement l'appartenance de l'individu à une société et la surdétermination de ses actes par des mimétismes culturels.

Le mimétisme stylistique

Certains schémas sont présents au sein d'un répertoire donné (d'une société, d'une époque, de l'œuvre d'un compositeur, d'un genre, etc.) et en caractérise ainsi le *style*. De tels schémas seront appelés *schémas stylistiques*. Un style est *normatif* s'il caractérise un schéma omniprésent qui ne peut être remplacé ni

modifié, ou un schéma qui, lorsqu'il est initié, doit être respecté tel quel. Dans le cas contraire, un style est simplement *descriptif* car il caractérise des schémas fréquents au sein du répertoire.

Le mimétisme thématique

La production musicale consiste ainsi pour une large part en une reproduction. Or cette reproduction concerne non seulement les schémas issus du répertoire, mais également des éléments issus de l'imagination propre du musicien.

Les nouvelles entités ainsi conçues pour l'œuvre — les *motifs thématiques* — peuvent acquérir un degré d'existence, c'est-à-dire devenir des schémas, par l'intermédiaire d'une répétition — stricte ou variée. Une succession quelconque, même si elle ne présente pas par elle-même une forme complète et n'offre alors pas une unité caractéristique, peut devenir un groupement perçu en tant que tel à partir du moment où une telle succession est répétée. Un tel principe de constitution de schémas par le biais de répétitions de successions non homogènes fonde une part significative du style de DEBUSSY, comme l'a remarqué Nicolas RUWET [Ruw62].

La reproduction du matériau propre conçu par le musicien ne se cantonne pas toujours à une répétition exacte, mais se prête au contraire souvent à un travail de transformation. Comme le précise Rudolph RETI :

The customary view that musical shapes which form a composition are firm, "static" beings which cannot be tampered with does not hold true for the inner process of musical creation. *In the actual process of creation shapes and themes are not rigid but in a state of constant change and fluctuation.*¹

Les diverses reproductions du schéma thématique peuvent en effet être réalisées par l'intermédiaire de multiples transformations plastiques de transposition, de dilatation ou de compression (augmentation et diminution), d'amincissement et d'enrichissement [Ret51], de symétrie, voire de renversement ou de rétrogradation, qu'elles opèrent sur l'ensemble du schéma de manière globale ou sur certaines de ses parties.

RETI distingue ainsi quatre familles de transformation motivique :

1. *imitation*, that is, literal repetition of shapes, either directly or by inversion, reversion, and so forth;
2. *varying*, that is, changing of shapes in a slight, well traceable manner;
3. *transformation*, that is, creating essentially new shapes, though preserving the original substance;
4. *indirect affinity*, that is, producing an affinity between independent shapes through contributory features.²

Un mimétisme plus ou moins explicite

Autant une séquence de grande ampleur, telle un morceau, ne pourra être reproduite par un acte musical qu'à la suite d'une décision explicite de la part du

¹[Ret51], p. 90.

²[Ret51], p. 240.

musicien, autant un schéma de moindre ampleur, tel un motif, peut parfois jaillir de l'acte créateur à la suite d'une décision impulsive, intuitive, et non explicitée. Mais la frontière entre décision explicitée et acte non explicité, comme l'explique RETI, ne semble finalement pas si nette :

The great composers were fully aware both of the thematic principles and of the techniques through which they materialized it. As this consciousness was supported and complemented by a thorough technical training, this constant transforming of musical ideas into different shapes finally became the composer's customary way of expressing himself, his natural musical language. As a consequence of this, however, the actual forming of many thematic features, especially smaller ones, may often in musical practice have come about instinctively, or even automatically.

There is no contradiction in this. We must ask ourselves: What, in the last analysis, is conscious and what instinctive? Where is the border line?³

En effet, même si les schémas stylistiques peuvent être consciemment objectivés par le musicien acculturé, leur mise en œuvre effective peut être entreprise lors de l'acte de composition ou d'improvisation de manière non explicite. L'acte créatif ne peut être totalement extirpé des méandres obscurs de la volonté humaine.

1.1.4 Forme résultante et schéma formel

Les points de vue formels sur la forme résultante

Une œuvre musicale est constituée d'une séquence de notes sur lesquelles viennent se greffer des groupements, qui eux-mêmes peuvent se prêter à des groupements de manière récursive. Ces multiples groupements agencés sur la séquence musicale peuvent être représentés directement sur l'étendue temporelle de l'œuvre.

L'approche formelle de l'œuvre musicale consiste en une vision globale — ou plutôt *des* visions globales — de l'œuvre musicale, dans le sens où elles mettent en évidence l'agencement général des groupements — considérés en tant qu'entités propres et non en tant qu'ensemble d'éléments — sur l'étendue temporelle totale de l'œuvre. Ce que l'on peut tenter de formaliser de la manière suivante :

Un *point de vue formel* d'une œuvre musicale consiste en une sélection de ses groupements, disposés directement sur l'étendue temporelle, de manière à ce que cette étendue soit couverte globalement. Une tel mécanisme de sélection de groupements accepte un nombre important de solutions possibles pour une même œuvre, laquelle se prête ainsi à de multiples points de vue formels différents.

La forme résultante complète

La *forme complète* d'une œuvre musicale est le point de vue formel qui contient l'ensemble de ses groupements. Pour Adolf Bernhard MARX, la forme — ou plus précisément : la forme complète — est

³[Ret51], p. 233-234.

l'extériorisation du contenu,
c'est-à-dire :

le moyen par lequel le contenu d'une œuvre — conception, sentiment, idée du compositeur — acquiert son profil extérieur.⁴

Sous cet angle, forme et contenu ne sont ainsi pas dissociables : ils ne sont que deux points de vue d'une même réalité. Puisque la forme complète d'une œuvre « contient » l'œuvre dans sa totalité, elle ne rendra donc compte, par définition, que de l'œuvre en question :

Toute œuvre d'art doit posséder sa forme propre. Car toute œuvre d'art possède nécessairement son commencement et sa fin, par conséquent son étendue. Des sections de différents types, dont le nombre peut varier d'une œuvre à l'autre, la constituent en diverses manières. Le terme spécifique rassemblant tous ces caractères est celui de forme d'une œuvre d'art [...] Il existe autant de formes que d'œuvres d'art.⁵

Nous verrons par la suite que la description du « contenu » d'une œuvre musicale n'existe pas de manière immanente, mais est construit par l'observateur — qu'il soit auditeur ou analyste (§ 2.4). En conséquence, la forme complète elle-même dépend également du point de vue envisagé sur l'œuvre.

Les schémas formels

Malgré tout, en raison du mimétisme inhérent à la production musicale, la forme d'une œuvre musicale partagera des affinités plus ou moins franches avec son répertoire environnant. Plus précisément, certaines de ses formes peuvent être similaires à celles d'autres œuvres du répertoire. Les invariants formels partagés par les différentes œuvres peuvent alors, comme tout invariant, être objectivés en un schéma, dit formel. Un *schéma formel*, tel que par exemple le schéma *ABA*, est un point de vue formel partagé par de multiples œuvres.

La stratégie formelle compositionnelle, selon Reti

RETI met, quant à lui, en évidence une autre dichotomie concernant la forme, cette fois-ci du côté de la stratégie compositionnelle :

There are two form-building forces in music.⁶

La forme interne. La structuration interne de l'œuvre est élaborée par le biais de multiples reproductions du ou des schémas thématiques, dont le déroulement, comme nous l'avons remarqué, n'est pas entièrement explicité et maîtrisé par le compositeur, en raison de la complexité d'un tel processus :

The one, the *inner* force, comprises those thematic phenomena.

The great composers invariably develop the true form of their creations — that “form” which at the same time is content and essence — also through inner structure, through the evolution and relationship of the thematic material.⁷

⁴A.B. MARX, *Die Lehre von der musikalischen Komposition* (1837-47), cité par [BD98].

⁵*Ibid.*

⁶[Ret51], p. 109.

⁷*Ibid.*

La forme externe. Le compositeur peut également entrevoir (ou prévoir) une structure globale — laquelle pouvant consister en une reproduction d'un schéma formel —, un modèle abstrait vers lequel la composition interne va s'acheminer progressivement :

There is also a second form-bulding force in music, which models its *outward* shape. It is the *method of grouping*.

To group, to divide and demarcate the continous course of a work or a movement into sections and parts is a natural means by which a musical composition assumes a comprehensible form.⁸

La forme complète de l'œuvre résulte alors de la synthèse de ces deux mécanismes :

Therefore a work's architecture must be understood as the result of a manifold yet entirely elastic process, mirroring the composer's always mobile inspiration. And the true structural dynamism of a composition, its "form" in the fullest meaning of the term, can be conceived only *by comprehending as a concerted stream both the groups and proportions of its outer shaping and the thematic evolution beneath*.⁹

La forme externe elle-même peut être déterminée par le compositeur de manière implicite. Ainsi, si une notion de forme externe peut être intégrée au sein de la compréhension formelle développée par MARX, une telle forme aurait alors pour caractéristique, selon Ian BENT, de se développer de manière principalement non-explicitée dans l'esprit du compositeur :

MARX refusait donc la forme comme «convention» et proposait pour ce concept une base épistémologique. Les formes sont des modèles extraits de la praxis du passé, plutôt que des principes directeurs utilisés consciemment ; elles représentent des principes d'organisation établis en profondeur, et que l'analyse met à découvert.¹⁰

Nous voyons ainsi que la notion de forme résulte du mécanisme de la reproduction des schémas suivant deux niveaux. D'une part, la forme totale est la sommation de toutes les reproductions de schémas. D'autre part, certains points de vue sur cette forme totale peuvent être eux-mêmes considérés comme des reproductions de schémas, que l'on qualifie alors de formels.

1.1.5 Les mémoires

La production musicale consiste ainsi pour une grande part en un processus de reproduction de gestes élémentaires standardisés et de schémas musicaux. Ceci résulte d'une forte et endémique tendance au mimétisme régissant toutes les sociétés humaines. La composante sociale du mimétisme rend possible la perduration de l'œuvre et le développement du style, alors que la composante cognitive du mimétisme induit l'émergence du motif et la construction de la forme. Un tel mécanisme de reproduction musicale n'est possible sans une mémoire, qui peut être subdivisée en trois catégories : la mémoire vivante, l'écriture et la reproduction sonore.

⁸*Ibid.*

⁹[Ret51], p. 114.

¹⁰[BD98], p. 54.

La mémoire vivante

La reproduction des séquences musicales peut être assurée par la simple mémoire du musicien. Les traditions orales, en particulier, se perpétuent par le biais de la mémoire vivante des musiciens, et de la transmission fidèle de leur savoir de génération en génération. Sont ainsi mémorisées les séquences musicales, mais aussi une certaine part de la substance sonore, ainsi que la technique musicale.

L'écriture

L'*écriture* constitue une mémoire musicale qui assure la reproduction fidèle et quasi-permanente des séquences musicales. L'écriture institue un nouveau rapport face à l'acte musical : une division du travail peut être opérée entre le créateur de la séquence musicale d'une part, et le (re)producteur de cette séquence.

L'enregistrement sonore

L'enregistrement sonore institue une nouvelle forme de mémoire qui prend en compte l'aspect sonore des séquences musicales. La totalité complexe de l'interprétation vivante est ainsi entièrement engravée, mais en contrepartie la séquence musicale abstraite sous-jacente passe sous silence.

1.1.6 Le fondement structurel de la signification musicale

Significations concrètes et significations abstraites

Quel sens le musicien conçoit-il à son acte productif et reproductif ?

Les associations concrètes. L'acte musique peut être l'occasion d'une expérience riche et totale, faisant surgir un large flux d'émotions, d'images et de significations multiples, dégageant une « exo-sémantique »¹¹ :

- Certains schémas peuvent provoquer des sensations ou des émotions difficilement transcriptibles en terme de description verbale, mais pouvant être évoquées sous forme de tensions et de détente. Ces phénomènes d'association ont connu des théorisations assez poussées, notamment par l'intermédiaire des « affects ».
- Aux schémas peuvent être associées des images particulières, des couleurs, ou des situations du vécu.
- Un réseau de significations, esthétiques, culturelles, sociales ou politiques, peut se surajouter à la production musicale pure.

La signification structurelle. À l'opposé de ces mises en relation avec des situations concrètes, la musique peut être envisagée de manière purement formelle, en terme de constructions abstraites. Les signifiants ne sont alors plus associés de manière arbitraire à un signifié qui leur serait hétérogène, mais au contraire considérés tels quels, dans leur configuration pure. La signification peut ainsi se limiter à la description structurelle de la séquence musicale : la

¹¹Roman JAKOBSON, *Language in relation to other communication systems*, cité par [Nat75], p. 213.

signification d'un groupement donné consistera alors en les schémas auxquels il est associé. Les entités harmoniques, motiviques, rythmiques, formelles, issues de l'analyse et de la théorie musicales traditionnelles, sont ainsi autant de significations musicales pures.

Roman JAKOBSON entrevoit ainsi une « semiosis introversive » de la musique :

Plutôt que de viser quelque objet extrinsèque, la musique se présente comme un langage qui se signifie soi-même. Des parallélismes de structures construits et ordonnés différemment permettent à l'interprète de tout *signans* musical perçu immédiatement de déduire et d'anticiper un nouveau constituant correspondant [...] et l'ensemble cohérent formé par ces constituants. C'est précisément cette interconnexion des parties aussi bien que leur intégration dans un tout compositionnel qui fonctionne comme le *signatum*-même de la musique.¹²

Mais une telle mise en relation des signifiants eux-mêmes est envisageable uniquement par l'intermédiaire de relations conceptuelles, puisque les signifiants ainsi associés partagent une même identité. Suivant la définition de la forme sémiotique proposée par HJELMSLEV, que nous allons bientôt détailler, le signifié d'un groupement donné est en fait le signifié du schéma dont celui-ci est une reproduction.

Il est à signaler qu'à la note ou au groupement de notes peuvent être associés non seulement une « signification », mais également un « sens », dans l'acception de Gilles-Gaston GRANGER : l'élément de syntaxe est défini par sa fonction dans la syntaxe musicale [Nat75].

Coexistence des significations abstraites et concrètes. Cette opposition entre la mise en relation avec des situations concrètes et l'observation de la structure abstraite pure n'interdit toutefois pas une coexistence des deux approches. L'une des dimensions semble, selon certains linguistiques comme Roman JAKOBSON ou Algirdas Julien GREIMAS, dominante par rapport à l'autre :

En poésie et dans la plus grande partie de l'art visuel figuratif, la *semiosis* introversive, qui joue toujours un rôle cardinal, coexiste et « coagit » avec une *semiosis* extraversive, alors que le composant référentiel est, soit absent, soit très réduit dans les messages musicaux, même dans ce qu'on appelle la musique à programme.¹³

Dire [...], comme cela se fait assez couramment, que la peinture comporte une signification picturale ou que la musique possède une signification musicale n'a pas de sens. La définition de la peinture ou de la musique est de l'ordre du signifiant et non du signifié.¹⁴

Pourtant, les dimensions ainsi reniées de l'expérience musicale peuvent peut-être subsister au sein de l'expérience non explicitée, comme le suggèrent Jean-Jacques NATTIEZ ou Leonard MEYER :

¹² *Ibid.*, cité par NATTIEZ75, p. 212.

¹³ *Ibid.*

¹⁴ A.-J. Greimas, *Sémantique structurale*, Paris, PUF, nouvelle édition, 1986, p. 11, cité et commenté par [Mee01].

TAB. 1.1 – La fonction sémiotique, selon HJELMSLEV, entre l’expression et le contenu du signe.

	expression	contenu
forme	signifiant	signifié
substance	« <i>hic et nunc</i> »	

Le poids accordé à chacune des deux *variables* de la musique comme fait symbolique change selon les époques et les esthétiques : on n’a pas à juger de ce qui, finalement, relève d’une conception *émique* de la musique.¹⁵

Whether a piece of music gives rise to affective experience or to intellectual experience depends upon the disposition and training of the listener.¹⁶

Les articulations entre structure et signification

La musique offre ainsi un sens purement abstrait et structurel et un réseau de significations concrètes émanant du vécu de l’auditeur. La question alors est d’envisager le degré de dépendance entre ces deux dimensions de l’expérience musicale. Les écoutes qui associent une signification concrète arbitraire, indépendante de la configuration structurelle musicale, considère la musique comme un simple exutoire de l’imagination. Une écoute plus attentive trouvera ses significations concrètes directement à partir du phénomène musical. Les configurations formelles de la production musicale peuvent renvoyer par analogie à des configurations isomorphes émanant du vécu du musicien, de sa culture, ou de sa condition humaine.

La fonction sémiotique. Une relation « arbitraire » peut alors être instituée entre un schéma et un concept externe. Le couple forme alors un « signe », dont le schéma est le « signifiant », et le concept associé le « signifié » [Sau78]. Remarquons qu’une telle relation n’est pas envisageable directement du groupement au concept externe, car c’est en tant que membre d’une certaine catégorie — d’un schéma, donc — qu’un groupement se voit associé à une quelconque signification. Une telle « fonction sémiotique » entre groupement et concept externe peut être éclaircie (figure 1.7) à l’aide de la terminologie linguistique développée par HJELMSLEV [Hje84]. Louis HJELMSLEV reprend la théorie saussurienne et développe le couple sémiotique sous la forme d’une *fonction sémiotique* — entre une expression (le signifiant) et un contenu (le signifié) — qui met en fait en relation une *forme de l’expression* et une *forme du contenu*, lesquelles sont respectivement en relation avec une *substance de l’expression* et une *substance du contenu* (table 1.1, suivant une suggestion de Jean-Marc CHOUVEL). Le signe est alors

à la fois signe d’une substance du contenu et d’une substance de l’expression.¹⁷

¹⁵[Nat75], p. 214.

¹⁶[Mey56], p. 40.

¹⁷[Hje84], p. 76.

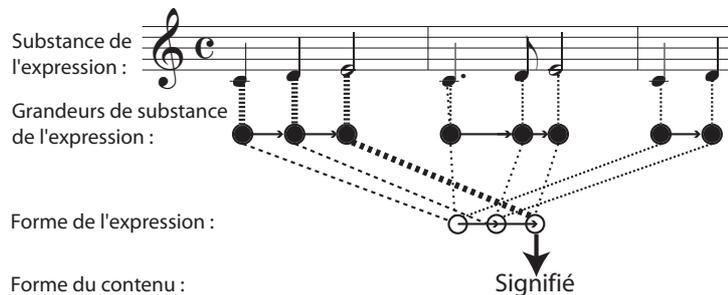


FIG. 1.7 – La signification de chacun des groupements (chaînes de noeuds noirs) est en fait la signification associée au schéma (chaîne de noeuds blancs) dont ils constituent des reproductions. Suivant la terminologie de HJELMSLEV, la partition constitue l'« expression » musicale, le schéma la « forme de l'expression », chaque reproduction est une « grandeur de substance de l'expression ».

L'« expression » musicale, purement structurelle, peut être opposée au « contenu » de la signification. La « substance de l'expression » peut se structurer sous formes de « grandeurs », lesquelles s'unissent sous des « formes de l'expression ». Chacune de ces formes de l'expression se voit alors associée à une « forme du contenu », à un signifié.

Un signe est le signe d'une substance de l'expression : la séquence de sons [bwa], en tant que fait unique prononcé *hic et nunc*, est une grandeur appartenant à la substance de l'expression qui, par la seule vertu du signe, se rattache à une forme de l'expression sous laquelle on peut assembler d'autres grandeurs de substance de l'expression (autres prononciations possibles, par d'autres locuteurs ou en d'autres occasions, du même signe).¹⁸

Ces groupements — ou « grandeurs de substance de l'expression » — tirent donc leur existence de leur mise en relation avec un schéma signifiant — ou « forme de l'expression » —. Ils forment des unités qui, par l'intermédiaire du schéma signifiant, acquièrent une signification. Ils peuvent alors être identifiés aux « unités significatives ». Comme l'explique Nicolas MEEÛS :

Il faut souligner que ce sont souvent ces rapports qui permettent de délimiter les unités significatives : si tel fragment mélodique peut être décrit comme « thème », ce n'est pas tant en vertu de propriétés intrinsèques que par les rapports qu'il entretient avec ses multiples reprises, textuelles ou non.¹⁹

La double articulation. À l'opposé, en raison de leur nombre limité, et de la discrétisation de l'expression musicale dont elles résultent, les notes peuvent être identifiées aux « unités distinctives ».

L'expression musicale peut alors être considérée d'une part comme une production d'unités significatives — ce qui constitue, selon André MARTINET, la « première articulation du langage » [Mar70] — à partir d'un lexique fini de

¹⁸ *Ibid.*

¹⁹ [Mee01], p. 25.

constituants élémentaires — c'est la « seconde articulation ». MEEÛS explique ainsi :

En musique, les unités significatives sont par exemple ce que la phraséologie musicale appelle les cellules, les motifs, les phrases, les périodes; elles peuvent être mélodiques (« motifs mélodiques », par exemple), harmoniques (« phrases harmoniques »), rythmiques (« cellules rythmiques »), etc. Quant aux unités distinctives de seconde articulation, ce sont les notes, les valeurs rythmiques, les accords (qu'on pourrait néanmoins considérer aussi parmi les unités de première articulation), dont le nombre est effectivement réduit.²⁰

L'application de cette double articulation au domaine musical pose un problème particulier. En effet, les groupements qui s'y constituent ne sont pas tous, d'une part, assignés à des schémas : les groupements locaux émergent de simples configurations formelles intrinsèques. D'autre part, comme l'a remarqué NATTIEZ, les schémas ne sont pas systématiquement rattachés à un signifié.

Le processus par lequel une suite de notes acquiert une signification sémantique n'est pas systématisé (il trouve son plus fort degré de réalisation, dans la musique occidentale, chez Wagner).²¹

D'autre part, comme nous l'avons vu précédemment, des schémas peuvent indéfiniment s'allonger et former ainsi de nouveaux schémas. Ce que Nicolas RUWET explique ainsi :

Alors que dans toute langue les morphèmes sont apparemment de longueur finie (en termes du nombre de phonèmes ou de syllabes), il semble bien qu'il n'y ait pas de « plus long motif » en musique — étant donné un motif quelconque, on peut toujours construire, à partir de ce motif, un autre motif plus long, par l'allongement ou l'addition de notes.²²

La musique, contrairement au langage, présente des structurations hiérarchiques suivant une multitude de niveaux. Les motifs composés de notes peuvent eux-mêmes former des motifs de motifs. Il en est ainsi en particulier des accords, comme l'explique MEEÛS :

En tant que sonorités perçues globalement, ils appartiennent bien à la seconde articulation, celle des éléments distinctifs; en tant que porteurs d'une signification tonale, d'une "fonction", ils appartiennent peut-être à la première articulation. Les théories traditionnelles de l'harmonie [...] tendent à présenter les accords comme unités significatives : elles reposent en effet sur l'idée que ce sont les accords eux-mêmes qui sont porteurs de signification, et que celle-ci est largement indépendante du contexte dans lequel ils se présentent. C'est un point de vue que je serais tenté pour ma part de contester : je crois en effet que ce sont les combinaisons ou les successions d'accords qui sont significatives.²³

²⁰[Mee01], p. 19.

²¹[Nat71], p. 8.

²²[Ruw72], p. 10.

²³[Mee01], p. 20.

La nécessité de l'étude structurelle

L'analyse de la signification musicale peut se fonder sur une analyse préalable de la structure musicale, c'est-à-dire, une détermination des groupements locaux et des reproductions de schémas qui, en vertu de la construction de leur substance interne ainsi que celle des schémas reproduits, renvoient par analogie à des schémas de l'expérience humaine et des émotions. Leonard MEYER en vient alors à conclure que pensée et sensation musicales sont deux manifestations d'un même processus psychologique :

Once it is recognized that affective experience is just as dependent upon intelligence cognition as conscious intellection, that both involve perception, taking account of, envisaging, and so forth, then thinking and feeling need not be viewed as polar opposites but as different manifestations of a single psychological process.²⁴

Nous nous limiterons, dans cette étude, à l'étude structurelle préalable.

1.2 Écouter la musique

Dans la plupart des cultures, sont considérées comme démarches sociales qui font sens au sein de la pratique musicale, non seulement la performance en tant que telle, mais également l'*écoute*.

1.2.1 L'écoute musicale suivant les trois niveaux structurels

L'écoute élémentaire

L'écoute musicale consiste, au premier niveau, en une perception progressive de notes. À première vue, il peut être supposé que l'auditeur perçoive les éléments musicaux produits par le ou les musiciens. En réalité, chaque auditeur présente une aptitude plus ou moins grande relative à la perception de ces éléments de base. Mais une écoute suffisamment exercée peut, dans l'absolu, percevoir ces gestes élémentaires. L'analyse, si elle tend vers une compréhension optimale, peut alors poser une telle communication parfaite du niveau élémentaire du discours musical entre le musicien et l'auditeur.

Il pourrait alors être supposé que, si le musicien se contente d'exécuter scrupuleusement les indications d'une partition, il y aurait communication idéale entre le compositeur et l'auditeur, le musicien n'étant qu'un transmetteur parfait. Dans ce cas, l'objet de la perception, l'objet de l'interprétation et l'objet de la création serait un seul et même objet : la partition.

Mais en réalité, la partition comporte un grand nombre de points de repères, positionnés au sein de la logique musicale propre à la culture, qui guident l'interprétation, mais qui ne transparaissent pas tels quels dans le substrat sonore offert à l'écoute. Il en est ainsi en particulier des échelles et de la pulsation, éléments de base constituant respectivement la tonalité et la métrique. Les notes perçues par l'écoute doivent donc être intégrées au sein d'un espace tonal et métrique reconstitué par l'auditeur.

²⁴[Mey56], p. 39.

Le substrat sonore donné à entendre peut donc être considéré comme constitué de notes affectées de paramètres de hauteur et de position temporelle, exprimés de manière absolue, sans référence aux échelles et pulsations sous-jacentes. Une telle représentation correspond assez bien avec le standard MIDI d'encodage de séquences musicales (§ 5.2). La méthode d'analyse computationnelle proposée dans cette thèse, puisqu'elle se fonde sur l'écoute, comme nous le justifierons au chapitre 4, sera appliquée sur des séquences encodées dans ce standard MIDI.

La synthèse locale de l'écoute

À partir des notes perçues, l'écoute procède à une synthèse locale, ce qui correspond à la seconde échelle structurelle de l'expression musicale (§ 1.1.1). Si l'on suppose que le compositeur détermine ses groupements de manière à les rendre audibles par l'écoute (§ 1.3), alors la synthèse locale de l'écoute semble pouvoir, dans une première approche, être identifiée à celle de l'expression musicale.

La (re)connaissance et la découverte de schémas

En regard de la troisième échelle structurelle de l'expression musicale, un troisième niveau de l'écoute est dédié à la découverte de reproduction de schémas. Ces reproductions peuvent être de différents types : elles peuvent être confinées au sein du seul morceau, tisser des liens entre diverses œuvres ou, de manière plus globale, caractériser un style. L'identification, par l'auditeur, de cette reproduction dépendra alors du type de reproduction, de ses connaissances, de ses capacités de mémorisation et d'identification.

Reconnaissance et découverte. Un groupement peut être une reproduction d'un schéma pré-existant — qu'il provienne d'une autre œuvre ou d'un style —, lequel est alors *reconnu*. Dans le cas contraire, le groupement peut être une reproduction d'un groupement spécifique — qu'il provienne de la même ou d'une autre œuvre — et induire alors la *découverte* d'un nouveau schéma.

Reconnaissance. La production musicale consistant pour une grande part en une reproduction de schémas préexistants, l'écoute effectuée en particulier une *reconnaissance* de tels schémas. Or cette reconnaissance n'est possible qu'à partir du moment où l'auditeur

- *connaît* au préalable les schémas qui ont été reproduits par le musicien — en les ayant au préalable découverts au sein d'une autre œuvre ou par apprentissage du style — et
- est en mesure de *se les rappeler*.

Découverte. L'acte de production peut également consister en une reproduction de groupements qui n'ont pas encore été subsumés sous un schéma, et ainsi en la création d'un nouveau schéma. Le nouveau schéma sera *découvert* par l'auditeur qu'à partir du moment où celui-ci

- *connaît* au préalable le groupement déjà entendu — ce qui est le cas lorsque le groupement provient d'un instant antérieur de l'œuvre — et
- est en mesure de *se le rappeler*.

Le rappel. La découverte d'une reproduction consiste ainsi en une mise en correspondance de ce qui est entendu avec une connaissance préalable spécifique, qui émerge subitement de la mémoire en raison de l'identification. Un tel mécanisme de rappel nécessite donc, d'une part, que ce qui a été *mémorisé* puisse être facilement *réactivé* et, d'autre part, qu'une *identification* puisse être établie entre ces deux contextes.

1.2.2 La signification musicale, du point de vue de l'auditeur

Quelle signification l'auditeur accorde-t-il à la compréhension musicale ?

Une signification externe

Le réseau de significations concrètes, tel que l'avait imaginé de manière plus ou moins explicite le créateur (§ 1.1.6) — notamment dans le cadre de « musique à programme » —, n'est pas entièrement reconstitué par l'auditeur, qui ajoute en revanche d'autres significations personnelles.

Une signification isomorphe à la structure

De même que pour le producteur, les configurations formelles de la production musicale peuvent renvoyer par analogie à des configurations isomorphes émanantes du vécu de l'auditeur, de sa culture, ou de sa condition humaine. De telles mises en relation ne sont pas effectuées nécessairement de la même manière par le producteur et l'auditeur, chacun projetant la séquence musicale sur son propre vécu et sa propre culture.

Une signification structurelle expectative

Leonard MEYER considère que la signification structurelle — la « semiosis introversive » de JAKOBSON — n'est pas une véritable signification en tant que telle.

The absolutists have contented that the meaning of music lies specifically, and some would assert exclusively, in the musical processes themselves. For them musical meaning is non-designative. But in what sense these processes are meaningful, in what sense a succession or sequence of non-referential musical stimuli can be said to give rise to meaning, they have been unable to state with either clarity or precision. They have also failed to relate musical meaning to other kinds of meaning — to meaning in general.²⁵

Il préfère adopter le point de vue particulier de l'appréhension par l'écoute de cette structure. Suivant cette nouvelle acception, un phénomène musical acquiert une signification dite « hypothétique », parce qu'elle engendre l'*attente* d'autres phénomènes :

What a musical stimulus or a series of stimuli indicate and point to are not extramusical concepts and objects but other musical events which are about to happen. That is, one musical event (be it a tone,

²⁵[Mey56], p. 33.

a phrase, or a whole section) has meaning because it points to and makes us expect another musical event. This is what music means from the viewpoint of the absolutist.²⁶

Or une partie des attentes envisagées par MEYER sont des attentes du déroulement d'unités musicales individualisées, donc de schémas.

Repetitions of the beginning of a well-shaped theme already heard several times will arouse expectations that the theme will be completed as it has been in the past.²⁷

Une autre partie des attentes est d'ordre stylistique :

The expectations which result from the nature of human mental processes are always conditioned by the possibilities and probabilities inherent in the materials and their organization as presented in a particular musical style.²⁸

Or MEYER considère également le style comme un ensemble d'attentes, sans envisager l'existence de schémas sous-jacents qui justifieraient ces attentes :

The styles in music are basically complex systems of probability relationships in which the meaning of any term or series of terms depends upon its relationships with all other terms possible within the style system.²⁹

On pourrait alors se demander si, de manière générale, l'attente stylistique, chez MEYER, n'est pas une *attente de schémas*, qui ne serait alors qu'une simple conséquence de ces schémas :

As recollections of similar types, whether of parts or wholes, become regularized in the memory, they tend to be grouped into classes, thus forming the norms which are the basis of stylistic perception and expectation.³⁰

Concernant la dimension stylistique, la signification musicale semblerait ainsi être fondée sur le mécanisme du schéma, lequel inclut déjà une composante expectative en son sein.

MEYER considère en outre une attente provoquée par des phénomènes de perception de continuité, notamment formalisés par les lois gestaltistes (§ 4.2.1).

A shape or pattern will, other things being equal, tend to be continued in its initial mode of operation. [...] Among other things this law helps to account for our being able to hear separate, discrete stimuli as continuous motions and shapes.³¹

Une telle attente, indépendante de la logique du schéma, pourrait alors rendre compte effectivement d'une composante essentiellement expectative de la signification structurelle.

²⁶[Mey56], p. 35.

²⁷[Mey56], p. 129.

²⁸[Mey56], p. 44.

²⁹[Mey56], p. 54.

³⁰[Mey56], p. 89-90.

³¹[Mey56], p. 92.

1.3 L'adéquation entre production et réception

1.3.1 La communication culturelle

Les démarches de production et de compréhension musicales, parce qu'elles sont fondamentalement dépendantes de schémas — issus de règles stylistiques générales ou de configurations émanant d'une œuvre particulière —, ne peuvent être confinées dans un simple canal de communication, au sein duquel transiterait un code musical engendré par le producteur et reçu par l'auditeur. Le message musical ne se réduit en effet pas au simple code émanant de l'acte musical, de la partition telle qu'elle est perçue. Il se fonde au contraire à partir d'une compétence de compréhension stylistique issue d'une acculturation. Constatant cette non-communication, NATTIEZ propose alors de distinguer la démarche de production et celle de réception — que Paul VALÉRY intitule respectivement « *Poïétique* » et « *Esthétique* » — :

Il n'est pas possible de concevoir le signe sans faire appel à la fois à son émetteur et à son récepteur, c'est-à-dire aux dimensions poïétiques et esthétiques des phénomènes.³²

L'appréhension de cette séquence musicale — que ce soit par l'audition de son interprétation, la lecture de la partition, ou même son analyse détaillée — consiste en particulier en une (*re*)construction de configurations musicales. Les configurations retrouvées par cette appréhension ne correspondent pas nécessairement à celles qui sont à l'origine de la partition. Il peut donc bien se produire une inadéquation plus ou moins importante entre les démarches poïétiques et esthétiques.

Mais cette dichotomie très jakobsonnienne passe sous silence l'existence d'un code commun sous-jacent. NATTIEZ intègre en fait le style dans la démarche poïétique.

Dans le cas d'une fugue, [...] les segments musicaux sont tellement déterminés par les schémas poïétiques que l'analyse neutre est plus proche du découpage correspondant à la pratique compositionnelle.³³

Or de telles lois stylistiques de la fugue sont non seulement présentes au niveau poïétique, mais aussi, dans une certaine part, au niveau esthétique. La pratique compositionnelle n'est, sous cet aspect, moins un *acte poïétique* qu'un *mimétisme stylistique* qui régit également la *réception esthétique*. Elle n'existe donc pas de manière entièrement indépendante, mais se construit à partir d'une acculturation. De même, la démarche esthétique ne peut être isolée, car elle dépend également de cette acculturation.

La communication ne consiste alors pas simplement en un *échange* de message, mais aussi et surtout, comme le défend Leonard MEYER, en un *partage* d'un savoir commun.

Without a set of gesture common to the social group, and without common habit responses to those gestures, no communication whatsoever would be possible. Communication depends upon, pre-

³²[Nat75], p. 58.

³³[Nat75], p. 75.

supposes, and arises out of the universe of discourse which in the aesthetics of music is called style.³⁴

1.3.2 Une poïétique soucieuse de l'esthétique

La dissociation des démarches poïétique et esthétique selon NATTIEZ pose problème pour une autre raison. La démarche compositionnelle se souciait traditionnellement des qualités perceptives des structures créées, comme nous l'explique MEYER :

It is precisely because he is continually taking the attitude of the listener that the composer becomes aware and conscious of his own self, his ego, in the process of creation. In this process of differentiation between himself as composer and himself as audience, the composer becomes self-conscious and objective.³⁵

Inadéquation de la poïétique et de l'esthétique

Poïétique et esthétique peuvent cependant entrer en inadéquation, comme l'ont montré les expériences de Robert FRANCÈS³⁶ et comme l'a d'autre part souligné NATTIEZ, sur la réception par l'auditeur de contre-sujets de fugues ou de séries dodécaphoniques. Il est vrai que la démarche poïétique interne peut engendrer des structurations non perceptibles en tant que telles. La démarche du compositeur peut ainsi être régie suivant une logique propre qui n'a pas pour vocation d'être communiquée telle quelle, à moins d'être accompagnée d'une explication permettant de guider l'appréhension.

La série, par exemple, a une fonction d'organisation et rien ne garantit qu'elle débouche sur des configurations qui seront perçues comme telle par le récepteur.³⁷

La démarche peut d'autre part suivre une logique stylistique qui, si elle est connue lors de l'appréhension, en permet une reconstitution. La logique stylistique, elle-même issue d'une lente accumulation de démarches compositionnelles singulières parfois tendues vers ce souci de la communication, peut alors s'offrir à une appréhension directe.

Il est vrai également que la configuration générée par la démarche poïétique peut déceler des relations nouvelles pertinentes au niveau esthétique, mais non prévues initialement par le compositeur.

À l'inverse, l'auditeur projette sur l'œuvre des configurations qui ne sont pas nécessairement conformes aux intentions de l'auteur.³⁸

Remarquons alors que le compositeur est aussi le premier auditeur de sa pièce, qu'il peut donc être conscient, de manière plus ou moins explicite, de ces nouvelles relations, et qu'il peut d'ailleurs les annexer au sein de sa proche démarche poïétique.

³⁴[Mey56], p. 42.

³⁵[Mey56], p. 41.

³⁶R. Francès, *La Perception de la musique*, Paris, Vrin, 1958, mentionné par [Nat75].

³⁷[Nat75], p. 58.

³⁸*Ibid.*

L'esthétique réelle

L'écoute, si elle peut être considérée comme présentant une certaine régularité au sein d'une culture est sujette toutefois à une grande variabilité (§ 4.1). En raison des limitations de ses capacités de compréhension, de mémoire, et de rapidité de raisonnement, l'auditeur ne peut saisir qu'une partie de l'ensemble de la compréhension virtuelle qu'il pourrait idéalement acquérir s'il n'était pas freiné ainsi. Il peut cependant tendre vers cette compréhension parfaite, d'une part par amélioration de ses capacités de compréhension, et d'autre part par l'écoute répétée de l'œuvre considérée, par sa mémorisation. La variabilité de l'écoute individuelle peut alors être considérée comme une réalisation partielle d'un *potentiel d'écoute total* (§ 4.5).

D'autre part, l'auditeur n'est pas en mesure de rendre compte explicitement de tout ce qu'il perçoit. On comprend alors qu'une esthétique réelle ne peut généralement pas déceler un contre-sujet. Par contre, un auditeur n'ayant jamais été avisé de l'existence d'un tel concept, mais ayant acquis une mémorisation parfaite de fugues, peut se rendre compte de la situation caractéristique que présente un certain segment des voies des fugues (que la théorie appelle « contre-sujet »), qui se trouvent systématiquement synchronisées avec les reproductions (que l'on nomme « réponses ») de la séquence énoncée initialement seule (ou « sujet »). En fait, il semblerait bien que la structuration même d'une fugue présente, malgré sa complexité et sa richesse, une vocation certaine de communication. Par exemple, le sujet est clairement présenté de manière isolée, puis est repris systématiquement à chaque entrée de chaque voix, dans un registre distinct. Un tel souci de communication semble subsister de manière significativement moins prégnante dans une œuvre dodécaphonique ou sérielle.

Le sérialisme avait institué une nouvelle philosophie compositionnelle basée sur la croyance d'un progrès synchrone des démarches esthétique et poétique. On pourrait se demander si certains grands compositeurs sériels n'ont pas eu le souci, au-delà des contraintes utopiques qu'ils exigeaient de la démarche esthétique, de conserver une part subconsciente d'instincts compositionnels traditionnels et en particulier un souci d'adéquation esthétique minimale, quitte à remettre en cause la démarche initiale. Ce souci poétique de l'adéquation esthétique pourrait avoir d'ailleurs provoqué la chute du sérialisme et la résurgence de démarches poétiques résolument orientées vers l'esthétique, telles que le spectralisme.

1.3.3 Une compréhension explicite de la musique

L'auditeur peut percevoir et comprendre une logique musicale sans avoir toutefois une conscience claire et explicite du détail de cette compréhension. La musique peut en effet être pratiquée et écoutée sans la mise en œuvre d'un raisonnement explicite et formalisé. La logique implicite fondant l'écoute musicale, même lorsqu'elle n'est ainsi pas objectivée consciemment par l'auditeur, s'exprime indirectement sous une dimension purement émotionnelle, largement décrite par MEYER :

If intellectual activity is allowed to remain unconscious, then the mental tensions and the deliberations involved when a tendency is inhibited are experienced as feeling or affect rather than as conscious

cognition.³⁹

L'appréhension structurelle de l'écoute peut, au contraire, être vécue et objectivée de manière explicite par l'auditeur.

Intellectual experience (the conscious awareness of one's own expectations or, objectively, of the tendencies of the music), as distinguished from intellectual activity, is largely a product of the listener's own attitude toward his [or her] responses and hence toward the stimuli and mental activities which brings them into existence. That is to say, some listeners, whether because of training or natural psychological inclination, are disposed to rationalize their responses, to make experience self-conscious, others are not so disposed.⁴⁰

La prise de conscience des schémas musicaux, rendant possible une objectivation, facilite considérablement leur reconnaissance, leur mémorisation, ainsi que leur rappel ultérieur — que ce soit dans le cadre d'un acte de reconnaissance ou de reproduction. Une telle optimisation de l'écoute musicale permet alors une appréciation accrue de l'expérience musicale. L'appréciation d'une œuvre musicale peut ainsi dépasser l'appréhension directe et envisager une compréhension des mécanismes profonds et ainsi une explication de l'apparence de l'œuvre et de son impact. D'où l'intérêt de la constitution de disciplines d'étude détaillée des diverses dimensions du phénomène musical.

³⁹[Mey56], p. 31.

⁴⁰*Ibid.*

Chapitre 2

L'analyse musicale : reconnaissance et découverte de schémas

Ce chapitre envisage la discipline de l'*analyse musicale* (§ 2.1), vers laquelle est orientée cette thèse, à travers la notion centrale du *schéma* (§ 2.2), introduite au chapitre précédent. Il est montré la nécessité d'une articulation souple entre l'œuvre analysée et les schémas acquis par la méthode au préalable, privilégiant une *reconnaissance spontanée* à une *recherche ciblée*. La difficulté majeure de la méthode analytique réside alors dans la *découverte* de nouveaux schémas (§ 2.3).

Il est montré la difficulté d'une distinction entre *description* et *explication* analytiques, ainsi que de leur articulation avec les notions de structure et de théorie musicale. Les multiples stratégies de *justification*, des démarches entreprises par les méthodes analytiques, sont alors situées par rapport à la tripartition sémiologique (§ 2.4). Ce qui permettra de mettre en évidence la centralité de la notion de *écoute*, comme justification fondamentale de l'analyse, au-dessus de toute théorie musicale.

2.1 Une discipline de l'appréhension du musical

2.1.1 L'avènement de la musicologie

Le jeu combinatoire pur de l'expression musicale s'enracine au sein d'une pratique sociale et d'une quête esthétique d'une grande richesse, formant la substance d'une formidable émulsion intellectuelle. L'investigation scolastique, puis plus tard la démarche scientifique, n'ont pas manqué d'élaborer, à partir de ce fait culturel, un programme de recherche, de description, d'explication, de signification de l'ensemble des faits relevant de la pratique musicale. L'ensemble de ces recherches, aussi diversifiées soient-elles — historiques, sociales, organologiques, techniques, etc. — en vertu de leur unification première autour de la singularité du musical, est traditionnellement intégrée au sein d'une discipline : la musicologie.

2.1.2 L'étude du phénomène musical

Au sein de cette musicologie, l'*analyse musicale* est l'étude des caractéristiques purement structurelles de l'expression musicale, et constitue un domaine d'étude propre — qui tire son existence de l'attitude esthétique —, dont une définition, proposée par Ian BENT, pourrait être :

la partie de l'étude de la musique qui prend comme point de départ la musique en soi plutôt que des facteurs qui lui seraient externes.¹

Une telle définition structurelle de l'analyse musicale exclut alors les dimensions sémantiques ou herméneutiques de l'analyse.

2.1.3 Quelques applications de l'analyse

L'analyse musicale présente un grand nombre d'intérêt, qu'il serait vain de tenter de lister ici. On se penche ici sur deux applications qui peuvent être directement concernées par le projet informatique entrepris dans cette thèse.

Analyse et discours critique

L'analyse musicale offre un éclaircissement de la construction d'une œuvre musicale, ainsi qu'un guide d'écoute. En cela, il rejoint les objectifs du commentaire d'œuvre, tel qu'il apparaît en particulier dans les écrits musicologiques et les notes de programme. Les différences entre ces deux approches ne sont qu'apparentes, selon BENT, l'une n'étant en fait rien d'autre qu'une approche systématisée de la seconde :

[Le discours critique] met l'accent sur la réaction intuitive du critique, s'en remet à la richesse de son expérience, prend en compte sa capacité à relier une réponse ponctuelle à une expérience préalable, alors que l'analyse tend à prendre comme éléments d'information des phénomènes bien définis [...]. Il n'y a là [...] qu'une différence de degré : la réaction du critique témoigne souvent d'un haut niveau d'information, à la lumière d'un ensemble de connaissances techniques ; et les éléments définissables de l'analyste (phrase, motif, etc.) sont souvent soumis à des conditions d'ordre subjectif. Il y aurait, par conséquent, une excessive simplification à prétendre que l'analyse consiste en opérations de caractère technique, et la critique en réactions humaines.²

Même l'apparente distinction concernant les méthodes utilisées, d'une part

la médiation du discours (éventuellement accompagné d'exemples musicaux et d'illustrations)

et d'autre part la représentation

sous forme de schémas graphiques ou d'annotations sur partition, ou même par l'intermédiaire du son musical prenant la place des mots³

n'est pas vérifiée de manière générale. La meilleure preuve d'une fusion de l'analyse et du discours critique est incarnée par la personnalité de Leonard Meyer,

¹[BD98], p. 9.

²[BD98], p. 15.

³*Ibid.*

dont la méthode d'analyse n'a jamais été plus systématisée que dans ses travaux de critique musicale.

Analyse et classification

Des premières traces que l'histoire nous a léguées aux plus récentes applications industrielles, l'analyse a toujours répondu aux besoins de classification des répertoires musicaux. Ainsi « le travail de classification opéré par le clergé carolingien dans l'établissement des tonaires »⁴ différencierait-il tant des recherches actuelles d'analyse de bases de données musicales ? En effet, depuis l'avènement des nouvelles technologies, la problématique musicologique est en passe de revenir au premier plan parmi les enjeux industriels. Il est nécessaire de pouvoir acquérir une vision analytique pertinente de chaque morceau musical présent dans les bases de données — par exemple sur la toile —, et une vision synthétique de l'ensemble du réseau, afin de procéder à des classifications stylistiques, etc. C'est un des objectifs principaux d'un nouveau domaine scientifique appelé *Music Information Retrieval* [HB03] qui s'est constitué autour d'une communauté internationale de chercheurs et d'industriels. Les problématiques d'analyse structurelle de descriptions abstraites du phénomène musical constituent une des tâches, appelée *Musical Pattern Discovery*, de ce domaine (chapitre 5). Une analyse automatique des bases de données musicales, en particulier à l'aide d'une modélisation par système complexe, pourra permettre d'une part aux utilisateurs et aux administrateurs de naviguer de manière intelligente au sein du réseau — en parcourant les œuvres musicales de même genre, de même style, etc. — et d'autre part d'offrir une vision nouvelle des œuvres musicales. En outre, de telles modélisations, si elles s'effectuent en collaboration avec des musicologues et des psychologues de la perception musicale, pourraient constituer une formalisation des théories musicales et psychologiques et fournir ainsi un outil de réflexion pour les sciences humaines consacrées aux phénomènes artistiques.

2.2 L'analyse musicale suivant les échelles structurelles

L'analyse musicale, si elle a pour tâche de rendre compte de la dimension structurelle de l'expression musicale et de l'écoute, peut être envisagée suivant les trois échelles déterminées précédemment (§ 1.1.1), à savoir : l'échelle élémentaire de la note, l'échelle locale de la synthèse, et l'échelle globale du schéma.

2.2.1 La transcription élémentaire

L'objet musical d'étude peut se présenter sous des formes très variées.

- Il peut s'agir d'une partition écrite, auquel cas les unités élémentaires sont présentes explicitement.
- Il peut s'agir au contraire d'une pratique musicale non-écrite. Une première tâche consistera alors en la détermination des gestes musicaux élémentaires sous-jacents. Si la pratique musicale se range au sein d'une tradition musicale écrite, la tâche de transcription ne posera pas de difficultés

⁴[BD98], p. 15.

épistémologiques particulières, une fois connus les gestes musicaux fondant cette écriture. Dans le cas de tradition orale, au contraire, l'établissement des gestes musicaux nécessiterait une attention particulière.

- Enfin, depuis l'avènement de la phonographie et de la musique acoustique, l'objet musical peut consister en une production sonore pure. Ce nouveau paradigme remet parfois en question la nécessité d'une discrétisation gestuelle primaire, mais prolonge d'une certaine manière une logique structurelle locale et schématique. Nous ne pourrions toutefois pas développer plus loin l'étude de ce genre musical spécifique.

2.2.2 L'analyse locale

À l'échelle locale, l'analyse consiste en une détermination des enchaînements syntagmatiques au sein de la polyphonie (§ 1.1.1). Les travaux de SCHENKER [Mee93] mettent en évidence la nécessité et l'utilité d'une telle question.

L'analyse au niveau local peut également consister en une détermination de groupements locaux, segmentés suivant des principes essentiellement gestaltistes (§ 4.2). Le caractère générique et systématique d'une telle approche n'est pas entièrement assuré. La mise en œuvre d'un principe de segmentation peut en particulier être discutée.

2.2.3 L'analyse schématique

Au niveau global, l'analyse consiste pour une part en une *reconnaissance* de schémas stylistiques et pour une autre part en une *découverte* de nouveaux invariants, qui caractérisent une œuvre particulière, ou qui pourront être incorporés au sein de la théorie musicale. Dans les deux cas, il s'agit donc de déterminer des groupements au sein du morceau et de les associer à des schémas, comme l'explique BENT :

L'activité centrale de l'analyse est une activité de *comparaison*. La comparaison permet de déterminer les éléments structurels et d'en découvrir les fonctions. Il s'agit d'un train commun à tous les types d'analyse musicale [...] : une unité donnée est comparée avec une autre unité [...]. L'action analytique centrale est donc une *recherche d'identité*.⁵

L'analyse formelle

La forme consiste, comme nous l'avons vu précédemment, d'une part en la disposition temporelle des reproductions de schémas, et d'autre part en l'adéquation de cette disposition à des schémas formels. L'analyse formelle résulte donc directement de l'analyse schématique, et en est également un temps particulier.

Schémas stylistiques et formels

Ian BENT suggère que, d'une manière générale, les dimensions stylistique et formelle peuvent être confondues :

⁵[BD98], p. 16, nous soulignons.

La distinction qui est souvent faite entre analyse formelle et analyse stylistique est d'ordre pragmatique, mais ne se pose pas nécessairement en termes théoriques [...] d'un côté, on peut considérer que toute construction musicale, quelle que soit sa dimension, est constitutive d'un « style » ; de l'autre, toutes les démarches comparatives qui caractérisent l'analyse stylistique sont contenues dans l'activité analytique de base consistant en la résolution d'une structure en divers éléments.⁶

On entrevoit ici une certaine confusion entre deux acceptions du terme de *style*, que l'on pourra éviter par l'adjonction du concept de schéma :

- D'un côté, toute construction musicale relève plus précisément de *schémas*. En particulier, les éléments de la construction musicale sont des reproductions de schémas. Mais ces schémas ne sont pas toujours stylistiques, dans le sens où ils peuvent parfois être rattachés exclusivement à l'œuvre en question. De plus, certains points de vue formels de la construction peuvent être rattachés à des schémas formels. Ceux-ci en revanche, par essence, caractérisent de multiples œuvres et rendent donc effectivement compte d'un style.
- De l'autre côté, toutes les démarches comparatives qui caractérisent l'analyse stylistique *ainsi que la démarche formelle de résolution d'une structure en divers éléments* sont contenues dans l'activité analytique de base consistant en *la mise en adéquation de groupements sous des schémas*.

2.3 Les modes d'articulation des schémas

Les diverses méthodologies d'analyse peuvent être caractérisées en particulier suivant les modes d'interaction entre la procédure même d'analyse et les schémas associés.

- D'un côté, certaines méthodes se basent sur un ensemble de schémas définis au préalable par une théorie (par exemple, les schémas harmoniques). Une distinction supplémentaire peut alors être adoptée concernant la manière — plus ou moins rigide — dont ces schémas sont mis en concordance avec l'objet musical considéré (§ 2.3.1 et 2.3.2).
- À l'opposé, d'autres méthodes ne partent pas de schémas prédéfinis, mais s'appliquent à les construire par eux-mêmes. Ces nouveaux schémas constitueront une théorie en enrichissement permanent, et devront par la suite être, eux aussi, mis en concordance avec l'expression ultérieure de l'objet musical (§ 2.3.3).

2.3.1 La recherche schématique ciblée

Une analyse peut consister en la recherche, au sein de l'œuvre, de schémas pré-déterminés. L'analyse schenkérienne illustre par certains aspects une telle méthode lorsqu'elle s'évertue à trouver, dans les grandes œuvres du répertoire, une ligne fondamentale pré-déterminée. Dans un autre domaine, avant de devenir une véritable discipline reconnue, l'analyse formelle embryonnaire

⁶[BD98], p. 9.

se nourrissait des théories compositionnelles qui, largement inspirée de la rhétorique classique grecque et romaine, contraignait la production musicale à se plier à certains schémas formels particuliers. La phase analytique, fatalement présente dans toute activité créatrice sous forme d'un contrôle de la production, consistait alors en la reconnaissance de ces schémas au sein des corpus.

De telles pratiques ne sont pas sans danger. Lorsqu'une analyse est procédée avec une vision très — voire trop — claire des résultats à obtenir, sans un quelconque souci de la prégnance effective de ces « découvertes », rien n'indique que de telles configurations ne proviennent pas d'une pure coïncidence structurelle. Sans garde-fou épistémologique, une telle démarche risque de sombrer dans une numérologie superstitieuse.

2.3.2 La reconnaissance schématique spontanée

Toutes les structurations et les schématisations sont le fruit de l'acte analytique lui-même — ou de la perception. À mi-chemin entre l'objet-phénomène et la connaissance schématique, il procède à la fois par une appréhension de l'objet et par une mise à contribution de schémas déjà connus. L'adéquation d'un schéma avec le phénomène ne doit pas résulter d'une volonté *a priori*, mais au contraire, d'une découverte spontanée.

Si la démarche compositionnelle repose en partie sur des schémas préexistants — qu'ils soient stylistiques ou qu'ils émanent d'œuvres particulières —, la compréhension de l'œuvre ainsi produite ne pourra détecter cette démarche que si de tels schémas sont également connus de l'auditeur ou de l'analyste.

L'analyse consiste ainsi, en partie, en une mise en évidence de la reproduction de certains schémas pré-définis au sein des œuvres étudiées, tels que, par exemple, les schémas d'accords classés, d'échelles, de degrés, de progressions harmoniques, de cadences, etc., de l'analyse harmonique. L'analyse est sous cet angle une étude d'œuvres musicales particulières basée sur les connaissances d'une théorie musicale.

L'*analyse modale* et l'*analyse tonale* procèdent par reconnaissance, au sein des œuvres considérées, d'un ensemble de schémas stylistiques formant un système — respectivement le système modal et le système tonal —. L'analyse tonale par exemple, qui joue un rôle primordial dans l'explication de la logique du discours musical caractérisant le style classique et romantique, tire ses fondements de principes théoriques développés de longue date et implicitement — voire explicitement — mis en œuvre par le compositeur lui-même. La grande réussite de l'analyse harmonique résulte d'ailleurs d'une traduction des principes théoriques en une procédure analytique accomplie. Mais un tel équilibre s'écroule dès que l'on s'éloigne du territoire balisé du langage classique, et que l'on s'approche de styles musicaux aux grammaires moins explicitées.

2.3.3 La découverte schématique

Si les dimensions motiviques et formelles sont difficilement saisissables, c'est parce que leur logique de fonctionnement, non réduite à des règles théoriques générales, obéit à des principes plus élémentaires. C'est justement à travers de telles dimensions que s'exprime la singularité de chaque œuvre musicale.

L'analyse se doit alors de *découvrir* de nouveaux schémas, tels que, par exemple,

- des motifs et des thèmes particuliers — qu'ils soient rythmiques ou mélodiques ou les deux —, découverts par l'analyse motivique,
- des séquences harmoniques caractéristiques, des nouvelles classes d'accords,
- de nouvelles configurations formelles caractéristiques.

Dans ce cas, l'analyse ne repose plus simplement sur une théorie pré-existante, mais aura au contraire pour effet bénéfique de régénérer en retour la théorie musicale qui lui servait initialement de modèle.

L'interdépendance de la reconnaissance et de la découverte

Mais ces deux démarches de reconnaissance et de découverte, plutôt que de s'opposer radicalement, entretiennent une relation d'interdépendance forte :

- La reconnaissance d'un schéma nécessite tout de même une découverte de sa reproduction.
- La découverte doit éviter toute *redécouverte* d'un schéma — c'est-à-dire la création redondante d'un schéma identifiable à un schéma pré-existant — mais préférer au contraire sa *reconnaissance* — c'est-à-dire l'appel du schéma déjà existant. Pour cela, la découverte, plutôt que d'agir seule, doit rester en concurrence avec la reconnaissance.

La méthode inductive

Au-delà d'une simple application de règles a priori sur la partition, au-delà du *modèle synthétique* — qui risque de se muer en « système normatif »⁷ —, l'analyse musicale doit alors, selon RUWET, mettre en œuvre, de manière générale, une véritable *démarche analytique* — c'est-à-dire une procédure de découverte de nouvelles configurations, à partir de l'observation de la partition. Une telle démarche

s'impose en principe chaque fois que, s'agissant d'une langue inconnue, d'un mythe ou d'une musique exotiques, etc., le message est seul donné.⁸

Mais ne s'imposerait-elle pas de surcroît chaque fois qu'une nouvelle œuvre est donnée ? En effet, même si celle-ci se range d'une manière ou d'une autre sous des invariants stylistiques, elles présentent également une singularité structurelle qui ne pourra être réduite à une adéquation stylistique.

La recherche de l'unité

L'unification de la diversité du phénomène musical sous des schémas — qu'ils soient créés pour l'occasion ou invoqués — résulte d'un universel de la perception, expliqué notamment par les principes gestaltistes (§ 4.2.1).

La quête de l'unité peut accéder un niveau supérieur, tendant non seulement vers l'union de la diversité en des unités, mais également vers l'unification de l'ensemble de ces unités en un seul concept. Il s'agirait ici davantage d'une volonté esthétique que d'une loi perceptive. La pensée musicale d'Arnold SCHÖNBERG,

⁷[Ruw66] in [Ruw72], p. 103.

⁸[Ruw66] in [Ruw72], p. 100.

fondée en grande partie sur cette esthétique de l'unité, a eu un impact considérable dans le milieu musical occidental du vingtième siècle, que ce soit dans les domaines de l'esthétique musicale, de l'analyse musicale, ou de la composition.

En fidèles disciples de la pensée motivique de SCHOENBERG, Rudolph RETI [Ret51] et Hans KELLER (cf. [BD98], [Coo87]) ont chacun développé une analyse musicale fondée sur la recherche de schémas motivique gouvernant la composition musicale dans son intégralité. KELLER s'attache en particulier à découvrir, au travers de l'œuvre, un schéma thématique unique, une « idée de base », en perpétuelle transformation. Comme l'explique Ian BENT :

Pour accomplir sa tâche, il faut que l'analyste regroupe l'intégralité du matériel thématique principal ; puis, par réduction, il doit en extraire le facteur commun le plus élevé. L'identification de l'idée originelle est le premier but de l'analyste ; le second est de rendre compte de la continuité du niveau de surface.⁹

Une telle focalisation de l'analyse thématique de RETI et de KELLER sur l'unité totale de l'œuvre pose problème. Bien que témoignage précieux d'une certaine esthétique — et par là guide inestimable de la compréhension des œuvres de cette époque, notamment de style dodécaphonique puis sériel —, l'application d'un tel paradigme au style classique mais surtout romantique est certes pertinente d'une certaine mesure, car une part de la démarche compositionnelle partage ce souci de l'unité absolue. Mais elle ne peut toutefois recevoir de validation totale, et ne peut être généralisée pour la totalité du fait musical.

La subordination de la découverte schématique sous des schémas formels

La remarque précédente montre que la découverte schématique ne procède pas nécessairement par l'intermédiaire d'une adhésion aveugle au phénomène musical pur, mais peut parfois être guidée en revanche par des schémas formels *a priori*. La découverte schématique, loin d'être spontanée dans ce cas, se trouve alors au contraire subordonnée par une recherche formelle ciblée, au sens défini précédemment.

D'un point de vue dual, ceci revient à dire que toute recherche formelle ciblée — mais également toute reconnaissance formelle spontanée — donne lieu à une reconnaissance — voire une découverte — schématique : ces schémas étant le contenu même sous ces formes.

2.4 Description, explication, tripartition

2.4.1 L'appréhension pure

Selon BENT, l'analyse musicale se focalise essentiellement sur l'œuvre musicale dans sa simple apparence.

Le projet initial de l'analyse est de nature empirique : il consiste à se mettre aux prises avec un objet dans les termes mêmes de cet objet plutôt que dans les termes de quoi que ce soit d'autre. Son

⁹[BD98], p. 154.

point de départ est phénoménologique en ce qu'il ne cherche pas nécessairement à établir des rapports avec des facteurs externes.¹⁰

Si l'on adopte la vision de la compréhension structurelle développée au chapitre précédent, une telle analyse aura alors pour but de déterminer les structures locales, les structures schématiques, *mais aussi tous les schémas* fondant ces structures schématiques. En effet, puisqu'il n'est rien supposé de plus que l'existence de l'œuvre considérée, aucun schéma préalable ne peut être envisagé.

La description structurelle

Une analyse ne se basant pas sur une théorie musicale *a priori* considère en premier lieu la surface de l'œuvre. Elle se limite dans ce cas à une simple *description* du contenu apparent. Mais un tel propos souffre — comme nous l'expliquerons bientôt — d'une certaine ambiguïté, voire d'une inexactitude, en raison du statut hasardeux accordé aux notions de surface et de contenu. Il est en particulier nécessaire de clarifier les rapports possibles entre description et perception.

L'explication structurelle

Il semblerait envisageable, en second lieu, d'élaborer une modélisation de configurations structurelles permettant de rendre compte de certaines caractéristiques de l'œuvre non directement accessibles par la simple description. Serait alors ainsi produite une *explication*, dans un premier sens purement structurel, c'est-à-dire une découverte de principes sous-jacents régissant la structure de l'œuvre.

Encore une fois, se profilent de nombreuses questions délicates. Comment préciser une telle distinction entre description et explication structurelles ? Pourquoi la description structurelle pourrait-elle rendre compte de structures effectives de l'œuvre ? Suivant quelles heuristiques l'explication structurelle pourrait-elle découvrir des principes sous-jacents ? D'ailleurs, ceux-ci existent-ils réellement ?

Certaines explications structurelles, élaborées au sein de théories musicales diverses, rendent compte de configurations qui sortent du domaine de l'évidence, dont il est alors nécessaire de pouvoir assigner un degré de pertinence. Suivant quelles procédures de telles explications peuvent-elles être validées ?

2.4.2 Théorie et observation

Une grande part de l'analyse musicale traditionnelle fonde sa recherche schématique sur des schémas pré-établis. Une somme de connaissances préalables existe donc généralement en amont de l'analyse et forme une *théorie musicale*. Dans la citation précédente de BENT, l'objet musical sur lequel devrait se concentrer l'analyse ne semblerait donc finalement pas être l'œuvre musicale seule, mais l'œuvre au sein de son contexte musical, de son environnement culturel déterminé par un ensemble de présupposés stylistiques que l'on peut formaliser en terme de schémas.

¹⁰[BD98], p. 15.

L'explication savante

S'appuyant sur la théorie musicale, l'analyse s'élève de la simple description naïve, et permet une explication savante, c'est-à-dire une compréhension des raisons de la présence de configurations particulières au sein d'une œuvre, en tant que reproductions de schémas stylistiques.

La description schématique

Malgré tout, une telle explication savante, ne nécessitant pas d'investigations d'une grande complexité, présente une difficulté moindre de mise en œuvre, par rapport à l'explication structurelle. En ce sens, l'explication savante peut donc être simplement considérée comme une description de l'œuvre en terme de reproductions de schémas stylistiques.

L'explication théorique

D'autre part, la théorie a elle-même été constituée à partir de descriptions et surtout d'explications structurelles. L'on pourrait supposer que celle-ci se mette en place après une démarche d'appréhension du corpus musical s'apparentant à une analyse, bien que généralement d'allure faiblement systématique. C'est de manière plutôt intuitive, parfois après une longue phase embryonnaire de sédimentation, que le théoricien procède à l'objectivation de nouvelles connaissances. Mais il peut arriver également que certains aspects de la théorie émanent de véritables démarches analytiques, lesquelles peuvent ensuite se baser ultérieurement sur les découvertes de cette nouvelle théorie. Théorie et analyse coexistent alors en parfaite symbiose.

2.4.3 Difficultés d'une induction poïétique

La description poïétique

Il est communément supposé que la description structurelle permet de rendre compte — d'une manière assez directe — de la démarche poïétique. Par exemple, selon RETI, les processus motiviques et thématiques, lesquels aboutissent à une architecture formelle complexe, « reflètent » la démarche compositionnelle.

A work's architecture must be understood as the result of a manifold yet entirely elastic process, *mirroring* the composer's always mobile inspiration.¹¹

Mais que la description de la structure résultante soit un reflet parfait de la démarche compositionnelle, voilà qui peut poser certaines difficultés. En effet, si par exemple une même œuvre peut donner lieu à de multiples descriptions contradictoires, que devrait-on alors conclure de la démarche poïétique? La possibilité d'une description structurelle est donc une condition nécessaire à toute interprétation poïétique.

L'explication poïétique

Pourtant, lorsque certaines explications structurelles nécessitent une justification, les démarches analytiques de SCHENKER et RETI, en particulier, s'en

¹¹[Ret51], p. 114. Nous soulignons.

remettent alors à la démarche compositionnelle, dont ils prétendent déceler des principes cachés sous-jacents, et donc apporter une véritable explication poïétique. Une telle approche peut mener à des excès, que Nicholas COOK met en évidence :

What Reti regarded as the most decisive confirmations of his interpretations occur when motivic links are either irrelevant from the point of view of *musical sense*, or when they actually run counter to it. An example of when motivic links are more or less irrelevant is when the same shape appears on a tiny scale, say as an ornament, and on the largest scale, for instance in a pattern of keys.¹²

Lorsque les processus ainsi décelés par ces démarches n’avaient jamais été explicités auparavant — et donc en particulier pas par les compositeurs —, ils peuvent alors être supposés mis en œuvre de manière non explicite lors de la composition elle-même. Une telle démarche souffre d’un défaut épistémologique majeur : les théories ainsi élaborées ne sont pas *réfutables*, au sens popperien : rien ne permet de remettre en cause de telles explications, et donc rien n’assure la pertinence.

Une démarche analytique procédant par induction poïétique ne peut avoir de validité scientifique, que si elle repose sur une théorie compositionnelle pré-existante susceptible d’être mise en œuvre, ou si elle peut être découverte par une analyse objective. Comment une telle analyse peut-elle être mise en œuvre ? Nous devons continuer notre parcours de la tripartition pour pouvoir y répondre.

2.4.4 Difficultés de l’explication esthétique normative

Si une analyse ne peut pas reconstruire la logique compositionnelle, sur quoi peut-elle se fonder ? Remarquons qu’une analyse n’est rien d’autre qu’une tentative de compréhension de l’œuvre musicale, et, qu’à ce titre, elle partage de nombreuses affinités avec l’écoute musicale. L’analyse peut alors être considérée comme une forme particulière de perception.

L’explication esthétique normative

Les approches de RETI et de SCHENKER, bien que manifestement orientée vers la logique poïétique, affirment leur prise en compte de la dimension esthétique. Or certains de leurs résultats ne sont pas validés par le sens esthétique commun. SCHENKER répond à une telle objection en accordant un sens normatif à ses analyses : elles mettraient en évidence ce qui *doit* être perçu par un auditeur compétent.

Nicholas COOK remet en cause une telle allégation et pose que l’analyse doit s’attacher en premier lieu à ce qui peut être perçu de manière universelle.

Isn’t the really fascinating thing about music the immediate effect it makes on even the most untutored listener?¹³

On risque cependant de pencher ici vers un excès inverse, en refusant d’accorder à la formation auditive — qu’il s’agisse de l’acquisition de techniques de discrimination et de mémorisation poussées des événements sonores, mais également de l’apprentissage d’un savoir culturel et donc d’un ensemble de schémas

¹²[Coo87], p. 111, nous soulignons.

¹³[Coo87], p. 220.

— un rôle d’augmentation des capacités de compréhension musicale et, par là, d’appréciation esthétique.

RÉTI s’en remet quant à lui aux franges les plus profondes de la perception non-explicitée. Ses analyses rendraient ainsi compte de ce qui *est* effectivement perçu par l’auditeur, même s’il n’en est pas conscient.

The unnoticeable influence that it may exert on the listener as a passing subconscious recollection — in fact, *its theoretical existence in the piece* — suffices.¹⁴

L’absence de garde-fou

Mais si le sens esthétique commun ne permet pas de valider ces structures découvertes, quelles heuristiques pourront guider leur découverte ? Comme le souligne Nicholas COOK :

If he is not to refer to his own experience as a listener, how is the analyst to decide what motivic relationships are important and what are not? Is he simply to label everything he can see, regardless of how it is experienced?¹⁵

Puisque même les critères esthétiques ne peuvent contrôler la bonne marche de ces analyses, la méthode est, pour cette raison également, non réfutable. Ainsi la démarche de RETI souffre de deux défauts majeurs :

- les résultats sont très partiels et seuls ceux corroborant avec la théorie semblent sélectionnés,

One major criticism is that he picks out the evidence that fits his interpretations and ignores what does not.¹⁶

- la recherche n’admet aucune limitation.

And when you consider that Reti sometimes regards features like note-repetition or arpeggiation as themselves constituting motifs, it becomes clear that the technique is capable of indiscriminate explanation. It becomes impossible to imagine anything that couldn’t logically be shown to be thematic in more or less any context.¹⁷

2.4.5 L’inexistence du niveau neutre

RETI semble conforter ses thèses sur la base d’une « existence théorique au sein de l’œuvre »¹⁸ de ses configurations, indépendante de toute pertinence esthétique ou poétique. NATTIEZ défend lui-aussi une telle existence.

On imagine mal que l’œuvre puisse exister autrement que produite et perçue. Pourtant, on peut admettre qu’un principe univoque d’analyse [...] fasse apparaître une certaine forme d’organisation du message musical, mais dont on ne voit pas de quel principe poétique elle dépend ni à quelle configuration esthétique elle donne lieu. Faut-il en déduire que cette organisation n’« existe » pas ? Non, puisqu’elle

¹⁴[Ret51], p. 47.

¹⁵[Coo87], p. 114.

¹⁶[Coo87], p. 108.

¹⁷[Coo87], p. 110.

¹⁸[Ret51], p. 47.

est légitime par rapport à un outil d'analyse donné [...], et qu'elle pourrait recevoir une pertinence fonctionnelle dans un contexte différent, que nous ne connaissons pas, ou que nous ne pouvons pas imaginer. [...] Une certaine technique d'analyse fait apparaître un niveau donné et circonscrit d'organisation du message musical : il n'y a pas de pertinence a priori et définitive des configurations découvertes : il n'y a que des pertinences relatives.¹⁹

Toute configuration acquiert en effet une certaine existence théorique au sein d'un phénomène particulier par le simple fait qu'elle entre en adéquation avec celui-ci, qu'elle s'y superpose. Malheureusement, il existe une combinatoire gigantesque — que l'on peut considérer de manière pratique comme infinie — de telles configurations pour un même objet d'étude. On est d'autre part bien conscient que toutes ne sont pas pertinentes. Il est donc nécessaire d'opérer une sélection supplémentaire.

La tripartition de Jean MOLINO [Mol75], reprise par NATTIEZ [Nat75], pose alors l'existence d'un niveau supplémentaire aux niveaux poétique et esthétique : le « niveau neutre », correspondant à l'organisation immanente de l'œuvre musicale.

Le niveau neutre hérite du structuralisme cet acquis fondamental que les messages présentent un niveau d'organisation spécifique qu'il faut décrire. Mais ce niveau n'est pas suffisant, car l'immanence est constamment imprégnée de poétique et d'esthétique : la tâche de la sémiologie consiste à distinguer les interprétants selon les trois pôles de la tripartition.²⁰

Pourtant, aucune structure n'existe de manière véritablement immanente ; toute description se fonde nécessairement sur une théorie et offre alors une explication, par l'intermédiaire de cette théorie, du fait musical. En revanche, la partition — en tant que résultante de la logique de construction — ne contient pas en elle-même de configurations musicales immanentes. Une analyse, aussi proche soit-elle de la partition, ne peut oublier sa condition d'acte d'*appréhension*. Sa mise en œuvre dépend nécessairement de principes posés *a priori*, qui n'ont d'autre choix que d'être *externes* à la substance musicale. Un simple exemple (figure 2.1) peut illustrer le propos.

KANT a bien montré que l'idée de description immanente est, en soi, contradictoire, et résulte du fantasme métaphysique d'une analyse sans sujet où le contenu s'engendrerait déductivement à partir de lui-même :

L'unité que l'objet constitue nécessairement ne peut être autre que l'unité formelle de la conscience dans la synthèse du divers des représentations. Aussi disons-nous que nous connaissons l'objet quand nous avons fait surgir dans le divers de l'intuition une unité synthétique.²¹

2.4.6 L'écoute, justification centrale de l'analyse

Il s'avère que la dite analyse du niveau neutre intègre fatalement des considérations esthétiques en contrebande. Celle-ci est d'ailleurs mise à contribution

¹⁹[Nat75], p. 406.

²⁰[Nat75], p. 68.

²¹[Kan97], Livre 1 (Analytique des concepts), p. 182-183.



FIG. 2.1 – Cette partition semble, de toute évidence, réellement « contenir » une répétition d'un motif de trois notes (groupements en ligne continue). Mais une telle description est mathématiquement équivalente à sa représentation duale comme répétition de trois motifs de deux notes (groupements en pointillés). Cette deuxième représentation ne concordant pas avec l'heuristique perceptive, n'est alors généralement pas considérée comme structuration immanente de la partition.

lorsque la démarche poïétique devient inaccessible :

Le découpage neutre, dans le cas de la musique sérielle, risque [...] d'offrir surtout une base d'ancrage pour l'analyse esthétique ultérieure.²²

Ainsi, selon NATTIEZ, l'écoute se réduit à une acquisition de structures pré-découpées immanentes. Mais puisque cette immanence n'existe pas, il reste à l'écoute de construire par elle-même ses structures. L'analyse systématique doit donc nécessairement être fondée sur des principes esthétiques. Le drame est que, comme nous le verrons au chapitre 4, l'approche esthétique souffre de nombreuses limitations. Mais l'analyse systématique devra assumer ces imperfections, tout en tentant de les transcender.

L'écoute, finalité de l'analyse

Cela étant, des théories non scientifiquement pertinentes ne pourraient-elles pas acquérir un intérêt potentiel en tant qu'enrichissement potentiel de l'écoute musicale ? Les analyses qu'elles proposent dégagent en effet des configurations nouvelles qui peuvent stimuler l'écoute musicale. De telles théories ne seront alors pas descriptives, mais, selon David TEMPERLEY, « suggestives » :

Much music theory [...] is concerned with enhancing our listening, with finding new structures in pieces which might enrich our experience of them [...] I have called the latter enterprise “suggestive theory;” this is in contrast to the enterprise of “descriptive theory,” which aims to describe cognitive processes. [...] Z-related sets serve to enhance or enrich our hearing of certain kinds of music once we are aware of them.²³

Toutefois, pour qu'une théorie non-*perceptive* puisse enrichir la perception, elle doit être *perceptible* : les catégories qu'elle met en évidence doit pouvoir être décelées par l'écoute, une fois que celle-ci a suivi une formation appropriée. Or certaines catégories non-perceptives auront peu de chance d'être effectivement appréhendées par l'écoute, aussi aiguisée soit-elle. A-t-on jamais réussi à percevoir effectivement les relations Z de la *Set Theory* ?

Mais si une théorie est *perceptible* — après une formation adéquate —, n'est-elle alors pas virtuellement *perceptive* en tant que telle ? En effet, une perception mettant en œuvre des capacités de ségrégation, d'objectivation et de mémorisation suffisamment fournies ne serait-elle alors pas capable de retrouver de telles configurations ?

Ceci nous conduit alors vers l'hypothèse que toute méthode d'analyse offrant un enrichissement de l'appréhension effective de l'œuvre — par la perception — doit être fondée suivant des critères d'ordre perceptif. Toute *explication analytique* devrait alors procéder suivant une *description perceptive*. Ainsi Eugene NARMOUR déclare :

All musical analysis ultimately rests on perception and cognition; by the same token, perception and cognition are ultimately always analytical.²⁴

²²[Nat75], p. 75.

²³[Tem88], p. 8.

²⁴[Nar90], p. x-xi.

Puisque l'approche entreprise dans cette étude a pour vocation de déterminer des configurations pertinentes, elle devra choisir entre une adéquation stylistique et une logique d'écoute, voire les deux. Mais puisque nous nous refusons de nous baser sur un style pré-existant, seule subsiste la logique d'écoute.

2.5 Expliciter l'analyse

Beaucoup de concepts mis en œuvre dans l'analyse musicale ne reçoivent pas de définitions formalisées rigoureuses. Leur utilisation n'est possible qu'au travers d'une méthodologie analytique suffisamment lâche, ce qui ne pose pas de réelles difficultés au bon sens humain, mais qui peut cependant entraîner des incompréhensions dommageables. Ce que souligne Nicolas RUWET :

On peut [...] se demander si ces notions de période, de phrase, etc., sont susceptibles de recevoir des définitions générales ou universelles, ou si au contraire il ne faut les tenir que pour des notions *ad hoc*, valables seulement pour telle pièce déterminée. Mais la question cruciale, préliminaire à toutes les autres, est la suivante : *quels sont les critères qui, dans tel cas particulier, ont présidé à la division ?* Or, cette question, personne ne prend la peine d'y répondre, comme si l'évidence des critères sautait aux yeux.²⁵

C'est à l'explicitation des procédures d'analyse que s'attache le prochain chapitre.

²⁵[Ruw66], repris dans [Ruw72], p. 106.

Chapitre 3

Expliciter l'analyse

Au cours du vingtième siècle, dans la lignée directe de la linguistique, l'analyse musicale a tenté d'explicitier les procédures de découverte, mises traditionnellement en œuvre par l'analyste de manière implicite et intuitive. Malgré les intentions déclarées, les deux célèbres tentatives de formalisation, par RUWET (§ 3.2) et NATTIEZ (§ 3.3), se fondant principalement, elles-aussi, sur l'intuition implicite de l'analyste, ne parviennent pas à une telle explicitation. Ceci provient du fait que ces deux approches s'inscrivent en prolongement du structuralisme hjelmslévien, fondé sur une recherche d'une hypothétique structure immanente et sur une dévalorisation et une minimisation de la procédure de découverte (§ 3.1). À l'opposé, la linguistique saussurienne offre, par l'intermédiaire de l'articulation *syntagmatique / associatif*, les premières briques d'une compréhension perceptive de la structure musicale (§ 3.4).

L'analogie linguistique

S'il est attendu de l'analyse qu'elle opère sur l'objet musical de manière explicite, formalisée et même systématisée, alors la démarche analytique ainsi définie partage les mêmes préoccupations que la linguistique moderne introduite par Ferdinand DE SAUSSURE.

Les trois étapes que, selon SAUSSURE, la science du langage a traversées avec de se constituer véritablement — en particulier par l'intermédiaire de SAUSSURE lui-même —, sembleraient avoir été également parcourues par la science du langage musical :

La grammaire :

visé uniquement à donner des règles pour distinguer les formes correctes des formes incorrectes ; c'est une discipline normative, fort éloignée de la pure observation et dont le point de vue est forcément étroit.¹

Il en fut de même en musique, comme le remarque RUWET :

D'une manière générale, la plupart des traités d'harmonie, de fugue, etc., présentent une situation analogue à celle offerte par les

¹[Sau78], p. 13.

grammaires traditionnelles : le modèle est synthétique, partiellement explicite seulement, et entaché de normativisme.²

La philologie, par la suite, a envisagé la langue sous tous ses aspects, non pour elle-même, mais dans l'objectif d'une compréhension d'une civilisation ancienne ou médiévale. Une telle approche concerna également le domaine musical. Ian BENT explique ainsi :

S'intéresser à l'objet musical en soi plutôt que de fournir des modèles applicables à l'étude de la composition, cette conception de l'analyse reflétait une prise de conscience de la dimension historique apparue avec le romantisme. L'intérêt qu'elle montrait pour le passé n'était pas de nature « scientifique », mais représentait plutôt un désir d'entrer véritablement dans le passé, d'en découvrir l'essence.³

La philologie comparative. La philologie et la musicologie ont ensuite découvert l'intérêt d'une mise en correspondance entre langues différentes, afin d'y déceler les principes communs et les singularités. Mais, selon SAUSSURE, une telle philologie

ne s'est jamais préoccupée de dégager la nature de son objet d'étude. Or, sans cette opération élémentaire, une science est incapable de se faire une méthode.⁴

La science linguistique est ainsi apparue à partir du moment où s'est imposée la nécessité d'assurer un fondement épistémologique. Dépassant la « description purement discursive », la linguistique y a ajouté un « point de vue systématique »⁵, qui lui offre précision et objectivité. Une telle systématisation, selon SAUSSURE, permet à la linguistique :

a) de faire la description et l'histoire de toutes les langues qu'elle pourra atteindre [...];⁶

C'est le fruit de la systématisation.

b) de chercher les forces qui sont en jeu d'une manière permanente et universelle dans toutes les langues [...];⁷

De telles forces pourront être en partie découvertes par la systématisation, mais une grande part doit plutôt être posée *a priori* lors de la systématisation elle-même.

c) de se délimiter et de se définir elle-même.⁸

Cette épistémologie étant la condition *sine qua non* d'une systématisation.

²[Ruw66], repris dans [Ruw72], p. 104.

³[BD98], p. 60.

⁴[Sau78], p. 16.

⁵[Hje84], p. 17.

⁶[Sau78], p. 20.

⁷*Ibid.*

⁸*Ibid.*

3.1 Le structuralisme hjelmslévien

3.1.1 Le système de la langue saussurienne

La langue est un attribut de l'espèce humaine qui la structure pour une grande part. Elle offre à l'individu un substrat lui permettant de mettre en forme sa réflexion, et à la société un outil de communication. Bien que n'ayant pas d'existence concrète et ponctuelle apparente, la langue s'affiche comme une évidence. SAUSSURE considère ainsi que :

La langue est un système qui ne connaît que son ordre propre.⁹

La langue a pour caractéristique étonnante de mettre en œuvre, dans tous ses aspects — que ce soit la substance sonore, la capacité phonatoire, la réception auditive, etc. —, des moyens qui ne lui sont pas propres. Autour d'un ensemble de potentialités apportées par la vie en générale, et par l'intelligence en particulier, s'est sédimenté un système de communication et de réflexion. Puisque la langue existe de manière propre, la linguistique doit alors, d'après les souhaits de SAUSSURE, se concentrer sur cette réalité particulière :

Il faudrait étudier la langue en elle-même : or, jusqu'ici, on l'a presque toujours abordée en fonction d'autre chose, à d'autres points de vue.¹⁰

3.1.2 La structure du langage hjelmslévien

HJELMSLEV adhère à l'idée d'une entité particulière qu'il nomme, quant à lui, langage.

Les phénomènes physiques, physiologiques, psychologiques et logiques en tant que tels ne constituent pas le langage même, mais seulement des aspects extérieurs, fragmentaires, choisis comme objets d'étude non tant parce qu'ils intéressent le langage que parce qu'ils ouvrent des domaines auxquels celui-ci permet d'accéder.¹¹

Cette citation, tout en concordant avec la notion saussurienne du système, introduit furtivement une notion qui, une fois développée jusqu'à une certaine radicalité, conduira à un obstacle. Les phénomènes en question sont en effet considérés ici comme « fragmentaires », certes, mais également comme « extérieurs » au langage. Le langage serait alors ici considéré comme une entité se surajoutant au reste, et non plus comme une intersection particulière.

Mais si le langage est considéré, non comme un système particulier au sein de réalités pré-existantes — ce qui semblerait être le cas de la langue saussurienne — mais plutôt comme une entité supplémentaire et indépendante de la réalité, qu'elle met en œuvre, alors la théorie du langage revient alors à la détermination de cette structure particulière :

[La linguistique] doit chercher à saisir le langage non comme un conglomérat de faits non linguistiques (physiques, physiologiques, psychologiques, logiques, sociologiques), mais comme un tout qui se suffit à lui-même, une structure *sui generis*. Ce n'est que de cette

⁹[Sau78], p. 43.

¹⁰[Sau78], p. 34.

¹¹[Hje84], p. 11.

façon que le langage en tant que tel pourra être soumis à un traitement scientifique et cesser de nous mystifier en se déroband à l'observation.¹²

Le danger d'une telle approche, comme nous allons le comprendre bientôt, tient à son refus d'entrer dans le système de la langue par ses propres accès. En effet, selon HJELMSLEV, seul ce qui est immanent au langage peut former un système, alors que ce qui lui est externe, comme les capacités cognitives de formation et de réception du langage, ne forme qu'une masse chaotique :

Une théorie qui cherche à atteindre la structure spécifique du langage à l'aide d'un système de prémisses exclusivement formelles doit nécessairement [...] chercher une *constance* qui ne soit pas enracinée dans une « réalité » extra-linguistique ; une constance qui fasse que toute langue soit langage, quelque langue que ce soit, et qu'une langue donnée reste identique à elle-même à travers ses manifestations les plus diverses ; une constance qui, une fois trouvée et décrite, se laisse projeter sur la « réalité » ambiante de quelque nature qu'elle soit (physique, physiologique, psychologique, logique, ontologique), de telle sorte que cette « réalité » s'ordonne autour du centre de référence qu'est le langage, non plus comme un conglomérat mais comme un tout organisé dont la structure linguistique constitue le principe dominant.¹³

En particulier, la linguistique structurale ne doit pas prendre en compte de données d'ordre perceptives :

La tâche principale de la linguistique est donc de construire une science de l'expression et une science du contenu sur des bases internes et fonctionnelles, sans admettre de données phonétiques ou phénoménologiques dans la science de l'expression ni de données ontologiques ou phénoménologiques dans la science du contenu [...]. Il se constituerait ainsi, en réaction contre la linguistique traditionnelle, une linguistique dont la science de l'expression ne serait pas une phonétique et dont la science du contenu ne serait pas une sémantique.¹⁴

3.1.3 L'*a priori* refoulé

Si le langage — au sens hjelmslévien — existe indépendamment de sa mise en œuvre, son essence même ne pourra être envisagée non pas par une appréhension réelle, qui ne rendrait compte que d'une apparence, mais par une méthodologie structuraliste. La théorie doit alors se construire sur les bases du niveau immanent de la langue.

Une théorie, pour être la plus simple possible, ne doit rien supposer qui ne soit strictement requis par son objet.¹⁵

La méthode linguistique, sensée rendre compte en toute transparence du contenu immanent de la langue, ne devrait donc rien supposer mais se contenter

¹²[Hje84], p. 12.

¹³[Hje84], p. 15.

¹⁴[Hje84], p. 101.

¹⁵[Hje84], p. 19.

de décrire. Mais devant l'impossibilité d'un tel idéal, HJELMSLEV se résoud à imposer, non pas une absence, mais un minimum d'*a priori*.

Il faut exiger de la théorie qu'elle se garde autant que possible de toute métaphysique, c'est-à-dire que le nombre de ses prémisses implicites doit être réduit au minimum.¹⁶

Ces présupposés indisérables remettant fondamentalement en cause la possibilité d'une science immanente, HJELMSLEV pense pouvoir les annihiler en les transformant en des définitions.

Il nous semble que, dans toute science, l'introduction d'une stratégie appropriée de définitions permet de restreindre le nombre d'axiomes et parfois même de le réduire à zéro.¹⁷

Le principe d'empirisme

Certains de ces présupposés sont assemblés en un « principe d'empirisme » :

La description doit être non contradictoire, exhaustive et aussi simple que possible. L'exigence de non-contradiction l'emporte sur celle de description exhaustive, et l'exigence de description exhaustive l'emporte sur celle de simplicité.¹⁸

De telles heuristiques ne sont ainsi pas considérés *a priori*, mais comme des principes neutres permettant effectivement de rendre compte du contenu immanent. Les principes de non-contradiction et d'exhaustivité relèvent directement de cet immanence, puisque l'exhaustivité ne peut être définie que relativement à ce contenu immanent, dont l'essence ne peut en aucun cas être contradictoire :

Il faut procéder de telle sorte que le résultat de l'analyse soit exhaustif (au sens le plus large du terme), et que nous n'introduisons pas d'avance une méthode qui nous empêche d'enregistrer les facteurs qui à travers une autre analyse seraient mis en lumière comme appartenant à l'objet qui constitue la matière de la linguistique.¹⁹

L'invocation d'un souci de la simplicité, par contre, est nettement plus problématique :

La description se fait selon une procédure qui doit être organisée de telle sorte que le résultat en soit le plus simple possible, et qui doit être arrêtée quand elle ne conduit plus à une simplification ultérieure.²⁰

L'immanence, en tant que telle, ne nécessite aucune simplification, puisque son existence est indépendante de toute investigation. La démarche empiriste ne peut, par définition, déformer l'immanence. L'apparition d'un tel souci semblerait plutôt présager de l'incapacité de l'empirisme à accéder directement à une quelconque immanence. Externe à son objet, il lui incombe alors de s'approcher autant que possible de son objectif. Une telle tentative de simplification maximale de l'observation semble jaillir d'une volonté esthétique dont l'absence de justification remet en cause la possibilité d'une approximation pertinente de

¹⁶[Hje84], p. 33.

¹⁷[Hje84], p. 34.

¹⁸[Hje84], p. 19.

¹⁹[Hje84], p. 35-36.

²⁰[Hje84], p. 80-81.

l'immanence. La nécessité de la simplification montre, au contraire, que la méthode empiriste semble s'encombrer de quantité de descriptions *non-pertinentes* qui doivent être éliminées.

3.1.4 La recherche schématique

La répétition

La méthode empirique s'applique à découvrir, à partir d'un phénomène — le « processus » —, « le système » sous-jacent :

Le but de la théorie du langage est de vérifier la thèse de l'existence d'un système sous-jacent au processus, et celle d'une constance qui sous-tend les fluctuations, et d'appliquer ce système à un objet qui semble tout particulièrement s'y prêter.²¹

La détermination du système immanent de la langue est régie par le principe de la *répétition* :

Il doit être possible de considérer tout processus comme composé d'un nombre limité d'éléments qui réapparaissent constamment dans de nouvelles combinaisons. On devrait pouvoir, en se fondant sur l'analyse du processus, regrouper ces éléments en classes, chaque classe étant définie par l'homogénéité de ses possibilités combinatoires.²²

Ces classes correspondent à ce que l'on a appelé (§ 1.1) les *schémas*, et les éléments regroupés sous ces classes aux *reproductions* des schémas.

Les rapports de répétition peuvent être considérés comme des « dépendances », et l'analyse consiste alors en une détermination de dépendances :

L'*analyse*, dans sa définition formelle, sera donc description d'un objet à travers les dépendances homogènes d'autres objets sur lui et sur eux réciproquement.²³

Les unités décelées par l'analyse sont considérées alors comme une simple conséquence de ces dépendances :

Les « objets » du réalisme naïf se réduisent alors à des points d'intersection de ces faisceaux de rapports ; cela veut dire qu'eux seuls permettent une description des objets qui ne peuvent être scientifiquement définis et compris que de cette manière. Les rapports ou les dépendances que le réalisme naïf tient pour secondaire et présupposant les objets, deviennent pour nous essentiels : ils sont la condition nécessaire pour qu'existent des points d'intersection.²⁴

HJELMSLEV critique ainsi les démarches fondées sur l'existence d'objets immanents, à partir desquels, et entre lesquels, se constituent des dépendances. Une telle critique semblerait concerner la démarche sémiologique de NATTIEZ (§ 3.3), fondée sur une existence immanente d'objets immanents du « niveau neutre », à partir desquels sont déterminés *a posteriori* des fonctions, des classifications, bref, des dépendances.

²¹[Hje84], p. 17.

²²[Hje84], p. 16.

²³[Hje84], p. 44.

²⁴[Hje84], p. 36.

L'identification

Les dépendances permettent non seulement de déterminer des répétitions exactes, mais aussi et surtout des transformations. Pour que des variations puissent être considérées comme telles, elles doivent pouvoir être *identifiées* sous un même concept. Avec la concept de l'identité, nous entrons dans le coeur du problème de l'analyse

On doit disposer d'une méthode qui permette, dans des conditions précisément fixées, de *réduire* deux grandeurs à une seule ou, comme on dit plus souvent, d'*identifier* deux grandeurs l'une à l'autre.²⁵

HJELMSLEV pense alors pouvoir

écarter le problème de l'identité comme une complication superflue²⁶

à l'aide de la mise en œuvre d'un mécanisme de réduction. Or ce mécanisme de réduction — repris par RUWET dans son opération (d) (§ 3.2.5) — consiste en une décomposition et suppose donc irrémédiablement au préalable une identité entre les éléments au sein des unités complexes. Une telle problématique de l'identité, passée sous silence dans la théorie du langage hjelmslévien, se pose de manière bien plus dramatique dans le contexte musical. Autant, dans le langage,

on pourra toujours constater qu'il y a en plusieurs endroits du texte la « même » phrase, la « même » proposition, le « même » mot²⁷

autant, dans la musique, l'évidence de telles identités s'estompe.

L'induction et la déduction

Hjelmslev entrevoit deux stratégies d'analyse :

– l'une, dite « inductive », procède par *agrégation* progressive de classes du niveau local au niveau global, c'est donc

un passage graduel du particulier au général, ou d'un objet limité à un autre qui le soit moins.²⁸

– l'autre, dite « déductive », procède par *décomposition* récursive du texte entier en classes et en sous-classes, c'est-à-dire :

une analyse qui considère le texte comme une classe analysable en composantes ; ces composantes sont à leur tour considérées comme des classes analysables en composantes, et ainsi de suite jusqu'à exhaustion des possibilités d'analyse.²⁹

Selon Hjelmslev, la méthode inductive

conduit inévitablement à l'extraction de concepts hypostasiés comme réels. Ce réalisme (au sens médiéval du terme) ne fournit par de base utilisable de comparaisons, étant donné que les concepts ainsi obtenus n'ont pas de valeur générale et ne s'appliquent qu'à un état d'une langue donnée. [...] L'induction, dans ce domaine, ne conduit pas à des fluctuations à la constance, mais seulement des fluctuations à l'accidentel. En dernier ressort, la méthode inductive entre en conflit

²⁵[Hje84], p. 81.

²⁶*Ibid.*

²⁷[Hje84], p. 81-82.

²⁸[Hje84], p. 20.

²⁹[Hje84], p. 21.

avec le principe d'empirisme que nous avons formulé : elle ne permet pas de dresser une description non contradictoire et simple.³⁰

C'est pourquoi il recommande la méthode déductive :

C'est un mouvement qui analyse et spécifie et non un mouvement qui synthétise et généralise, le contraire de la démarche inductive telle que la linguistique traditionnelle la connaît.³¹

Une vision globale du texte aurait alors pour intérêt de saisir les concepts directement dans leur expression générale, et d'éviter ainsi une prise en compte des caractéristiques spécifiques de chaque occurrence, et des particularités inhérentes à leur ordre d'apparition. Or, contrairement au langage, la fluctuation et l'accidentel de la musique, loin d'être insignifiant, donne sens au discours. Les concepts musicaux — en particulier les motifs — ont pour particularité de voir leurs caractéristiques évoluer au cours du temps, c'est-à-dire d'être sujet à des *développements*. Le texte musical se prête alors plus facilement à une analyse suivant une logique temporelle. Il ne peut se contenter en outre d'une « description non contradictoire et simple », qui risquerait de passer sous silence les nombreuses configurations locales et les fréquentes ambiguïtés qui le construisent.

Une telle décomposition récursive du texte soulève d'autre part d'importantes difficultés. En effet, la détermination à chaque niveau d'analyse de nouvelles composantes, en raison de

la nécessité de séparer avant de comparer,³²

doit être opérée avant même d'avoir effectué l'examen même (et donc les éventuelles décompositions) de ces composantes. Comment peut-on ainsi déterminer la similarité de chacune de ces composantes si l'on n'en a pas fait une analyse préalable ?

En fait, un tel dispositif « déductif » montre des limitations évidentes dès que l'on dépasse les simples considérations théoriques pour se confronter à la « procédure de découverte »³³ à laquelle conduit la théorie, procédure qui n'est pas considérée par Hjelmslev, concentré sur les seuls « prolégomènes » de cette théorie.

3.1.5 Le rationalisme chomskyen

En opposition à la linguistique empiriste s'est érigée une démarche opposée, incarnée principalement par Noam CHOMSKY [Cho71], qui se refuse de systématiser la procédure même de découverte mais préfère, au contraire, mettre simplement en adéquation le texte analysé avec une théorie linguistique posée au préalable. La constitution même de la théorie linguistique s'effectue de manière intuitive et hypothétique par le théoricien lui-même, et s'identifie aux principes mêmes de l'analyse.

Le rationalisme voit en l'empirisme une investigation utopique, hasardeuse et laborieuse, incapable de déceler, malgré tous les efforts entrepris, les structures les plus évidentes du langage. Si de telles structures peuvent être aisément explicitées de manière intuitive, il n'est en effet pas nécessaire de faire appel à

³⁰[Hje84], p. 20-21.

³¹[Hje84], p. 21.

³²[Hje84], p. 31.

³³[Hje84], p. 28.

l'artillerie empiriste. Celle-ci pourra se prévaloir, en revanche, d'une capacité de mise à jour — si elle y parvient — de configurations non accessibles à l'intuition directe. L'âpre querelle qui oppose ainsi empirisme et rationalisme peut donc être relativisée en fonction des objectifs fixés.

Un rationalisme musical ?

Le rationalisme chomskyen se fonde sur l'existence d'une grammaire universelle du langage. Mais autant les langues naturelles semblent, il est vrai, présenter une certaine forme d'invariant grammatical, autant la musique ne se prête pas aussi aisément à une loi universelle de construction formelle. C'est ce qu'expliquent par exemple des cognitivistes de la musique tels que Robert WEST, Peter HOWELL, et Ian CROSS :

In music, one could use transformational rules to reorder notes or note strings, or to enable their omission, or even to substitute different note strings. [...] However, in natural language, it seems that many transformational rules are ad hoc and have no intrinsic validity but appear to be necessary to account for grammatical constructions. It is harder to justify ad hoc transformational rules on the grounds that they are necessary to explain intuitions regarding whether a given piece of music falls within a musical corpus. This is because [...] musical grammaticality is much more ambiguous.³⁴

3.2 La tentative de systématisation empiriste de Ruwet

La méthode d'analyse développée par Nicolas RUWET [Ruw66] est généralement considérée, notamment par Jean-Jacques NATTIEZ, comme le point de départ d'un nouveau programme de recherche dédié à une refondation positiviste de l'analyse musicale :

Si demain, la musicologie est capable de prendre un nouveau départ et de se développer sur des bases plus scientifiques, ce sera grâce aux deux articles de 1962 et 1966. [...] La crise de l'analyse musicale est devenue telle, qu'il n'est plus possible d'ignorer le nouveau paradigme méthodologique que Ruwet a amorcé.³⁵

3.2.1 La démarche analytique

La proposition de RUWET s'inscrit ici en opposition au paradigme rationaliste. Cette opposition s'appuie sur la dichotomie hjelmslévienne entre « processus » du langage — c'est-à-dire le phénomène lui-même — et « système » du langage — c'est-à-dire le modèle théorique rendant possible ce processus —, ce qui est repris par JAKOBSON sous la terminologie message / code :

Dans tout système sémiotique, le rapport entre le code et le message peut être décrit de deux points de vue différents, selon que l'on va du message au code, ou du code au message.³⁶

³⁴[WHC85], p. 34.

³⁵[NHP73], p. 43

³⁶[Ruw66], repris dans [Ruw72], p. 100.

Sont ainsi définies deux démarches opposées, appelées respectivement « analytique » et « synthétique ». RUWET prône alors l’instauration d’une véritable méthodologie analytique, qui entrerait ainsi en concurrence avec la démarche synthétique du rationalisme chomskien :

Des procédures de découverte explicites, même partiellement insuffisantes, sont indispensables, ne fût-ce que pour garantir que le modèle synthétique ne se muera pas en système normatif.³⁷

La musicologie se serait cantonnée jusqu’alors, selon RUWET, dans une démarche synthétique :

Considérons maintenant l’état présent de la musicologie du point de vue de la distinction des deux modèles. On peut constater : a) que le problème théorique de la distinction n’a jamais été posé ; b) qu’aucun modèle analytique n’a jamais été explicitement élaboré ; c) que les analyses musicales, même les meilleures — par exemple celle donnée par Pierre BOULEZ du *Sacre du Printemps* — ne formulent pas les critères de découverte sur lesquels elles reposent. D’une manière générale, la plupart des traités d’harmonie, de fugue, etc., présentent une situation analogue à celle offerte par les grammaires traditionnelles : le modèle est synthétique, partiellement explicite seulement, et entaché de normativisme.³⁸

Bien évidemment, les modèles synthétiques sont tous constitués à partir d’une démarche analytique préalable. Mais la démarche analytique, telle qu’elle est conçue par Ruwet, se doit d’être explicite.

3.2.2 Un point de vue taxinomique

Il se concentre tout particulièrement sur la problématique de la découverte schématique :

La question cruciale, préliminaire à toutes les autres, est la suivante : *quels sont les critères qui, dans tel cas particulier, ont présidé à la division ?* Or, cette question, personne ne prend la peine d’y répondre, comme si l’évidence des critères sautait aux yeux.³⁹

C’est une telle question que RUWET tente de résoudre dans sa démarche, en empruntant, dans un premier temps,

une conception purement taxinomique de la structure musicale.⁴⁰

c’est-à-dire

qu’une œuvre musicale ayant un minimum de complexité est soumise à une organisation hiérarchique, se divise en parties de différents niveaux.⁴¹

Suivant une telle vision de l’organisation musicale, les unités musicales ainsi segmentées sont identifiées à l’étendue temporelle continue qu’elles occupent : il ne peut donc pas y avoir ni superposition d’unités à des mêmes instants, ni inclusion ou insertion d’une unité au sein d’autres ensembles.

³⁷ *Ibid.*, p. 101-102.

³⁸ *Ibid.*, p. 104.

³⁹ *Ibid.*, p. 106.

⁴⁰ *Ibid.*, p. 134.

⁴¹ *Ibid.*, p. 105-106.

3.2.3 Une division réursive

Démarches inductive et déductive

L'analyse aura donc pour but de reconstruire l'organisation hiérarchique qui est supposée sous-jacente à l'œuvre en question. Suivant la réflexion de HJELMSLEV (§ 3.1.4), l'organisation hiérarchique est envisagée de deux manières opposées :

- soit de manière « inductive », par une détermination des unités élémentaires puis un assemblage récursif des unités en unités de niveau supérieur,
- soit de manière « déductive », par une *division* du texte total en grands segments, puis de manière réursive de chaque segment en sous-segments.

L'analyse doit-elle être menée en allant « de haut en bas » ou au contraire « de bas en haut » ? [...] Les résultats des deux types d'analyse, appliqués aux mêmes matériaux, se recouvrent partiellement, mais, comme de toute façon une procédure unique ne peut jamais suffire, l'alternative de deux procédures cesse d'être cruciale : dans la pratique, les deux se mêlent constamment. Bien entendu, il est très utile d'avoir envisagé de façon précise les conséquences de l'emploi de telle ou telle procédure particulière.⁴²

Ce qui est important de remarquer ici, c'est que, selon RUWET, *l'organisation intrinsèque de l'œuvre*, puisqu'elle est supposée exister de manière immanente, *prime sur la procédure de découverte* de cette organisation, qui est indépendante de cette organisation. On peut alors se demander pourquoi RUWET défend avec tant de vigueur l'explicitation d'une procédure de découverte, si elle n'influe finalement pas sur le résultat de l'analyse. Nous pensons au contraire que c'est la manière d'appréhender la partition qui détermine la structure *découverte* (et donc créée de toute pièce par l'analyse). S'il existe une structure constante au sein d'une œuvre, celle-ci résulte des invariants de l'écoute (§ 4.1). La seule manière de déterminer cette structure revient alors à appréhender la musique de la même manière que l'écoute.

Division et construction de l'organisation

Bien que considérant les deux approches déductives et inductives comme équivalentes, RUWET penche pour la méthode déductive, motivé par le fait que le principe de l'organisation hiérarchique est en tant que telle une « division ». Reprenons une citation précédente :

Pour tout le monde, il semble aller de soi qu'une œuvre musicale ayant un minimum de complexité est soumise à une organisation hiérarchique, se *divise* en parties de différents niveaux.⁴³

Il est vrai qu'une telle organisation hiérarchique, une fois qu'elle est effectivement présente à l'esprit, se décrit de la manière la plus simple comme un tout formé de parties réursives. La représentation rend possible le mouvement du global vers le local. Ce mouvement permet d'ailleurs une navigation optimisée

⁴² *Ibid.*, p. 103.

⁴³ *Ibid.*, p. 105-106, nous soulignons.

au sein de cette représentation. Mais un tel *parcours de la représentation déjà acquise* doit être distinct de la *procédure de découverte de cette représentation*. Comme l'explique Jean-Marc CHOUVEL :

Il y a donc deux sens de parcours de la hiérarchie : celui qui part d'un niveau inférieur pour former un niveau supérieur, c'est-à-dire un mécanisme d'intégration, et celui qui, à partir de la désignation d'un objet, permet de revenir à sa constitution au niveau inférieur, ce que nous appellerons le mécanisme de réalisation. [...] la réalisation semble être le mécanisme privilégié de la poïétique et l'intégration celui de l'esthétique [...] il y a bien souvent une part d'intégration dans le parcours compositionnel [...] et il y a une part non négligeable de réalisation dans l'audition d'un discours musical, réalisation qui explique pour une bonne part les mécanismes d'attente et de surprise.⁴⁴

Or la procédure de découverte présentée par RUWET elle-même procède du global au local. Un tel choix mériterait donc une justification, que l'auteur ne considère pas comme nécessaire. Il semblerait au contraire qu'une analyse, si elle se doit d'appréhender le musical suivant une démarche concordante avec celle de l'écoute, doit alors généralement effectuer, comme l'explique CHOUVEL, une approche ascendante de la structure, du local vers le global. C'est de cette manière que procédera l'approche proposée en seconde partie de cette thèse.

L'opération (a) : les unités de niveau I

Comment est-il d'ailleurs possible de mener une analyse « de haut en bas », c'est-à-dire de partir de l'œuvre total, et de la diviser en constituants de plus en plus petits ? Les différents étapes de cette progression sont appelés « niveaux » par RUWET. Le premier stade de l'analyse, « l'opération (a) », s'attachant donc à déterminer les unités du niveau I, consiste en une recherche des unités *les plus longues possibles* :

On considère comme des unités du niveau I les séquences — les plus longues possibles — qui sont répétées intégralement, soit immédiatement après leur première émission, soit après l'intervention d'autres segments.⁴⁵

Mais puisque la recherche des unités est, comme nous allons le voir plus tard, régie par le principe de la répétition, une telle recherche de répétition les plus longues possibles consiste en une construction progressive de séquences répétées par comparaison de chaque note successive des deux séquences. L'on part ainsi « du bas », de l'infiniment local que constitue l'identité de la note, pour construire progressivement les séquences. Il s'agit donc d'une *montée* du bas vers le haut. RUWET semblerait alors avoir tort de considérer que cette première étape est un

exemple de la nécessité, au cours de la procédure, de *shunter*, c'est-à-dire de procéder tantôt de haut en bas, tantôt de bas en haut [...] puisque, partis du « bas » — les unités élémentaires de durée et de

⁴⁴[Cho98], p. 54.

⁴⁵[Ruw66], repris dans [Ruw72], p. 112.

hauteur — nous avons ensuite, avec l'opération (a), procédé à partir du « haut ». ⁴⁶

Que les principales parties d'une œuvre constituent de simples répétitions maximales, voilà d'ailleurs une hypothèse discutable qui aurait nécessité une justification malheureusement absente de l'article. Une telle procédure montre d'ailleurs ses insuffisances. Nous verrons (§ 3.2.7) dès le premier exemple considéré par RUWET lui-même qu'un tel principe donne directement des résultats insatisfaisants.

L'opération (e) : les unités de niveau O

Remarquons alors qu'il est également proposé un mécanisme de construction progressive d'unités de niveau supérieur à partir d'unités de niveau inférieur. L'objectif de cette articulation supplémentaire — l'opération (e) — est justement de constituer un nouveau niveau consistant en

des unités d'un niveau supérieur au niveau I (appelons ce niveau le niveau O). ⁴⁷

Les deux unités candidates de niveau O sont par exemple $(A+X)$ et $(A+Y)$, ou A , X et Y sont trois unités de niveau I, les deux occurrences de A étant deux répétitions exactes d'une même unité. Deux critères rendent possible une telle opération.

- Selon l'opération (e_2), les unités de niveau I constituant les unités candidates de niveau O peuvent être mises en relation d'identité respective. Dans notre exemple, puisque on a déjà identité les deux unités de gauche

$$A \equiv A \tag{3.1}$$

il faut et il suffit que

$$X \equiv Y \tag{3.2}$$

Mais si les unités de droite sont finalement identifiables, les unités de niveau O auraient alors dû être déterminées immédiatement lors de l'opération (a). Un tel cas ne devrait donc pas être envisageable en théorie.

- Selon l'opération (e_1), les unités candidates de niveau O doivent présenter en leur extrémité droite une certaine discontinuité facilitant leur segmentation, telle qu'une pause.

Rien ne justifie le fait qu'un tel critère soit considéré pour cette opération (e) et passé sous silence pour l'opération (a).

Ainsi les opérations (a) et (e) n'ont pas de raison d'être distinguées. L'énonciation d'une telle opération (e) témoigne ainsi de l'échec de la tentative par l'opération (a) d'une recherche d'unités de longueur maximale. Il semblerait donc plus pertinent de fonder toute l'analyse sur des opérations de type (e) de construction progressive d'unités de niveau supérieur à partir d'unités de niveau inférieur.

3.2.4 Le paradigme de la segmentation

Prolongeant davantage l'hypothèse de la segmentation, RUWET en vient à supposer que les domaines temporels qui n'ont pas été associés à des unités

⁴⁶[Ruw66], repris dans [Ruw72], p. 114.

⁴⁷*Ibid.*, p. 115.

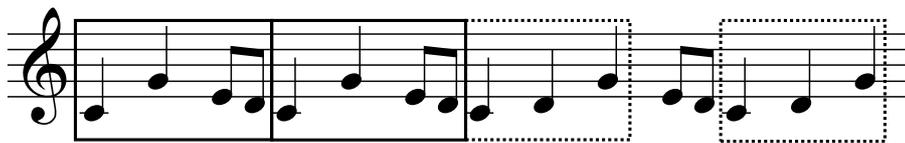


FIG. 3.1 – *La recherche de répétition par segmentation consiste à couper la séquence musicale en segments non superposés.*

peuvent eux-mêmes être considérés comme des unités à part entière. Pour défendre cette idée, l’auteur cite ROUGET :

Certains fragments sont répétés, d’autres ne le sont pas : c’est sur la répétition — ou l’absence de répétition — qu’est fondé notre découpage. Lorsqu’une suite de sons est énoncée à deux ou plusieurs reprises, avec ou sans variante, elle est considérée comme une unité. *Corollairement, une suite de sons énoncée une seule fois, quels que soient sa longueur ou le nombre apparent de ses articulations (notamment les silences) est considérée elle aussi comme une unité.*⁴⁸

Dans le passage que nous avons souligné dans la citation précédente, l’hypothèse d’une prise en compte des restes de la segmentation semble admise. Or il est intéressant de constater que dans la citation originale, une telle idée n’était suggérée que dans un contexte précis :

Corollairement, une suite de sons énoncée une seule fois, quels que soient sa longueur ou le nombre apparent de ses articulations (notamment les silences) est considérée elle aussi comme un modèle ; simplement, il semble que dans le cas qui nous occupe, elle soit appropriée à la musique analysée et permette de mettre en évidence sa structure.⁴⁹

Une telle notion de « reste » se fonde sur la possibilité du mécanisme de la *segmentation*. On suppose qu’une séquence musicale peut être véritablement décomposée en segments non superposés. Pourtant, des exemples simples mettent en évidence la limitation d’une telle approche (figure 3.1). Il semblerait que l’écoute procède plutôt par détermination de groupements de notes qui peuvent se superposer (figure 3.2). L’approche informatique développée en seconde partie se fonde sur cette seconde approche, et consiste en une détermination d’une multitude de reproductions de schémas indépendants les uns des autres (cf. résultats d’analyse en annexe A). Tout l’enjeu revient alors à minimiser le réseau de ces groupements (chapitre 8).

Les opérations (b) et (c)

C’est sur l’hypothèse de la prise en compte des restes, bien que de validité restreinte selon ROUGET, que se développe une grande part de la méthodologie de RUWET. Ces restes sont associés, suivant les opérations (b) et (c), au niveau qui contient des unités de taille similaire.

⁴⁸G. ROUGET, « Un chromatisme africain », *l’Homme*, I. 3 (1961), p. 41, cité par [Ruw66], dans [Ruw72], p. 111, nous soulignons.

⁴⁹*Ibid.*, cité dans [Aro85].

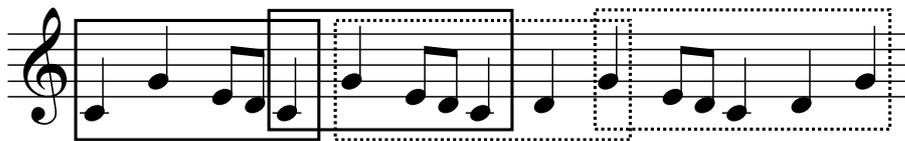


FIG. 3.2 – La recherche de répétition par groupement consiste à déterminer au sein de la séquence musicale, des groupements de notes qui peuvent se superposer les uns aux autres. Les groupements déterminés ainsi semblent mieux concorder avec les intuitions de l’écoute, que les segments déterminés à la figure 3.1.

3.2.5 La répétition

Dans la même lignée que l’approche de HJELMSLEV, l’organisation hiérarchique est supposée régie par le principe de la répétition : à chaque niveau de la hiérarchie, les objets déterminés sont en relation réciproques d’identité.

L’identité musicale a ceci de particulier et de problématique qu’elle se présente non seulement entre des répétitions exactes, mais également à travers des variations et des transformations de divers types. Toute la difficulté — et l’enjeu de l’analyse — réside alors dans la découverte d’identité au-delà de l’apparente diversité.

L’opération (d)

L’opération (d) a justement pour objectif d’établir des identifications entre des variations.

Il serait essentiel de dresser la liste des types de transformations possibles, et de décrire les procédures qui permettent de les dégager. Je me bornerai à quelques remarques.⁵⁰

La tentative de formalisation explicite du langage musical, insufflée par le linguistique moderne, se trouve vite en difficulté devant la complexité du problème. Remarquons que la tentative computationnelle engagée dans cette thèse bute également sur des problèmes semblables.

Les transformations considérées par RUWET sont les suivantes :

- Les transpositions n’offrent aucune difficulté particulière, car cette transformation est résolue par un simple changement de repère.
- Les dimensions musicales considérées par l’analyse se réduisant aux hauteurs et aux valeurs de durée, la répétition exacte consiste en une identité du point de vue de ces deux dimensions. L’opération (d₁) consiste alors en la recherche d’identité restreinte à une seule de ces dimensions.
- Les transformations remettant en cause la succession des notes ne sont pas réellement considérées :

D’autres transformations feront intervenir des opérations plus compliquées, telles que permutations, ajouts ou suppressions de certains éléments. Je n’entrerais pas ici dans le détail de ces opérations.⁵¹

⁵⁰[Ruw66], repris dans [Ruw72], p. 114.

⁵¹*Ibid.*

- Deux segments A et X peuvent être identifiés entre eux, s'ils sont identiques sur une même partie (par exemple si $A = a + b$ et $X = a + c$) et s'ils présentent une autre similarité, notamment s'ils sont de même durée totale (opérations (d_3) et (d_4)). Un tel principe montre des limitations évidentes. Par exemple, pour une séquence du type a, b, c, b, d , on pourrait aussi bien obtenir $(a, b), (c, b), d$ que $a, (b, c), (b, d)$.

3.2.6 Une procédure non-formalisée

Il annonce préalablement que sa méthode consiste à choisir *un* principe donné, parfaitement explicite, quitte à s'apercevoir qu'il est insuffisant, qu'il demande des aménagements, voire qu'il est à rejeter.⁵²

Mais ce projet ne sera pas développé de la manière annoncée :

Je [...] choisirai, comme *principal*⁵³ critère de division, la *répétition*.⁵⁴

Une fois le manifeste déclamé, une fois la méthode présentée, et au moment de la mettre à l'épreuve, le discours devient plus nuancé :

Il faut insister sur le fait que, dans l'analyse telle qu'elle est effectivement menée, les diverses étapes de la procédure ne se suivent pas nécessairement dans l'ordre donné. La procédure est beaucoup plus une procédure de vérification, destinée à veiller à ce que l'analyse soit cohérente, qu'une procédure de découverte au sens strict du terme. Sans doute, il serait toujours possible de l'appliquer rigoureusement dans l'ordre donné, et on obtiendrait les mêmes résultats, mais il est beaucoup plus économique et plus rapide de s'en servir pour vérifier les résultats d'une analyse obtenue, très rapidement parfois, d'une manière purement intuitive.⁵⁵

3.2.7 Une mise en application intuitive

La procédure est mise en application sur quelques exemples, en commençant par les plus simples.⁵⁶

Le premier exemple, qui devrait être l'occasion d'apprécier l'intérêt de l'approche, est un *Geisslerlied* :

L'opération (a), qui consiste donc en la recherche des segments répétés les plus longs, donne, selon RUWET, la segmentation suivante (figure 3.3) :

a) $X + B + B$ ⁵⁷

Or il est possible de détecter un autre segment B aussi long (figure 3.4). Pourquoi de tels segments ne sont-ils pas pris en compte par la machine RUWET ? Parce qu'ils ne correspondent pas aux attentes de son intuition. Ainsi, dès la première étape, le processus n'est en aucun cas explicite mais joue de manière constante avec les sous-entendus de l'analyste.

⁵² *Ibid.*, p. 108-109.

⁵³ Nous soulignons.

⁵⁴ *Ibid.*, p. 111.

⁵⁵ *Ibid.*, p. 117.

⁵⁶ *Ibid.*, p. 116.

⁵⁷ *Ibid.*, p. 118.



FIG. 3.3 – Selon la méthode d'analyse de RUWET, la première étape de l'analyse de ce Geisslerlied consiste en la découverte des deux répétitions maximales B. Puis dans un second temps, la recherche de répétitions variées au sein du reste non encore segmenté donne lieu à la découverte de A et A'.



FIG. 3.4 – Si l'on applique de manière stricte la méthode de RUWET, on peut également obtenir ce résultat. Si ces segments ne sont pas découverts par RUWET, c'est parce que sa méthode se fonde en contrebande sur les intuitions de l'analyste, et non sur la démarche explicite.

Cet accident dans le cours de la mise en œuvre d'une telle procédure n'a rien d'anecdotique : il n'est qu'un exemple parmi tant d'autres du caractère non-explicite des raisonnements mis en jeu effectivement dans de telles analyses.

Poursuivons l'analyse. L'opération (b) est testée :

b) résultat négatif : pas d'équivalence en durée absolue entre X et B.⁵⁸

L'opération (c) est ensuite mise en œuvre. Puisque le reste X est d'étendue plus grande que B, c'est l'opération (c₂) qui est effectivement appliqué, laquelle teste si le reste X

apparaît segmentable en unités de niveau I, qui seront des transformations [des unités pré-existantes de niveau I]⁵⁹

les transformations étant testées à l'aide de l'opération (d). Selon la machine RUWET, le test est positif et l'opération réalisée :

c), d) : $X = A + A'$; A' est une transformation mélodique (durée constante) de A (cf. d₁).⁶⁰

Or l'opération ainsi réalisée n'est pas du tout celle présentée en théorie, puisque les éventuelles unités de niveau I ainsi décelées (ici : A et A') doivent être des transformations des unités pré-existantes (ici : seulement B). Encore une fois, la procédure effective ne suit pas les principes théoriques. De plus, la transformation mélodique, selon l'opération (d₁), nécessite une répétition exacte au sein de l'axe des durées, et non une simple « durée constante ».

Conclusions

Tout ceci montre que les procédures de découverte ainsi énoncées dans cet article, ne sont pas véritablement explicitées et en fréquente contradiction avec leur mise en œuvre. La méthode d'explicitation a donc échoué. Remarquons que la procédure explicite impose une vision purement taxinomique de la musique, alors que la mise en application de cette procédure met en évidence des articulations complexes entre les unités les plus petites :

Ce qui empêche ici de parler d'unités de niveau IV, outre qu'elles sont de longueurs très inégales (certaines sont aussi longues que des unités de niveau III), c'est le fait que ces unités empiètent les unes sur les autres de diverses manières. Le caractère discret des unités et des niveaux — qui semble essentiel à une conception taxinomique de la structure musicale — y apparaît donc obscurci.⁶¹

RUWET en arrive à cette conclusion :

Même dans un cas [...] simple [...], il est impossible de se représenter complètement la structure sous la forme d'une série d'emboîtements [...]. La principale raison de cet état de choses tient évidemment du fait que la syntaxe musicale est une syntaxe d'équivalence : les diverses unités ont entre elles des rapports d'équivalence de toutes

⁵⁸ *Ibid.*

⁵⁹ *Ibid.*, p. 113.

⁶⁰ *Ibid.*

⁶¹ *Ibid.*, p. 119.

sortes, rapports qui peuvent unir, par exemple, des segments de longueur inégale [...] et aussi des segments empiétant les uns sur les autres. La conséquence de tout ceci est, comme on a pu le constater, qu'il est impossible de représenter la structure d'une pièce musicale par un schéma unique.⁶²

Un défaut majeur de l'approche de RUWET provient du fait que les règles proposées décrivent des conditions *nécessaires* à une identification, mais ne parviennent pas à dégager des conditions *suffisantes*. Des règles comme les transformations (d₃) et (d₄) décrivent des propriétés associées aux unités effectivement découverte par l'analyste, mais n'en expliquent pas les conditions de possibilité. Pour cette raison, ces règles ne peuvent fonder une analyse systématique.

En assimilant ainsi conditions nécessaires et conditions suffisantes, RUWET s'inscrit dans la droite lignée du structuralisme hjelmslévien, qui présuppose l'existence d'une structure immanente, et qui considère la procédure d'analyse comme secondaire à cette structure, dont les principes doivent être minimisés. C'est pourquoi RUWET imagine qu'une simple formalisation de règles intuitives suffit à l'instauration d'une approche systématique. Hélas, il n'en est rien. Comme la structure n'existe pas en tant que telle (§ 2.4.5), mais résulte directement de la procédure d'appréhension mise en œuvre par l'écoute, c'est cette procédure elle-même qu'il est nécessaire d'approcher. D'autre part, une simple formalisation intuitive ne suffit pas. C'est uniquement par l'intermédiaire de la modélisation informatique que l'on peut tester la validité opératoire, et que l'on peut détecter les défauts effectifs de la modélisation — tels que celui mis en évidence à la figure 3.4 —, qui sont difficilement détectables par l'observateur humain, aussi vigilant soit-il. La véracité cognitive, quant à elle, nécessitera une collaboration avec la psychologie expérimentale.

3.3 L'analyse sémiologique de Nattiez

3.3.1 Une explicitation déçue

Dans la lignée de RUWET, NATTIEZ engage explicitement sa démarche vers une tentative d'explicitation des démarches d'analyse :

Parce que la sémiologie musicale voudrait que ses descriptions se fondent sur des procédures bien explicitées et utilisent des métalangages rigoureux, elle a épistémologiquement un statut plus formel qu'herméneutique.⁶³

Il conçoit alors un niveau d'analyse particulier, qu'il nomme « analyse du niveau neutre », au sein duquel sont menées des approches totalement systématisées, quelque pertinentes qu'elles soient :

Le niveau neutre est un niveau d'analyse où on ne décide pas *a priori* si les résultats obtenus par une démarche explicite sont pertinents du point de vue de l'esthétique et/ou de la poïétique. Ce qui rend neutre ce niveau descriptif, c'est que les outils utilisés pour le découpage des phénomènes [...] sont exploités systématiquement jusqu'à leurs ultimes conséquences, et ne sont remplacés que lorsque

⁶² *Ibid.*, p. 134.

⁶³ [Nat75], p. 104.

de nouvelles hypothèses ou de nouvelles difficultés conduisent à en proposer de nouveaux. « Neutre » signifie ici que l'on va jusqu'au bout de l'application d'une procédure donnée, indépendamment des résultats obtenus.⁶⁴

Cette analyse du niveau neutre consiste donc en une segmentation préalable — et totalement incontrôlée — du discours musical en unités distinctes auxquelles seront associées ultérieurement des fonctions.

Les outils de la description ne sont donc pas neutres dans l'absolu : tournés vers l'analyse de la récurrence d'unités [...] et de leurs schémas de combinaisons, ils fournissent un point d'ancrage pour les analyses ultérieures, poïétiques et esthésiques, qui projettent sur ces schémas, des découpages externes et relativement autonomes. Certaines configurations du niveau neutre seront poïétiques, d'autres seront esthésiques, ou les deux : on ne peut le savoir qu'au moyen d'une information externe, qui n'est pas donnée par le texte lui-même. D'autres ne seront ni poïétiques ni esthésiques, ce qui prouve bien que le message musical possède un niveau d'organisation autonome.⁶⁵

L'absence de critères *a priori* serait justifiée par le constat sceptique d'une incapacité de fonder de manière générale une notion de pertinence universelle.

Il n'y a pas de pertinence *a priori* et définitive des configurations découvertes : il n'y a que des pertinences relatives.⁶⁶

Toute spécification *a priori* de la segmentation aurait pour fâcheuse conséquence, selon l'auteur, de restreindre le champ de découverte :

Rappelons seulement que l'écueil du fonctionnalisme linguistique a été de déterminer *a priori* les fonctions, et ainsi, de passer à côté d'un certain nombre de phénomènes qui, pour ne pas répondre à ces fonctions-là, n'en sont pas moins constitutifs de l'objet analysé. Aussi convient-il de ne pas mettre la charrue avant les boeufs et de bien séparer les opérations par lesquelles on identifie les unités et celles par lesquelles on détermine leurs fonctions.⁶⁷

Là où le fonctionnalisme tente, dans une véritable démarche scientifique, de définir un ensemble de *fonctions constitutives* et de tester leur pertinence par rapport à l'expérience, la segmentation de NATTIEZ s'oppose à toute modélisation scientifique — qui ne peut, par essence, rendre compte que d'une partie de la réalité. Une telle renonciation signe l'arrêt de la volonté d'explicitation.

Une émergence *a posteriori* de la pertinence

L'impossibilité, selon l'auteur, d'une définition *a priori* de la pertinence l'amène alors à proposer un principe de détermination *a posteriori* d'« une » pertinence par la simple accumulation de phénomènes.

si l'on veut sortir l'analyse musicale et l'analyse structurale de l'impasse où elles se trouvent, il faut renoncer à la conception de

⁶⁴[Nat75], p. 54-55.

⁶⁵[Nat75], p. 55.

⁶⁶[Nat75], p. 406.

⁶⁷[Nat75], p. 408.

l'analyse d'une œuvre unique prise comme un tout, et l'aborder en l'insérant dans un ensemble plus vaste auquel elle appartient stylistiquement : c'est de la mise en série des œuvres et de la comparaison des analyses extrêmement fouillées de chacune d'entre elles, que se dégagera une pertinence. Et alors seulement, il sera possible de revenir de l'analyse de l'ensemble des œuvres à une œuvre isolée, et de voir comment elle s'organise, car alors seulement, on pourra faire un choix parmi la multiplicité des faits qui s'offrent à l'observation.⁶⁸

Une telle démarche semblerait fondée sur la conception selon laquelle une analyse sera d'autant plus solide qu'elle sera mise en œuvre par une démarche *expérimentée* — humaine ou non —. Mais l'adjonction de connaissances culturelles ne résout en rien la problématique de l'explicitation, bien au contraire. Là où ne se posait initialement que la question de la découverte schématique au sein d'une œuvre donnée s'ajoutent désormais les questions, d'une part, de la constitution de ces schémas et d'autre part, de la mise en adéquation de schémas connus sur cette même œuvre. Or, la constitution de ces schémas nécessite la découverte schématique initiale, laquelle posait justement problème. La « mise en série » ne fait donc qu'ajouter une complexité supplémentaire.

L'explicitation du culturel

Un argument particulièrement sérieux à la défaveur du projet d'explicitation des procédures de découverte provient de la difficulté de séparer l'objectivité du culturel.

Tous les termes que nous utilisons, y compris au niveau neutre, résultent d'habitudes culturelles qui ne nous paraissent naturelles que si nous en oublions les origines et les conventions. En cela, les concepts de l'analyse musicale sont toujours « émiques » : *ils se fondent sur un savoir culturellement et historiquement déterminé.*⁶⁹

JAKOBSON suppose lui-aussi que les possibilités de mises en relation dépendent du contexte culturel :

Le code des équivalences reconnues entre les parties et celui de leur corrélation au tout constitue dans une large mesure un ensemble de parallélismes appris, assignés, reçus comme tels dans le cadre d'une époque, d'une culture, ou d'une école musicale donnée.⁷⁰

Une telle objection serait alors neutralisée, selon NATTIEZ, par la prise en compte de considérations d'ordre épistémologique :

La différence radicale avec les pratiques antérieures, c'est que l'explicitation des critères de l'analyse inclut dans le propre discours de l'analyste des considérations métalinguistiques, celles-là qu'on serait en droit de trouver dans un discours de type épistémologique prenant pour objet le discours de l'analyste.⁷¹

⁶⁸[Nat73a], p. 79.

⁶⁹[Nat75], p. 72.

⁷⁰Roman JAKOBSON, *Language in relation to other communication systems*, cité par NATTIEZ75, p. 213.

⁷¹[Nat75], p. 409.

Pourquoi une couche théorique supplémentaire pourrait-elle permettre une distanciation envers le culturel ? Ne risque-t-elle pas de tremper, ici encore, dans les présupposés émiques ? La modélisation scientifique de faits sociaux, de quelque niveau théorique que ce soit, prend irrémédiablement racine au sein de la culture dans laquelle baignent autant le théoricien que ses cobayes. Seule la mise en confrontation du modèle avec une multitude de culture pourra élargir le domaine d'application et *tendre* vers l'universalité, sans jamais y parvenir.

La méfiance du systématique

La démarche explicite ne serait pas systématique, car non automatisable :

Il serait faux de penser que cette procédure explicite a un caractère algorithmique : une machine, programmée selon ces directives, ne peut faire l'analyse à notre place.⁷²

La mise en œuvre de cette procédure s'effectue alors de manière intuitive :

Notre attitude devant le texte n'est jamais totalement neutre : acculturés au système et aux œuvres tonales, nous avons des intuitions sur le code.⁷³

La procédure sert en fait de simple point d'appui sur lequel se repose la démarche intuitive de l'analyste :

Cette procédure ne fait pas l'inventaire de *toutes* les opérations effectives, mais elle permet au musicologue de contrôler ses propres démarches et de s'appuyer sur une méthodologie cohérente pour critiquer et améliorer d'autres analyses.⁷⁴

Mais que peut contrôler une telle procédure si la démarche de l'analyste se laisse aller à des intuitions implicites ? NATTIEZ en vient ainsi à remettre en cause l'intérêt même de la formalisation des procédures de découverte, et cite Jean-Claude GARDIN :

Aucun physicien, aucun biologiste, ne s'étonne qu'il lui soit demandé d'indiquer, en même temps qu'une théorie nouvelle, les données de la nature et les opérations de l'esprit qui l'ont conduit à le formuler⁷⁵.

Se profile ici un malentendu entre d'une part la description du phénomène musical — qu'elle soit l'œuvre de la théorie musicale ou de l'analyse —, et — ce qui était initialement le projet de RUWET — l'*explicitation des procédures de découverte*.

3.3.2 La disposition de Lévi-Strauss

La méthode d'analyse de RUWET — qui fonde, comme nous l'avons vu, la démarche de NATTIEZ — reprend un procédé de disposition spatiale des données conçu initialement par LÉVI-STRAUSS pour mettre en évidence la structuration sous-jacente des récits mythologiques. Dans une structure matricielle est disposé

⁷²[Nat73b], p. 7.

⁷³*Ibid.*

⁷⁴*Ibid.*

⁷⁵Jean-Claude Gardin, « Analyse, sémiologie et littérature », *Nuovo* 75, N° 1, automne 1967, p. 6, cité in *Ibid.*

un flux — que ce soit un récit mythologique, une œuvre musicale, etc. — suivant deux règles particulières :

- Le balayage diachronique : le flux est parcouru chronologiquement par un simple balayage de la matrice de gauche à droite et de haut en bas.
- La factorisation paradigmatique : chaque colonne de la matrice présente les diverses occurrences d'une seule et même réalité sous-jacente.

Dans l'application musicale d'une telle disposition par RUWET, chaque ligne de la matrice prend la forme d'une portée musicale, et chaque colonne représente une classe de motif. Notons cependant que dans sa version musicale, cette représentation a pour particularité de ne pas présenter de colonnes explicitement délimitées. Ce sont les notes elles-mêmes qui sont alignées verticalement, lorsqu'elles correspondent à une même position d'une même classe de motif. Ce qui permet de représenter également des reproductions partielles de classe de motifs, tel que des préfixes ou des suffixes.

Le schématisme de la partition

Quel peut être l'intérêt d'une telle représentation, que ce soit dans le domaine de l'anthropologie structurale que de l'analyse musicale ? Selon NATTIEZ :

Ce qui est remarquable, ici, du point de vue de la genèse méthodologique, c'est que LÉVI-STRAUSS ait découvert une manière stimulante de faire apparaître la structure du mythe en s'inspirant de la musique d'une façon toute métaphorique, et que, à son tour, cette présentation-là soit à l'origine de ce qui est très certainement le point de départ d'une sémiologie opératoire de la musique. [...] La différence entre les deux analyses est patente : en mythologie, la présentation de LÉVI-STRAUSS est une façon d'écrire les choses, alors que, chez RUWET, écrire les uns en dessous des autres les segments identiques ou apparentés est une direction de travail *pour découvrir* la structure du morceau.⁷⁶

L'analyse sémiologique se fonde ainsi en premier lieu sur le schématisme de la partition et sur son interaction avec l'intuition de l'analyste, et ne cherche donc pas une explicitation des procédures de découverte musicale. Dans l'approche envisagée dans cette thèse, les procédures de découverte doivent être systématisées à l'aide d'une formalisation explicite et algorithmique de ses principes *a priori*. La représentation graphique ne sera donc d'aucun secours dans la phase de découverte, mais se limitera à la tâche — essentielle, il est vrai — de communication visuelle des résultats (§ 11.1.2).

Une restriction monodique

La disposition de LÉVI-STRAUSS souffre d'un défaut majeur qui n'a pas manqué de poser des problèmes aux démarches de RUWET et de NATTIEZ. RUWET concède assez rapidement que :

Il serait évidemment très difficile d'appliquer le même procédé à la représentation des structures polyphoniques.⁷⁷

⁷⁶[Nat73a], p. 66.

⁷⁷[Ruw66], repris dans [Ruw72], p. 117.

A priori, rien n'empêche de concrétiser chaque ligne de la matrice non pas par une simple portée, mais par une partition d'orchestre. Il suffirait alors de bien mettre en évidence les séparations entre lignes matricielles différentes, de la même manière que l'on sépare traditionnellement les différentes sections d'un orchestre dans la partition pour orchestre. Mais si la polyphonie semble poser problème ici, c'est pour une toute autre raison.

De manière générale, la polyphonie, en tant que négation de l'homophonie, comprend en son sein une multiplicité de logiques parallèles et indépendantes. Il n'est alors plus possible d'associer un segment temporel donné, aussi infime soit-il, à une colonne de la matrice puisque ce segment contient en son sein une multiplicité de réalités différentes. Il faudrait alors décomposer le segment en ces différentes réalités indépendantes, et assigner chacune de ces entités à la colonne correspondante. Mais la règle du balayage diachronique serait alors violée.

Mais il s'avère qu'une simple monodie peut elle-même dissimuler une multitude de réalités différentes et ne pourra donc être représentée avec bonheur au sein d'une telle matrice.

La confusion du synchronique et du paradigmatique

En fait, un tel principe de disposition musicale avait été imaginé par Claude LÉVI-STRAUSS lui-même :

Certains contours mélodiques, apparemment éloignés les uns des autres, offrent entre eux des analogies.⁷⁸

L'idée alors est de se demander

si ces contours, plutôt que d'être abordés en ordre successif, ne doivent pas être traités comme les éléments d'un tout, qu'il faut appréhender globalement.⁷⁹

LÉVI-STRAUSS pose donc qu'émerge ici l'idée de l'harmonie :

Une partition d'orchestre n'a de sens que lue diachroniquement selon un axe [...], mais en même temps, synchroniquement, selon l'autre axe [...]. Autrement dit, toutes les notes placées sur la même ligne verticale forment une grosse unités constitutive, un paquet de relations.⁸⁰

NATTIEZ montre du doigt la confusion entretenue ici, en particulier du fait que

La lecture verticale [...] fait apparaître les rapports structuraux entre des unités mythiques de même nature. Or cette analyse est de type *paradigmatique*, c'est-à-dire qu'elle consiste à placer sur un même axe vertical des unités que l'on rencontre ordinairement sur l'axe syntagmatique, mais qui présentent entre elles des rapports de similarité. [...] Il y a gros à parier que, assimilant les deux axes de la partition (mélodique et harmonique) à la synchronie et à la diachronie, il les ait également confondus avec le syntagmatique et le paradigmatique.⁸¹

⁷⁸C. Lévi-Strauss, *Anthropologie structurale*, Plon, Paris, 1958, p. 234, cité dans [Nat73a], p. 64.

⁷⁹*Ibid.*

⁸⁰*Ibid.*, p. 64-65.

⁸¹[Nat73a], p. 66.

La fusion du synchronique et du paradigmatique

NATTIEZ a ainsi bien pris soin de ne pas *confondre* les notions de synchronique et de paradigmatique. Pourtant, la représentation en elle-même *fond* ces deux notions en un seul axe. Or, c'est justement une telle unification qui interdit la représentation d'une multiplicité de réalités parallèles.

Dans l'approche proposée en deuxième partie de cette thèse, les résultats seront également disposés au sein d'une représentation spatiale sous forme d'une partition d'orchestre. Mais contrairement à la représentation de LÉVI-STRAUSS, le paradigmatique et le synchronique seront rendus indépendants, et même orthogonaux : le synchronique conservera la dimension verticale, alors que le paradigmatique se développera sur la dimension horizontale (§ 11.1.2).

3.3.3 Une méthodologie intuitive

L'analyse semiologique, telle qu'elle est mise en œuvre par NATTIEZ, se décompose en plusieurs phases.

L'analyse paradigmatique

La première phase relève directement de la méthode d'analyse de RUWET qui, rappelons-le, est, contrairement au manifeste qui lui est rattaché, non-explicite, et consiste en une détermination intuitive de répétitions. Cette démarche est guidée par le schématisme qu'offre la disposition de LÉVI-STRAUSS, laquelle a toutefois l'inconvénient majeur, comme nous l'avons constaté, d'imposer une vision monodique et séquentielle de la musique, et d'exclure toute transformation musicale la transcendant. Outre son absence de formalisation, cette première étape ne requiert, de l'intuition ainsi débridée de l'analyste, aucune forme d'explicitation.

La description de la classification

Une fois la première segmentation effectuée de manière intuitive, la seconde phase de l'analyse consiste en un classement des segments suivant une liste de caractéristiques, que l'analyste établit encore une fois de manière intuitive.

3.3.4 Connaissance et langage

NATTIEZ s'est offusqué du monopole de la linguistique au sein de la sémiologie, fondée notamment par l'affirmation de SAUSSURE :

La linguistique peut devenir le patron général de toute sémiologie, bien que la langue ne soit qu'un système particulier.⁸²

Or il pose en particulier que toute connaissance ne peut être exprimée qu'à travers un *langage* :

Les significations que m'inspire une symphonie, mais aussi sa construction, sa forme, son style, son interprétation, ne deviennent fait de connaissance que si j'en parle et si je les conceptualise.⁸³

⁸²[Sau78], p. 101.

⁸³[Nat75], p. 46.

L'explicitation verbale d'intuitions implicites permet en effet une objectivation sous forme de « faits de connaissance » qui pourront alors s'offrir à de multiples opérations — de remémoration, de mise en correspondance, etc. — aisément. Toutefois, ces intuitions existent déjà avant leur explicitation. C'est justement l'un des grands attraits de l'analyse musicale que de mettre en évidence de manière explicite, et sous la forme d'un schématisme adéquat, certaines intuitions vécues par l'auditeur. D'autre part, ce schématisme peut offrir, ne serait-ce que par l'intermédiaire d'une partition, une configuration de connaissances dont la disposition multidimensionnelle se voit rapidement écrasée par une description langagière.

3.3.5 La crise persistante de l'analyse musicale

La sémiologie de NATTIEZ a brandi l'approche de RUWET comme le manifeste d'une rationalisation de l'analyse musicale :

Une rénovation de ces concepts et méthodologies par l'entremise de démarches explicites et rationalisées pourrait apporter un nouveau souffle à une discipline actuellement en crise.

Tant que le découpage d'unités, l'explicitation des démarches et des transformations, l'*écriture* paradigmatique ne font pas l'objet de *consignes formelles de travail*, c'est-à-dire ne sont pas posés en principes méthodologiques thématiques, on ne peut pas dire qu'ils étaient à l'ordre du jour de la musicologie.⁸⁴

Or, comme nous venons de le constater, en dehors des apparences, les démarches de RUWET, puis celles de NATTIEZ, ne sont en fait pas explicitées, et « ne font pas l'objet de consignes formelles de travail ». Ne sont formalisés non pas les procédures de découverte, mais uniquement les résultats de l'analyse intuitive :

Il ne s'agit plus de savoir si un fragment donné est un motif ou une cellule : il devient l'unité *a*, *A*, ou *x*, peu importe, qui possède certaines caractéristiques définies par un paquet de variables (mélodiques, rythmiques, etc...) *qui permettent de le comparer, de le classer, de le hiérarchiser par rapport à tous les autres segments du morceau*.⁸⁵

3.4 Vers une syntagmatique non-sémiologique

La systématisation de la démarche analytique entreprise par RUWET a abouti, comme nous l'avons constaté, à un échec. Si la méthode formalisée qu'il propose ne peut être appliquée telle quelle, c'est en particulier parce que l'analyse est pensée, à la manière de HJELMSLEV, comme un acte de décomposition d'une substance immanente, et non comme un acte d'appréhension et de construction. La conception hjelmsléviennne du langage comme *une structure indépendante de la perception* doit être remplacée par celle saussurienne d'*un système intégrant la perception* en son sein.

⁸⁴[Nat75], p. 403.

⁸⁵[Nat75], p. 103.

Nous allons voir, justement, que la linguistique saussurienne, par l'intermédiaire de son couple *syntagmatique / associatif*, engage une modélisation psychologique de la syntaxe.

3.4.1 Une linguistique non-sémiologique

A priori, l'approche de SAUSSURE n'envisage jamais la syntaxe de la langue seule, mais toujours en rapport avec le signe :

Si pour la première fois nous avons pu assigner à la linguistique une place parmi les sciences, c'est parce que nous l'avons rattachée à la sémiologie.⁸⁶

La linguistique saussurienne est tendue vers la recherche d'« objets concrets » au sein du langage, de l'« entité linguistique », qui

n'existe que par l'association du signifiant et du signifié ; dès qu'on ne retient qu'un de ces éléments, elle s'évanouit ; *au lieu d'un objet concret, on n'a plus devant soi qu'une pure abstraction.*⁸⁷

Un mécanisme social

La sémiologie saussurienne fonde donc son étude du langage sur l'arbitraire du signe, qui n'existe qu'à travers une convention sociale stabilisée.

L'arbitraire du signe nous fait mieux comprendre pourquoi le fait social peut seul créer un système linguistique. La collectivité est nécessaire pour établir des valeurs dont l'unique raison d'être est dans l'usage et le consentement général ; l'individu à lui seul est incapable d'en fixer aucune.⁸⁸

La sémiologie se désintéresse alors de la parole, de l'« acte individuel de volonté et d'intelligence », qui n'influe pas sur la langue sociale.

En séparant la langue de la parole, on sépare du même coup :

1. ce qui est social de ce qui est individuel ;
2. ce qui est essentiel de ce qui est accessoire et plus ou moins accidentel.⁸⁹

Au contraire, l'expression musicale, du moins au sein de la civilisation moderne, est animée par une créativité structurelle. Certains signes musicaux proviennent certes d'une tradition ancienne, mais le propre de la musique est de développer, pour chaque œuvre, de nouveaux symboles, qui ne sont donc pas des signes au sens saussurien. La sémiologie semblerait alors peut adaptée à une étude de configurations structurelles toujours changeantes.

Une délimitation sémiologique

Même si la langue doit être considérée suivant ses deux dimensions sémiologiques, il reste que son appréhension doit consister irrémédiablement en une

⁸⁶[Sau78], p. 33-34.

⁸⁷[Sau78], p. 144.

⁸⁸[Sau78], p. 157.

⁸⁹[Sau78], p. 30.

découverte de structures. La langue a, parmi les systèmes de signe, la particularité de dissimuler sa construction interne et de n'offrir en apparence qu'une « masse indistincte ».

La langue présente [...] ce caractère étrange et frappant de ne pas offrir d'entités perceptibles de prime abord, sans qu'on puisse douter cependant qu'elles existent et que c'est leur jeu qui la constitue. C'est là sans doute un trait qui la distingue de toutes les autres institutions sémiologiques.⁹⁰

Pourtant, en dépit de ces observations, SAUSSURE conçoit l'appréhension de la langue uniquement au niveau du signifié et fait abstraction de l'analyse du signifiant.

Il faut faire appel aux significations. Quand nous entendons une langue inconnue, nous sommes hors d'état de dire comment la suite des sons doit être analysée ; c'est que cette analyse est impossible si l'on ne tient compte que de l'aspect phonique du phénomène linguistique. Mais quand nous savons quel sens et quel rôle il faut attribuer à chaque partie de la chaîne, alors nous voyons ces parties se détacher les unes des autres, et le ruban amorphe se découper en fragments ; or cette analyse n'a rien de matériel.⁹¹

Les figures élémentaires du langage

La dichotomie instaurée par HJELMSLEV entre forme de l'expression et substance de l'expression (§ 1.1.6) rend bien compte d'une dimension purement structurelle de l'analyse. Pourtant une restriction de la sémiotique à la dimension de l'expression est, selon HJELMSLEV, hors de question :

Il n'y a [...] aucune raison de décider que le signe n'est que le signe de la substance du contenu ou (ce que personne certainement n'a encore imaginé) seulement signe de la substance de l'expression.⁹²

Que l'on s'intéresse plus spécialement à l'expression ou au contenu, on ne comprend rien à la structure de la langue si on ne tient pas compte avant tout de l'interaction des deux plans. L'étude de l'expression et celle du contenu sont toutes les deux étude de la relation entre expression et contenu ; ces deux disciplines se supposent mutuellement, sont interdépendantes, et les séparer serait une erreur grave.⁹³

Toutefois, les groupements élémentaires de la structuration du langage — notamment les phonèmes et les syllabes — ne peuvent être associés à une quelconque signification. La délimitation sémiologique trouve ici sa limitation.

Même si l'on pousse l'analyse des expressions de signes jusqu'au point où on peut la considérer comme épuisée, l'expérience inductive montre que, dans toutes les langues connues, on arrive à un stade dans l'analyse de l'expression où les grandeurs qui apparaissent ne

⁹⁰[Sau78], p. 149.

⁹¹[Sau78], p. 145.

⁹²[Hje84], p. 76.

⁹³[Hje84], p. 96-97.

sont plus porteuses de signification et ne sont donc plus des expressions de signes.

De telles considérations nous conduisent à l'abandon d'une tentative d'analyse en « signes », et nous sommes conduits à reconnaître qu'une description en accord avec nos principes doit analyser contenu et expression séparément, chacune des deux analyses dégageant finalement un nombre limité de grandeurs qui ne sont pas nécessairement susceptibles d'être appariées avec les grandeurs du plan opposé.⁹⁴

Ainsi ces entités élémentaires, ces « figures », bien que non porteuses de signification, s'offrent aux techniques analytiques de la linguistique structurale. Cette faille au sein du système sémiologique nous permet de concevoir l'idée d'une analyse musicale qui s'inspirerait des composantes non strictement sémiologiques de la linguistique structurale.

Quand on sort du domaine des langues quotidiennes, il est souvent difficile de décider si les structures considérées doivent être divisées en un plan du contenu et un plan de l'expression; on renoncera donc à la division si chaque élément d'un plan correspond à un élément de l'autre et que les éléments, dans chacun des deux plans, soient définis par des relations exactement identiques.⁹⁵

Les tentatives d'analyse linguistique non-sémiologique pourraient alors trouver dans la musique le terrain d'étude idéal, comme le souligne NATTIEZ :

Alors le fonctionnement de la musique légitime l'importation, en musicologie, des méthodes de la linguistique structurale. Je dirais même, sans paradoxe, que si la linguistique structurale s'est cassée le nez en laissant de côté la dimension sémantique du langage comme l'ont fait Blommsfield et Harris, ou lorsqu'elle a tenté de la structurer (Greimas), la musique est peut-être la forme symbolique humaine qui se prête le mieux aux approches structurales, dans la mesure où celles-ci mettent l'accent sur les relations entre signifiants.⁹⁶

3.4.2 La syntagmatique

La temporalité

Le langage et la musique partagent une caractéristique essentielle qui contribue à leur mise en correspondance, et qui confère aux méthodes linguistiques un intérêt particulier pour la musique : la dimension temporelle.

Déroulement temporel du signifiant.

SAUSSURE a ainsi étudié soigneusement la caractérisation temporelle des signifiants :

Le signifiant, étant de nature auditive, se déroule dans le temps seul et a les caractères qu'il emprunte au temps :

a) *il représente une étendue*, et

⁹⁴[Hje84], p. 62-63.

⁹⁵L. HJELMSLEV, *Le langage, Une introduction*, traduit du danois par M. Olsen, Paris, Minuit, 1966, Gallimard, 1991, p. 139, cité dans [Mee01].

⁹⁶[Nat99], p. 46-47.

b) *cette étendue est mesurable dans une seule dimension : c'est une ligne.*⁹⁷

Il semblerait qu'il manque dans cette description un caractère essentiel du temps, alors même que SAUSSURE précise bien que le signifiant

se déroule dans le temps seul

Nous proposons donc d'ajouter à la description des caractères temporels deux éléments supplémentaires, qui ne remettent pas en cause les deux points précédents :

c) *cette dimension n'est naturellement appréhendable que dans un sens particulier, et*

d) *chaque point appréhendé de cette dimension est en relation de succession avec les points appréhendés précédemment.*

Rapports syntagmatiques au sein du signifiant

Puisqu'un signifiant, en tant que monème, est défini par la constance de sa constitution en phonèmes, il s'ensuit des quatre caractères temporels énoncés ci-dessus que c'est la *relation de succession* entre phonèmes temporellement proches qui caractérise l'expression temporelle du signifiant.

Malgré son omission des points c et d ci-dessus de la définition du caractère temporelle du signifiant, SAUSSURE prend effectivement en compte de manière implicite cette relation de succession — qu'il nomme *rapport syntagmatique* :

Dans le discours, les mots contractent entre eux, en vertu de leur enchaînement, des rapports fondés sur le caractère linéaire de la langue, qui exclut la possibilité de prononcer deux éléments à la fois. Ceux-ci se rangent les uns à la suite des autres sur la chaîne de la parole.⁹⁸

Un tel concept de rapport syntagmatique est d'une importance capitale, non seulement pour la linguistique, mais également pour la compréhension de l'expression musicale (§ 1.1.1). Il constituera un élément clef de notre modélisation (§ 7.3).

Le syntagme

Les combinaisons entrant ainsi en rapport syntagmatique constituent ce que SAUSSURE appelle des *syntagmes*. Quel lien y a-t-il alors entre syntagme et unité significative (ou signifiant) ? La définition que SAUSSURE donne au syntagme est d'une telle généralité qu'elle peut inclure tout type de groupement, même ceux qui ne correspondent pas à la délimitation sémiologique, c'est-à-dire qui ne sont associés à aucun signe. Pourtant SAUSSURE reconnaît implicitement l'exigence d'une adéquation entre syntagme et signifiant :

La notion de syntagme s'applique non seulement aux mots, mais aussi aux groupes de mots, aux unités complexes de toute dimension et de toute espèce (mots composés, dérivés, membres de phrase, phrases entières).⁹⁹

⁹⁷[Sau78], p. 103.

⁹⁸[Sau78], p. 170.

⁹⁹[Sau78], p. 172.

Il reste à remarquer que la notion de syntagme, même lorsqu'elle peut être identifiée à l'unité significative, envisage toutefois un point de vue particulier : là où le signifiant met en évidence sa relation avec son signifié, là où l'unité significative exprime sa constitution en unités distinctives, le syntagme incarne une succession caractéristique de rapports syntagmatiques.

La délimitation syntagmatique

Nous avons vu précédemment que, pour SAUSSURE, le mécanisme de détection des unités linguistiques pertinentes au sein de la chaîne phonique consistait simplement en l'association pour chaque signifiant de son signifié correspondant. Un tel mécanisme ne peut fonctionner sans une segmentation en amont de la chaîne phonique en signifiants, problème que SAUSSURE s'est abstenu de soulever.

Ce nécessaire mécanisme de segmentation reviendrait à détecter, au sein de la chaîne phonique, des séquences phoniques caractéristiques, que l'on pourra associer alors à un signe et donc à un signifié. Or nous avons vu précédemment que, en raison de propriétés intrinsèques au temps, la constitution caractéristique des signifiants doit être envisagée en terme de syntagme, c'est-à-dire d'une succession caractéristique de rapports syntagmatiques.

Ce mécanisme de délimitation — que nous désignerons sous le terme de *délimitation syntagmatique*, afin de l'opposer à la délimitation sémiologique de SAUSSURE — consiste alors en la mise en évidence, au sein de la chaîne de rapports syntagmatiques, de *successions caractéristiques* de rapports syntagmatiques, considérés comme des syntagmes, et associés en tant que signifiants à des signifiés. Les successions caractéristiques peuvent alors être identifiées sous un *schéma*, dont elles sont des *reproductions* (§ 1.1.1).

Reste à savoir comment une telle détection de successions caractéristiques est possible.

Le rapport associatif

En parallèle au rapport syntagmatique, SAUSSURE introduit également un *rapport associatif* permettant de mettre en relation des signes entre eux :

En dehors du discours, les mots offrant quelque chose de commun s'associent dans la mémoire, et il se forme ainsi des groupes au sein desquels règnent des rapports très divers.¹⁰⁰

Ces signes sont associés en raison d'une similarité soit de signifiant, soit de signifié :

Donc il y a tantôt communauté double du sens et de la forme, tantôt communauté de forme ou de sens seulement. Un mot quelconque peut toujours évoquer tout ce qui est susceptible de lui être associé d'une manière ou d'une autre.¹⁰¹

Cette relation consiste d'une part en la mise en relation de ces signes associés, d'autre part en la détermination de la cause de cette relation :

¹⁰⁰[Sau78], p. 171.

¹⁰¹[Sau78], p. 174.

Les groupes formés par association mentale ne se bornent pas à rapprocher les termes qui présentent quelque chose de commun ; l'esprit saisit aussi la nature des rapports qui les relient dans chaque cas et crée par là autant de séries associatives qu'il y a de rapports divers.¹⁰²

L'ensemble des relations entre signes forme un réseau conceptuel :

Un terme donné est comme le centre d'une constellation, le point où convergent d'autres termes coordonnés, dont la somme est indéfinie.¹⁰³

Ce rapport associatif rend compte de la propriété fondamentale d'associativité qui caractérise la mémoire cognitive. Ce rapport associatif sera lui aussi intégré au sein de notre modèle computationnel (§ 7.5). Dans notre cadre musical, nous ne retiendrons du rapport associatif que la mise en relation de similarité *au niveau du signifiant* — ce qui correspond à l'identification motivique — et ne considérerons pas celle au niveau du signifié — puisque la notion de signification musicale ne sera pas développée ici.

Le rapport associatif généralisé

Nous proposons alors d'étendre le domaine d'application de la notion de rapport associatif, que l'on n'appliquerait non plus simplement aux signes, mais également aux occurrences de signes au sein de la chaîne phonique. Du point de vue du signifiant, ceci revient à dire que les rapports associatifs sont désormais envisagés entre les occurrences de signifiants — considérés comme simples unités significatives — et le signifiant en tant que tel, lequel est ensuite rattaché à un signifié. D'un point de vue musical (figure 1.7), le rapport associatif relie alors les occurrences du motif (chaînes de noeuds noirs sur la figure) et le motif en tant que schéma (chaîne de noeuds blancs).

Ainsi, le mécanisme de délimitation syntagmatique revient désormais à segmenter la chaîne phonique en unités entrant en rapport associatif avec des signifiants idéalisés. C'est-à-dire que ces unités significatives sont unifiées sous des classes de signifiants.

Une telle acception du rapport associatif peut être identifiée à la notion de rapports paradigmatiques internes développée par Nicolas MEEÛS :

Aux deux types de rapport que SAUSSURE décrit à propos du langage, il faut donc en ajouter un troisième, intermédiaire : entre les rapports syntagmatiques, rapports de succession immédiate, et les rapports mémoriels fondés sur des associations externes au discours lui-même et qui résident dans la compétence linguistique des locuteurs (ou dans la compétence musicale des auditeurs), il existe des rapports paradigmatiques plus immédiats entre des éléments du discours inscrits passagèrement dans la mémoire de l'auditeur et qui n'impliquent aucune compétence particulière.¹⁰⁴

¹⁰²[Sau78], p. 173.

¹⁰³[Sau78], p. 174.

¹⁰⁴[Mee01], p. 25.

L'arbitraire et le motivé

La délimitation sémiologique saussurienne, consistant en une mise en adéquation de segments de la chaîne phonique avec un système de signes préexistant, ne pourra pas rendre compte de la découverte de nouveaux signes. Fait toutefois partie de la problématique saussurienne la recherche de l'identité entre signes différents, du « motivé » au-delà de l' « arbitraire » du signe, et l'analyse doit consister en une « limitation de l'arbitraire » :

Tout le système de la langue repose sur le principe irrationnel de l'arbitraire du signe qui, appliqué sans restriction, aboutirait à la complication suprême ; mais l'esprit réussit à introduire un principe d'ordre et de régularité dans certaines parties de la masse des signes, et c'est là le rôle du relativement motivé.¹⁰⁵

La recherche de la motivation consiste alors en une recherche de similarité syntagmatique entre signes :

La notion du relativement motivé implique : 1° l'analyse du terme donné, donc un rapport syntagmatique ; 2° l'appel à un ou plusieurs autres termes, donc un rapport associatif. Ce n'est pas autre chose que le mécanisme en vertu duquel un terme quelconque se prête à l'expression d'une idée.¹⁰⁶

Ainsi l'existence de « solidarités syntagmatiques » induit, selon SAUSSURE, la nécessité d'une fusion des rapports syntagmatique et associatif :

La coordination dans l'espace contribue à créer des coordinations associatives, et celles-ci à leur tour sont nécessaires pour l'analyse des parties du syntagme.¹⁰⁷

La musique présente également des solidarités syntagmatiques. Comme le montre par exemple MEEÛS :

Les théories les plus traditionnelles de nos cours de solfège contiennent des éléments syntagmatiques dans les notions d'accords appellatifs, de mouvements obligés, de résolutions, qui impliquent des parcours obligatoires.¹⁰⁸

Ces « éléments syntagmatiques » peuvent être compris comme rapports syntagmatiques entrant en coordination associative pour former des syntagmes. C'est pourquoi la relation associative est une condition nécessaire à toute compréhension structurée de l'œuvre musicale :

Quelle que soit l'importance de la prise en compte des rapports syntagmatiques, il faut bien reconnaître que c'est la conception paradigmatique qui joue le rôle le plus fondamental en analyse musicale, parce qu'elle permet une description structurale et achronique de l'œuvre. C'est dans la description paradigmatique que semble s'opérer véritablement le passage d'une perception passive à une réelle intelligence musicale, qui permet à l'auditeur une véritable maîtrise du temps musical.¹⁰⁹

¹⁰⁵[Sau78], p. 182.

¹⁰⁶*Ibid.*

¹⁰⁷[Sau78], p. 177.

¹⁰⁸[Mee01], p. 23.

¹⁰⁹[Mee01], p. 24.

La détection de solidarités syntagmatiques consiste alors, selon SAUSSURE, en la mise en relation associative d'un syntagme en cours d'étude avec un ensemble de syntagmes gardés en mémoire :

Notre mémoire tient en réserve tous les types de syntagmes plus ou moins complexes, de quelque espèce ou étendue qu'ils puissent être, et au moment de les employer, nous faisons intervenir les groupes associatifs pour fixer notre choix.¹¹⁰

Mais SAUSSURE refuse d'appliquer un tel mécanisme aux syntagmes de base — aux « entités concrètes » —, qu'il distingue volontairement des solidarités syntagmatiques — ou « entités abstraites » — :

Mais si l'ordre des mots est incontestablement une entité abstraite, il n'en est pas moins vrai qu'elle ne doit son existence qu'aux unités concrètes qui la contiennent en qui courent sur une seule dimension. Ce serait une erreur de croire qu'il y a une syntaxe incorporelle en dehors de ces unités matérielles distribuées dans l'espace.¹¹¹

En effet, selon le point de vue sémiologique, les syntagmes associés aux signes ont une raison d'être particulière qui leur accorde un statut particulier :

Les signes dont la langue est composée ne sont pas des abstractions, mais des objets réels ; ce sont eux et leurs rapports que la linguistique étudie ; on peut les appeler les *entités concrètes* de cette science.¹¹²

Les solidarités syntagmatiques relèvent pour SAUSSURE uniquement de règles grammaticales et dépendent donc des constituants de base que sont les entités concrètes :

Leur étude est difficile, parce qu'on ne peut savoir exactement si la conscience des sujets parlants va toujours aussi loin que les analyses du grammairien. Mais l'essentiel est que *les entités abstraites reposent toujours, en dernière analyse, sur les entités concrètes*. Aucune abstraction grammaticale n'est possible sans une série d'éléments matériels qui leur sert de substrat, et c'est toujours à ces éléments qu'il faut revenir en fin de compte.¹¹³

Cette description par SAUSSURE d'un mécanisme de mises en relation de signes basé sur la ressemblance syntagmatique est, comme nous allons le constater ultérieurement, d'une très grande richesse : vu sous cet angle, la détermination de syntagme consiste en un *recouplement* des rapports syntagmatiques et associatifs. C'est exactement suivant un tel recouplement que procédera l'approche proposée en seconde partie de cette thèse (§ 7.6).

Puisque l'analyse musicale, telle qu'elle est considérée ici, ne repose pas sur une sémiologie, les notions d'entités concrètes et abstraites pourront être unifiées et donc annihilées. Pour cette raison, un tel mécanisme de solidarités syntagmatiques pourra être généralisé, malgré les réticences de SAUSSURE, non pas simplement aux signes de la langue, mais aussi aux syntagmes d'une parole individuelle, dégageant ainsi une méthodologie de délimitation syntagmatique.

¹¹⁰[Sau78], p. 179.

¹¹¹[Sau78], p. 191.

¹¹²[Sau78], p. 144.

¹¹³[Sau78], p. 190.

Chapitre 4

L'invariance de l'écoute

Les chapitres précédents ont mis en évidence l'importance de l'*écoute* comme principe fondamental régissant l'analyse musicale. Dans ce chapitre, il sera tout d'abord montré que l'écoute présente une *régularité*, qui peut être le terreau d'une systématisation de l'analyse (§ 4.1). Sont ensuite présentées de célèbres approches de l'analyse fondées sur des modélisations de l'écoute. Certaines approches considèrent l'expression musicale à son niveau *local* : la structure des groupements de la théorie de LERDAHL et JACKENDOFF se fonde sur des lois de la théorie de la *Gestalt*, dont la théorie implicative de NARMOUR imagine des généralisations (§ 4.2). D'autres, telles l'approche de MEYER ou celle de DEUTSCH et FEROE, envisage la dimension *schématique*, hors de portée des approches locales (§ 4.3). Certains des modèles envisagent l'organisation formelle à travers une *hiérarchisation*, dont la rigueur excessive provoque une restriction du champ d'application (§ 4.4).

Dans la section conclusive (§ 4.5), est justifiée la nécessité et la possibilité de fonder la systématisation de la découverte schématique sur une modélisation de l'écoute. La singularité de l'écoute individuelle résulte d'une variabilité des *capacités* de mise en œuvre et de l'*apprentissage* culturel. La fugacité de l'écoute peut être transcendée sous la forme d'un *potentiel d'écoute*, qui incorpore la totalité des possibilités de l'écoute en un espace, dont chaque écoute individuelle est une réalisation partielle. En retour, l'analyse, tirant partie de l'*associativité* de la mémoire humaine, trouvera sa créativité débridée.

4.1 Les invariants de l'écoute

Puisque l'écoute est le seul principe général sur lequel peut être fondée une analyse musicale, la systématisme de l'analyse ne pourra être envisagée qu'à travers une éventuelle systématisme de l'écoute elle-même.

4.1.1 La singularité de l'écoute

De prime abord, l'écoute apparaît comme un acte individuel singulier, qui dépend totalement de l'auditeur, de sa volonté, son état d'esprit, son expérience musicale, et des aléas de la psyché. L'écoute offre en effet des représentations variables, pour un même phénomène entendu, et aussi pour un même auditeur.

La fondation de l'analyse sur un acte aussi fugace semblerait donc hasardeuse.

4.1.2 La régularité de l'écoute

Mais l'écoute ne présenterait-elle pas une forme de régularité, qui rendrait compte d'une certaine invariance de ces capacités potentielles ? L'hypothèse cognitive soutient que l'acte individuel, au delà de son apparente singularité, est régi par un système de mécanismes cognitifs. Une telle hypothèse cognitive a été développée dans un cadre musical, par exemple par W. Jay DOWLING et Dane L. HARWOOD :

We view the music listener as a gatherer and interpreter of information from the environment, and we believe that is possible to study the separate component processes by which the listener accomplishes this gathering and interpreting. In studying the component processes, we believe that it is important to remain continually cognizant of the way those components fit into the whole process of understanding music.¹

Ainsi, l'écoute, en tant qu'acte cognitif, serait alors régie par un ensemble de processus formant un système. Derrière l'apparence irrationnelle de l'écoute se profilerait ainsi une architecture implacable.

L'idée que l'écoute s'érige en règles ou en principes peut être confortée par l'existence d'universaux au sein du fait musical. Cependant, le fort contraste entre pratiques musicales de diverses sociétés nous obligent toutefois à éviter des conclusions trop hâtives. Que celle-ci soit fondée uniquement sur une architecture cognitive ou issue d'une sédimentation sociale, l'écoute semble malgré tout présenter une certaine stabilité, sur laquelle repose le principe même de communication musicale, au-delà des styles.

L'illusion de l'immanence, signe de la régularité de l'écoute

L'illusion de l'immanence, qui semble avoir aveuglé l'approche structuraliste, ne prouverait-elle pas l'existence de certains automatismes de l'écoute ? Toutes les formes qui semblent immanentes au sein du discours musical ne sont en fait que des illusions conçues par le compositeur et perçues par l'auditeur. La trace auditive ou écrite de tels phénomènes ne présente pas de formes en soi, elle n'est qu'un substrat susceptible de provoquer de tels effets. Un groupement n'existe pas en tant que tel au sein de la partition : c'est une idée musicale que le compositeur *code* au sein du médium non-structuré qu'incarne la partition, que l'interprète *décode* à partir de celle-ci, qu'il *code* de nouveau sur son instrument, et que l'auditeur *décode* enfin par son écoute. Tout ceci nécessite, suivant l'hypothèse du cognitivisme musical, prôné par exemple par WEST *et al.*, une invariance de la logique musicale :

In principles, a given piece of music may be patterned in numerous way. However, as listeners, we share common perceptual processes which composers and performers can take into account to lead us to perceive one set of patterns rather than another.²

¹[DH86], p. ix.

²[WHC85], p. 21.

Les lois de perception des lignes musicales proposées par Leonard MEYER peuvent être rangées au sein d'une même conception cognitive de la musique.

Actually, of course, a line or motion does not perpetuate itself. It is only a series of lifeless stimuli. What happens is that the perception of a line or motion initiates a mental process, and it is this mental process which, following the mental line of least resistance, tends to be perpetuated and continued.³

Il en est de même des reproductions de schémas, qui mettent en jeu de surcroît le travail de la mémoire associative. La relation entre le schéma et ses reproductions, elle aussi, n'existe pas de manière immanente : elle est construite suivant une stratégie d'écoute à laquelle la partition n'a aucun accès.

4.1.3 La variabilité de l'écoute

On suppose donc ici que l'écoute n'est pas fondamentalement irrationnelle et singulière, mais semblerait plutôt régie par des mécanismes généraux. L'apparente singularité de l'écoute peut être expliquée par l'importante marge de variabilité de ces mécanismes généraux, notamment les variabilités des capacités de discrimination auditive, de concentration, de mémorisation, mais aussi le savoir et la culture de chaque individu.

4.2 L'écoute locale

4.2.1 Le gestaltisme

La théorie de la *Gestalt* est considéré aujourd'hui comme une contribution majeure de la psychologie moderne, offrant une compréhension de la perception visuelle et auditive. Cette théorie se fonde sur l'hypothèse que la perception ne se limite pas à une détection de stimuli élémentaires isolés, mais consiste au contraire en une *construction* d'une représentation, d'une *forme*, à partir du phénomène observé. L'approche gestaltiste a, comme nous allons le constater, influencé certaines théories musicales du vingtième siècle.

Une conception holistique

La théorie gestaltique soutient que la perception du tout global est plus qu'une simple sommation des perceptions locales. La perception construit une forme globale non explicitement présente dans le stimulus, de telle manière que cette forme soit la plus simple et la plus « prégnante » possible, c'est-à-dire présentant une régularité et une homogénéité optimales.

Une telle conception holiste de la Gestalttheorie provient du concept de « *Gestaltqualität* » de Christian VON EHRENFELS⁴. Ce dernier a d'ailleurs justifié l'argument holistique en s'appuyant sur l'exemple musical de la mélodie. Deux motifs transposés ne peuvent, selon lui, être identifiés par l'intermédiaire simple de leurs composants élémentaires. Ce qui prouverait alors la nécessité de prendre en compte la forme en tant que totalité. Mais une telle argumentation

³[Mey56], p. 92.

⁴Voir [Deu82], p. 125 ou [BD98], p. 70.

passer sous silence le fait qu'une transposition présente malgré tout une identité du point de vue des intervalles mélodiques entre notes, ce qui sera envisagé dans notre approche (§ 7.3) sous la dénomination saussurienne de *relation syntagmatique* (§ 3.4.2). Et si des transformations plus complexes que la simple transposition ne remettent pas en cause l'identification de la mélodie, c'est parce que les relations locales peuvent également être exprimées en terme de contour mélodique. Les études cognitives de la musique semblent avoir délaissé l'hypothèse holistique pour s'attacher plutôt à une description des motifs musicaux en terme d'identification des relations locales, comme nous le verrons au chapitre 6.

Les lois de synthèse

Si la théorie de la *Gestalt* a influencé la réflexion musicale [Deu82] [Mey56] [Nar90] . . . , ce serait plutôt parce qu'elle a suggéré une description de la perception des formes visuelles ou auditives sous forme de lois générales, telles que :

- La similarité : Des éléments semblables ont tendance à être groupés ensemble.
- La proximité : Des éléments proches ont aussi tendance à être groupés.
- La bonne continuation : Les groupements de forme simple, comme une ligne, sont privilégiés.
- Le destin commun : Des éléments évoluant de manière parallèle et synchrone sont groupés.

Il y est donc fait abstraction totale de toute expérience préalable.

Le groupement local

De nombreuses applications musicales ont été développées à partir de ces lois gestaltiques, permettant de dégager des formes gestaltiques, ou *groupements locaux*. Parmi ces lois gestaltiques ont été particulièrement considérées les lois de proximité et de similarité, décrivant la constitution de groupements à partir d'éléments musicaux, en raison de leur proximité temporelle, ou de leur similarité par rapport à certains paramètres musicaux. L'existence d'une grande quantité de paramètres musicaux différents complexifie le phénomène de groupement par similarité. Chaque paramètre peut alors donner lieu à des groupements indépendants, bien que les groupements auront d'autant plus de prégnance qu'ils seront constitués par une contribution de plusieurs similarités musicales. Là où de telles opérations de liaison et de segmentation s'avèrent évidentes sur des exemples caractéristiques, leur mise en application à la totalité de l'expérience auditive ou visuelle semble problématique. En raison de la multitude de facteurs en jeu, il ne semble pas possible de trouver un consensus concernant la manière de grouper une séquence musicale donnée.

4.2.2 La théorie de Lerdahl et Jackendoff

Quatre structurations de la musique

La théorie dégage de la surface musicale quatre structurations :

- La *structure des groupes* décrit la segmentation qu'opère l'auditeur de la musique en unités de dimensions diverses.

- La *structure métrique* décrit la hiérarchie des battues qu’il attribue à la musique.
- La *réduction des trames temporelles* établit l’importance structurelle relative des événements au sein des unités rythmiques perçues dans une pièce.
- La *réduction des prolongations* développe une hiérarchie de stabilité de hauteur en termes de schémas perçus de tension et de détente.

La détermination de la structure métrique est justifiée à partir de règles logiques de décomposition hiérarchique de pulsations, dont certains se fondent essentiellement sur des critères spécifiques à la tradition classique occidentale.

Les deux structures de réduction, quant à elles, rendent compte de certaines logiques de réduction hiérarchique de la structure musicale qui ne connaissent pas un véritable consensus, et qui semblent dépendre étroitement, ici aussi, de présupposés culturels.

Les multiples heuristiques de la structure des groupes

La structure des groupes, autour de laquelle se concentrera notre examen de la théorie, résulte de mécanismes apparentés aux lois de la *Gestalt*. Aux règles classiques de proximité et de similarité, LERDAHL et JACKENDOFF ajoutent un ensemble hétéroclite de règles.

- Certaines règles permettent une sélection parmi les groupements candidats, dans le but d’offrir une analyse synthétique, non alourdie par des groupements dégénérés. Une règle interdit ainsi la formation de groupements trop petits.
- D’autres règles introduisent des considérations d’ordre esthétique et stylistiques, dont la validité, ne serait-ce que dans le cadre d’un style restreint, reste à prouver. Il est stipulé en particulier qu’un groupement doit être subdivisé de préférence en groupements de taille égale.
- Le groupement interfère également, par l’intermédiaire d’une règle supplémentaire, avec les dimensions harmoniques.
- Le concept de groupement, tel qu’il est envisagé dans la théorie de LERDAHL et de JACKENDOFF, s’associe avec la notion distincte de « *parallélisme* », qui désigne la reproduction schématique, ou, en d’autres termes, la répétition motivique, et qui ne relève pas des lois gestaltique. Nous en reparlerons au paragraphe 4.3.2.

Une approche non systématisée

Les principes de détermination des groupements gestaltiques sont formulées par l’intermédiaire de règles de préférence. La formalisation de la théorie s’arrête à une énonciation de règles générales privée de toute systématisation algorithmique et de paramétrisations numériques. La mise en œuvre effective de ces règles s’en remet alors, de même que pour la méthode de RUWET ou l’analyse paradigmatique de NATTIEZ, à l’*intuition* de l’analyste.

Des implémentations de cette théorie ont toutefois été entreprises depuis lors. L’approche de TEMPERLEY [Tem88] implémente les règles de préférence à l’aide de la programmation dynamique. Mais en raison des difficultés d’une

telle approche, l'étude s'est limitée uniquement à la modélisation de phrases mélodiques au sein de chansons populaires.

4.2.3 La démarche implicative de Narmour

Eugene NARMOUR oppose, quant à lui, nettement deux approches de la structure musicale :

- Le mouvement ascendant (« bottom-up ») agrège progressivement les composantes locales élémentaires en « formes stylistiques » (*style shapes*), suivant une démarche purement « déductive » qui relèverait de la norme.
- Au contraire, le mouvement descendant met en relation ces constituants avec des *schémas* déjà connus (*style structures*). Le mouvement descendant est alors vu comme une « exception » au mécanisme normatif ascendant.

By *bottom-up processing* I mean that the listener subconsciously constructs her musical perception solely out of the individual parametric features presented to her, with no help from the next level above. By *top-down processing* I mean that the listener calls into play all kinds of prior hierarchical experience to aid in mapping out the continuation of the context.⁵

Bien que reconnaissant l'importance de l'interdépendance, de la « bidirectionnalité » entre les deux mécanismes :

In order to perceive relationships accurately the listener's cognitive apparatus must *simultaneously* operate in both the shape-mode and the structure-mode.

NARMOUR se focalise uniquement sur le mouvement ascendant. L'application d'une telle démarche dans le cadre musical fait alors face à sa temporalité inhérente, et se traduira alors en une approche *progressive*, orientée suivant la chronologie de la perception. L'intérêt d'une telle approche est qu'elle remet en cause l'idée d'une segmentation définitive, mais s'en tient uniquement à des principes d'attente particulière — d'« implication » — de chaque note suivante en fonction des caractéristiques locales.⁶

Une synthèse du flux

La théorie implicative de NARMOUR se base sur un ensemble de règles de synthèse, basées sur des logiques de progression entre intervalles conjoints et disjoints, et entre contours ascendants et descendants, déterminant ainsi des mouvements obligés et donc des attentes des réalisations attendues.

Des phénomènes de « continuation » et de « renversement » sont formalisés. En particulier, une conjonction tend à se prolonger, alors qu'une disjonction tend à se résorber : la franche discontinuité initiale se résoudrait fatalement en un renversement et un retour au continu. Un tel principe de renversement, a initialement proposé par MEYER. Mais là où MEYER concevait ce mécanisme de rappel sous forme d'un retour progressif à moyen terme vers la normale, NARMOUR ne s'arrête qu'à l'implication immédiate, sous forme d'un mouvement de renversement : d'un intervalle disjoint vers un intervalle opposé conjoint. De

⁵[Nar90], p. 36.

⁶[Nar90], p. 48.

telles règles normatives, dont la validité ne semble pas évidente, sont alors posées comme des règles fondamentales, au même titre que les lois de la théorie de la *Gestalt*.

Although not currently recognized as a perceptual constant in cognitive psychology, it is my belief that psychologists will eventually discover the general concept of syntactic reversal to be a fundamental cognitive principle of all temporal pattern perception — equal to the bottom-up Gestalt laws of similarity, proximity, and common direction (= common fate).⁷

Une séparation nette est posée arbitrairement entre intervalles conjoints et disjoints, et considérée alors comme « un système automatique subconscient », ou « un module inné du système cognitif »⁸.

Une multiplicité formelle

L'expression formelle s'exprime suivant de multiples dimensions indépendantes. En particulier, puisque la musique est elle-même paramétrée sur plusieurs dimensions, chacune de ces grandeurs est susceptible de former ses groupements propres — bien qu'un groupement sera d'autant plus consolidée qu'il bénéficiera de la contribution de plusieurs paramètres — :

In a temporal art, grouping is an extremely complicated subject because of the multivarious and frequently noncongruent parameters that operate simultaneously. Obviously, individual parameters — of which I count at least ten (melody, harmony, duration, meter, dynamic, register, tessitura, texture, tempo and timbre) — are each capable of independently producing groupings whose closural nodes may or may not coincide with the grouping anchor points established by other parameters.⁹

Malgré la prise en compte de la multi-dimensionnalité de la musique, l'approche de NARMOUR présuppose néanmoins une compréhension musicale que l'on pourrait qualifier de « mono-processive ». Car pour un paramètre musical donné, la multiplicité simultanée de logiques de groupement n'est pas considérée.

Le groupement hors de portée

La théorie de NARMOUR ne permet pas, selon son auteur, de rendre compte du mécanisme de groupement :

To study thoroughly the topic of grouping in music represents a vast undertaking. Parametric closure and modeled repetition are large subjects with many theoretical difficulties whose discussion lies beyond the scope of this book.¹⁰

Les quelques principes de base formant la théorie de NARMOUR engendrent une analyse de la partition dont le résultat offre une vision particulièrement complexe et obscure de la logique musicale.

⁷[Nar92], p. 6.

⁸[Nar92], p. 16.

⁹[Nar92], p. 328.

¹⁰[Nar92], p. 294.

Une description non formalisée

NARMOUR s'attache à établir une théorie rigoureuse et entièrement formalisée, permettant une déduction et une prédiction analytiques falsifiables, et évitant ainsi une herméneutique inductive infalsifiables :

Analysts with scores in hand typically look ahead to make sure such and such take place and then retrodictively argue that such and such was implied all along. De jure and de facto become incestuous. A priori and a posteriori cohabit.¹¹

Mais puisqu'une telle théorie n'a pas été traduite sous forme computationnelle, le système ainsi élaboré ne peut être appliqué tel quel sur le substrat musical sans faire appel, une fois de plus, à l'intuition de l'analyste. L'analyse narmourienne tombe alors dans les apories décriées par son propre auteur.

4.3 L'écoute schématique

4.3.1 Le schéma

Les formes musicales ne sont pas toutes construites par l'écoute à partir des simples caractéristiques locales du stimulus entendu. Comme nous l'avons montré précédemment, de nombreuses formes musicales sont construites par l'écoute sur ce qui est entendu à partir d'un modèle connu — un *schéma* —, issu d'expériences antérieures.

Perception takes place when appropriate schemata are actively and continuously tuned to the temporally extended information that specifies an individual event. Irrelevant events present information, too, but remain unperceived simply because no such active tuning occurs with respect to it.¹²

La notion de schéma a été largement étudiée par la psychologie et les sciences cognitives. Il est intéressant de constater que la notion de schéma existe implicitement au sein de la théorie de la *Gestalt*. En effet, la *Gestaltqualität* n'est rien d'autre que la caractérisation d'un schéma (un motif mélodique, par exemple) par l'intermédiaire d'une description holistique.

De nombreuses recherches ont permis de mettre en évidence certains facteurs entrant en jeu lors de la découverte et la reconnaissance de schémas par l'écoute. Nous traiterons de ces approches au chapitre 6.

4.3.2 Groupement local et schéma

Les approches locales envisagées au paragraphe 4.2 reconnaissent l'importance du schéma, et en particulier de la répétition motivique, envisagée en terme de « parallélisme ». LERDAHL et JACKENDOFF considèrent que le parallélisme influe sur le mécanisme de groupement, par l'intermédiaire d'une règle de préférence particulière. Une telle interférence de la logique de groupement local avec la logique schématique empêche une compréhension claire du mécanisme de groupement local en tant que tel. Ainsi, là où LERDAHL et JACKENDOFF

¹¹[Nar92], p. 8.

¹²Baehrick et al. (1981), cité dans [DH86], p. 127.

avaient su dissocier le groupement local de la structuration métrique, le voilà de nouveau confondu avec une autre dimension musicale.

Mais toutes ces approches admettent leur impossibilité de prendre en compte une telle dimension de l'expression musicale. Ceci est autant vrai de NARMOUR (qui ne peut prendre en compte aucun groupement que ce soit, cf. § 4.2.3), de TEMPERLEY, que de LERDAHL et JACKENDOFF :

[The] incapacity to flesh out this notion of parallelism is an important failure in this attempt to formulate a fully explicit theory of musical understanding.¹³

4.3.3 L'attente musicale, selon Meyer

L'attente

Les mécanismes de perception gestaltique et schématique donnent chacun lieu, selon MEYER, à un mécanisme d'attente.

A general distinction must be drawn at the outset between those expectations that arise out of the nature of human mental processes — the modes in which the mind perceives, groups, and organizes the data presented by the senses — and those expectations that are based upon learning in the broadest sense of the term. In the actual perception of music there is, of course, an intimate and subtle interaction between the two types of expectation.¹⁴

La mise en relation progressive du stimulus sous des schémas connus par avance engendre, durant le déroulement progressif de la découverte, un phénomène d'attente de sa prolongation.

Once a sound term has been established as a coherent, though not necessarily as a complete or closed unit, then part of the series taken by itself will, generally speaking, seem to be incomplete, particularly if the fragment occurs in the earlier parts of the total work. Thus repetitions of the beginning of a well-shaped theme already heard several times will arouse expectations that the theme will be completed as it has been in the past.¹⁵

En vertu de la temporalité de la perception musicale, et donc de la progressivité de la découverte schématique, une subsomption d'une expérience particulière sous un schéma donné est supposée durant les premiers instants de cette expérience. C'est alors que l'attente du déroulement de ce schéma est instaurée. La mise en relation est d'autant plus fondée — et l'attente d'autant plus forte — que le schéma est de taille élevée.

The relationships obtaining between two tones provide the listener with less basis for specific expectation than the relationship between five, six or ten tones.¹⁶

En opposition à la vision de NARMOUR d'une indépendance essentielle du mécanisme gestaltique ascendant, MEYER considère que la perception est principalement orientée par l'attente schématique.

¹³[LJ83], p. 53.

¹⁴[Mey56], p. 43.

¹⁵[Mey56], p. 129.

¹⁶[Mey56], p. 49.

Paradoxical though it may seem, the expectations based upon learning are, in a sense, prior to the natural modes of thought. [...] The expectations which result from the nature of human mental processes are always conditioned by the possibilities and probabilities inherent in the materials and their organization as presented in a particular musical style.¹⁷

La perception, préparée par l'attente, est alors optimisée : les perceptions ultérieures sont déjà anticipées, et le traitement de leur apparition effective ne consistera qu'en une corroboration avec ce qui avait été attendu.

Information about the form and style of a work is important because [...] it conditions not only what we look for, and hence what we perceive, but also the speed of our perceptions and our responses.¹⁸

L'explicitation

Meyer rejette la possibilité d'une explicitation des processus de perception, de reconnaissance et d'attente, sous la forme d'une description conceptuelle objective :

Objective knowledge and conceptual understanding do not provide the automatic, instinctive perceptions and responses which will enable the listener to understand the swift, subtle, changeable course of the musical stream.¹⁹

Toute la question, selon Meyer, est de prendre en considération les multiples tendances qui rythme l'écoute musicale :

And if we do not understand a given style, if we lack the proper habit responses, we will either fail to apprehend shape or, if we apprehend it in terms of another style, we will fail to comprehend it.²⁰

Ces tendances ne seraient donc pas, pour Meyer, transcripibles dans une formalisation explicite.

De plus, une formalisation complète du processus est considérée comme hors de question, en raison de la complexité du système sous-jacent :

The number, interdependence, and subtlety of the variables involved in musical perception make the establishment of a system of analytical rules of thumb impossible.²¹

Aujourd'hui cependant, la modélisation cognitive peut ouvrir la voie à une explicitation du réseau complexe des tendances perceptives.

4.4 L'écoute formelle

La forme musicale reste encore un terrain peu défriché par les investigations cognitives et les théories musicales fondées sur la perception. L'un des aspects de la forme particulièrement étudiée est celui de la hiérarchisation.

¹⁷ *Ibid.*

¹⁸ [Mey56], p. 59.

¹⁹ [Mey56], p. 61.

²⁰ [Mey56], p. 160.

²¹ [Mey56], p. 86.

4.4.1 La hiérarchisation globale unique des groupements locaux

La structure des groupements de la théorie de LERDAHL et JACKENDOFF est insérée au sein d'une hiérarchie totale de l'œuvre musicale :

- Chaque groupe consiste en un fragment contigu de notes successives.
- Les groupements ne doivent pas se superposer, excepté à leurs extrémités.
- Lorsqu'un groupement contient d'autres groupements, ceux-ci doivent couvrir l'ensemble du groupement initial.

Limitations de la hiérarchisation globale unique

Une telle hiérarchisation impose une vision unique de la structure. Chaque élément ne pouvant participer qu'à une seule structure, il ne peut y avoir ici de tuilages ou de logiques motiviques parallèles, telles que la superposition d'un motif rythmique et d'un motif mélodique indépendant. Au contraire, il semblerait que la description structurelle présente une ambiguïté, comme l'expliquent DOWLING et HARWOOD :

The main difficulties in applying [...] structural descriptions to note sequences arise from the fact that they are often ambiguous in the sense that a given sequence can be given more than one description with no clear means of deciding which is to be preferred.²²

De plus, une telle hiérarchisation impose une description strictement linéaire de la polyphonie, alors que celle-ci présente en réalité une multiplicité de logiques simultanées. Même une simple monodie peut présenter une multitude de lignes conjointes parallèles (ce que nous formaliserons ultérieurement en terme de graphe syntagmatique). La hiérarchisation prônée par LERDAHL et JACKENDOFF empêche par exemple une détermination subtile des groupements, telle que, en particulier, la détermination des parallélismes :

D'autres aspects de la structure musicale, tels que les processus motiviques et les relations de timbres, sont « associatifs » plutôt que hiérarchiques dans leur nature ; c'est-à-dire qu'ils ne sont pas caractérisés en termes d'objets contenant ou subordonnant d'autres objets. Nous espérons à l'avenir étendre notre théorie générative à ces dimensions non hiérarchiques.²³

La généralisation de l'approche de LERDAHL et JACKENDOFF aux aspects non-hiérarchiques semble difficilement réalisable de manière simplement formelle. Seule une modélisation computationnelle peut attaquer la complexité d'un tel problème.

4.4.2 La hiérarchisation locale homogène des reproductions de schémas

En unifiant la diversité des notes sous des groupements, et en subsumant ceux-ci des schémas, la compréhension schématique instituée par la perception permet une structuration du flux musical, ce qui facilite sa compréhension et sa mémorisation [DF81]. Une telle structuration peut alors être appliqué de

²²[DH86], p. 172.

²³[Ler85], p. 109.

nouveau sur ces schémas, afin de constituer *in fine*, un agencement total en divers niveaux de groupements, c'est-à-dire en une *hiérarchisation*.

DEUTSCH et FEROE [DF81] proposent une formalisation de la hiérarchie musicale telle qu'elle serait perçue. Contrairement à l'approche globale unique de LERDAHL et JACKENDOFF (ainsi, d'ailleurs que celle de RUWET, § 3.2), la hiérarchisation est ici construite de manière ascendante, à partir des constituants de base, en n'est pas contrainte à aboutir à une structuration unique de la pièce.

Le modèle se fonde principalement sur une opération de produit appliquée sur les schémas. Le produit de deux schémas $A = (a_1, a_2, \dots, a_M)$ et $B = (b_1, b_2, \dots, b_N)$, que l'on pourrait par exemple noter $A \times B$ consiste en N reproduction successive du schéma A , soit (A_1, A_2, \dots, A_N) , telle que chaque reproduction successive de A est paramétrée par un paramètre successif b_i de B , ce que l'on peut écrire sous la forme : $(A(b_1), A(b_2), \dots, A(b_N))$, ou encore :

$$A \times B = \begin{pmatrix} a_1(b_1), a_2(b_1), \dots, a_M(b_1), \\ a_1(b_2), a_2(b_2), \dots, a_M(b_2), \\ \dots \\ a_1(b_N), a_2(b_N), \dots, a_M(b_N) \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

Limitations de la hiérarchisation locale homogène

L'hypothèse sous-jacente à ce formalisme est qu'un schéma de haut-niveau (ici : $A \times B$) ne peut être constitué que de reproductions d'*un seul et même schéma* (ici : A). Or il peut arriver qu'un schéma contienne des reproductions de schémas différents, sous la forme, par exemple :

$$A \times B = \begin{pmatrix} a_1, a_2, \dots, a_M, \\ b, b_2, \dots, b_N \\ a_1, a_2, \dots, a_M \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

Le modèle qui sera développé dans la seconde partie de cette thèse, généralisera le mécanisme de hiérarchisation schématique. À chaque schéma sera associée, par l'intermédiaire d'un graphe de spécificité, la multitude de schémas dont il contient des reproductions (§ 8.4).

4.5 Systématiser l'analyse suivant l'écoute

4.5.1 L'analyse et l'écoute, côte à côte

L'écoute musical ne semble pas offrir, de prime abord, un point de vue fiable et solide sur lequel fonder une quelconque systématisation. L'écoute a un caractère « dynamique »²⁴ : elle évolue au cours du temps, et saisit, de manière implicite et peu contrôlé le flux musical en perpétuelle fuite. Elle n'offrirait alors qu'une vision linéaire de la musique. L'analyse, au contraire, est une opération formelle et explicite à partir d'une objectivation de l'expression musicale. Elle serait en mesure d'apporter une compréhension globale, libérée de la contrainte temporelle. L'analyse a d'ailleurs pour intérêt particulier de guider l'écoute en lui apportant une compréhension plus riche et plus explicite, moins fragmentaire et moins fuyante.

²⁴[Nat75], p. 73.

Or une analyse pertinente non fondée sur un savoir stylistique doit être, comme nous l'avons vu, fondamentalement axée sur l'écoute. Les deux points précédents sembleraient contradictoires : l'analyse, d'une part, offre un degré de compréhension supérieur à celui de l'écoute et, d'autre part, se fonde sur celle-ci. Cette contradiction n'est toutefois qu'apparente et résulte du fait que les attrait de l'analyse ne résultent pas de la mise en œuvre de principes fondamentalement extrinsèques à ceux de l'écoute. L'analyse n'est qu'une simple objectivation explicite et formalisée de l'écoute.

Mais une telle dichotomie entre écoute et analyse — qui se décline, dans la tripartition de NATTIEZ sous forme d'une distinction entre niveau neutre et niveau esthétique — ne tient pas. Ces deux démarches, bien qu'opposées en apparence, se rejoignent. Si l'acte analytique semble « figé dans le temps »²⁵, c'est parce que l'objet de l'étude, ainsi que son résultat, sont tout deux représentés généralement dans un espace figé, centré autour de la partition. Malgré tout, l'analyse à proprement parlé ne peut jamais considérer l'objet musical d'un seul tout, il le parcourt, d'une manière ou d'une autre. Mais il est vrai alors que ce parcours n'est pas contraint à suivre le sens temporel irrémédiable. Or, de l'autre côté, l'écoute bénéficie d'une mémoire, qui lui permet elle aussi de parcourir à souhait le phénomène dans sa forme mémorisée, ainsi que la structuration qu'elle constitue *sur* ce phénomène mémorisé. Il n'y a donc pas de raison d'opposer une analyse « analytique » et une écoute « synthétique »²⁶ : ces deux paradigmes, loin d'entrer en opposition, dialoguent.

L'écoute et l'analyse diffèrent alors par les caractéristiques nettement divergentes de leur mémoire respective : l'une reste infidèle, imprécise et aléatoire, l'autre est explicite, objective et figée. Remarquons alors que la mémoire vivante de l'écoute, malgré tous ses défauts, peut néanmoins s'enorgueillir d'une compétence qui a toujours manqué aux mémoires matérielles de l'analyse : elle est *associative*, et peut faire jaillir à tout moment des relations pertinentes d'analogie entre ses éléments. Et c'est justement un tel manque qui a entraîné l'analyse musicale dans une crise profonde.

4.5.2 La nécessaire subjectivité

L'écoute n'offre qu'une vision partielle, superficielle et « extérieure » — pour reprendre un terme de HJELMSLEV — de la structure musicale. Elle ne se concentre pas uniquement sur le phénomène entendu, mais s'évertue au contraire à mettre en relation ce phénomène avec l'expérience mémorisée préalablement.

Or, en raison de l'absence d'une structuration immanente, comme nous l'avons montré précédemment, toute analyse se fonde irrémédiablement sur un point de vue externe fondé sur des principes *a priori*. Toute analyse est nécessairement subjective.

Une analyse systématisée dépend donc nécessairement de la spécification d'une base de connaissances préalables. Notre approche, dans un premier temps, ne se fonde initialement sur aucune connaissance culturelle *a priori*. Toutefois, le fruit de l'analyse de chaque séquence peut être utilisée comme base culturelle pour l'analyse d'une autre séquence musicale.

²⁵ *Ibid.*

²⁶ *Ibid.*

4.5.3 Le potentiel d'écoute

L'écoute, comme nous l'avons vu, n'offre qu'une représentation fuyante de l'expérience musicale.

- La représentation offerte par l'écoute semble *aléatoire* : elle diffère en fonction des compétences développées par l'auditeur et de son degré de concentration. Elle présente même un aspect quelque peu chaotique, en raison de la variabilité de ses représentations, qui dépend de la concentration, de la volonté et de l'état d'esprit de l'auditeur.
- Comme toute représentation cognitive, l'écoute n'offre à la conscience qu'une représentation *difficilement accessible*, car mouvante et floue, qui ne peut être décrite et extériorisée de la conscience que de manière partielle.
- La totalité de la représentation offerte par l'écoute à l'instant même du phénomène sonore est *éphémère* : elle ne perdure que quelques instants dans l'esprit de l'auditeur. Il ne restera de cette expérience qu'un souvenir assez confus.
- Le fruit de l'écoute n'est apprécié de l'auditeur, pour une grande part, que de manière purement *implicite* et émotionnelle. Un grand nombre de jugements opérés lors de l'écoute ne font pas l'objet d'une réelle explicitation, et contribuent à l'établissement d'une sensation générale, intellectuelle et émotive, à la fois complexe et floue. Un des grands attraits de l'analyse réside justement dans la mise en lumière de telles configurations cachées. Il s'agit d'ailleurs souvent plus d'une *reconnaissance* que d'une *découverte* en tant que telle, puisque leur existence semble avoir été ressentie lors de l'écoute naïve, ce qui semblerait donc bien conforter l'hypothèse d'un caractère fortement implicite de l'écoute musicale, comme l'explique DOWLING *et al.* :

We should note, however, that a listener could well have deep cognitive understanding without the sort of *explicit* knowledge Wittgenstein requests. In that case, the behavioral evidence for *implicit* understanding would lie in the pattern of pieces the person chooses to listen to and so forth.²⁷

La totalité du potentiel d'écoute

Toutefois, les stratégies possibles d'écoute peuvent être regroupées en un *potentiel d'écoute*. Il ne s'agit pas ici d'une écoute artificielle, qui effectuerait des opérations hors de portée de l'écoute effective. Il s'agit au contraire de l'ensemble des opérations *possibles*, mais considéré de manière totale.

On suppose alors que la réalisation partielle de l'écoute effective, par rapport à la totalité du potentiel d'écoute, entraîne l'engendrement d'une représentation elle-même partielle, incluse au sein de la représentation potentielle totale. La singularité de l'écoute individuelle résulte d'un parcours particulier au sein d'une totalité potentielle invariante.

L'objectivation explicite du potentiel d'écoute

De même, la fluctuation, la non-stabilité et la fugitivité de la représentation offerte par l'écoute peuvent être considérées comme des défauts d'accession à

²⁷[DH86], p. 166.

cette représentation potentielle.

Il en est de même pour le caractère implicite de la représentation de l'écoute. Avant de pouvoir être considérées de manière objective et consciente, ces représentations sont d'abord ressenties de manière purement émotionnelle. Ces réactions émotives pourront alors être expliquées, par l'intermédiaire de la description du processus d'écoute structurelle implicite qui en fonde l'origine.

4.5.4 Le potentiel de mémoire

L'analyse ne peut se fonder sur une quelconque recherche d'immanence. Elle ne peut être envisagée qu'en terme de mises en relation et de comparaisons avec l'expérience antérieure, issue d'instantanés antérieurs de la séquence musicale en cours d'analyse, ou d'autres séquences musicales, le cas échéant. Or c'est justement une particularité de la mémoire cognitive que d'exhiber une capacité d'*associativité*. En effet, là où une mémoire matérielle n'offre qu'une capacité de mise en relation syntagmatique, une mémoire associative permet la mise en relation des différentes entités, et donc une mise en application naturelle des préceptes de l'analyse.

Mais l'associativité de la mémoire n'est effectivement mise en œuvre que de manière imprécise et aléatoire. En effet, le rappel de cette mémoire offre une certaine variabilité, en particulier en raison de l'accessibilité variable de ces mémoires, et des capacités d'identification.

La représentation totale déterminée par le potentiel d'écoute, à chaque instant de cette écoute, peut être fixée au sein d'une mémoire. Les capacités de cette mémoire sont, ici encore, potentiellement parfaites : la mémoire potentielle emmagasine la totalité de la représentation offerte par le potentiel d'écoute. La mémorisation effective, au contraire, ne réalise qu'une partie de cette mémorisation potentielle.

La représentation totale emmagasinée par la mémoire potentielle peut ensuite être rappelée à travers une relation associative entre une expérience nouvelle et les éléments de la mémoire qui peuvent lui-être identifiés. La capacité de rappel des expériences mémorisées et l'identification de ces expériences mémorisées avec l'expérience actuelle présente en réalité une grande part de variabilité. Mais elle peut être considérée de manière potentielle comme idéale : toutes les expériences passées susceptibles d'être identifiées à l'expérience actuelle sont rappelées par la mémoire associative potentielle. La rétention « secondaire » devient ainsi, suivant la terminologie proposée par Bernard STIEGLER [Sti01], « tertiaire ».

Remarquons toutefois que la sélectivité de la mémoire humaine possède certaines caractéristiques susceptibles d'influer sur la structure même de la musique. En particulier, la mémoire cognitive se caractérise par une dichotomie entre :

- une mémoire à court terme, qui mémorise avec une haute fidélité les événements récents,
- une mémoire à long terme, qui ne conserve, mais de manière permanente, une fraction de ce qui a été entendu.

L'existence de cette mémoire à court terme influe sensiblement sur l'expression musicale, car un schéma présente généralement une certaine symétrie interne, ou bien se voit reproduit dans un voisinage temporel.

Toutefois, le potentiel de mémoire semblerait pouvoir passer outre une telle dichotomie, car on peut supposer qu'un auditeur connaissant par cœur l'œuvre

musicale considérée puisse aisément procéder à une réactivation à long terme.

4.5.5 Une seconde transcendance de l'écoute

Nous avons montré que l'analyse musicale a pour mission de mettre en évidence des stratégies d'écoute que l'écoute réelle entreprend de manière partielle et principalement implicite. En un mot, l'analyse musicale est tendue vers une transcendance de l'écoute. Si l'analyse musicale est capable d'une telle transcendance, c'est parce qu'elle tire profit des avantages de l'écriture par rapport à l'écoute : notamment sa spatialité, sa stabilité et son explicité.

Mais l'écriture ne suffit pas, car elle présente également de nombreux défauts. D'une part, elle ne met pas en évidence les stratégies entreprises par l'écoute. D'autre part, elle ne dispose pas, contrairement à la mémoire humaine, d'un potentiel d'associativité.

Les vertus de stabilité et d'explicité de l'écriture peuvent être attendus également d'une écoute envisagée dans sa totalité potentielle. Une systématisation du potentiel de l'écoute assure la transcendance de l'écoute qu'offre également l'écriture, mais apporte également une seconde transcendance par la réalisation potentiellement totale des mécanismes d'associativité.

La machine pourra alors offrir une prothèse permettant une transcendance de la compréhension musicale.

La singularité préservée

Nous avons vu que la systématisation de l'analyse suscitait parfois de grandes craintes, en raison du caractère machinale et aveugle d'une telle opération. Nicolas COOK parle ainsi d'un « effacement de l'auditeur » : [Coo87, ?]

You might call this the 'deletion of the listener' as a free agent; he is replaced by a theory which correlates the material properties of the music with the appropriate aesthetic response [...]. And in consequence of this it has come to be widely thought that the highest aim of musical analysis — and the thing that distinguishes it from mere description — is the formation of general theories capable of being applied to any particular instance of music, rather like the theories of general grammar developed by the structural linguists.²⁸

Si toutefois cette systématisation consiste, dans l'idéal, en une modélisation de l'ensemble des stratégies d'écoute potentielles, l'auditeur ne se trouve alors plus nié ici, mais intégré au sein d'un vaste ensemble des possibles.

En particulier, l'écoute non-experte peut être considérée comme incluse au sein de l'écoute experte, ce que suppose John SLOBODA :

We have evidence that different levels of structure are available to people with differing amounts of musical expertise. [...] In both groups, however, there is evidence of a great amount of common processing. Subjects seem to share the pool of basic melodic and rhythmic building blocks. Contiguous movements up and down scales and chords of the key account for much of the melodic content; and

²⁸[Coo87], p. 224.

simple dactylic or equal interval rhythms for almost all of the timing content.²⁹

4.5.6 Le culturel et l'universel

L'éthnomusicologie a mis en évidence le caractère relatif et non-universel des lois régissant les systèmes musicaux, et, en conséquence, l'importance de l'apprentissage. Leonard MEYER explique ainsi :

In general it seems wise and prudent to treat all aspects of a style system as learned and culturally determined. First, because it seems likely that even the so-called "natural" stylistic traits are actually learned [...]. And second, because the distinction between natural and learned characteristics is unnecessary. If the natural traits persist in a given style system, they can be studied as though they were learned, culturally determined elements just as easily as they can be as natural ones.³⁰

Cet apprentissage consiste principalement en une maturation non-supervisée, consistant en une écoute aveugle du répertoire musical et en une découverte autonome des entités caractéristiques, soutenue, le cas échéant, par une explication supervisée. La procédure d'apprentissage, pourrait alors, quant à elle, se prévaloir d'une universalité cognitive :

What remains constant is the nature of human responses and the principles of pattern perception, the ways in which the mind, operating within the framework of a learned style, selects and organizes the sense data presented to it.³¹

Pourtant, cette procédure d'apprentissage ne pourrait-elle pas relever d'acquis culturels? La réalisation précise d'une telle procédure, dont le modèle proposé dans cette thèse en est une tentative miniature, ne se moule-t-elle pas sur certains acquis consolidés au sein de la société qui en est le cadre? Par exemple, il n'est pas assuré que toute culture doive se plier au jeu de la perception schématique.

En fait, l'universalité d'un quelconque mécanisme semble difficile à assurer de manière absolue. Mais une telle qualité n'est finalement pas nécessaire dans l'approche entreprise ici. Seule une invariance intra-culturelle suffit à assurer la pertinence d'une systématisation de l'analyse fondée sur l'écoute, puisqu'elle permettra alors une adéquation de chaque écoute individuelle avec l'écoute potentielle de l'analyse.

L'universalité de l'analyse pourrait être approchée progressivement, sans être atteinte véritablement, suivant une tentative d'incorporation progressive des écoutes de chaque culture au sein d'une écoute commune, chacune gardant sa spécificité à travers certaines paramétrisations.

Il reste qu'une étude des autres cultures nécessitera souvent une remise en cause de la notation musicale symbolique traditionnelle, comme le souligne Ian CROSS :

If music is defined and described in terms pertinent only to music, studying musical cognition by means of such a description risks being

²⁹[SP85], p. 160.

³⁰[Mey56], p. 63.

³¹[Mey56], p. 73.

both self-referential and overly cultural-specific. [...] An account is given of ways in which Western music theory and musicology offer only partial solutions to these problems, particularly insofar as the problems arise in the domain of the study of musical pitch perception. Initially, it is shown that the use of music-theoretic concepts of music-specific means of representing structure (such as musical notation) in the empirical study of musical cognition might act to overdetermine the hypotheses underlying such study.³²

4.5.7 Expliciter le système de la musique

Cependant, la richesse et la complexité de l'expression musicale semble, comme l'a bien mis en évidence RETI, remettre en cause la possibilité d'une systématisation figée.

The thematic phenomena are so manifold and complex that in a sense they evade academic tabulation. Though they can perhaps be described, they can hardly be comprised in an actual "system." They are too intimately connected with the creative process itself.³³

Il est vrai que les systèmes, tels qu'ils apparaissent traditionnellement, se centralisent autour d'une table de règles globales. Mais les progrès de l'informatique et les nécessités des modélisations cognitives ont permis l'émergence d'une nouvelle forme de système décentralisé, fondée sur un ensemble de règles appliquées localement, et capable de gérer un champ infini de libertés.

Les modèles cognitifs tendront d'ailleurs à modéliser le « processus créatif » lui-même sous la forme d'un tel système. Le libre arbitre du compositeur se construit malgré tout sur un vocabulaire précis de capacités. En particulier, comme nous l'avons vu, l'acte compositionnel, relevant pour une grande partie du mimétisme, se fonde sur des schémas. La démarche poétique est en outre généralement animée d'un souci de communication esthétique. Or l'écoute est elle-même régie par des lois cognitives.

La création musicale, la compréhension musicale et donc la musique en tant que telle font ainsi systèmes. Leur explicitation revient donc à une systématisation.

³²[Cro85], p. 2.

³³[Ret51], p. 233.

Deuxième partie

Automatiser la découverte de schémas motiviques

Chapitre 5

Panorama synthétique des approches actuelles

Ce chapitre propose un état de l'art de l'automatisation informatique de la découverte de schémas motiviques. L'étude met en évidence cinq problématiques distinctes, en fonction desquelles peut être située chaque approche — y compris celle proposée dans cette thèse —, donnant lieu alors au tableau comparatif 5.1, page 134. Ces problématiques sont les suivantes :

- Sur quelles *représentations* initiales de la séquence musicale une analyse computationnelle peut-elle se fonder ? (§ 5.2)
- Autour de quelles *caractérisations temporelles* peut-on cibler la recherche de motifs ? (§ 5.3)
- Suivant quelles stratégies une *identification* entre motifs peut-elle être opérée ? (§ 5.4)
- Comment la *recherche* automatique des identifications motiviques peut-elle être réalisée ? (§ 5.5)
- Comment traiter la *multiplicité* et la complexité des résultats engendrés par l'analyse ? (§ 5.6)
- Peut-on envisager d'emblée la dimension *polyphonique* ? (§ 5.7)

Au terme de cette étude, la stratégie mise en œuvre dans les prochains chapitres peut alors être proposée (§ 5.8).

5.1 Automatiser la découverte de schémas musicaux

5.1.1 L'automatisation de la découverte

Une démarche analytique qui chercherait à déceler, de la manière la plus détaillée possible, l'exhaustivité des schémas qui peuvent être mis en évidence de manière pertinente à partir de la surface musicale, s'avérerait être une tâche *extrêmement laborieuse* pour l'analyste humain. Devant une telle complexité, il n'aura d'autre alternative que d'effectuer une sélection *intuitive* des schémas qui lui semblent les plus pertinents. Cette démarche, qui a le grand avantage d'être issue de l'intelligence musicale de l'analyste, risque cependant de laisser fatalement sous silence tout un pan de l'œuvre. C'est en particulier au niveau

le plus élémentaire de l'œuvre, dans ses structurations schématiques de faible envergure, que se dissimule une réalité qui, bien que difficilement formalisable par l'analyse, entre pourtant en jeu dans la réception de l'œuvre.

C'est ici que la machine pourrait être d'une grande utilité — si toutefois elle en est capable. À travers ses capacités calculatoires puissantes et explicites, elle offrirait à l'humain une prothèse lui permettant de transcender sa démarche d'explicitation de la compréhension musicale. L'apport principal de l'informatique consisterait alors en une automatisation de certains aspects de l'analyse musicale. L'approche computationnelle s'est d'abord penchée sur une description principalement *quantitative*, statistique en particulier, du phénomène musical. Les approches actuelles — qui sont développées dans ce chapitre, et au sein desquelles se range le modèle présenté dans cette thèse — élargissent le cadre et en entreprennent une description *qualitative*.

La modélisation de l'induction

La problématique générale de découverte de connaissances est plus connue sous le terme d'*induction* [Lar]. Le domaine de l'intelligence artificielle s'est véritablement intéressé à l'induction qu'assez tardivement, notamment avec l'apparition d'un nouveau champ de recherche centré sur l'apprentissage automatique, ou *Machine Learning* [MCM83]. Cet apprentissage peut être supervisé, la supervision consistant en une spécification explicite, sur des exemples particuliers, du comportement attendu du système automatique. Dans le cas contraire, c'est à la machine d'élaborer un savoir, de manière autonome, par la simple confrontation directe avec l'expérience. Dans le cadre de l'apprentissage par renforcement, la machine dispose en outre d'un signal de retour lui indiquant la qualité de son apprentissage. Une problématique de perception musicale telle qu'elle est définie dans ce projet peut donc être considérée comme un cas particulier d'apprentissage non supervisé sans renforcement.

L'apprentissage non supervisé est envisagé principalement sous deux angles. Il peut consister, d'une part, en une *classification* automatique (*clustering*) de données issues de l'expérience, afin de déterminer des catégories sous lesquelles chaque donnée peut être rangée. Dans une telle approche, il est supposé que le système d'apprentissage dispose de données élémentaires pré-segmentées. Dans la seconde approche, au contraire, c'est à la procédure d'apprentissage de déterminer, à partir de l'expérience brute, des *structures* particulières (*pattern extraction*), lesquelles peuvent alors être rangées sous des catégories. L'algorithme du texte [CHL01] se limite aux données se présentant sous forme de chaînes d'éléments. Si la musique peut effectivement être envisagée suivant une telle linéarité (§ 5.3), alors de telles approches peuvent y être appliquées (§ 5.5.3).

Une description logique formelle du processus d'induction mène à certaines incongruités. Un tel phénomène semblerait résister à une systématisation abstraite et simple et se prêterait mieux à une description prenant en compte le contexte pratique de son application [Lar]. D'ailleurs, une conception réaliste de la logique — suivant laquelle l'objet de la connaissance peut acquérir une existence propre, indépendamment de tout sujet — mène aux mêmes apories que l'hypothèse d'une structure immanente (§ 2.4.5). La problématique de l'induction semble donc devoir être envisagée de manière psychologue, par l'intégration du sujet au sein du processus d'apprentissage.

Les sciences cognitives, suivant une approche pragmatique qui n'est finalement pas si récente, offre ainsi la vision la plus adéquate de la question. Une étude cognitive de l'induction particulièrement intéressante est celle d'un collectif de chercheurs en psychologie expérimentale, en informatique et en philosophie des sciences [HHNT89]. Cette systématisation des mécanismes inductifs offre une synthèse harmonieuse de nombreuses études sur le sujet, qu'elles soient cognitives, philosophiques ou logiques. L'induction est conçue ici comme une activité de résolution de problèmes [NS72] basée sur les succès et les échecs des anticipations engendrées par le système. Une particularité de cette approche est de proposer des mécanismes de redéfinition et recatégorisation continues des problèmes mal définis et de détection d'associations et d'analogies. Pour cela, la connaissance est conçue sous la forme d'un réseau massivement parallèle de connaissances élémentaires en relation de compétition et de corroboration. L'estimation, multidimensionnelle, du degré de pertinence des énoncés ne se limite pas à une simple probabilité, mais intègre en revanche des considérations inspirées de la théorie des projections [Goo84]. Sont proposés également des mécanismes de création de nouvelles hypothèses, l'ensemble des connaissances étant implanté dans un « modèle mental » [JL83] simulant le monde extérieur, sous la forme d'un réseau de concepts interconnectés par des liaisons déductives, permettant une remise à jour systématique de l'activation de chaque élément. Une telle représentation sous forme de réseau répond au manque de flexibilité de représentations classiques d'information sous forme de schémas ou de scripts fixes. D'autre part, une telle représentation « subcognitive » [Hof95] de l'intelligence sous forme de réseau massivement parallèle de petites unités d'informations contraste avec les visions cognitives basées sur la sérialité de catégories linguistiques. Une approche subcognitive a l'avantage de mettre en évidence les mécanismes d'émergence, à travers des processus inductifs, de catégories non posées initialement.

La problématique de l'induction est en outre étroitement liée à celle de l'analogie. Ceci est d'autant plus vrai dans le cadre d'une écoute musicale en temps réel, car les concepts musicaux sont inférés progressivement à partir de la connaissance partielle de similarités locales. Ainsi la structure musicale globale est induite à partir d'inductions d'hypothèses à partir de points de vue locaux. Le logiciel CopyCat [Hof95] est l'une des rares tentatives de modélisation de la découverte d'analogies au sein de séquences symboliques.

L'approche envisagée dans cette thèse, limitée à la découverte de structures motiviques de bas niveau, ne semble pas nécessiter la mise en oeuvre de processus d'induction élaborés, et peut alors être décrite simplement sous forme d'un processus de découverte de reconnaissance de formes. La problématique générale de l'induction devra être réétudiée soigneusement dans des travaux futurs, lorsque des concepts musicaux de plus haut niveau, tels que les schémas tonaux, formels, et stylistiques, devront être considérés.

5.1.2 Reconnaissance et découverte

L'analyse musicale peut s'effectuer, comme nous l'avons vu (§ 2.3), de deux manières : soit par l'intermédiaire d'une *reconnaissance* de schémas déjà connus, soit en terme de *découverte* de nouveaux schémas. Cette dichotomie peut s'appliquer aux approches computationnelles.

Les systèmes de reconnaissance

Une première catégorie de recherches dédiées à l'analyse musicale automatisée est centrée sur la modélisation de schématisations culturelles prédéterminées. L'analyse harmonique traditionnelle a la caractéristique de reposer sur une théorie complète, qui se décline en une procédure de découverte explicite. L'automatisation d'une telle procédure a été envisagée, en particulier à l'aide de grammaires [Cop91], ou de réseaux de neurones artificiels [Bha87]. Dans ce type d'approche, c'est au concepteur du système de modéliser les aspects de la théorie musicale qui seront pris en compte par l'analyse. Le point de vue adopté dans cette démarche est alors fatalement campé sur un champ de connaissances prédéterminé.

Les systèmes de découverte

Une autre catégorie de recherches envisage une découverte automatique de concepts, ce qui a pour intérêt d'offrir potentiellement une compréhension dynamique de la musique.

La découverte non-agnostique. Cette procédure de découverte peut être articulée avec une procédure de reconnaissance de concepts prédéterminés.

La découverte agnostique. Il peut au contraire être envisagé une analyse « agnostique », qui ne présupposerait la connaissance d'aucune connaissance préalable. Les schémas découverts lors d'une telle analyse pourront en revanche être réutilisés pour des analyses ultérieures d'autres œuvres musicales.

Une base de schémas pourrait alors être élaborée de diverses manières :

- Chaque séquence musicale peut être analysée de manière agnostique, déterminant alors ses propres schémas. L'ensemble des schémas pour toutes ces séquences peut alors être réuni, mais il doit alors être effectué un recoupement de ces schémas.
- Les séquences musicales peuvent être analysées les unes après les autres, chacune tirant parti des schémas découverts par les analyses précédentes. Aucune redondance de schémas n'est alors à craindre, car le mécanisme même d'analyse s'attache à ne pas redécouvrir les schémas qu'il possède déjà.

Connaissance culturelle et mécanisme perceptif Or un système computationnel, s'il ne repose pas sur des connaissances culturelles, doit bien nécessairement être fondé sur des principes *a priori*. Si ces principes ne figurent pas parmi les connaissances culturelles, ce serait alors en raison du statut universel et cognitif qui les caractériseraient. Il n'est toutefois pas aisé de dissocier clairement l'universel du culturel. Rien ne permet d'assurer que les principes fondant l'approche agnostique, si élémentaires soit-ils, ne trahissent pas une forme acculturée d'écoute musicale.

L'approche envisagée dans cette thèse s'inscrit sous ce paradigme de découverte non guidée par un savoir culturel établi au préalable. Dans la première partie de la thèse, nous avons défendu l'idée selon laquelle la musique ne contient aucune structure immanente mais qu'au contraire, toutes les structures

sont construites par l'écoute (§ 2.4.5). Une automatisation de la recherche de structures devra alors consister en une modélisation de l'écoute (§ 4.5).

5.1.3 Une analyse motivique

Les démarches de découverte — dans lesquelles s'inscrit cette thèse — fondées sur des principes les plus élémentaires possibles, en raison de la radicalité d'une telle approche, ne parviennent actuellement pas à s'élever au-dessus d'une vision strictement locale de la musique, à dépasser le stade de la recherche de schémas de bas niveaux, tels que les motifs. Seule est alors considérée la recherche de groupements répétés, composés de notes localement proches, formant des successions, voire des superpositions.

À partir d'une description symbolique d'une séquence musicale, l'objectif est de déterminer des identités entre groupements de notes. Ces groupements sont considérés alors comme des *répétitions* d'un même ensemble abstrait, c'est-à-dire des *reproductions* d'un *schéma* particulier : le *motif*, ou *classe du motif*. Les reproductions sont alors appelées des *occurrences du motif*.

5.2 La généricité de la représentation MIDI

La norme MIDI

La norme MIDI décrit une des représentations musicales standardisées les plus couramment utilisées. D'abord conçu pour l'automatisation informatique d'instruments de musiques — en particulier à claviers — et d'échantillonneurs, elle consiste en un ensemble de commandes permettant en temps réel de déclencher des actions déterminées. Elle s'est ensuite généralisée à l'édition et l'archivage de séquences musicales, sous la forme d'un format de fichier MIDI, comprenant, pour une séquence musicale donnée, l'ensemble des commandes associées, datées et ordonnées chronologiquement.

La pertinence cognitive

De nombreuses informations initialement spécifiées dans une partition sont alors perdues.

- La hauteur théorique est réduite à une simple spécification de touche du clavier, que l'on appellera néanmoins *hauteur*.
- La valeur rythmique est réduite à une *durée* temporelle.
- Les indications de dynamique et d'accent sont réduites à une grandeur numérique d'*intensité*.
- La tonalité, la métrique et le tempo sont tout simplement absents.
- La position de chaque note dans la partition, est réduite à une *date* temporelle.

Une telle représentation peut paraître rudimentaire. Pourtant, aussi paradoxal que cela puisse paraître de premier abord, il semblerait que c'est en raison de sa spécialisation dans le contrôle en temps-réel d'instruments de musique qu'une telle représentation bénéficie d'un haut degré de généricité et même d'un statut cognitif non négligeable. En effet, l'écoute musicale découvre elle-aussi en temps-réel une séquence temporelle d'événements symboliques, et n'accède pas de manière directe à une représentation des hauteurs enharmoniques, des

valeurs rythmiques, des informations métriques, des indications de dynamiques, etc. Celles-ci doivent alors être reconstruites par l'auditeur.

Il est intéressant de constater ainsi une dissymétrie flagrante entre les paramètres de hauteur et de rythmes : là où la hauteur peut être directement perçue de manière semi-symbolique — car l'on peut percevoir la hauteur enharmonique, mais pas la hauteur théorique —, la valeur rythmique et la position métrique doivent être évaluées de manière hypothétique.

En raison de l'orientation temps-réel, d'une telle représentation, la disposition spatiale et symbolique proposée par la partition se voit remplacée par une simple succession temporelle d'événements.

Notation explicite et caractéristique implicite

D'ailleurs, une quantité importante d'informations symboliques n'est généralement pas explicitée directement dans la partition, alors même qu'elles peuvent être de même types que les informations explicites.

- Dans le cadre d'une ambiguïté tonale — et notamment d'une modulation enharmonique —, différentes hauteurs enharmoniques peuvent être considérées de manière parallèle pour la même note.
- En deçà d'une simple pulsation métrique explicite, coexistent de nombreuses pulsations secondaires, qui rendent compte de logiques rythmiques locales appliquées à certains motifs, mais qui ne sont pas directement spécifiées sur la partition.
- Les modulations tonales passagères — notamment les emprunts — ne sont généralement pas indiquées sur la partition.

Or une grande part de ces informations implicites sont d'une importance comparable à celle de la notation explicite. Pire encore, il peut arriver que la véritable information pertinente contredise l'apparence de la partition. Il ne semble donc pas nécessaire, pour ces raisons, de baser l'analyse sur la partition et il serait donc préférable de reconstruire de manière autonome les configurations implicites.

Remarquons alors que la problématique de l'inférence de la configuration implicite ne diffère finalement pas tant de celle de la découverte de groupements et de la reconnaissance de schémas. Le cas de la métrique peut d'ailleurs être considéré comme une réelle problématique de reconnaissance de schémas.

La reconstruction

Dans un cadre computationnel, en analogie avec la situation de l'écoute, les informations passées sous silence par la représentation MIDI, dans le cas où elles seraient nécessaires, devront être récupérées par un autre biais.

- Ces données supplémentaires peuvent être acquises en parallèle à la représentation MIDI. Les informations pourront être spécifiées manuellement par l'utilisateur [Rol99].
- Une procédure automatisée peut offrir une reconstitution hypothétique de certaines de ces informations [Cam98] [Tem88], notamment métriques [MSJ04].

5.3 Monodie et polyphonie

5.3.1 La syntagmaticité

La plupart des systèmes de découverte motivique automatique ont adopté une heuristique plus ou moins explicite, qui relève d'un souci de pertinence perceptive — et donc musicologique —, que l'on peut formaliser de la manière suivante :

Principe 5.3.1 (Syntagmaticité). *Un motif musical est formé d'une succession d'éléments.*

Chaque motif est ainsi considéré comme le résultat d'une agrégation progressive de notes. Chaque nouvelle note est ajoutée au motif en cours de constitution, car elle se trouve en relation de succession avec la dernière note de ce motif. Cette relation de succession, qui semble ainsi jouer un rôle fondamental dans l'expression et la perception musicale, ne semble pourtant pas disposer d'une formalisation explicite. Celle-ci peut être envisagée à travers le concept de *rapport syntagmatique* énoncé par SAUSSURE (§ 3.4.2). Nous proposons donc d'intituler le principe précédent : « principe de syntagmaticité ».

Le concept de relation syntagmatique demande à être précisé. Les approches computationnelles adoptent implicitement certains points de vue sur ce sujet.

5.3.2 Polyphonie et monodie

De manière générale, la musique présente une forme polyphonique : à chaque instant du déroulement temporel, plusieurs notes peuvent apparaître de manière simultanée.

La restriction monodique

La plupart des approches — dont celle développée dans les chapitres suivants (§ 7.3.3) —, par souci de simplification du problème, limitent le champ d'étude à des *monodies* : les séquences musicales considérées consistent en une succession de notes non-simultanées. La séquence musicale peut dans ce cas être représentée sous la forme d'une séquence S de N notes n_i indexées par leur ordre d'apparition i :

$$S = (n_i)_{i \in [0, N-1]} \quad (5.1)$$

A fortiori, chaque groupement de notes, constitué d'un ensemble d'éléments de la suite totale, sera lui-même représenté sous la forme d'une sous-séquence G de la séquence S . Les N_G éléments g_j de G , indexés d'une part par leur ordre interne d'apparition j , sont une sélection f_G des éléments de S :

$$G = (g_j = n_{f_G(j)})_{j \in [0, N_G-1]} \quad (5.2)$$

Les points de vue monodiques sur la polyphonie

Certaines polyphonies peuvent se décomposer naturellement sous la forme d'une superposition de voies monodiques. Chaque note de la polyphonie est associée à une des voies, de telle manière qu'à chaque instant temporel, les notes simultanées éventuellement présentes se rattachent chacune à une voie différente.

Le paradigme monodique permet alors de mettre en évidence des groupements au sein de chaque voie séparément, mais ne pourra pas, en revanche, saisir des groupements occupant une multitude de voies.

La décomposition d'une polyphonie en monodies est un sujet de recherche encore largement ouvert. Les tentatives d'automatisation de l'analyse motique ont développé certaines approches de décomposition. Une approche simple [MB01] consiste en la sélection, au sein de la polyphonie, des notes les plus aiguës.

5.3.3 La successivité

La succession indicielle stricte

Une catégorie d'algorithmes, au sein de laquelle se situera notre modèle (§ 7.3.3), concentre l'attention sur l'idée de *succession stricte*. Deux notes n_i et n_j d'une séquence S sont en relation de succession stricte si $j - i = 1$. Dans un souci de simplification du problème posé, la notion de relation syntagmatique est alors envisagée uniquement sous la forme suivante :

Principe 5.3.2 (Syntagmaticité par succession indicielle stricte). *Une relation syntagmatique est une relation de succession stricte.*

C'est-à-dire : tout groupement est composé d'une succession stricte de notes de la séquence générale. La fonction de restriction f_G vérifie alors la propriété suivante :

$$\forall j \in [0, N_G - 2], f_G(j + 1) - f_G(j) = 1 \quad (5.3)$$

f_G peut alors être définie ainsi :

$$\forall j \in [0, N_G - 1], f_G(j) = i_G + j \quad (5.4)$$

n_{i_G} est en fait la première note de la séquence S incluse dans le groupement G . Tout groupement G est donc simplement une sous-séquence connexe de S :

$$G = (n_{i_G+j})_{j \in [0, N_G-1]} \quad (5.5)$$

En raison de cette propriété de connexité, un tel groupement peut être dénommé *fragment connexe* de la séquence S de position i_G et de longueur N_G .

L'alignement

Certaines approches — notamment les méthodes par alignement (§ 5.4.5) ou par identification partielle (§ 5.4.2) — proposent une méthode de comparaison de fragments rendant compte d'éventuelles modifications locales — en particulier : insertions, suppressions et modifications de notes — d'une séquence à l'autre. D'un certain point de vue, de telles approches étendent la notion de relation syntagmatique, par la prise en compte de relations entre notes non strictement successives. Cependant, c'est au niveau de la similarité, et non des groupements eux-mêmes — lesquels sont toujours considérés comme composés d'éléments immédiatement successifs — que se jouent de telles extensions de la notion de succession stricte.

La non-succession

D'autres approches, au contraire, se refusent de se limiter à la monodie et préfèrent prendre en compte d'emblée la complexité polyphonique. Nous reviendrons sur ces approches au paragraphe 5.7.

5.4 L'identification

Les différentes techniques de recherche de répétition, que nous présenterons au paragraphe 5.5, sont fondées sur une comparaison décisionnelle entre groupements candidats, déterminant si, oui ou non, ces groupements sont *identifiables* les uns aux autres. Une telle notion d'identité peut accepter de multiples acceptations, présentées ci-dessous.

5.4.1 L'identité exacte

Dans un premier sens, la relation d'équivalence est fondée sur une identité exacte, c'est-à-dire une conjonction totale des identités élémentaires.

Définition 5.4.1 (Identité exacte). *Deux groupements $G = (g_j)_{j \in [0, N_G - 1]}$ et $H = (h_j)_{j \in [0, N_H - 1]}$ sont exactement identiques si :*

– ils sont constitués d'un même nombre de notes :

$$N_G = N_H \quad (5.6)$$

– leurs éléments de même position sont identiques :

$$\forall j \in [0, N_G - 1], g_j = h_j \quad (5.7)$$

5.4.2 L'identité partielle

Dans un second sens, l'équivalence est fondée sur une identité partielle, c'est-à-dire une conjonction partielle minimale des identités élémentaires. Ce qui peut être formalisé de la manière suivante :

Définition 5.4.2 (Similarité α). *Deux groupements $G = (g_j)_{j \in [0, N_G - 1]}$ et $H = (h_j)_{j \in [0, N_H - 1]}$ sont α -similaires [CCI⁺ 99] si le nombre d'éléments de même position et identiques dépasse un seuil minimal α , c'est-à-dire — en posant \cap_{GH} l'ensemble des positions d'identité :*

$$\forall j \in \cap_{GH}, g_j = h_j \quad (5.8)$$

cet ensemble vérifie :

$$|\cap_{GH}| \geq \alpha \quad (5.9)$$

Le seuil α peut être fixe, ou bien dépendre de la longueur des séquences. Sa détermination peut d'autre part être spécifiée par l'utilisateur [Cop91]. En outre, une telle notion d'identité partielle dans un paradigme de succession stricte est équivalente à la notion d'identité exacte dans un paradigme de succession large (§ 5.7.4).

5.4.3 La similarité

Dans un troisième sens, l'équivalence est fondée sur une similarité, c'est-à-dire une décision d'identification basée sur une distance, généralement restreinte à la dimension des hauteurs. Cette distance peut être définie de diverses manières, notamment à partir des normes de dimension infinie et de dimension 1 :

La norme infinie

Définition 5.4.3 (Similarité δ). Deux groupements $G = (g_j)_{j \in [0, N_G - 1]}$ et $H = (h_j)_{j \in [0, N_H - 1]}$ sont δ -similaires [CCI⁺ 99] si

- ils sont constitués d'un même nombre de notes :

$$N_G = N_H \quad (5.10)$$

- pour chaque position possible, la distance élémentaire entre les deux éléments de chaque groupement est inférieur à un seuil δ .

$$\forall j \in [0, N_G - 1], |g_j|_{\mathcal{H}} - h_j|_{\mathcal{H}}| < \delta \quad (5.11)$$

Une transposition diatonique d'un motif induit des distorsions chromatiques des intervalles entre hauteurs successives de un demi-ton au maximum. Si la notion d'échelle tonale n'est pas directement encodée au sein de la représentation musicale — ce qui est le cas de nombreuses approches —, l'identification de motifs diatoniquement transposés peut être envisagée par l'intermédiaire d'une tolérance d'une dissimilarité intervallique de un demi-ton. Ce seuil de tolérance peut d'autre part être laissé à la discrétion de l'utilisateur [Cop91].

La norme de dimension 1

Une autre formalisation de la similarité, assez marginale, se fonde sur une sommation des dissimilarités élémentaires entre les groupements comparés.

Définition 5.4.4 (Similarité γ). Deux groupements $G = (g_j)_{j \in [0, N_G - 1]}$ et $H = (h_j)_{j \in [0, N_H - 1]}$ sont γ -similaires [CCI⁺ 99] si

- ils sont constitués d'un même nombre de notes :

$$N_G = N_H \quad (5.12)$$

- la somme, pour chaque position possible, des distances élémentaires entre groupements est inférieur à un seuil γ .

$$\sum_{j \in [0, N_G - 1]} |g_j|_{\mathcal{H}} - h_j|_{\mathcal{H}}| < \gamma \quad (5.13)$$

Inconvénients de la similarité

De manière générale, une fondation de la classification motivique par l'intermédiaire d'un concept de similarité pose de gros problèmes. En effet, l'absence d'une véritable *identité* entre les éléments ainsi unifiés ne permet pas d'associer à la classe de motif une description explicite qui puisse être partagée par toutes ses occurrences. Ceci entraîne alors des problèmes topologiques qui paraissent insurmontables. Il semblerait donc qu'au contraire, la classification motivique se fonde avant tout sur de réelles identifications.

5.4.4 L'identité relative

Une équivalence peut être opérée entre deux groupements en raison d'une identité — qu'elle soit exacte, partielle ou similaire — *suivant un nombre restreint de paramètres*. La méthode généralement adoptée [CA01] [Cam98] [Rol99] [MLW02] consiste alors en une projection du groupement sur chaque paramètre — voire chaque ensemble restreint de paramètres — puis en une recherche des équivalences au sein de chaque projection.

Dans toutes les approches concernées, la notion d'identité relative consiste en une recherche d'identités exactes sur des projections distinctes de la séquence musicale, suivant divers points de vue. Dans l'approche développée dans la suite de cette thèse, nous proposons au contraire de considérer tous les points de vue simultanément, et de parcourir l'ensemble de ces points de vue de manière adaptative (§ 6.4), durant la découverte progressive des répétitions motiviques. Par exemple (figure 6.4), deux groupements peuvent être considérés comme équivalents en raison, d'abord, d'une identité mélodico-rythmique, puis, d'une identité rythmique. Une telle équivalence ne pourra pas être décelée suivant la méthode classique de projection.

5.4.5 L'alignement de motifs

La recherche de motifs par alignement de motifs [Rol99] relève du paradigme de succession large (§ 5.7.4) et procède en plusieurs étapes.

- Un ensemble de transformations locales (ajout, suppression, transformation d'éléments, fragmentation et consolidation [MS90] et aussi interversion [Rol99]) est défini. Une fonction de contribution est déterminée *a priori* pour chaque type de transformation donnant une mesure de la déformation suivant une démarche implicite perceptive. Ces fonctions peuvent être déterminées par l'utilisateur ou optimisées automatiquement.
- Pour une paire de séquence donnée, tous les alignements envisageables de l'une à l'autre sont considérés comme candidats à l'alignement optimal.
- Pour chaque alignement candidat, la valeur de similarité globale consiste en la somme des fonctions de contribution assignées à chaque phase successive de l'alignement. Une relation de récurrence entre toute séquence et son préfixe permet de limiter les calculs par la prise en compte des valeurs associées au préfixe.
- L'alignement optimal entre deux séquences consistera alors en l'alignement de meilleur score. La similarité entre les deux séquences s'identifiera alors avec cette valeur optimale.

Une telle approche est capable d'identifier des motifs malgré des déformations ponctuelles appliquées par certaines techniques de variations motiviques. Mais elle ne pourra pas, par contre, apprécier des déformations plus conséquentes, telles que la diminution d'un intervalle disjoint en un arpège d'intervalles conjoints. D'autre part, à partir d'une telle notion d'identité, la *recherche effective de similarité* — qui est le sujet de la section suivante — consiste en une comparaison exhaustive de toutes les possibilités (§ 5.5.2), ce qui paraît pour le moins dispendieux.

5.5 La recherche d'identifications

Une fois définies les conditions d'identification, entre paires de séquences données, il reste à déterminer la manière de procéder à cette *recherche* d'identifications, à partir de la séquence musicale totale.

5.5.1 L'approche statistique

Les méthodes statistiques s'attachent à déterminer des structures — notamment des séquences — caractéristiques. L'attention est donc portée sur les configurations les plus prégnantes, et non sur une détermination soigneuse et détaillée. Ceci permet néanmoins de mettre à jour en particulier des enchaînements ou des configurations caractéristiques.

Ainsi l'algorithme basé sur un arbre de suffixe prédictif (*prediction suffix tree*) [RST96] détermine les motifs de fréquence suffisamment élevée. Il cherche en outre à réduire autant que possible la taille de ces motifs, de telle manière à ce que la probabilité des continuations possibles de ces motifs ne diffèrent pas significativement de celle concernant l'extension de ces motifs par leur élément les précédant. Une telle méthode est tout particulièrement adaptée à une application dans un cadre de synthèse automatique de nouvelles séquences musicales basée sur l'analyse ainsi modélisée [DALB03]. Par contre, une telle stratégie de minimisation de la taille des motifs suivant une heuristique prédictive ne correspond pas à l'approche envisagée par l'analyse musicale traditionnelle et par l'écoute. Les résultats n'offrent donc pas d'adéquation avec les attentes musicologiques.

5.5.2 L'approche par comparaison exhaustive

La séquence musicale peut être envisagée sous la forme d'une succession ou d'un recouvrement de fragments. La recherche d'identité peut alors consister en une comparaison exhaustive de chaque fragment G de position i_G et de longueur N_G avec chaque fragment H de position $i_H \neq i_G$ et de longueur N_H .

L'application de la recherche ciblée à la recherche indéterminée

De nombreuses approches sont consacrées à l'automatisation de mécanismes de recherche de motifs prédéterminés au sein d'un corpus donné (*pattern matching*), démarche que nous pouvons qualifier de *recherche ciblée*. De telles techniques pourraient en théorie être appliquées à la recherche exhaustive de répétitions de motifs — ou *recherche indéterminée*. Il suffirait pour cela d'appeler la procédure de recherche ciblée pour chaque fragment G du corpus, afin de récupérer les fragments H similaires. Remarquons toutefois que la recherche indéterminée doit s'assurer au préalable de la pertinence des fragments avant d'entamer une recherche ciblée. [Cam00].

Identité de longueur

Si seuls les couples de même longueur ($N_G = N_H$) sont comparables (ce qui est le cas lorsque est vérifié le principe 5.3.2 de syntagmaticité par succession indicielle stricte), alors l'ensemble des comparaisons d'une séquence peut se ranger

dans une matrice de similarité tri-dimensionnelle indexée par $(i_G, i_H, N_G = N_H)$ [MB01]).

Une telle approche tire son principal inconvénient du fait de l'absence de mécanisme de tri sélectif de ces classes, puisque tous les motifs possibles de toutes les tailles possibles sont acceptés. Il serait nécessaire en particulier d'ajouter un mécanisme d'exclusion des classes qui sont directement incluses au sein d'autres classes.

Différence de longueur

Si, au contraire, des couples de longueur différente ($N_G \neq N_H$) peuvent être comparés (ce qui est le cas pour une équivalence par alignement [Rol99]), N_H peut accepter un grand nombre de valeurs possibles. La matrice de similarité est alors quadridimensionnelle, indexée par (i_G, i_H, N_G, N_H) .

La détermination de classes

Si l'équivalence est fondée sur une identité de représentation (telle que l'identité intervallique [MB01]), la matrice de similarité — ici, tridimensionnelle — est constituée d'éléments binaires, indiquant, pour chaque couple de fragments, l'éventuel respect de cette identité. Ceci permet de déterminer directement les relations d'équivalence entre fragments, et de constituer les classes d'équivalence.

En revanche, une équivalence fondée sur une similitude — par exemple : une stratégie d'alignements de motifs, exprimée sous la forme d'une distance de similarité entre tous les couples possibles de fragments de la séquence musicale considérée [Rol99] — n'est pas une véritable relation d'équivalence, car la relation de transitivité n'est plus assurée. Une relation binaire d'équivalence motivique est inférée chaque fois que la distance est « suffisamment » faible. Une telle heuristique ne permet toutefois pas d'assurer la pertinence de ces relations. Le vaste réseau de correspondance entre fragments ainsi érigé ne peut donc pas être apprécié tel quel, mais doit être l'objet d'un traitement supplémentaire par l'intermédiaire d'une classification supplémentaire. Il est par exemple proposé une technique — intitulée *Star Center* [Rol99] — permettant de déterminer des classes de similitude à partir de la matrice. À chaque élément est associée une prééminence, valant la somme de toutes les similarités associées à ses relations. Les éléments les plus prééminents — après certains filtres — sont considérés comme les *prototypes* de classes. Chaque classe, centrée sur son prototype, est formée par tous les éléments auxquels celui-ci est relié.

5.5.3 La recherche de facteurs

L'approche constructive

L'algorithme de partitionnement d'espace [Cro81] est une méthode classique et optimale de recherche exhaustive des facteurs d'une chaîne, c'est-à-dire, des fragments répétés d'une séquence. Elle tire profit de règles de restriction de l'espace de comparaison à mesure de l'agrandissement des séquences comparées :

- Tout d'abord, pour chaque symbole est créé un schéma dégénéré contenant un seul élément. Sur chaque occurrence du symbole dans le texte est alors créé un fragment dégénéré constitué de cette occurrence seule et subsumé sous le schéma.

- Pour chacun de ces schémas de taille 1, et pour chaque symbole possible succédant effectivement l’une de ses reproductions, ce schéma est étendu en un nouveau schéma de taille 2, et associé des fragments correspondants.
- L’extension des schémas de taille 2 en schémas de taille 3 se déroule de la même manière et ainsi de suite.

Une telle approche, qui a été appliquée dans le cadre musical [Cam98], permet une découverte exhaustive des répétitions, tout en limitant d’une manière naturelle le nombre de comparaisons : l’augmentation progressive de la taille des groupements entraîne en parallèle une réduction de l’espace de recherche. Tout l’art [Cro81] consiste à réduire la complexité de l’algorithme — qui, dans la version naïve ainsi présentée est en $O(n^2)$ — en $O(n \log n)$.

La stratégie proposée par cette méthode semble présenter une certaine forme de vraisemblance cognitive. On peut en effet poser l’hypothèse que de tels mécanismes de réduction de l’espace de recherche sont appliqués d’une manière similaire par le système cognitif humain.

L’approche proposée dans cette thèse suivra les grandes lignes de cette approche constructive. Mais là où la technique décrite ici considère une séquence décrite sur une seule dimension paramétrique, nous envisagerons, dans le cadre de notre approche musicale, une découverte de schémas dont les éléments empruntent successivement diverses dimensions de l’espace paramétrique musical (chapitre 7).

L’approche par suffixe

Une autre méthode classique de détermination des répétitions de fragments d’une séquence consiste en l’établissement d’un arbre de suffixe, dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Chaque noeud de l’arbre contient un symbole.
- La séquence représentée le long de chacune des branches partant de la racine est un suffixe de la séquence générale.

L’ensemble des répétitions de fragments consiste en l’ensemble des sous-branches, qui partent de la racine, telle que la prolongation de cette branche se subdivise. En effet, puisque un parcours de la branche de la racine vers chaque subdivision donne plusieurs fragments différents, alors la sous-branche en question, en tant que préfixe commun de ces fragments, se répète. Une telle méthode, appliquée par exemple par [CA01], donne des résultats équivalents à l’approche constructive [Sag98]. Une approche similaire consiste en la construction, non pas d’un arbre de suffixes, mais d’un automate de facteurs [ACR99].

L’approche par suffixe ne pourra pas être considérée dans notre entreprise, puisqu’il nous faudra considérer d’emblée un espace paramétrique multidimensionnel, et que les schémas à découvrir peuvent emprunter successivement différentes dimensions de cet espace. Notons également que l’algorithme de LEMPEL et ZIV [ZL77] [ZL78], que nous avons précédemment appliqué à l’analyse musicale computationnelle [LDAB01], consiste en une construction partielle de cette arbre et n’assure donc pas une exhaustivité des résultats.

5.6 La sélection

Toutes les approches connues d'automatisation de la découverte schématique établissent, tel qu'il a été décrit dans les paragraphes précédents, un catalogue volumineux de classes de motifs d'une pertinence faible : les résultats contenus dans ce catalogue sont pour une grande part inutilisables. C'est pourquoi il est généralement envisagé une batterie de filtrages sélectifs du catalogue, suivant des heuristiques globales, que nous allons détailler sous quatre catégories.

5.6.1 La discrimination en amont

En amont de la classification, certains groupements peuvent être rejetés en raison de leur caractéristique interne :

- Des tailles minimale et maximale peuvent être imposées pour chaque groupement. [Rol99] [Cop91] (2 to 9). Ces extrema peuvent être réglés par l'utilisateur [Cop91].
- On peut également imposer une « variété intervallique » minimale [MB01].

5.6.2 La discrimination pendant la classification

Pendant la classification, certaines paires de groupements, candidates à la mise en équivalence, peuvent être rejetées en fonction de leur caractéristique d'ensemble.

- Tout recouvrement, même partiel, d'un groupement sur l'autre peut être rejeté [Rol99].
- Afin de limiter la complexité calculatoire de la recherche exhaustive d'alignements [Rol99], des contraintes sont ajoutées quant aux valeurs minimale et maximale des tailles (N_G et N_H) des séquences, et à la différence de taille maximale ($|N_G - N_H|$) entre chaque paire de séquences. Il est en effet supposé qu'une différence de taille particulièrement large entre deux séquences comparées implique l'impossibilité d'une quelconque similarité. Pourtant, des exemples simples montrent que des identifications peuvent être opérées malgré une insertion d'une trille de taille quelconque [MLW02].

5.6.3 La discrimination en aval

En aval de la classification, certaines classes peuvent également être rejetées en raison de leur caractéristique interne. Ainsi, certaines approches limitent systématiquement leur champ d'étude aux corpus d'œuvres multiples, et se concentrent sur une détermination de caractéristiques générales récurrentes. Elles ne peuvent donc envisager une analyse détaillée de chaque œuvre séparément. Seules seront donc acceptées les classes apparaissant dans au moins 2 [Cop91], 10 [CA01], ou tout autre nombre défini par l'utilisateur [Rol99] d'œuvres. Une telle heuristique souffre d'une certaine ambiguïté, car elle dépend de la définition de la notion d'*œuvre*. L'on peut en effet scinder virtuellement toute œuvre et considérer chaque partie comme une œuvre à part entière.

5.6.4 La sélection globale en aval

Malgré toutes ces opérations de discrimination, il résulte de la classification un catalogue volumineux, dont bon nombre de classes n'ont pas de pertinence effective. En raison de l'inutilité d'un tel catalogue à l'état brut, est effectuée alors une sélection des « meilleures » classes, suivant certaines heuristiques.

- Une des heuristiques consiste à sélectionner les classes de taille maximale.
- Les groupements inclus dans d'autres groupements sélectionnés peuvent être éliminés, par l'intermédiaire d'une taxonomie de subsomption, laquelle classe sous un arbre l'ensemble des groupements sélectionnés suivant leur relation de subsomption [CA01]. Les groupements sélectionnés *in fine* sont les plus grands, aux noeuds de l'arbre. Un tel mécanisme n'aurait pas été nécessaire si d'une part les extensions progressives des groupements étaient implicitement reliées les unes aux autres, et si d'autre part les suffixes de groupements n'étaient pas considérés eux-mêmes comme groupements.
- Une autre heuristique consiste à sélectionner les classes les plus fréquentes [Row93] [MB01].
- Dans l'approche par points de vue multiples [CA01], le nombre de reproductions effectives est comparé par rapport au nombre de reproductions possibles estimé *a priori*, connaissant les caractéristiques statistiques de ce que l'on pourrait appeler la texture statistique globale, c'est-à-dire les caractéristiques markoviennes de longueurs 0 et 1. Une telle hypothèse, selon laquelle un schéma n'est pas pertinent si ses reproductions ne se distinguent pas de la texture statistique globale, nécessiterait des justifications épistémologiques. Il s'avère en effet que des schémas peuvent acquérir une prégnance en raison de leur configuration propre, indépendamment de toute notion statistique globale. Il peut arriver d'ailleurs que la texture statistique globale résulte d'une configuration schématique. Un cas extrême pourrait être la simple trille. Il serait alors paradoxal de refuser le schéma générateur de cette texture, sous prétexte qu'il n'émerge pas de cette texture.
- Les schémas présentant le plus de recouvrements parmi leurs reproductions peuvent être éliminés [Cam98]. Toutefois, la problématique du recouvrement concerne moins le schéma dans son aspect global que les configurations locales entre ses reproductions, ce que nous envisagerons dans notre modèle (§ ??).
- Citons comme autres facteurs de sélection en aval : la durée, l'apparition en début de morceau, la prégnance du registre [MB01], ...

Des mécanismes de sélection *a posteriori* peuvent être intégrés en une unique « fonction de sélection » f , qui assigne à tout schéma de taille PL (*pattern length*), de fréquence F , de degré de recouvrement DOL (*degree of overlapping*), une quantité définie de la manière suivante [Cam98] :

$$f(PL, F, DOL) = \frac{F^a \cdot PL^b}{10^{c \cdot DOL}} \quad (5.14)$$

Où a , b et c sont des constantes à régler. Il n'est pas proposé de spécification *a priori* des paramètres. L'utilisateur doit donc modifier si nécessaire les réglages, ce qui porte préjudice au caractère automatique de telles analyses.

Une telle phase de sélection, qui remet alors en cause l'exhaustivité de l'analyse, semble jouer un rôle de cache-misère, relativement à la classification préa-

lable. Le modèle présenté dans cette thèse s'évertue, quant à lui, à établir directement un catalogue d'une grande fiabilité. Pour cela, certains artefacts issus de la combinatoire des structures musicales doivent être mis en évidence et maîtrisés (chapitres 8 et 9).

5.6.5 La segmentation

La segmentation schématique

L'ensemble des sélections schématiques ne permet pas d'obtenir une analyse satisfaisante en terme d'exhaustivité, d'économie, de simplicité, etc. La sélection serait alors à la fois trop sévère pour certains aspects — tolérant des groupements peu pertinents —, et trop lâche, pour d'autres — excluant des groupements pertinents —. Une telle constatation [Cam98] semble indiquer l'échec, d'un certain point de vue, de telles heuristiques de sélection *a posteriori*.

Pour contourner la difficulté, il est alors proposé une méthodologie « très simple et grossière » [Cam98] de restriction des résultats de la sélection à un simple usage de segmentation. De chaque groupement ne sont conservées que les positions temporelles des deux extrémités. Pour chaque position temporelle possible, toutes les extrémités associées sont additionnées et contribuent à un degré global de segmentation relatif à l'instant en question. Le résultat final de l'analyse se limitera alors à cette segmentation globale.

La classification des segments

Les schémas motiviques recherchés lors de la phase SPIA sont ainsi abandonnés en cours de route. Seuls restent en fin de parcours des points de segmentation, dont il n'est pas aisé de retrouver les raisons de leur présence. Un mécanisme supplémentaire — *Unscramble* [Cam98] — s'applique alors à une catégorisation des segments suivant un jugement de similarité. Une telle étape supplémentaire n'aurait pas été nécessaire si la recherche de schémas motiviques avait été menée à bien.

Remarquons qu'une redondance analogue se retrouve dans l'analyse sémiologique de NATTIEZ [Nat75]. Les groupements élémentaires sont également sélectionnés par une segmentation — totalement intuitive, cette fois-ci — dont les critères ne sont pas explicités. Dans un deuxième temps, ces groupements sont classifiés suivant des caractéristiques générales. La classification de ces groupements a connu une tentative d'automatisation [AW97].

La sommation des segmentations locales et schématiques

Des segmentations locales (§ 4.2.1) peuvent alors être sommées à celles que nous venons de décrire, ce qui produit une segmentation générale de la séquence musicale [Cam98]. D'autre part, au sein de la méthode constructive de recherche de schémas motiviques, un mécanisme de *clôture locale* peut empêcher l'extension ultérieure d'un motif en cas de forte discontinuité locale, telle qu'une longue durée [Cam98]. La valeur universelle d'une telle heuristique reste à démontrer. Dans la figure 5.1, chaque motif peut certes subir une clôture locale, en raison de la durée double de la dernière note. Une telle hypothèse serait par contre inadéquate dans la figure 5.2, car un motif de 5 notes (en pointillés) est, malgré tout, aisément perceptible.



FIG. 5.1 – La clôture locale de chaque motif, représentée par un crochet à droite de chaque segment, serait justifiée par l'existence d'une discontinuité forte de durée (de la noire à la blanche).



FIG. 5.2 – La clôture locale de la figure 5.1 resterait valable ici, ce qui est contredit par la logique motivique (segments pointillés).

5.7 L'analyse de la polyphonie

Toutes les approches considérées précédemment envisagent la monodie suivant le principe de succession stricte. La monodie peut présenter, cependant, des groupements engendrés par des relations syntagmatiques entre notes non-successives.

5.7.1 L'approche relative

Une solution consiste à engendrer, à partir de la représentation générale de la séquence musicale S , un ensemble de représentations R restreintes à un sous-ensemble des instants, défini par la restriction f_R :

$$R = (r_k = n_{f_R(k)})_{k \in [0, N_R - 1]} \quad (5.15)$$

Les groupements seront alors recherchés sur ces représentations R .

Tout le problème, évidemment, revient au choix de ces représentations. Il s'avère que la formalisation de ces représentations suit exactement celle des groupements. Certes, les fonctions f_R sont supposées de plus grande généralité que les fonctions particulières et locales f_G . Mais l'on ne peut choisir une restriction particulière que si l'on a une idée *a priori* de ce que l'on cherche. Une telle solution permet surtout d'éviter le problème plutôt que de le résoudre.

5.7.2 La généralité polyphonique

Il s'avère qu'une solution générale au problème de succession large s'intègre en fait dans un cadre général polyphonique. De manière générale, à chaque instant du déroulement musical peut apparaître une multitude de notes. En conséquence, de multiples relations syntagmatiques peuvent être établies de manière parallèle.

Le temps restant, malgré tout, l'articulation première de la musique, l'ensemble des notes peut être ordonné chronologiquement. Les groupes de notes apparaissant simultanément peuvent, quant à eux, être ordonnés suivant différents canaux d'expression — correspondant aux différents groupes d'interprètes, aux différents instruments en particulier — et suivant l'ordre des hauteurs. Chaque séquence S peut alors être indexée suivant :

- l'indice temporel, c'est-à-dire le numéro de l'instant parmi $N_{\mathcal{T}}$:

$$t \in [0, N_{\mathcal{T}} - 1] \quad (5.16)$$

- l'indice de canal, parmi N_{C_t} :

$$c \in [0, N_{C_t} - 1] \quad (5.17)$$

- et l'indice de hauteur, c'est-à-dire, pour l'instant t et le canal c considéré, le classement suivant les hauteurs, parmi $N_{\mathcal{H}_{t,c}}$:

$$h \in [0, N_{\mathcal{H}_{t,c}} - 1] \quad (5.18)$$

C'est à dire :

$$S = (((n_{t,c,h})_{h \in [0, N_{\mathcal{H}_{t,c}} - 1]})_{c \in [0, N_{C_t} - 1]})_{t \in [0, N_{\mathcal{T}} - 1]} \quad (5.19)$$

Les groupements eux-mêmes sont considérés comme polyphoniques et sont représentés sous la forme d'une sous-séquence G de la séquence S . Une telle ouverture du champ d'étude soulève de nombreuses difficultés. Comment, en particulier, traduire le principe 5.3.1 de syntagmaticité dans un tel cadre général ?

5.7.3 L'approche géométrique

La solution proposée par SIATEC [MLW02] passe dans un premier temps sous silence ce principe de syntagmaticité. C'est dans une phase ultérieure de sélection des résultats qu'un tel principe transparait.

Limitations de la dualité

L'approche envisagée se fonde sur une vision duale du paradigme de la répétition motivique : une répétition d'une chaîne de succession d'intervalles $(g_0g_1 \dots g_{N_G-1})$ et $(h_0h_1 \dots h_{N_H-1})$:

$$\left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{g_0g_1} = \overrightarrow{h_0h_1} \\ \overrightarrow{g_1g_2} = \overrightarrow{h_1h_2} \\ \dots \\ \overrightarrow{g_{N_G-2}g_{N_G-1}} = \overrightarrow{h_{N_G-2}h_{N_G-1}} \end{array} \right. \quad (5.20)$$

peut en effet être considérée alternativement comme une succession de répétitions d'un même intervalle : celui qui relie chaque note de même position dans chaque chaîne :

$$\overrightarrow{g_0h_0} = \overrightarrow{g_1h_1} = \dots = \overrightarrow{g_{N_G-1}h_{N_G-1}} \quad (5.21)$$

La méthode consiste alors à déterminer l'ensemble des intervalles de ce type présent dans la partition, puis les chaînes associées. Une telle dualité de représentation n'est toutefois valable que dans le cas de répétitions exactes, et s'effondre en particulier dans le cas de répétition à des tempos différents, cas non encore traité actuellement et qui risque de poser de réels problèmes.

En effet supposons que H soit une augmentation rythmique de G d'un facteur 2, ce que l'on pourrait noter de la manière suivante :

$$\begin{cases} \overrightarrow{h_0 h_1}|_{\mathcal{T}} = 2 \times \overrightarrow{g_0 g_1}|_{\mathcal{T}} \\ \overrightarrow{h_1 h_2}|_{\mathcal{T}} = 2 \times \overrightarrow{g_1 g_2}|_{\mathcal{T}} \\ \dots \\ \overrightarrow{h_{N_G-2} h_{N_G-1}}|_{\mathcal{T}} = 2 \times \overrightarrow{g_{N_G-2} g_{N_G-1}}|_{\mathcal{T}} \end{cases} \quad (5.22)$$

Alors on a :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{g_1 h_1}|_{\mathcal{T}} &= \overrightarrow{g_1 g_0}|_{\mathcal{T}} + \overrightarrow{g_0 h_0}|_{\mathcal{T}} + \overrightarrow{h_0 h_1}|_{\mathcal{T}} \\ &= \overrightarrow{g_0 h_0}|_{\mathcal{T}} + \overrightarrow{h_0 h_1}|_{\mathcal{T}} - \overrightarrow{g_0 g_1}|_{\mathcal{T}} \\ &= \overrightarrow{g_0 h_0}|_{\mathcal{T}} + 2 \times \overrightarrow{g_0 g_1}|_{\mathcal{T}} - \overrightarrow{g_0 g_1}|_{\mathcal{T}} \\ &= \overrightarrow{g_0 h_0}|_{\mathcal{T}} + \overrightarrow{g_0 g_1}|_{\mathcal{T}} \end{aligned}$$

C'est-à-dire :

$$\overrightarrow{g_1 h_1}|_{\mathcal{T}} \neq \overrightarrow{g_0 h_0}|_{\mathcal{T}} \quad (5.23)$$

Un motif répété à un tempo différent ne peut ainsi pas être identifié.

Sélectionner la successivité

Puisqu'une telle approche ne considère pas explicitement la contrainte de succession, l'algorithme induit un nombre important de classes motiviques non pertinentes. Ainsi SIA découvre pas moins de 70000 classes motiviques différentes dans le *Prélude* Op. 3, n°2, de RACHMANINOV.

Principes de sélection polyphonique. Est développée alors, en aval de cette première étape, une phase de sélection visant à une sélection des résultats les plus pertinents. Cette pertinence est envisagée suivant trois heuristiques.

- À chaque schéma est associée une « couverture » (*coverage*) : c'est la proportion de notes de la séquence totale participant à ses reproductions.
- À chaque reproduction de schéma est associée une « compacité » (*compactness*) : c'est la proportion de notes, au sein de l'*étendue connexe* constituée par la reproduction, qui participent effectivement à celle-ci.
- Chaque schéma peut être caractérisé par le taux de compression qu'il induit sur la représentation musicale.

La compacité. On remarque alors que le principe de succession est finalement représenté *a posteriori* par l'intermédiaire du critère de compacité. En effet, les notes d'une reproduction motivique seront d'autant plus strictement successives que sa compacité est grande. Tout dépendra alors de la manière de définir la notion d'étendue. Trois définitions sont proposées :

- L'étendue du motif peut consister en son étendue temporelle. Mais dans ce cas, deux motifs superposés, par exemple, seront chacun considérés de faible compacité.
- L'étendue du motif peut consister en l'intersection de ses étendues temporelles et fréquentielles. Mais dans ce cas, deux motifs ascendants proches seront chacun considérés de faible compacité.
- L'étendue du motif peut consister en son enveloppe convexe au sein de la représentation temps/fréquence. Mais dans le cas de deux arabesques simultanées, par exemple, l'arabesque extérieure sera alors de faible compacité.

Ainsi l'heuristique de compacité ne permet pas d'assurer la pertinence des résultats.

Le prix de la sélection. Un tel principe de sélection *a posteriori* souffre d'un défaut supplémentaire. Si les résultats finaux proviennent d'une sélection, alors

1. La pertinence des résultats dépend du réglage minutieux du facteur de sélection, lequel réglage doit être effectué indépendamment de la séquence considérée.
2. La pertinence des résultats ne sera jamais entièrement assurée, à moins d'effectuer une sélection sévère, remettant alors en cause la richesse des résultats.
3. Une telle approche fait le deuil d'une recherche pertinente exhaustive, puisque la sélection contient une part indissoluble d'arbitraire.

5.7.4 La succession large

Le point de vue dual de la répétition envisagé dans le paragraphe précédent conduit, comme nous l'avons montré, à des difficultés difficilement surmontables, sans pour autant offrir d'avantage particulier par rapport au point de vue traditionnel.

Une mise en œuvre du point de vue traditionnel, peut être basée sur le principe de successivité large. La séquence polyphonique

$$S = (((n_{t,c,h})_{h \in [0, N_{\mathcal{H}_t, c} - 1]})_{c \in [0, N_{c_t} - 1]})_{t \in [0, N_T - 1]} \quad (5.24)$$

peut être parcourue suivant l'ordre lexicographique des paramètres d'instant temporels, de canal et de hauteur et peut alors être considérée comme une séquence monodique $S^{\mathcal{I}}$:

$$S^{\mathcal{I}} = (n_i^{\mathcal{I}})_{i \in [0, N_{\mathcal{I}} - 1]} \quad (5.25)$$

Le principe 5.3.1 de syntagmaticité doit alors être appliqué à la polyphonie séquentialisée. Le problème se pose alors de nouveau sur les conditions d'existence de la relation syntagmatique, laquelle ne peut plus se baser sur la simple succession indicielle. Une solution proposée [Dov01] est la suivante :

Principe 5.7.1 (Syntagmaticité par proximité indicielle). Deux notes $n_i^{\mathcal{I}}$ et $n_j^{\mathcal{I}}$, $i < j$ sont en relation syntagmatique si leur distance indicielle au sein de la polyphonie linéarisée est suffisamment faible.

$$n_j^{\mathcal{I}} - n_i^{\mathcal{I}} < \tau \quad (5.26)$$

Une telle notion de distance indicielle rend compte d'une certaine caractéristique de la syntagmaticité, sans toutefois prendre en compte l'intégralité du phénomène. Ne sont pas pris ici en considération certains autres aspects généralement plus prégnants. En particulier, la notion de syntagmaticité semble se fonder également sur la notion de registre spectral. Une relation syntagmatique entre deux notes spectralement proches n'est pas rompue par l'ajout de notes intermédiaires — aussi nombreuses qu'elles soient — dans un registre distinct : ces notes n'*interfèrent* pas avec la relation initiale. Au contraire, il semblerait que seulement quelques notes insérées de manière suffisamment précise au milieu d'une chaîne — notamment au sein du même registre, de manière à instaurer une nouvelle configuration locale — peuvent interférer et provoquer un masquage (§ 7.3.2, figure 7.2).

5.8 Synthèse critique et propositions

L'ensemble des approches décrites précédemment, et l'ensemble des algorithmes associés, peuvent maintenant être rassemblés au sein du tableau comparatif 5.1. Cette étude nous permet de mettre en évidence l'utilité et la nécessité des stratégies qui ont motivé le développement de notre propre système, appelé *kanthus* et lui-aussi situé dans le tableau 5.1, que nous détaillons ici.

5.8.1 Grouper, et non segmenter

Certaines démarches de découverte schématique se fondent sur la notion de segmentation du flux en diverses unités. Une segmentation consiste simplement à poser des coupures au sein d'une séquence généralement monodique. Les unités résultant de la segmentation sont constituées d'éléments strictement successifs. De plus, ces unités, en tant que simples résultantes géométriques de la segmentation, n'ont d'autres caractéristiques que leur configuration propre. Une classification ultérieure doit alors être entreprise, laquelle ne pourra d'ailleurs pas tirer profit des raisons de la segmentation antérieure. Des informations précieuses sont ainsi perdues, ou devront être recherchées de manière redondante.

La segmentation est une simple conséquence d'un phénomène plus riche : celui du *groupement*. Grouper, c'est assembler un certain nombre d'éléments au sein d'une unité. Ces éléments peuvent être représentés dans une monodie ou une polyphonie, et peuvent ne pas être successifs. En raison de ce groupement, l'unité résultante est immédiatement associée à un schéma général. Enfin, de multiples groupements peuvent être constitués de manière parallèle — et donc superposés — sur une même séquence musicale (§ 3.2.4, figure 3.2).

5.8.2 Un point de vue adaptatif

La multiplicité des paramètres musicaux complique la recherche d'identités de groupements. La solution généralement proposée — consistant en une batterie de points de vue indépendants sur lesquels sont effectuées les classifications — ne convient pas, car chaque groupement peut voir les dimensions musicales responsables de son identité schématique varier durant son déroulement.

En alternative à une recherche motivique indépendante pour chaque paramètre musical différent, nous proposons une unique recherche motivique prenant

en compte de manière parallèle toutes ces représentations et adoptant certaines d'entre elles *de manière adaptative*.

5.8.3 L'exhaustivité, à l'encontre de la sélectivité

Toutes les approches présentées dans ce chapitre ont, par choix ou par nécessité, adopté, au sein de leur méthodologie, un mécanisme de sélection et de discrimination des résultats suivant des heuristiques globales.

Contrairement à toutes ces approches, nous proposons un autre paradigme, basé sur un idéal d'exhaustivité. Ne serait-il pas envisageable de déterminer, à partir d'une œuvre musicale, l'ensemble des structurations *pertinentes*? Une exhaustivité pure et absolue est ici hors de propos, qui entraînera fatalement une explosion combinatoire et videra l'analyse de tout intérêt. C'est au contraire autour de la notion de pertinence que se fonde une telle démarche, qui se concrétisera sous forme de mécanismes de discrimination en amont et pendant la classification, basés sur la configuration locale des groupements, ainsi que sur certains principes de la logique d'écoute.

5.8.4 Une généralisation progressive de la syntagmaticité

En ce qui concerne la monodie, la technique de l'alignement est proposée comme alternative aux études cantonnées à la syntagmaticité par succession indicielle. Mais en tant que mesure de similarité, elle est généralement mise en œuvre à travers une classification par recherche exhaustive particulièrement coûteuse. D'autre part, les critères de comparaison restent encore assez rudimentaires.

Il semblerait alors préférable de reconstruire une méthode d'alignement à partir d'une classification constructive. Celle-ci peut donc être établie, dans un premier temps, selon un paradigme de syntagmaticité par succession indicielle puis être généralisée ultérieurement, par la prise en compte de syntagmaticité plus lâche basée sur des caractéristiques particulières de la configuration locale — en particulier en raison de mouvements conjoints ou de progressions schématiques à long terme, de présence de schémas intermédiaires réductibles, ou encore de notes intermédiaires non interférentes.

La dimension polyphonique a été étudiée pour l'instant suivant des approches assez rigides, s'arrêtant soit aux répétitions exactes, notamment dans le domaine temporel, soit à une syntagmaticité à proximité indicielle. L'amélioration de telles méthodes s'avère particulièrement ardue, en raison de l'arbitraire de leurs heuristiques.

La prise en compte de la polyphonie peut en revanche être entrevue comme une généralisation de la syntagmaticité. Une fois que l'on sera capable de déceler des logiques motiviques entre notes distantes, la recherche de motifs insérés au sein d'une polyphonie sera une tâche, de manière générale, aussi difficile, et même parfois plus aisée.

Quoi qu'il en soit, dans le cadre de cette étude, nous nous restreindrons au principe 5.3.2 de syntagmaticité par succession indicielle stricte.

5.8.5 Une modélisation de l'écoute

Il semblerait ainsi que les limitations des méthodes envisagées ici proviennent essentiellement de l'arbitraire et de la simplicité de modélisation envisageant implicitement certains principes de l'écoute mais se refusant de prolonger et d'explicitement une telle analogie. La logique de l'écoute fonde notre compréhension de la musique et doit donc fonder les heuristiques des algorithmes tentant de la mimer.

Une analyse itérative

L'écoute musicale tire une de ses caractéristiques les plus fondamentales de l'essence *temporelle* de la musique. Les différentes composantes de l'œuvre musicale apparaissent progressivement dans un ordre déterminé. La compréhension musicale est ainsi non pas un mécanisme qui traite l'objet musical d'un seul tenant, mais au contraire un processus dynamique de traitement progressif des constituants musicaux élémentaires, au fur et à mesure de leur apparition au sein du flux temporel. L'analyse, puisqu'elle se doit d'appréhender le fait musical d'une manière analogue à celle de l'écoute (§ 2.4.6), est tenue de suivre une même démarche progressive.

Une construction progressive

Suivant la démarche cognitiviste, l'écoute est supposée régie par un système de règles. Il n'est évidemment pas envisageable de construire d'emblée un modèle complet qui puisse rendre compte de la totalité de l'écoute musicale. Nous sommes donc contraints de poser pas à pas les différentes briques du système.

Chaque mécanisme ajouté tente de rendre compte de la manière la plus générale possible d'une propriété de l'écoute, qui a été formalisée de manière intuitive. Le comportement du système total, qui doit en outre être le plus simple possible, une fois ce mécanisme ajouté, permettrait à première vue d'évaluer la pertinence de ce mécanisme : une meilleure corroboration des résultats du système avec les résultats attendus peut entraîner la validation du nouveau mécanisme.

Mais une telle heuristique souffre de nombreuses limitations. En particulier, le comportement du système total, au sein duquel règnent d'innombrables relations de dépendance entre ces mécanismes, rend difficilement compte de l'action séparée de chacun d'eux. Il est nécessaire alors de vérifier non seulement le comportement général du système, mais également, dans la mesure du possible, le déroulement des opérations internes. La situation est d'autant plus problématique que le mauvais comportement d'un mécanisme peut provenir non pas de la non-pertinence de celui-ci, mais de la nécessité d'ajouter un ou plusieurs mécanismes supplémentaires.

La mise en place d'un tel système, mais aussi sa validation, ne suivront donc pas un protocole entièrement systématique, mais fera appel pour une grande part à l'*intuition*. Un tel appel à l'intuition peut sembler contraster avec la tentative d'une modélisation de l'écoute. Mais il doit être rappelé ici que toute démarche scientifique, aussi rigoureuse soit-elle, fait largement appel à l'intuition. C'est dans la mise en œuvre de ces modèles et dans leur confrontation avec l'expérience que se juge la validité d'un modèle.

TAB. 5.1 – Panorama synthétique des approches actuelles.

Méthode	Représentation (§ 5.2)	Syntagmaticité (§ 5.3)	Identification (§ 5.4)	Recherche (§ 5.5)	Sélection (§ 5.6)
FLEXPAT [Rol99]	MIDI rythme, métrique	monodie	similarité par alignement	comparaison exhaustive prototype (<i>Star Center</i>)	ségrégation : différence de longueur, dissimilarité
SIATEC [MLW02]	MIDI solfiage automatique ^a	polyphonie	identité relative par projections	énumération exhaustive des translations	sélection : successivité (§ 5.7.3)
SPIA [Cam98]	MIDI solfiage automatique	monodie ^b	identité relative par projections	construction <i>progressive</i>	sélection : superpositions, longueur, fréquence
[CA01]	MIDI partition	monodie sur différents points de vue	identité relative par projections	arbre de suffixe	sélection : statistique
EMI [Cop91] ^c	MIDI	monodie	similarité partielle	comparaison exhaustive	ségrégation : taille
<i>Cypher</i> [Row93]	MIDI	monodie	identité partielle	appariement avec groupements locaux	ségrégation : groupements récents
[Dan02]	MIDI	monodie	identité partielle par alignement	comparaison exhaustive puis agrégation	approche exhaustive
<i>Music Map</i> [MSJ04]	MIDI quantifié	polyphonie	similarité partielle entre séquences pré-segmentées	comparaison exhaustive puis agrégation	sélection : par seuil
MME [MB01]	MIDI	voie supérieure monodique	identité exacte	comparaison exhaustive	sélection : variété intervallique, durée, position, fréquence, consistance rythmique
<i>kanthus</i>	MIDI	monodie	identification <i>adaptative</i>	construction <i>progressive</i>	approche <i>exhaustive</i> car redondance maîtrisée

^aUne analyse préalable traduit les hauteurs enharmoniques de la séquence MIDI initiale en hauteurs théoriques.^bDes analyses sur des réductions de la séquence musicale sont envisagées, mais doivent être réalisées manuellement.^cL'analyse, ici, consiste en une recherche de « signatures » entre plusieurs pièces musicales.

Chapitre 6

Les conditions de l'identification des motifs

Dans ce chapitre sont posées les règles d'identification motivique élémentaire nourrissant par la suite le modèle présenté aux chapitres suivants. La comparaison motivique semble en effet s'effectuer davantage en terme de succession d'identifications élémentaires que de similarité globale (§ 6.1). Ces identifications sont réalisées suivant de multiples dimensions musicales, qui peuvent être regroupées en deux catégories : mélodiques (§ 6.2) et rythmiques (§ 6.3). La découverte schématique consiste alors en une identification progressive de chaque extension successive du schéma, chaque extension pouvant être réalisée suivant une dimension musicale propre (§ 6.4).

Les difficultés sous-jacentes à une telle problématique contraignent à limiter considérablement le champ d'étude à un aspect assez réduit du phénomène musical. Les quelques règles proposées ici (§ 6.6) ont pour qualité première d'assurer un fonctionnement appréciable du modèle computationnel. En ce sens, elles peuvent déjà acquérir une certaine pertinence. Mais leur véritable justification nécessitera une étude plus poussée, faisant notamment appel à l'expérimentation psychologique.

6.1 L'identité du motif

6.1.1 L'identification schématique

L'expression musicale, telle qu'elle est conçue (§ 1.1), telle qu'elle est entendue (§ 1.2), et telle qu'elle est analysée (§ 2), s'articule pour une grande part suivant le mécanisme schématique.

Le schéma motivique

Des schémas, nous n'envisagerons dans cette étude qu'une catégorie particulière : le schéma motivique, qui est généralement défini sous la forme d'une succession simple d'éléments, mais qui présente également, comme nous allons le voir, une identité formelle non-négligeable.

L'écoute musicale consiste alors en une découverte de motifs et de leurs diverses occurrences au sein de la partition. En vertu du mécanisme schématique, un motif est découvert lorsque diverses de ses occurrences sont *identifiées* les unes par rapport aux autres, en raison de leur similarité réciproque. Elles sont alors considérées comme des reproductions du schéma découvert. Une fois qu'une classe de motifs a été découverte, les occurrences ultérieures de cette classe sont ici encore *identifiées* par rapport à la classe, qui se trouve ainsi *reconnue*. Découverte et reconnaissance motiviques — que ce soit lors de l'écoute ou lors de l'analyse — se fondent ainsi sur une *identification*. C'est à ce point particulier qu'est dédié le présent chapitre.

6.1.2 L'identification locale, par delà la similarité globale

L'analyse musicale peut être entrevue sous l'angle de la « similarité » musicale [HSF98] [HE02]. Mais une telle notion de similarité peut accepter plusieurs sens.

La similarité quantitative globale

La similarité peut être envisagée en terme de *distance perceptive globale* entre divers contextes à divers moments de la pièce. Lorsque cette distance est suffisamment faible, une relation d'identité peut alors être inférée [Rol99] [MSJ04].

Des mesures de similarité globale sont ainsi élaborées sur la séquence musicale, basées sur les configurations géométriques multidimensionnelles de la partition. Mais de telles mesures numériques ont-elles une signification particulière du point de vue de l'écoute ? Il semblerait plutôt que ces mesures rendent compte, de manière indirecte, de certaines caractéristiques structurelles, qui peuvent être prises en compte lors de l'identification de l'écoute. Il ne semblerait pas, en revanche, que ces mesures émanent directement de stratégies effectivement envisagées par l'écoute.

L'identification qualitative

Ce serait plutôt en terme d'*identification* que se décèle par l'écoute une structuration de l'œuvre. En effet, les schémas sont généralement décrits, comme nous allons le voir au cours de ce chapitre, en terme d'*invariants*. Les diverses sortes d'identifications, plutôt que de se comparer suivant un quelconque degré quantitatif absolu, se distinguent au contraire suivant les stratégies et les points de vue adoptés. Des identifications pourront ainsi être élaborées à travers les dimensions mélodiques, rythmiques, formelles, etc.

La similarité quantitative locale

Malgré tout, une telle identification qualitative et progressive nécessite au niveau local un jugement de similarité à partir d'une configuration locale qui peut présenter une certaine variation, en raison de la variabilité inhérente à l'expression musicale vivante. Il est donc bien nécessaire d'établir une mesure de similarité quantitative au niveau local, c'est-à-dire une mesure de distance entre différents contextes locaux. Mais une telle mesure de similarité donne immédiatement lieu à une détection éventuelle d'une identité qualitative.

6.1.3 La mise en évidence expérimentale

Une décomposition des facteurs en jeu

Pour mettre en évidence les différents invariants régissant l'identification mélodique, il est important de considérer chaque paramètre séparément, afin d'évaluer la contribution de chacun d'entre eux à cette identification. L'identification en terme d'intervalles de hauteur doit être considérée de manière indépendante des identifications rythmiques ou formelles.

Une mise en évidence algorithmique

Chaque détermination d'invariant sera mise en évidence par l'intermédiaire d'exemples musicaux, générés algorithmiquement.

Une détermination psychologique ultérieure

La détermination précise des seuils d'identification, à partir de la similarité locale, est une tâche particulièrement ardue dont il pourrait être envisagé une résolution à l'aide d'une investigation par la psychologie expérimentale.

Une justification par la modélisation

La simple simulation au sein d'une modélisation computationnelle de l'écoute permet dans un premier temps de démontrer son importance théorique, comme critère permettant une découverte motivique pertinente.

6.2 L'invariant mélodique

6.2.1 La hauteur « absolue »

La hauteur est un paramètre symbolique, en théorie identifiable de manière précise par l'auditeur. Une identification de la hauteur peut être opérée de manière absolue : le son de chaque note est alors directement traduit en terme symbolique. Les auditeurs qui ont « l'oreille absolue » sont capables d'effectuer une transcription systématique, sans référence à aucun contexte local. Toutefois, une telle estimation de hauteur se fonde sur une échelle culturelle prédéterminée, fixée en particulier par un diapason. Un tel qualificatif d'absolu doit alors être nuancé, en raison de la dépendance d'un tel phénomène à un système culturel *a priori*, qui ne peut être acquis que par apprentissage.

Certains motifs peuvent être caractérisés par une séquence de hauteurs déterminées. Le paramètre de hauteur peut être considéré de deux manières :

- Il peut s'agir d'une hauteur assignée à un octave donné, ou hauteur absolue.
- Ou bien il peut s'agir d'une hauteur modulo l'octave, ou *chroma*. Une mélodie dont les notes sont réparties sur divers octaves de manière désordonnée ne perd pas son identité.

The fact that recognition is much better than chance when chroma is preserved in [...] octave-scrambled melodies indicates that some abstraction of chroma, rather than interval sizes, is

important, since intervals have been destroyed by the scrambling.¹

Le chroma n'est pas actuellement pris en compte dans le modèle présenté ici.

6.2.2 L'échelle locale

Mais de manière générale, la perception des hauteurs n'est pas envisagée de manière absolue, mais relativement à une échelle locale. D'ailleurs, un motif peut être répété au sein d'une échelle qui se prête à diverses transpositions. L'invariant n'est alors pas exprimé en terme de hauteurs exactes, mais de hauteurs relatives à l'échelle.

La position dans l'échelle

Les hauteurs des notes ne sont donc généralement pas considérées de manière absolue, mais en tant que positions au sein d'une échelle donnée. L'échelle est une structuration de l'espace des hauteurs, appliquée durant un laps de temps plus ou moins conséquent sur un ensemble de notes entendues. Dans la musique tonale par exemple, ces échelles sont en particulier les différentes tonalités, ainsi que les différents degrés au sein de ces tonalités.

Les auditeurs musiciens envisagent ainsi la description des motifs par l'intermédiaire de l'échelle tonale :

Inexperienced listeners store this information simply as *intervals*, perhaps using the type of automatic interval processing suggested by Deutsch. More experienced listeners make use of the tonal scale schema they have learned to store interval patterns as chroma patterns.²

L'inférence de l'échelle

L'échelle peut être déterminée explicitement au sein de la partition. Mais elle doit également pouvoir être inférée en aveugle par l'auditeur. Pour que l'échelle puisse être déterminée par l'auditeur, ceci nécessite plusieurs compétences de la part de celui-ci :

- D'une part, une connaissance *a priori* de la structuration de telles échelles. Une échelle peut simplement consister en l'ensemble des hauteurs d'un ensemble temporellement restreint de notes, indépendamment de toute structuration modale ou tonale établie *a priori*. Au contraire, d'autres échelles entrent dans le répertoire de schémas connus de l'auditeur.
- D'autre part une capacité de déploiement de l'échelle convenable en fonction du contexte. La détermination de l'échelle nécessite ainsi une *analyse préalable* de la séquence musicale. En particulier, au moment de l'apparition de l'échelle, l'écoute doit pouvoir reconstruire cette échelle par la simple analyse des notes perçues. De plus, l'écoute doit constamment s'assurer de la prolongation effective de cette échelle, ou doit constater la disparition de celle-ci au profit d'une autre échelle.

¹[DH86], p. 129.

²[DH86], p. 143.

Le motif peut lui-même se prêter à des *transpositions*, au sein même du contexte de l'échelle locale, sans perdre pour autant son identité. Ceci peut être formalisé sous la forme d'une échelle encore plus locale — au sein de l'échelle locale —, rendant compte de la nouvelle configuration du motif.

Les invariants du motif peuvent alors être décrits en terme de successions de degrés d'une échelle locale donnée, ou d'une succession d'échelles locales. Ces échelles peuvent en outre être positionnées différemment à chaque occurrence du motif.

6.2.3 L'intervalle mélodique

Ainsi, bien que la perception des hauteurs dépend essentiellement de l'échelle locale, la détermination même de cette échelle locale se fonde nécessairement sur une perception préalable des configurations locales entre notes. La comparaison des hauteurs donne lieu à l'établissement d'un intervalle de hauteur. C'est par l'articulation de ces divers intervalles de hauteur que se construit l'échelle. Les intervalles de hauteur entre notes voisines peuvent donc bien être considérés comme une caractéristique de la configuration musicale qui présente une réelle pertinence perceptive.

L'approche développée ici ne traitera pas de la notion d'échelle locale. La notion de hauteur sera alors fondée uniquement sur la relation locale de hauteur entre notes voisines. D'autre part, en raison de la restriction monodique, nous considérerons uniquement les relations locales de hauteur entre notes immédiatement successives, ce que nous appellerons *intervalle mélodique*.

La notion d'intervalle mélodique peut être développée non seulement en terme de différence de hauteurs absolues, mais également de différence de chromas. Cette seconde possibilité ne sera pas développée ici.

Contribution de l'intervalle mélodique au sein de l'identification motivique

L'intervalle mélodique joue un rôle dominant dans la détermination de motifs. Des études cognitives ont montré la prégnance d'une telle dimension dans la reconnaissance de motifs à long terme [DB81]. La contribution de l'intervalle mélodique dans l'identification motivique peut être mise en évidence à l'aide d'exemples expérimentaux simples. Pour cela, un processus algorithmique génère une séquence musicale, telle que celle de la figure 6.1, aléatoire tant du point de vue mélodique que rythmique, mais présentant en son sein plusieurs répétitions d'une même séquence d'intervalles de hauteur. La tâche de reconnaissance motivique se trouve alors particulièrement ardue. Il est nécessaire de réécouter un bon nombre de fois la séquence entière, avant de commencer à identifier les deux séquences de hauteur cachées. Ceci suggère qu'une identité motivique peut difficilement se limiter à la simple dimension des hauteurs, mais semble également nécessiter une caractérisation formelle (§ 6.5).

Contribution de la dissimilarité au sein de l'identification motivique

Peut-il alors exister une quelconque dissimilarité entre les diverses reproductions des invariants d'un motif, qui ne remette pas en cause l'identification de



FIG. 6.1 – Dans cette séquence aléatoire, tant du point de vue mélodique que rythmique, une séquence mélodique est répétée. Trouvez-là.

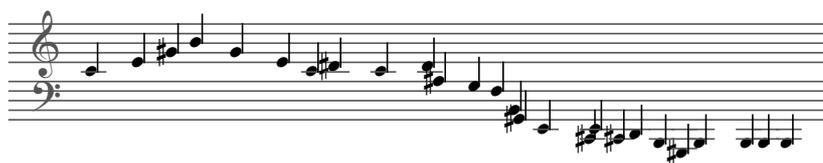


FIG. 6.2 – Dans cette séquence aléatoire, tant du point de vue mélodique que rythmique, une séquence mélodique est répétée de manière approximative. Trouvez-là.

ces occurrences au motif? Dans un tel cas, quelle serait la dissimilarité maximale tolérée?

La détermination du seuil de similarité peut être estimée de manière expérimentale, par l'adjonction, au sein de l'algorithme mentionné précédemment, d'une variation aléatoire et limitée des intervalles successifs de chaque motif. Comme on peut le constater sur la figure 6.2, l'adjonction d'une variation aussi faible soit-elle au sein de la série des intervalles, peut remettre en cause la reconnaissance des motifs. Toute chose étant égale par ailleurs, l'invariant en terme d'intervalle de hauteur ne semble donc pas admettre de distorsion.

6.2.4 Le contour mélodique

Les relations locales de hauteur, entre notes voisines, peuvent être envisagées de manière encore plus simple, par la simple prise en compte du *contour*, c'est-à-dire du sens de variation de l'intervalle mélodique : ascendant, descendant ou stagnant.

Le contour est un paramètre musical aisément reconnu de tout auditeur. Les auditeurs non-musiciens ont même tendance à privilégier une telle description par rapport à une description en terme d'intervalles, ainsi que les auditeurs musiciens dans le cadre de musique atonale [DF71]. Lorsqu'un motif est déformé et que ses composantes intervalliques sont altérées, il subsisterait alors uniquement le contour. Mais là où le contour joue un rôle fondamental dans la *comparaison* de séquences données, et dans la reconnaissance à *court terme*, il ne joue en revanche aucun rôle dans la reconnaissance à *long terme*. Des études cognitives ont

6.3 L'invariant rythmique

Dans la plupart de ces études centrées sur la reconnaissance motivique, la dimension rythmique n'a pas été prise en compte de manière approfondie. Pourtant, dans les situations musicales réelles qui dépassent les expériences de laboratoire, le rythme joue un rôle primordial.

The neglect of rhythm was especially unfortunate for the psychology of music because rhythmic information is, if anything, more fundamental to music cognition than pitch information. William Jones observed that we can recognize familiar tunes from their rhythmic patterns alone, a fact now well documented. And when listeners are given an array of brief melodies in a multidimensional scaling task designed to find the important stimulus dimensions, rhythmic information tends to dominate pitch information in their judgments.⁶

Il est parfois supposé que la description rythmique soit dépendante du contexte métrique [Tem88]. Pourtant, les motifs rythmiques qui contredisent le parallélisme métrique semblent perceptibles par une oreille attentive.

6.3.1 La valeur rythmique absolue

Là où hauteur peut être envisagée de manière absolue, la valeur rythmique, au contraire, ne peut être estimée en terme de durée absolue. Car contrairement à la hauteur, une telle valeur rythmique absolue n'offre pas de composante symbolique, et ne peut être évaluée aisément par l'auditeur.

6.3.2 La pulsation

De manière générale, la valeur rythmique est considérée en tant que rapport à une pulsation de base, qui est une structuration régulière de l'espace temporel, appliquée durant un laps de temps plus ou moins conséquent sur un ensemble de valeurs rythmiques entendues. D'ailleurs, une séquence rythmique peut être reproduite à différents tempos. L'invariant n'est alors pas exprimé en terme de durée exacte, mais d'un rapport de la durée à la durée de la pulsation.

Les invariants d'un motif rythmique peuvent alors être décrits en terme de successions de rapports à la pulsation, quel que soit le tempo associée à la pulsation à chaque occurrence du motif.

L'inférence de la pulsation

La pulsation peut être déterminée explicitement au sein de la partition. Mais elle doit également pouvoir être inférée en aveugle par l'auditeur. Pour que la pulsation puisse être déterminée par l'auditeur, ceci nécessite de sa part une capacité de déploiement de la pulsation convenable en fonction du contexte. La détermination de la pulsation nécessite ainsi une *analyse préalable* de la séquence musicale. En particulier, au moment où la pulsation apparaît, l'écoute doit pouvoir la reconstruire par la simple analyse des notes perçues. De plus, l'écoute doit constamment contrôler ses éventuelles fluctuations ou interruptions.

⁶[DH86], p. 179.

Le motif peut lui-même se prêter à des augmentations et des diminutions, au sein même du contexte de la pulsation locale, sans perdre pour autant son identité. Ceci peut être formalisé sous la forme d'une pulsation locale rendant compte de la nouvelle configuration du motif.

6.3.3 Le rapport rythmique local

Ainsi, bien que la perception rythmique dépend essentiellement de la pulsation locale, la détermination même de cette pulsation locale se fonde nécessairement sur une perception préalable des configurations locales entre notes. C'est par l'estimation de rapports de durées entre notes voisines que se construit la pulsation. Les rapports de durées entre notes voisines peuvent donc bien être considérés comme une caractéristique de la configuration musicale qui présente une pertinence perceptive.

L'approche développée ici ne traitera pas de la notion de pulsation locale. La notion de rythme sera alors fondée uniquement sur la relation locale de durées entre notes voisines. D'autre part, comme, en vertu du principe 5.3.2, les motifs seront définis en terme de succession stricte de notes, nous considérerons uniquement les relations locales de durées entre notes immédiatement successives [SYHC⁺99], que nous appellerons *rapport rythmique local*.

Que l'appréhension rythmique soit ici uniquement focalisée sur les rapports rythmiques entre notes immédiatement successives, voilà qui peut étonner. *A priori*, une valeur rythmique ne semble pas dépendre systématiquement de la valeur rythmique précédente. Pourtant, si l'on suppose par exemple que la pulsation sous-jacente subit une lente dérive aléatoire, l'identification rythmique semble devoir alors se raccrocher aux configurations rythmiques locales.

Pour qu'une identification puisse être envisagée entre divers rapports rythmiques locaux, il est nécessaire de définir le seuil de similarité au-delà duquel l'identification peut être décidée. Deux stratégies sont envisageables :

- On peut supposer que deux rapports rythmiques locaux sont identifiés lorsqu'une certaine distance entre ces deux rapports se confine en deçà d'un certain seuil.
- On peut supposer que chaque rapport rythmique local est appréhendé sous une forme simple, et que les comparaisons entre rapports rythmiques reviennent à des identifications exactes entre ces grandeurs simplifiées.

La première hypothèse ne semble pas probable, car les rapports rythmiques locaux ne peuvent pas être mémorisés tels quels : ils doivent être traduits en une forme symbolique simplifiée. Nous privilégierons donc la seconde alternative, qui nécessite la description du mécanisme de simplification du rapport rythmique. Dans une première approche très simple, nous proposons une quantification de ce rapport au dixième près.

6.3.4 Le contour rythmique

Nous avons vu que l'appréhension mélodique pouvait se contenter d'une relation locale entre notes basée sur le seul sens de variation, appelée *contour*. De même, on pourrait imaginer une telle relation locale dans le cadre rythmique, sous la forme d'un « contour rythmique », déterminée par le « sens de variation » des valeurs rythmiques successives. Nous ne détaillerons pas davantage ce point dans cette étude.

6.3.5 La durée

D'autre part, le rythme peut être envisagé en terme de séquences des valeurs rythmiques associées non pas aux relations syntagmatiques, mais aux notes mêmes. Indépendamment des relations syntagmatiques, une séquence musicale peut en effet présenter une variabilité au niveau de la durée de chaque note, indépendamment de sa distance temporelle avec la note suivante. Les rapports des durées internes des notes pourraient d'ailleurs entrer dans la description des rapports syntagmatiques. Une telle considération est toutefois assez marginale. D'ailleurs, la notion de durée pourrait être considérée comme une *qualité* particulière attachée à chaque note, au même titre que la hauteur. Il suffit de considérer certains instruments présentant un degré de résonance dépendant de la hauteur de chaque note pour s'en convaincre.

6.4 Une identification progressive

La musique trouve dans son expression temporelle une caractéristique qui détermine pour une grande part son fonctionnement. L'analyse ne peut donc pas faire abstraction de cette temporalité. Au contraire, la compréhension de l'œuvre musicale se fonde pour une grande part sur les caractéristiques contextuelles qui en résultent.

Il en est ainsi, en particulier, du mécanisme d'identification de motif : celui-ci tire de la temporalité de l'écoute une stratégie particulière d'appréhension, qui se résume en deux points :

- Les reproductions de schémas sont découverts de manière *progressive* : l'identité de chaque schéma doit se décomposer en une succession d'identités transitoires, découvertes l'une après l'autre, au fur et à mesure de la réception de chaque note successive. Il en résulte un inachèvement potentiel de chaque schéma, s'offrant à un perpétuel élargissement, voire à une multiplicité d'élargissements.
- En conséquence, l'identification elle-même tire partie de ce contexte temporel. L'extension des schémas et des reproductions s'effectuant de manière itérative, chaque étape successive pourra envisager une stratégie particulière et différenciée d'identification.

Il a été montré :

- d'une part, que la découverte d'un schéma et de ses reproductions s'effectue par découverte progressive des notes successives, et
- d'autre part, que les invariants d'un schéma — qui caractérisent donc son identité — peuvent être exprimés suivant diverses dimensions musicales.

La question est maintenant d'articuler les deux points précédents. La découverte d'un schéma et de ses reproductions étant progressive, ses invariants consistent en une chaîne d'invariants associés à chaque étape de la découverte.

6.4.1 La dépendance paramétrique des invariants

Toutes les recherches entreprises à ce sujet ont alors posé de manière implicite le principe suivant :

Principe 6.4.1 (Dépendance paramétrique des invariants d'un schéma).

Pour un motif donné, tous ses invariants successifs s'expriment suivant une



FIG. 6.4 – *L'identité motivique commune que partagent ces deux phrases emprunte une dimension essentiellement mélodique pour les trois premières notes, puis une dimension purement rythmique pour les notes suivantes.*

même dimension donnée du musical.

Un motif sera alors soit :

- rythmique, si ses invariants sont exprimés suivant la dimension rythmique,
- mélodique, si ses invariants sont exprimés suivant la dimension mélodique,
- mélodico-rythmique, si *tous* ses invariants sont exprimés suivant les deux dimensions rythmique *et* mélodique.

La détermination des motifs rythmiques revient alors à une détermination de répétitions à partir d'une représentation rythmique de la partition. De même, la détermination des motifs mélodiques procède par une limitation à l'espace des hauteurs. Les motifs mélodico-rythmiques, quant à eux, qui, suivant ce principe, sont en même temps des motifs mélodiques et des motifs rythmiques, se trouvent donc à l'intersection de l'ensemble des motifs rythmiques et de l'ensemble des motifs mélodiques.

6.4.2 L'indépendance paramétrique des invariants

Pourtant, de manière générale, il semblerait exister des identités motiviques ne vérifiant par le principe précédent. Comme on peut le constater sur la figure 6.4, l'identité d'un motif mélodico-rythmique peut consister pour une certaine part en une identité de type mélodique, et pour une autre en une identité de type rythmique. Ces deux parts peuvent certes se chevaucher, mais elles ne se superposent pas exactement. Il en résulte un nouveau principe, qui s'oppose au principe 6.4.1 :

Principe 6.4.2 (Indépendance paramétrique des invariants d'un schéma).

Pour un motif donné, chaque invariant successif peut emprunter une dimension indépendante de celle des autres invariants du schéma.

6.4.3 La continuité paramétrique locale des invariants.

Un tel principe d'indépendance totale souffre du défaut inverse du principe de dépendance globale : il rend possible des identifications schématiques excessives, qui ne semblent pas concorder avec l'intuition de l'écoute. Si un motif peut se dérouler sur une multiplicité de dimensions musicales, il ne peut toutefois pas excéder les capacités de l'auditeur à s'adapter progressivement à ces changements de dimensions. Par exemple, les deux extraits présentés à la figure 6.5 ne sont généralement pas identifiés comme deux occurrences d'un même motif, car la succession d'invariants du motif hypothétique présente une forte discontinuité. Le principe 6.4.2 d'indépendance paramétrique doit alors être tempéré par le principe suivant :



FIG. 6.5 – Ces deux motifs, issus d’une analyse computationnelle du Menuet de MOZART (§ A.1), disposée dans la représentation d’OpenMusic (§ 11.1.1), ne sont généralement pas considérés comme appartenant à un même schéma motivique — qui serait décrit en terme d’une succession d’un intervalle mélodique descendant de 6 demi-tons, puis d’un rapport rythmique de 1, et enfin d’un intervalle mélodique d’unisson — en raison de la discontinuité excessive entre les deux derniers invariants. C’est pourquoi l’adjonction du principe de continuité paramétrique locale des invariants empêche une telle découverte.

Principe 6.4.3 (Continuité paramétrique locale des invariants d’un schéma). Pour un motif donné, l’invariant de chaque extension successive doit présenter une certaine continuité avec l’extension précédente. Plus précisément, lorsqu’un invariant est uniquement mélodique, il doit succéder à un invariant déjà mélodique ou mélodico-rythmique.

L’invariant rythmique, par contre, tel qu’on l’a défini, se définit intrinsèquement comme un rapport avec l’intervalle précédent. Il vérifie donc déjà cette contrainte continuité.

Le modèle présenté dans le prochain chapitre intègre ce principe de dépendance paramétrique locale.

6.5 La description formelle

Jusqu’à présent, le schéma motivique a été considéré en terme de succession d’identités, lesquelles peuvent emprunter chacune des dimensions différentes de l’espace paramétrique musical. Mais une telle description du schéma motivique semble omettre une caractéristique essentielle de la reconnaissance motivique, fondée sur la *structure formelle propre* du motif.

En effet, ce qui provoque généralement la reconnaissance d’un motif ne semble pas être uniquement la succession caractéristique d’invariants, mais le fait qu’une même répétition interne apparaisse au sein de chaque occurrence du motif et suivant une même description formelle.

La répétition interne apporte deux fonctions complémentaires :

1. Elle met en évidence le *contenu* répété.
2. Elle engendre une *forme* qui figure alors parmi les invariants du motif.

La prégnance de la description formelle peut être aisément mise en évidence à l’aide d’exemples musicaux. Si, comme nous l’ont montré les séquences musicales engendrées algorithmiquement (figures 6.1, 6.2 et 6.3), la tâche de reconnaissance d’une séquence particulière de hauteurs ou de rythmes présente une telle difficulté, c’est justement parce qu’aucune forme interne ne met en valeur chaque occurrence du motif considéré, et donc ne permet leur mémorisation. Si l’on ajoute, cette fois-ci une redondance interne, alors la tâche de reconnaissance se voit facilitée.

Il est donc nécessaire d'inclure des aspects formels directement au sein de l'identification motivique. Ceci ne pourra hélas pas être mis en œuvre de manière concrète dans cette thèse.

6.6 Conclusions

Cette brève étude nous a permis de poser les hypothèses d'identifications suivantes comme postulat de base au système computationnel développé dans les chapitres suivants :

- La dimension mélodique sera évaluée en terme d'intervalles de hauteur entre notes successives, exprimés en demi-tons, de manière indépendante de toute information tonale ou modale.
- Le contour mélodique sera également considéré. Mais la prise en compte de l'horizon temporel de ce paramètre ne pourra pas être envisagée dans cette étude.
- La dimension rythmique sera considérée sous forme d'un rapport de durée entre intervalles successifs, quantifié au dixième près.
- L'identification d'une séquence musicale — à une autre séquence antérieure ou à un schéma connu — semblerait provenir d'une identification exacte d'une succession d'invariants.
- Chaque invariant de cette succession peut être exprimé sur une ou plusieurs dimensions musicales, indépendamment des autres invariants de la séquence. Toutefois, un invariant uniquement mélodique doit succéder à un invariant également mélodique ou mélodico-rythmique.

Ces hypothèses — assez réductrices, il est vrai — ont, dans le cadre de cette étude, une vertu essentiellement pragmatique, car elles assurent un fonctionnement élémentaire du système computationnel proposé dans les chapitres suivants. Ces règles devront être enrichies dans des travaux futurs.

Chapitre 7

La construction du réseau motivique

Dans ce chapitre est construit, brique par brique, la totalité des objets du modèle conceptuel autour duquel est centrée cette thèse. L'analyse pouvant être considérée comme une *mémoire*, la modélisation de l'analyse consiste en une formalisation de la mémoire sous la forme d'un *réseau conceptuel* (§ 7.1). Ce réseau contient, dans ses couches élémentaires, les *notes*, situées sur un axe temporel (§ 7.2), et les *relations syntagmatiques*, rendant compte de l'enchaînement entre notes successives (§ 7.3). L'associativité de la mémoire est réalisée par l'intermédiaire de *rappports associatifs* reliant tous les éléments partageant une même propriété (§ 7.5).

C'est par l'articulation de ces connections syntagmatiques et associatives qu'est institué le concept central de *schéma* : un nouveau schéma est créé à partir de l'extension d'un ancien schéma, par l'intermédiaire d'une mise en relation associative des extensions possibles de l'ancien schéma. Les schémas sont engrangés au sein du réseau conceptuel sous la forme de chaînes regroupées en un arbre commun. En parallèle, chaque reproduction d'un schéma induit la formation d'une chaîne syntagmatique sur les notes concernées, reliée au schéma associé (§ 7.6).

Une telle description du mécanisme schématique permet une réduction importante de la complexité en temps. Elle rend possible en outre une modélisation et un contrôle des configurations structurelles directement au niveau local, ce dont on tirera partie dans les chapitres suivants.

7.1 L'espace de mémoire

L'écoute musicale, telle qu'elle est envisagée notamment dans le cadre de l'analyse musicale, consiste en une description du phénomène sonore sous forme d'objets symboliques. Si ces objets produits par l'écoute restent accessibles au-delà de l'instant fugitif du phénomène, c'est parce qu'ils sont consignés au sein d'une mémoire conceptuelle. L'analyse musicale peut être considérée, comme nous l'avons proposé (§ 4.5.4), comme une forme de mémorisation. Celle-ci sera modélisée dans notre approche sous la forme d'une mémoire qui offre des accès à la fois syntagmatiques et associatifs. Le fruit de l'analyse, quant à lui, est incarné

par l'état final de la mémoire, une fois l'œuvre entièrement écoutée, mais aussi, pourquoi pas, par les états intermédiaires.

Chaque objet — ainsi que chaque relation syntagmatique, qui peut être également considérée comme un objet — qui est construit par la perception est susceptible d'être rappelé par la suite. Il jouit donc d'une existence virtuellement immuable, et peut donc être *objectivé* sous la forme d'une *représentation spatiale*.

Une mémoire se présente ainsi comme un système composé d'une multitude d'éléments, tous susceptibles d'être offerts à l'observation. Une mémoire est appréhendée généralement de manière *ponctuelle*. Seuls certains éléments du réseau sont effectivement considérés à un instant donné de son observation. D'autre part, une mémoire impose un *mode d'accès contraint*. Chaque élément ne peut être observé que si celui-ci est préalablement *activé*.

Mais une mémoire ne se limite pas à une simple énumération d'objets, mais dispose ces objets sous forme d'un *réseau* dans lequel ceux-ci peuvent tisser entre-eux de nombreuses *relations*. L'activation est ainsi rendue possible en raison de la *connectivité* de la mémoire. L'activation d'un élément particulier nécessite alors l'activation préalable d'un autre élément de la mémoire, et l'existence d'une relation particulière entre ces deux éléments.

La mémoire, telle qu'elle est envisagée, peut être modélisée sous la forme d'un réseau conceptuel. L'ensemble de ses objets sont mis en relation au sein d'une représentation spatiale, représentée sous forme de graphes.

7.2 Les notes

L'étude n'envisageant ici que la dimension purement symbolique de l'analyse musicale, les notes sont les objets de base du réseau conceptuel.

7.2.1 La position temporelle

La note se présente à un *instant* donné d'une séquence musicale. Cet instant peut être décrit de deux manières.

La position métrique

La séquence musicale peut être décomposée en mesures, chacune composée d'un nombre de pulsations généralement constant sur des ensembles conjoints de mesures. L'instant temporel peut se situer alors dans une de ces mesures, à une position métrique précise.

Une partition musicale positionne les notes de la séquence musicale suivant cette logique. Développée suivant un axe chronologique, la partition présente une succession de mesures, dans lesquelles les notes sont placées en fonction de leur position métrique.

La partition impose une logique métrique particulière, qui peut être mise en concurrence avec d'autres logiques déterminées par l'écoute. D'ailleurs, l'écoute musicale ne dispose généralement pas de telles informations *a priori* et doit se les reconstituer de manière autonome. C'est pourquoi il peut être envisagé de ne pas imposer, lors de l'analyse, la logique explicite de la partition, et de laisser l'analyse proprement dite reconstituer une ou plusieurs logiques propres.

Voilà pourquoi, dans notre approche, de telles informations métriques explicites ne sont pas considérées comme disponibles *a priori*. Celles-ci devraient

alors être déterminées par l'analyse. Néanmoins, une telle tâche n'est pas encore envisagée dans l'état actuel de cette étude. La position temporelle devra donc être formalisée suivant une représentation moins élaborée que la représentation métrique.

La position relative

Si le positionnement temporel se passe du quadrillage métrique, il peut alors se construire de manière entièrement relative, par une simple comparaison respective des éléments, permettant de déterminer l'antériorité de l'un sur l'autre ou leur simultanéité. Il se crée alors une relation d'*ordre temporel* sur lequel peuvent se ranger ces éléments.

Remarquons toutefois qu'une telle relation d'antériorité ne peut être généralement tirée qu'entre éléments partageant un même contexte temporel local.

La position absolue

Le positionnement relatif rend possible la détermination de relations temporelles indépendante d'une représentation métrique *a priori*. Elle ne permet pas, par contre, la détermination de distances temporelles sous forme quantitative.

L'idée d'une distance temporelle indépendante d'une représentation métrique *a priori* peut sembler incongrue. En effet une telle distance nécessite l'existence d'un espace métrique préalable. Or l'écoute d'une séquence musicale semble pouvoir être fondée sur un espace temporel métrique préalable : celui du temps de l'interprétation. L'écoute ne semble cependant pas capable de déterminer de quelconques mesures sur un tel espace, en raison de ses faibles capacités d'appréhension du temps. La dimension temporelle de l'écoute semble ainsi fondée sur la pulsation et la métrique. Mais la détermination même de cette pulsation nécessite une appréhension, certes implicite, de cet espace temporel. Une écoute systématisée pourra alors consister en une appréhension explicite de cet espace temporel.

De plus, la réalisation temporelle perçue par l'écoute diffère essentiellement de celle conçue par la partition :

- D'une part, l'interprétation offre une grande part de variabilité dans la manière de réaliser le développement temporel. Mais une telle variabilité peut être négligée, si l'on considère une interprétation idéale, « mécanique », qui colle exactement à la partition.
- D'autre part, l'espace métrique de la partition présente une grande part d'abstraction : l'espace temporel n'y est pas entièrement et exactement spécifié. En particulier, l'information de tempo n'est pas toujours précisée, et peut parfois se contenter d'une indication approximative. L'existence de telles incertitudes ne semble pas, cependant, remettre en cause fondamentalement une telle notion d'espace temporel.

Une appréhension explicite et systématisée de cet espace temporel peut être réalisée par l'intermédiaire d'une simple mise en correspondance de chaque note avec une position temporelle absolue, définie par la distance temporelle de chaque élément par rapport au début de la séquence.

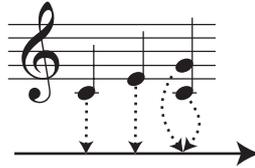


FIG. 7.1 – *Chaque note constitue un noeud du réseau motivique. Si l'on représente la séquence musicale par une partition, chaque tête de note peut représenter un noeud de graphe. Les notes sont positionnées temporellement par l'intermédiaire d'arc orientés (flèches pointillées), partant des notes et aboutissant sur les positions respectives de l'axe temporel (flèche horizontale).*

Formalisation de la représentation temporelle

Le temps peut être représenté sous la forme d'un axe orienté (figure 7.1), dont le sens désigne le sens chronologique. L'*instant temporel* de chaque note est représenté par une arête orientée de la note vers l'instant correspondant — ou date — sur l'axe temporel.

La simultanée entre deux notes pourra être observée lorsque deux notes (telles que les deux dernières notes de la figure 7.1) pointent vers le même instant sur l'axe temporel. La distance temporelle respective entre deux notes pourra être déterminée par la distance entre les deux instants respectifs pointés sur l'axe temporel.

7.2.2 La hauteur

En plus du positionnement temporel au sein de son contexte, la note présente également un certain nombre d'autres caractéristiques, telles que, en particulier, la hauteur.

Dans la représentation MIDI, la hauteur de la note s'identifie à une touche particulière d'un clavier standardisé. Une telle hauteur correspond à la qualité sonore intrinsèque perçue de chaque note, notamment par l'« oreille absolue » (§ 6.2.1). Mais de manière générale, la hauteur est déterminée par l'intermédiaire d'une mise en relation avec une échelle, instituée au sein d'un contexte local.

La détermination progressive de cette échelle — qui ne sera pas considérée dans cette étude — ainsi que la mise en relation de chaque note avec l'échelle, nécessite l'appréhension de la qualité sonore intrinsèque de cette note, sa fréquence ou sa tonie. La hauteur absolue de la note est donc le paramètre originaire, dont la traduction en terme de degré d'échelle s'effectue en second temps.

7.3 Rapport et relation syntagmatiques

7.3.1 Le rapport syntagmatique

Sont mémorisées non seulement les notes, mais également leurs relations de succession. Lorsqu'une note n_p est suivie d'une autre note n_s ($p < s$), un rapport



FIG. 7.2 – La note n_p précède immédiatement la note n_s . Il se forme alors un rapport syntagmatique de la note précédente n_p vers la note suivante n_s .

syntagmatique est établi de n_p vers n_s , et est intégré dans l'espace de mémoire en tant que liaison entre les mémorisations de n_p vers n_s .

Le rapport syntagmatique a pour fonction de jouer un rôle indispensable de *connexion* au sein de la mémoire. Chaque élément activé pourra activer les éléments qui entrent avec lui en rapport syntagmatique.

Puisque le rapport syntagmatique se construit entre des éléments temporellement successifs, l'activation progressive des éléments suivant leur rapport syntagmatique \succ permet alors un *parcours temporel* de la mémoire.

On dira alors que n_p est une note *précédente* de la note n_s , et, inversement, que n_s est une note *suivante* de la note n_p et on notera :

$$n_p \succ n_s \quad (7.1)$$

Un tel rapport syntagmatique sera représenté dans l'espace de mémoire sous la forme d'une arête orientée de n_p vers n_s (figure 7.2).

7.3.2 Le graphe syntagmatique

Lorsque les deux notes n_p et n_s sont immédiatement successives ($s - p = 1$), alors le rapport syntagmatique est assuré :

$$\forall(p, s), s - p = 1 \implies n_p \succ n_s \quad (7.2)$$

La situation devient bien plus délicate si ces deux notes ne sont pas immédiatement successives ($s - p > 1$) (figure 7.3). En effet, dans ce cas, une ou des notes $n_{p+1}, n_{p+2}, \dots, n_{s-1}$ s'intercalent entre les deux notes considérées n_p et n_s . Lorsque la deuxième note n_s est perçue, la première note n_p reste certes encore présente au sein de la mémoire à court terme, mais l'apparition de la ou des notes intermédiaires $n_{p+1}, n_{p+2}, \dots, n_{s-1}$ provoque un phénomène d'interférence. Cette ou ces notes perturbatrices peuvent masquer la relation syntagmatique entre les deux notes extrêmes :

$$n_p \not\succeq n_s \quad (7.3)$$

Les rapports syntagmatiques constituent des relations entre éléments de l'espace de mémoire. Une série d'éléments placés successivement en rapports syntagmatiques forment une *chaîne syntagmatique* (figure 7.4). Toute chaîne syntagmatique sera notée sous la forme :

$$n_{k-N} \succ n_{k-N+1} \succ \dots \succ n_k \quad (7.4)$$

Si deux notes non immédiatement successives sont en rapport syntagmatique :

$$n_{k-N} \succ n_k, N > 1 \quad (7.5)$$

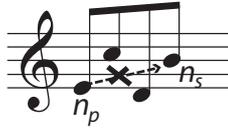


FIG. 7.3 – Les notes n_p et n_s n'entrent pas en relation syntagmatique, en raison de l'existence de notes intermédiaires qui viennent masquer la relation de succession.

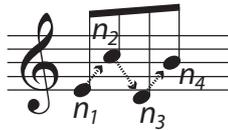


FIG. 7.4 – Les notes n_1 , n_2 , n_3 et n_4 forment trois relations syntagmatiques $n_1 \succ n_2$, $n_2 \succ n_3$ et $n_3 \succ n_4$, qui forment une chaîne syntagmatique $n_1 \succ n_2 \succ n_3 \succ n_4$.

celles-ci sont reliées directement et indirectement suivant deux biais :

$$\begin{cases} n_{k-N} \succ n_k \\ n_{k-N} \succ n_{k-N+1} \succ \dots \succ n_k \end{cases} \quad (7.6)$$

La prise en compte de rapport syntagmatique entre notes non immédiatement successives engendre la constitution non plus d'une simple chaîne syntagmatique, mais d'un *graphe syntagmatique* (figure 7.5).

7.3.3 La chaîne syntagmatique réduite

L'étude des phénomènes de masquage dépassant les objectifs de cette thèse, nous nous en tiendrons, pour ce qui est des relations syntagmatiques, aux notes immédiatement successives, ce qui correspond au principe 5.3.2 de syntagmaticité par succession indicielle stricte.

$$\forall (p, s), n_p \succ n_s \iff s - p = 1 \quad (7.7)$$

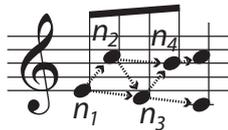


FIG. 7.5 – En plus de la chaîne syntagmatique $n_1 \succ n_2 \succ n_3 \succ n_4$ s'ajoute une relation syntagmatique entre les notes non-immédiatement successives $n_1 \succ n_3$, ce qui crée un graphe syntagmatique.

Puisque nous ne considérerons pas les rapports syntagmatiques entre notes non immédiatement successives, un tel réseau syntagmatique se réduira dans cette thèse à une simple chaîne syntagmatique, dite *chaîne syntagmatique réduite*.

7.3.4 La relation syntagmatique

Nature de la relation syntagmatique

Lorsque deux événements n_p et n_s sont en rapport syntagmatique ($n_p \succ n_s$), ils sont alors, dans la mesure du possible, comparés l'un à l'autre, au sein de leur rapport de succession. Le résultat de cette comparaison acquiert une existence propre et est objectivé sous la forme d'un objet particulier, que l'on appellera *relation syntagmatique*, et que l'on notera $\overrightarrow{n_p n_s}$.

Fonction de la relation syntagmatique

La relation syntagmatique joue un rôle central dans le traitement de la mémoire musicale. L'appréhension de chaque note perçue s'effectue en particulier par l'intermédiaire d'un positionnement relatif de celle-ci par rapport à sa note précédente.

- La hauteur de la note suivante $n_s|_{\mathcal{H}}$ peut être envisagée de manière relative sous forme d'une différence par rapport à la hauteur de la note précédente $n_p|_{\mathcal{H}}$. Une telle comparaison est alors intégrée en tant que paramètre au sein de la relation syntagmatique $\overrightarrow{n_p n_s}$, sous le nom d'*intervalle mélodique*, noté $\overrightarrow{n_p n_s}|_{\mathcal{M}}$:

$$\overrightarrow{n_p n_s}|_{\mathcal{M}} = n_s|_{\mathcal{H}} - n_p|_{\mathcal{H}} \quad (7.8)$$

- Une autre manière plus simple d'envisager la hauteur de la note suivante $n_s|_{\mathcal{H}}$ relativement à la hauteur de la note précédente $n_p|_{\mathcal{H}}$ consiste à estimer le sens de variation. Une telle comparaison est alors intégrée en tant que paramètre au sein de la relation syntagmatique $\overrightarrow{n_p n_s}$, sous le nom de *contour* (§ 6.2.4), noté $\overrightarrow{n_p n_s}|_{\mathcal{C}}$:

$$\overrightarrow{n_p n_s}|_{\mathcal{C}} = \text{Signe}(n_s|_{\mathcal{H}} - n_p|_{\mathcal{H}}) \quad (7.9)$$

La relation syntagmatique devient elle-même un objet qui possède son existence propre au sein de la mémoire, et qui pourra être comparé avec d'autres relations syntagmatiques et contribuer à la formation de groupements.

7.3.5 Le rapport rythmique

À une relation syntagmatique peut également être associée une *durée*, correspondant à la distance temporelle entre l'instant de la note précédente $n_p|_{\mathcal{T}}$ et celui de la note suivante $n_s|_{\mathcal{T}}$: $n_s|_{\mathcal{T}} - n_p|_{\mathcal{T}}$. Cette durée ne peut toutefois pas être considérée comme un paramètre de la relation syntagmatique $\overrightarrow{n_p n_s}$, car une telle distance ne peut être ni quantifiée par l'écoute, ni mémorisée à long-terme.

Pour qu'une telle distance puisse devenir une véritable information musicale, comme nous l'expliquions au paragraphe 6.3, elle doit se prêter à une *quantification*. De manière générale, une telle quantification se base sur l'existence d'une *pulsation* sous-jacente, à partir de laquelle peuvent être déterminées toutes les valeurs rythmiques en tant que rapports des durées par rapport à celle de la

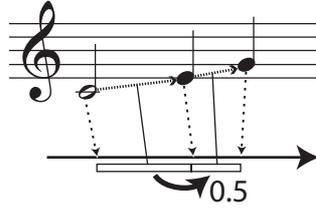


FIG. 7.6 – Le rapport rythmique entre deux relations syntagmatiques successives consiste en un rapport entre la durée de la relation syntagmatique suivante et celle de la relation syntagmatique précédente.

pulsation. Mais il doit être noté toutefois qu’une telle pulsation, du point de vue de l’écoute, n’existe pas *a priori*, elle est découverte à partir de la configuration rythmique elle-même. On aperçoit alors un certain paradoxe : le rythme dépend de la pulsation, laquelle dépend du rythme. Une telle interdépendance peut être résolue en considérant la détermination de la pulsation et celle du rythme comme deux processus interdépendants qui procèdent de manière *progressive*.

Valeurs rythmiques et pulsation procèdent initialement d’une même mise en correspondance entre durées temporelles. La pulsation est initiée à partir d’un rapport d’identité entre deux durées successives. La valeur rythmique d’une note donnée, quant à elle, s’établit par un rapport entre la durée de la relation syntagmatique avec la note suivante et la durée de la pulsation continuellement répétée. Une telle pulsation, à partir de laquelle est déterminée la valeur rythmique, n’est pas toujours connue de manière explicite. La pulsation adéquate doit parfois être choisie parmi un ensemble varié de pulsations possibles.

Dans une première approche, nous ne considérerons pas la problématique de la pulsation, et nous restreindrons le concept de valeur rythmique d’une relation syntagmatique au *rapport* de la distance temporelle de cette relation syntagmatique avec celle de la relation syntagmatique qui la précède.

D’autre part, un tel rapport ne peut être envisagé par l’écoute que de manière quantifiée : le rapport exact entendu doit être traduit en un rapport approximatif simplifié. Une telle problématique présente d’importantes difficultés. Dans une première approche, davantage orientée vers un pragmatisme informatique que vers une véracité cognitive, un tel rapport sera simplement quantifié au dixième près (voir également le paragraphe 6.3.3).

Le *rapport rythmique* (figure 7.6) entre deux relations syntagmatiques en rapport syntagmatique $\overline{n_p n_i} \succ \overline{n_i n_s}$, noté $(\overline{n_p n_i} \succ \overline{n_i n_s})|_{\mathcal{R}}$, consistera ici en une valeur approchée — au dixième près — du rapport entre la distance temporelle de la relation syntagmatique suivante $\overline{n_i n_s}|_{\mathcal{T}}$ avec celle de la relation syntagmatique précédente $\overline{n_p n_i}|_{\mathcal{T}}$:

$$(\overline{n_p n_i} \succ \overline{n_i n_s})|_{\mathcal{R}} = \text{approx} \left(\frac{n_s|_{\mathcal{T}} - n_i|_{\mathcal{T}}}{n_i|_{\mathcal{T}} - n_p|_{\mathcal{T}}} \right) \quad (7.10)$$

Par l’affranchissement de la détermination d’une pulsation *a priori*, une telle estimation de la valeur rythmique permet de mettre en évidence des motifs de même valeur rythmique mais de pulsation différente (figure 7.7).

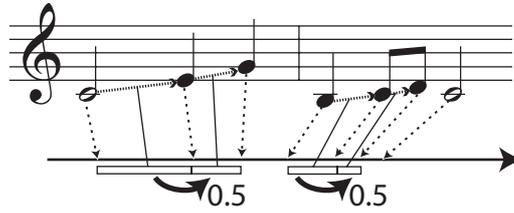


FIG. 7.7 – Lorsque deux motifs sont de même rythme mais de tempo différent, ils présentent des rapports rythmiques identiques.

7.4 La description syntagmatique des notes

7.4.1 Une description dépendante du contexte syntagmatique

La description d'une note n doit être considérée sous deux angles différents, qu'il semblerait nécessaire de bien distinguer.

La description intrinsèque.

D'une part, une note possède des caractéristiques qui lui sont propres, notamment sa hauteur.

La description extrinsèque.

D'autre part, une note peut être décrite suivant sa position au sein d'un contexte syntagmatique. Ce *contexte syntagmatique* consiste en l'ensemble des chaînes syntagmatiques locales qui se terminent par cette note. Si plusieurs de ces chaînes syntagmatiques se confondent au niveau local, seule la chaîne commune — qui participe effectivement au contexte syntagmatique — sera prise en compte. Notre approche se limitant à une chaîne syntagmatique réduite (§ 7.3.3), le contexte syntagmatique est unique.

Dans notre approche, ce contexte syntagmatique est considéré de deux manières :

- On considère chaque relation syntagmatique $\overrightarrow{n'n}$ entre la note n et chaque note syntagmatiquement précédente n' , afin d'y établir l'intervalle mélodique et le contour.
- Pour chacune de ces relations syntagmatiques $\overrightarrow{n'n}$, on considère en outre la relation syntagmatique précédente $\overrightarrow{n''n'}$, afin d'y établir le rapport rythmique associé (7.10).

7.4.2 Formalisation de la description

La succession syntagmatique $n_p \succ n_i \succ n_s$ peut être décrite par son rapport rythmique associé :

$$(n_p \succ n_i \succ n_s)|_{\mathcal{R}} = (\overrightarrow{n_p n_i} \succ \overrightarrow{n_i n_s})|_{\mathcal{R}} \quad (7.11)$$

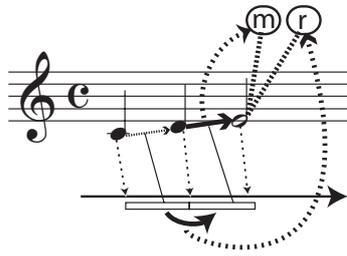


FIG. 7.8 – La description d'une note, par rapport à une succession syntagmatique qu'elle conclut, consiste en l'intervalle mélodique m de la dernière relation syntagmatique et le rapport rythmique r entre les deux dernières relations syntagmatiques.

mais également par les paramètres de la relation syntagmatique finale $\overrightarrow{n_i n_s}$:

$$(n_p \succ n_i \succ n_s)|_{\mathcal{M}} = \overrightarrow{n_i n_s}|_{\mathcal{M}} \quad (7.12)$$

$$(n_p \succ n_i \succ n_s)|_{\mathcal{C}} = \overrightarrow{n_i n_s}|_{\mathcal{C}} \quad (7.13)$$

$$(7.14)$$

ainsi que par les paramètres de la note finale n_s :

$$(n_p \succ n_i \succ n_s)|_{\mathcal{H}} = n_s|_{\mathcal{H}} \quad (7.15)$$

L'ensemble des paramètres associés aux notes, relations syntagmatiques, et successions de relations syntagmatiques pourra désormais être simplement associé aux successions syntagmatiques correspondante (figure 7.8). Dans notre approche computationnelle, la description syntagmatique comprendra uniquement le rapport rythmique, l'intervalle mélodique et le contour. Le système ne considérera donc pas les hauteurs suivant leur position absolue.

Comme nous le verrons ultérieurement (§ 7.6), toute description de succession syntagmatique $n_p \succ n_i \succ n_s$ sera en fait considérée sous la forme d'une description d'une *extension* d'une reproduction d'un schéma $\{\dots \succ n_p \succ n_i\}$ par une relation syntagmatique suivante $\overrightarrow{n_i n_s}$.

7.5 Rapport et relation associatifs

7.5.1 Le rapport associatif

Le rapport syntagmatique ne constitue pas l'unique mode d'accès de la mémoire, d'activation progressive de ses éléments. La mémoire possède également une propriété d'*associativité*, c'est-à-dire de mise en relation des éléments les uns aux autres en raison de similarités ou d'identités de divers ordres relatives à leurs paramètres.

Chaque succession syntagmatique s de la mémoire peut activer l'ensemble des autres éléments présentant une identité suivant l'un des paramètres de cet élément. Pour cela, à la valeur p de chaque paramètre musical \mathcal{P} vérifiée par la succession s est associé un rapport associatif \mathcal{P}_p qui consiste en l'ensemble des

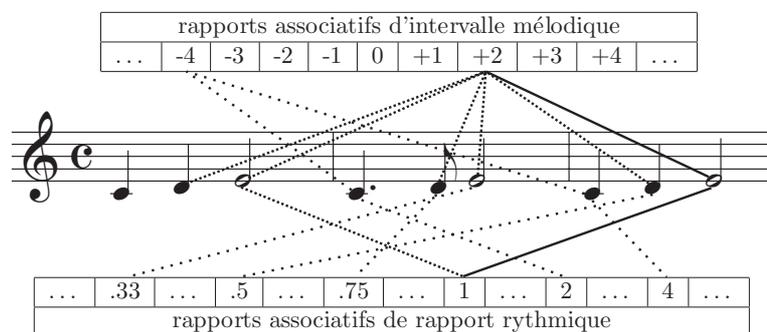


FIG. 7.9 – La mémoire associative élémentaire consiste en un ensemble de rapports associatifs, reliant les successions syntagmatiques conclues par une même valeur d'intervalle mélodique, ou une même valeur de rapport rythmique. Ainsi, la dernière succession syntagmatique, à la mesure 3, d'intervalle mélodique +2 et de rapport rythmique 1 peut être immédiatement associée (traits continus), à l'aide des rapports associatifs, aux anciennes successions syntagmatiques partageant les mêmes caractéristiques (traits pointillés denses).

successions de même valeur p du paramètre \mathcal{P} . Les paramètres musicaux \mathcal{P} sont l'intervalle mélodique \mathcal{M} et le rapport rythmique \mathcal{R} .

Le contour \mathcal{C} , quant à lui, est directement déduit de l'intervalle mélodique suivant la relation

$$\overrightarrow{n_p n_s}|_{\mathcal{C}} = \text{Signe}(\overrightarrow{n_p n_s}|_{\mathcal{M}}) \quad (7.16)$$

Il n'est donc pas nécessaire d'ajouter un rapport associatif de contour.

Le rapport associatif \mathcal{P}_p peut être représenté au sein du réseau motivique sous la forme d'un noeud raccordé à toutes les successions qui présente la valeur p du paramètre \mathcal{P} . L'ensemble des rapports associatifs relatifs à un paramètre musical \mathcal{P} peut être rassemblé au sein d'une table, qui n'est alors rien d'autre qu'une table de hache (figure 7.9).

Une telle mémoire associative peut ainsi être simplement modélisée sous la forme d'un ensemble de tables de hachage, associé chacun à un paramètre musical distinct. Au sein de chaque table de hachage associé à chaque paramètre musical, sont consignés tous les éléments de la mémoire associative en fonction de leur valeur associée à ce paramètre. Il est alors possible, par l'intermédiaire de cet ensemble de table de hachage, de retrouver l'ensemble des éléments présentant des similarités, suivant certains paramètres, avec un élément particulier.

7.5.2 La relation associative

L'associativité de la mémoire, mise en œuvre par le rapport associatif, donne lieu à la création de nouveaux objets conceptuels — des *relations associatives* — qui relient différents contextes au sein du réseau conceptuel, sous une même description.

Une relation associative R est un couple $R = (\text{Descr}(R), \text{Classe}(R))$:

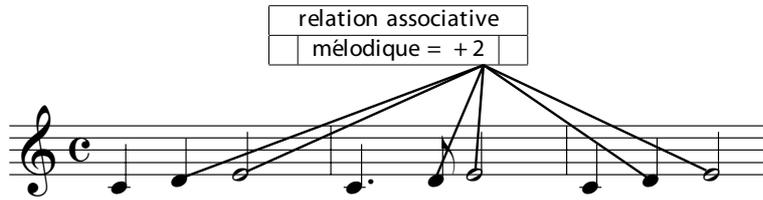


FIG. 7.10 – La relation associative d’intervalle mélodique \mathcal{M}_{+2} relie toutes les successions syntagmatiques se terminant par un intervalle mélodique ascendant de deux demi-tons.

- le premier élément, $\text{Descr}(R)$, donne une *description* de la relation associative,
- le deuxième élément, $\text{Classe}(R)$, indique la *classe associative*, c’est-à-dire l’ensemble des successions syntagmatiques impliquées dans cette relation associative.

7.5.3 Les relations associatives élémentaires

La forme la plus simple de relation associative a pour description une valeur donnée p d’un paramètre musical \mathcal{P} :

$$\text{Descr}(R) = \mathcal{P}_p \quad (7.17)$$

Une telle relation associative R a pour classe associative l’ensemble des successions syntagmatiques s pour lesquelles la valeur du paramètre considéré $s|_{\mathcal{P}}$ s’identifie à la valeur p :

$$\text{Classe}(R) = \left\{ s \mid s|_{\mathcal{P}} = p \right\} \quad (7.18)$$

Ce que l’on pourra noter de la manière suivante :

$$\mathcal{P}_p \rightarrow \left\{ s \mid s|_{\mathcal{P}} = p \right\} \quad (7.19)$$

La relation associative élémentaire n’est donc rien d’autre que la formulation conceptuelle du mécanisme de rapport associatif.

La relation associative d’intervalle mélodique

La relation associative d’intervalle mélodique \mathcal{M}_m associe à chaque intervalle mélodique m l’ensemble des successions syntagmatiques s de même intervalle mélodique $s|_{\mathcal{M}}$ (figure 7.10).

$$\{\mathcal{M}_m\} \rightarrow \left\{ s \mid s|_{\mathcal{M}} = m \right\} \quad (7.20)$$

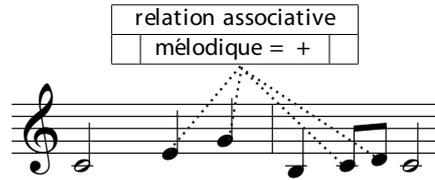


FIG. 7.11 – La relation associative de contour \mathcal{C}_+ relie toutes les successions syntagmatiques se terminant par un contour ascendant.

La relation associative de contour

La relation associative de contour \mathcal{C}_c associe à chaque contour $c \in \{+, -\}$ l'ensemble des successions syntagmatiques s de même contour $s|_c = c$ (figure 7.11):

$$\{\mathcal{C}_c\} \rightarrow \left\{ s \mid s|_c = c \right\} \quad (7.21)$$

Le contour, comme nous l'avons vu, est une description moins spécifique que l'intervalle mélodique (7.16). Ainsi, lorsqu'une description inclut une valeur d'intervalle mélodique, la spécification d'une valeur de contour n'est pas nécessaire, car elle se déduit de l'autre valeur. Par contre, si aucun intervalle mélodique n'est spécifié, une information de contour peut être précisée.

Pour cette raison, les informations d'intervalle mélodique et de contour sont spécifiées au sein du seul paramètre mélodique. Lorsqu'un intervalle mélodique est spécifié, ce paramètre contient une valeur numérique relative. Lorsque seul un contour est spécifié, ce paramètre contient un signe. Si ni l'intervalle mélodique, ni le contour ne sont spécifiés, ce paramètre ne contient aucune information. Remarquons qu'un contour nul s'identifie en fait un intervalle mélodique de zéro demi-tons.

Nous avons vu (§ 6.2.4) que le contour ne peut contribuer à une mise en relation entre chaînes syntagmatiques, seulement lorsque celles-ci sont suffisamment proches temporellement. Il serait donc nécessaire d'intégrer une notion de persistance limitée des connections effectuées par l'intermédiaire d'une relation associative de contour. Devant la difficulté d'une telle approche, nous ne pourrions envisager la notion de contour que de manière théorique.

La relation associative de rapport rythmique

La relation associative de rapport rythmique \mathcal{R}_r associe à chaque rapport rythmique quantifié r l'ensemble des successions syntagmatiques s de même rapport rythmique $s|_{\mathcal{R}} = r$ (figure 7.12):

$$\{\mathcal{R}_r\} \rightarrow \left\{ s \mid s|_{\mathcal{R}} = r \right\} \quad (7.22)$$

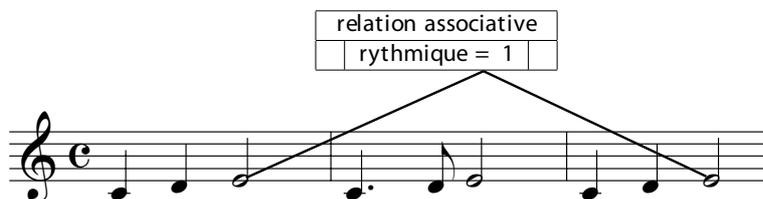


FIG. 7.12 – La relation associative de rapport rythmique \mathcal{R}_1 relie toutes les successions syntagmatiques se terminant par un rapport rythmique valant l'unité.

7.5.4 La conjonction de relations associatives

Là où le rapport associatif s'en remet à une simple mise en relation de valeurs isolées de paramètres musicaux simples, la relation associative permet une mise en relation de contextes différents du réseau conceptuel suivant une conjonction de paramètres musicaux.

On appelle *conjonction* d'un ensemble de relations associatives $\{R_i\}_{i \in [1, N]}$, et on note $\bigcap_{i \in [1, N]} R_i$, la relation associative :

- décrite par la *conjonction* des descriptions de $\{R_i\}_{i \in [1, N]}$:

$$\text{Descr}\left(\bigcap_{i \in [1, N]} R_i\right) = \bigcap_{i \in [1, N]} \text{Descr}(R_i) \quad (7.23)$$

- et de classe associative égale à l'*intersection* des classes de $\{R_i\}_{i \in [1, N]}$:

$$\text{Classe}\left(\bigcap_{i \in [1, N]} R_i\right) = \bigcap_{i \in [1, N]} \text{Classe}(R_i) \quad (7.24)$$

Ce que l'on peut noter ainsi :

$$\bigcap_{i \in [1, N]} \text{Descr}(R_i) \rightarrow \bigcap_{i \in [1, N]} \text{Classe}(R_i) \quad (7.25)$$

En particulier, une relation associative R peut être décrite sous la forme d'une conjonction de paramètres musicaux \mathcal{P}^i et de leur valeur respective p^i (figure 7.13) :

$$\text{Descr}(R) = \bigcap_{i \in [1, N]} \mathcal{P}_{p^i}^i \quad (7.26)$$

7.6 Les relations associatives schématiques

7.6.1 Principe

La prolongation syntagmatique des relations associatives simples

D'une part, chaque relation associative R_0 forme une classe associative, notée $\text{Classe}(R_0)$. L'associativité de la mémoire permet ainsi une mise en relation de

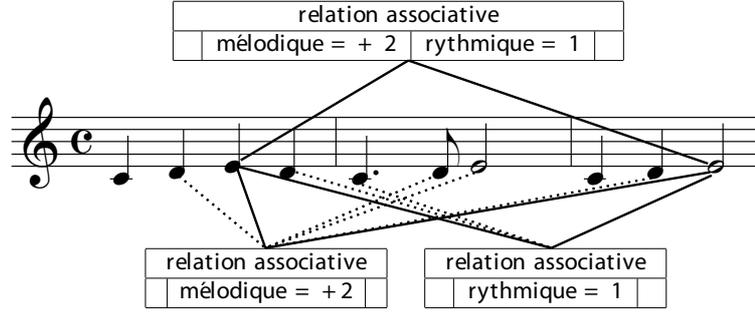


FIG. 7.13 – La conjonction $\mathcal{M}_{+2} \cap \mathcal{R}_1$ d'une relation associative d'intervalle mélodique \mathcal{M}_{+2} et d'une relation associative de rapport rythmique \mathcal{R}_1 contient l'ensemble des successions syntagmatiques (reliées en traits continus) qui appartiennent à la fois aux relations associatives \mathcal{M}_{+2} (en-dessous de la partition) et \mathcal{R}_1 (*idem*).

successions syntagmatiques $\dots \succ n_{k-1} \succ n_k \in \text{Classe}(R_0)$ partageant une même identité décrite par $\text{Descr}(R_0)$.

D'autre part, chaque succession syntagmatique appartenant à la classe associative $\dots \succ n_{k-1} \succ n_k \in \text{Classe}(R_0)$ peut être prolongée par l'adjonction d'une nouvelle relation syntagmatique $\overline{n_k n_{k+1}}$, en une succession syntagmatique $\dots \succ n_{k-1} \succ n_k \succ n_{k+1}$. Certaines de ces successions prolongées peuvent appartenir à une autre relation associative R_1 .

Il se crée alors une nouvelle forme de relation associative S_1 , qui se fonde d'une part sur la relation associative initiale R_0 et d'autre part sur la relation associative R_1 des prolongations des reproductions de R_0 (figure 7.14).

Une telle relation associative S_1 est dite *schématique*. Par opposition, les autres relations associatives sont dites *simples*. La description d'une relation associative schématique S_1 , description appelée *schéma*, consistera en la *succession syntagmatique* de la description de R_0 et de la description de R_1 :

$$\text{Descr}(S_1) = \text{Descr}(R_0) \succ \text{Descr}(R_1) \quad (7.27)$$

On retrouve ici le concept de schéma considéré tout au long de la première partie de cette thèse (cf. § 1.1.1). Les éléments de la classe associative décrite par un schéma sont appelés les *reproductions* du schéma.

La nouvelle relation associative S_1 aura pour classe $\text{Classe}(S_1)$ l'ensemble des successions syntagmatiques, telles que le préfixe appartient à $\text{Classe}(R_0)$ et la succession totale à $\text{Classe}(R_1)$:

$$\text{Classe}(S_1) = \left\{ \dots \succ n_{k-1} \succ n_k \succ n_{k+1} \in \text{Classe}(R_1) \mid \dots \succ n_{k-1} \succ n_k \in \text{Classe}(R_0) \right\} \quad (7.28)$$

Ce que l'on peut alors écrire de la manière suivante :

$$\text{Descr}(R_0) \succ \text{Descr}(R_1) \rightarrow \left\{ \dots \succ n_{k-1} \succ n_k \succ n_{k+1} \in \text{Classe}(R_1) \mid \dots \succ n_{k-1} \succ n_k \in \text{Classe}(R_0) \right\} \quad (7.29)$$

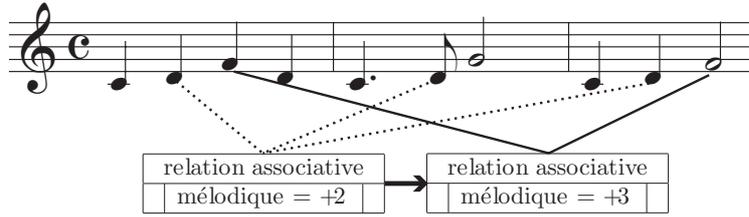


FIG. 7.14 – Parmi les successions syntagmatiques appartenant à la relation associative \mathcal{M}_{+2} (traits pointillés), certaines sont prolongées, par l'ajout de leur relation syntagmatique suivante, en une nouvelle succession syntagmatique qui appartient à la relation associative \mathcal{M}_{+3} (traits continus). De telles successions syntagmatiques forment alors une relation associative schématique décrite par $\mathcal{M}_{+2} \succ \mathcal{M}_{+3}$.

La prolongation syntagmatique des relations associatives schématiques

Cette nouvelle relation associative S_1 peut devenir alors la relation associative initiale, à partir de laquelle de nouvelles relations associatives S_2 peuvent être constituées, par la prise en compte des prolongations des successions syntagmatiques de $\text{Classe}(S_1)$, et de leurs éventuelles appartenance à une relation associative simple commune R_2 (figure 7.15).

Ces nouvelles relations associatives S_2 auront pour description la succession syntagmatique de la description de S_1 et de la description de R_2 :

$$\text{Descr}(S_2) = \text{Descr}(S_1) \succ \text{Descr}(R_2) \quad (7.30)$$

or la description de S_1 a été établie par l'équation 7.27, d'où :

$$\text{Descr}(S_2) = \text{Descr}(R_0) \succ \text{Descr}(R_1) \succ \text{Descr}(R_2) \quad (7.31)$$

et pour classe $\text{Classe}(S_2)$ l'ensemble des successions syntagmatiques de notes, telles que le préfixe appartient à $\text{Classe}(S_1)$ et la succession totale à $\text{Classe}(R_2)$:

$$\text{Classe}(S_2) = \left\{ \dots \succ n_{k-1} \succ n_k \succ n_{k+1} \in \text{Classe}(R_2) \mid \dots \succ n_{k-1} \succ n_k \in \text{Classe}(S_1) \right\} \quad (7.32)$$

Ce que l'on peut alors écrire de la manière suivante :

$$\text{Descr}(R_0) \succ \text{Descr}(R_1) \succ \text{Descr}(R_2) \rightarrow \left\{ \dots \succ n_{k-1} \succ n_k \succ n_{k+1} \in \text{Classe}(R_2) \mid \begin{array}{l} \dots \succ n_{k-1} \succ n_k \in \text{Classe}(R_1) \\ \dots \succ n_{k-1} \in \text{Classe}(R_0) \end{array} \right\} \quad (7.33)$$

La prolongation syntagmatique récursive des relations associatives schématiques

Un tel mécanisme de constitution de relations associatives par prolongation peut se poursuivre de manière récursive. De nouvelles relations associatives S_N

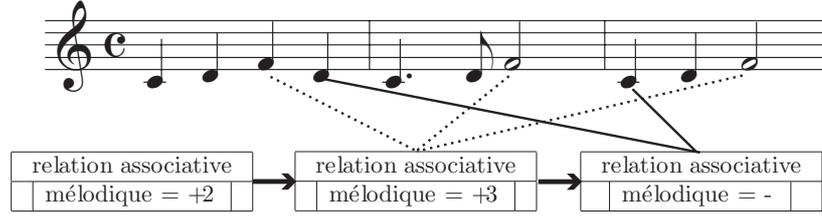


FIG. 7.15 – Parmi les successions syntagmatiques appartenant à la relation associative schématique $\mathcal{M}_{+2} \succ \mathcal{M}_{+3}$ (traits pointillés), certaines sont prolongées, par l'ajout de leur relation syntagmatique suivante, en une nouvelle succession syntagmatique qui appartient à la relation associative \mathcal{C}_- (traits continus). De telles successions syntagmatiques forment alors une relation associative schématique décrite par $\mathcal{M}_{+2} \succ \mathcal{M}_{+3} \succ \mathcal{C}_-$.

auront pour description la succession syntagmatique de la description de S_{N-1} et de la description de R_N :

$$\text{Descr}(S_N) = \text{Descr}(S_{N-1}) \succ \text{Descr}(R_N) \quad (7.34)$$

d'où :

$$\text{Descr}(S_N) = \text{Descr}(R_0) \succ \text{Descr}(R_1) \succ \dots \succ \text{Descr}(R_{N-1}) \succ \text{Descr}(R_N) \quad (7.35)$$

et pour classe $\text{Classe}(S_N)$ l'ensemble des successions syntagmatiques de notes, telles que le préfixe appartient à $\text{Classe}(S_{N-1})$ et la succession totale à $\text{Classe}(R_N)$:

$$\text{Classe}(S_N) = \left\{ \dots \succ n_{k-1} \succ n_k \succ n_{k+1} \in \text{Classe}(R_N) \mid \dots \succ n_{k-1} \succ n_k \in \text{Classe}(S_{N-1}) \right\} \quad (7.36)$$

Ce que l'on peut alors écrire de la manière suivante :

$$\text{Descr}(R_0) \succ \text{Descr}(R_1) \succ \dots \succ \text{Descr}(R_{N-1}) \succ \text{Descr}(R_N) \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \dots \succ n_{k-1} \succ n_k \in \text{Classe}(R_{N-1}) \\ \dots \succ n_{k-1} \in \text{Classe}(R_{N-2}) \\ \dots \\ \dots \succ n_{k-N+1} \in \text{Classe}(R_0) \end{array} \right\} \quad (7.37)$$

Le rapport associatif de prolongation

À chaque schéma sont associés des *rapports associatifs de prolongation*. Ce sont des rapport associatifs mémorisant, non pas l'ensemble des successions syntagmatiques possibles, mais seulement celles qui prolongent le schéma considéré. De cette manière, l'ensemble des prolongations d'un schéma partageant un même rapport associatif suivant une valeur d'un certain paramètre est consigné au sein du rapport associatif d'extension du schéma pour cette valeur de ce paramètre (figure 7.16).

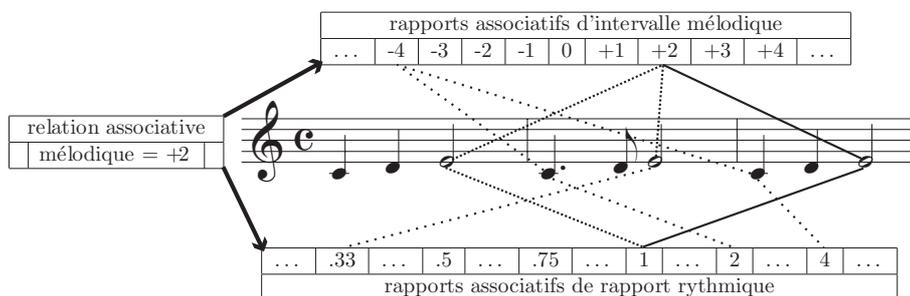


FIG. 7.16 – À la relation associative \mathcal{M}_{+2} sont associés des rapports associatifs de prolongation, d'intervalle mélodique et de rapport rythmique, qui concernent uniquement les successions syntagmatiques qui prolongent celles appartenant à \mathcal{M}_{+2} (traits pointillés ou continus). Ainsi, lorsque, à la mesure 3, la succession syntagmatique appartenant à \mathcal{M}_{+2} se prolonge en une succession d'intervalle mélodique +2 et de rapport rythmique 1, on retrouve immédiatement, à l'aide des rapports associatifs de prolongation (traits continus), les anciennes prolongations de successions de \mathcal{M}_{+2} partageant les mêmes caractéristiques (traits pointillés denses).

Une telle mémorisation associative des continuations du schéma permet alors d'associer rapidement, pour une nouvelle reproduction du schéma et sa continuation, l'ensemble des anciennes reproductions présentant une prolongation semblable suivant la totalité ou une partie des paramètres musicaux.

7.6.2 Les schémas originaires

Chaque prolongation d'une relation associative S en une relation associative schématique S' provient ainsi du prolongement de certaines reproductions de S en une succession syntagmatique participant à une relation associative particulière R .

La classe de la relation associative schématique S' rassemble donc l'ensemble des successions syntagmatiques :

1. qui participent à la relation associative R' ,
2. et qui prolongent des reproductions de S .

Le schéma originaire des notes

Une relation associative d'intervalle mélodique — ou de contour — R rassemble un ensemble de relations syntagmatiques $n_{k-1} \succ n_k$ vérifiant une même valeur d'intervalle mélodique — ou de contour. Une telle relation associative partage ainsi le point 1 de la caractérisation précédente des schéma.

D'autre part, parmi les suffixes possibles de chaque relation syntagmatique $n_{k-1} \succ n_k$ figure la note n_{k-1} . Cette note peut être considérée comme une reproduction d'un schéma originaire des notes, noté \mathcal{N} . De cette manière, la relation associative R vérifie également le point 2 de la caractérisation précédente

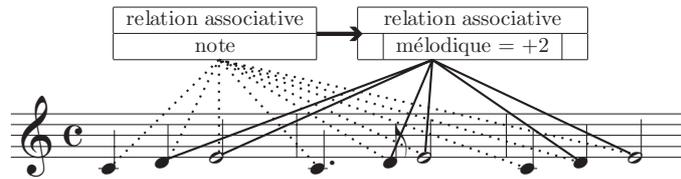


FIG. 7.17 – Les successions syntagmatiques appartenant à la relation associative \mathcal{M}_{+2} (traits continus) sont des prolongements de successions syntagmatiques qui n'ont d'autres particularités que de se terminer par une note quelconque. La relation associative \mathcal{M}_{+2} est donc un prolongement de la relation associative reliant toutes les notes (traits pointillés), qui est décrite alors par un schéma originaire des notes \mathcal{N} .

des relations associatives schématiques : R prolonge le schéma originaire des notes (figure 7.17).

Ainsi, toute relation associative d'intervalle mélodique — ou de contour — peut en fait être considérée comme un schéma, qui prolonge le schéma originaire des notes \mathcal{N} .

Le schéma originaire des relations syntagmatiques

Une relation associative de rapport rythmique R rassemble un ensemble de successions syntagmatiques $n_{k-2} \succ n_{k-1} \succ n_k$ vérifiant une même valeur de rapport rythmique entre les durées des deux relations syntagmatiques successives finales $\overrightarrow{n_{k-2}n_{k-1}}$ et $\overrightarrow{n_{k-1}n_k}$. Une telle relation associative partage également le point 1 de la caractérisation des schéma.

D'autre part, parmi les suffixes possibles de R figure la succession syntagmatique $n_{k-2} \succ n_{k-1}$, laquelle peut être considérée comme une reproduction d'un schéma originaire des relations syntagmatiques, noté \mathcal{S} . De cette manière, la relation associative R vérifie également le point 2 de la caractérisation précédente des schémas : R prolonge le schéma élémentaire des successions syntagmatiques (figure 7.18).

Ainsi, toute relation associative de rapport rythmique peut en fait être considérée comme un schéma, qui prolonge le schéma originaire des relations syntagmatiques \mathcal{S} .

Implications

Désormais, toutes les relations associatives, élémentaires ou schématiques, sont — mis à part le schéma originaire des notes — des relations associatives schématique : elles prolongent une autre relation associative. On peut alors considérer chaque note comme reproduction du schéma originaire des notes, et chaque relation syntagmatique comme prolongement de la reproduction du

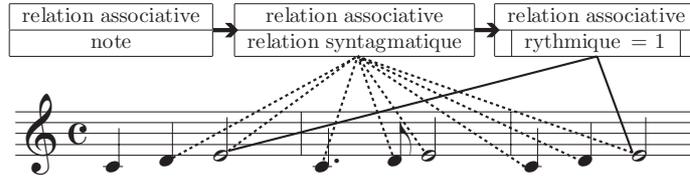


FIG. 7.18 – Les successions syntagmatiques appartenant à la relation associative \mathcal{R}_1 (traits continus) sont des prolongements de successions syntagmatiques qui n'ont d'autres particularités que de se terminer par une relation syntagmatique quelconque. La relation associative \mathcal{R}_1 est donc un prolongement de la relation associative reliant toutes les relations associatives (traits pointillés), qui est décrite alors par un schéma originaire des relations syntagmatiques \mathcal{S} .

schéma originaire des notes, que constitue la note précédente, en une reproduction du schéma originaire des relations syntagmatiques. Ainsi, toute découverte de relation associative consiste en fait en un prolongement d'une relation associative existante. De même, toute découverte d'une reproduction d'un schéma consiste en fait en un prolongement d'une reproduction de schéma.

7.6.3 L'arborescence schématique

Chaque relation associative S_N , excepté le schéma élémentaire de notes, est donc un prolongement d'une relation associative préfixe S_{N-1} . Toute relation associative non-élémentaire S_N peut donc être décrite sous la forme :

$$\text{Descr}(S_N) = \text{Descr}(S_{N-1}) \succ \text{Descr}(R_N) \quad (7.38)$$

Ainsi une relation associative ne tire sa spécificité que de sa dernière relation associative élémentaire R_N .

À chaque relation associative schématique peut être associée une *longueur*, qui correspond au nombre de relations associatives formant la description de son préfixe. Ainsi le schéma S_N de l'équation (7.38) est de longueur N . Au schéma originaire des notes est associée, quant à lui, la longueur nulle.

Chaque relation associative S_N peut d'autre part accepter plusieurs prolongements possibles S_{N+1}^i . En effet, les différentes successions syntagmatiques appartenant à la classe associative $\text{Classe}(S_N)$ sont prolongées de manière diverse. Ces prolongements peuvent être reliés les uns aux autres suivant diverses relations R_{N+1}^j .

L'ensemble des schémas forme donc un arbre dont la racine est le schéma élémentaire des notes (figure 7.19). Chaque schéma est représenté par un noeud de l'arbre. Ce noeud pourra être noté s_N^i , où N est la longueur de la relation associative et i_N un indice quelconque distinguant ce noeud des autres de même longueur.

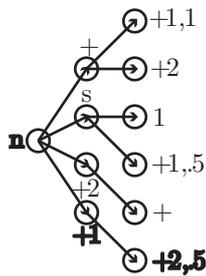


FIG. 7.20 – L’arborescence des relations associatives présentée à la figure 7.19 peut être simplement représentée sous forme d’un graphe. Chaque relation associative schématisée devient alors un noeud du graphe. Le schéma de la relation associative en bas à droite consiste en la succession des descriptions de chaque noeud de la racine vers le noeud de la relation, c’est-à-dire : $\mathcal{N} \succ \mathcal{M}_{+1} \succ (\mathcal{M}_{+2} \cap \mathcal{R}_{.5})$.

tion de schéma peut accepter plusieurs extensions. L’ensemble des extensions successives d’une reproduction de schéma forme alors lui-même un arbre.

Représentation du rattachement

Une reproduction d’un schéma pourra être représentée dans l’espace de mémoire sous la forme d’une chaîne d’états, qui traduit la formalisation symbolique (7.39). Chaque état $n_{l-N+k}^{s_k}$ successif de la chaîne met en correspondance chaque état successif $s_k^{i_k}$ du schéma avec chaque note successive n_{l-N+k} participant à la reproduction, ainsi que la relation syntagmatique $\overrightarrow{n_{l-N+k-1} n_{l-N+k}}$ qui le lie à la note précédente (figure 7.21).

Chaque note successive n_{l-N+k} participant à la reproduction d’un schéma peut alors être placé en *relation dite d’appartenance* avec l’état correspondant de cette reproduction. Cette relation d’appartenance est représentée sous la forme d’une arête orientée de la note vers l’état de la chaîne de la reproduction. Les notes participant à la reproduction d’un schéma, ainsi que leurs relations syntagmatiques, ne sont ainsi pas directement représentés *au sein* de la formalisation de la reproduction elle-même, mais par l’intermédiaire de relations.

Chaque état de la reproduction d’un schéma peut également être mis en *relation dite de subsomption* avec l’état correspondant de ce schéma. Cette relation de subsomption est représentée sous la forme d’une arête orientée de l’état de la chaîne de la reproduction vers l’état associé de la chaîne du schéma. La relation d’appartenance générale de la reproduction au schéma est représentée par le faisceau des relations de subsomption élémentaire, établissant ainsi un alignement de la reproduction sur son schéma.

7.6.5 Déroulement temporel du prolongement schématique

Dans le contexte de l’écoute, la mémoire musicale est progressivement enrichie. À chaque adjonction d’une ou de plusieurs notes associées à un nouvel instant musical, la mémoire musicale subit une modification. Au sein de la mé-

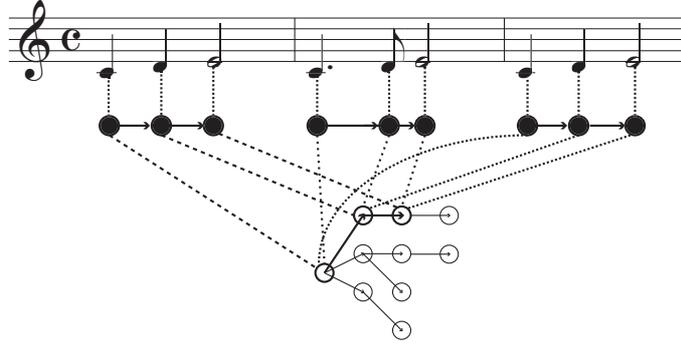


FIG. 7.21 – Les reproductions, du schéma représenté par la branche en gras dans l'arbre des schémas, prennent la forme de chaînes (noeuds noirs), dont chaque noeud successif associe une note de la partition — reliée à la chaîne par une relation d'appartenance — à son état correspondant dans la branche du schéma — reliée à la chaîne par une relation de subsumption.

moire syntagmatique, quelques rapports et relations syntagmatiques sont ajoutés dans la partie la plus récente de la mémoire musicale. Au sein de la mémoire associative, les nouvelles successions syntagmatiques peuvent être incorporées au sein de classes associatives déjà constituées, ou provoquer la formation de nouvelles relations associatives.

Soit n_{k+1} la nouvelle note perçue. Celle-ci entre en rapport syntagmatique $n_k \succ n_{k+1}$ avec une note précédente n_k (voire plusieurs, dans un contexte polyphonique que nous ne considérerons pas ici). Cette note précédente participe à diverses successions syntagmatiques ($\dots \succ n_k$), le nouveau rapport syntagmatique ($n_k \succ n_{k+1}$) engendre une prolongation des chaînes syntagmatiques ($\dots \succ n_k \succ n_{k+1}$).

Les chaînes syntagmatiques non-étendues ($\dots \succ n_k$) forment un certain nombre de reproductions G_i de schémas $S_i = s_0^{i_0} \succ \dots \succ s_{N_i}^{i_{N_i}}$:

$$G_i = n_{k-N_i}^{s_0^{i_0}} \succ \dots \succ n_k^{s_{N_i}^{i_{N_i}}} \quad (7.40)$$

La subsumption sous un schéma existant

Chaque schéma S_i accepte un certain nombre de prolongements (figure 7.22) :

$$S'_{ij} = s_0^{i_0} \succ \dots \succ s_{N_i}^{i_{N_i}} \succ s_{N_i+1}^j \quad (7.41)$$

La nouvelle succession syntagmatique ($\dots \succ n_k \succ n_{k+1}$) peut vérifier la description de certains de ces prolongements S'_{ij} . C'est-à-dire qu'elle entre au sein de la relation associative de prolongement décrite par le dernier état $s_{N_i+1}^j$. Dans ce cas, la reproduction correspondante G_i de S_i est prolongée en une reproduction G'_{ij} de S'_{ij} :

$$G'_{ij} = n_{k-N_i}^{s_0^{i_0}} \succ \dots \succ n_k^{s_{N_i}^{i_{N_i}}} \succ n_{k+1}^{s_{N_i+1}^j} \quad (7.42)$$

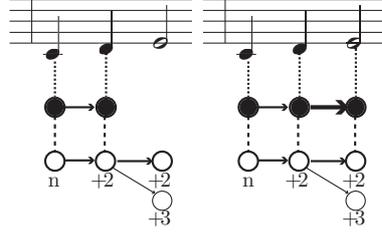


FIG. 7.22 – Les deux premières notes (figure de gauche) forment une reproduction (noeuds noirs) d'un schéma (noeuds blancs rattachés aux noeuds noirs). Ce schéma accepte deux extensions possibles (les deux autres noeuds blancs). L'extension des deux premières notes par la troisième vérifie bien la propriété \mathcal{M}_{+2} associée à l'une des extensions. En conséquence, la reproduction est étendue (figure de droite) par un noeud supplémentaire, reliant la troisième note au nouveau schéma.

La découverte d'un prolongement schématique

Chaque schéma S_i accepte un certain nombre de rapports associatifs de prolongement (figure 7.23). La nouvelle succession syntagmatique est intégrée au sein de ces rapports associatifs. Ceux-ci peuvent alors mettre en évidence l'existence d'une autre succession syntagmatique partageant certains paramètres, de manière à former une relation associative de prolongement P qui ne soit pas déjà identifiée à une extension existante du schéma :

$$\forall j, P \neq s_{N_i+1}^j \quad (7.43)$$

Alors cette relation ainsi découverte $S_i \succ P$ devient un nouveau prolongement du schéma S_i :

$$S_i \succ P = s_0^{i_0} \succ \dots \succ s_{N_i}^{i_{N_i}} \succ s_{N_i+1}^k \quad (7.44)$$

où le dernier état est défini par :

$$s_{N_i+1}^k = P \quad (7.45)$$

Lorsqu'un schéma S_i est prolongé en un nouveau schéma $S_i \succ P$. Toutes les reproductions de S_i

$$G_{il} = n_{l-N_i}^{s_0^{i_0}} \succ \dots \succ n_l^{s_{N_i}^{i_{N_i}}} \quad (7.46)$$

dont le prolongement appartient à la relation associative $S_i \succ P$ sont prolongées en une nouvelle reproduction de $S_i \succ P$:

$$G'_{il} = n_{l-N_i}^{s_0^{i_0}} \succ \dots \succ n_l^{s_{N_i}^{i_{N_i}}} \succ n_{l+1}^{s_{N_i+1}^k} \quad (7.47)$$

En particulier, la reproduction G_i est prolongée en une nouvelle reproduction G'_i :

$$G'_i = n_{k-N_i}^{s_0^{i_0}} \succ \dots \succ n_k^{s_{N_i}^{i_{N_i}}} \succ n_{k+1}^{s_{N_i+1}^k} \quad (7.48)$$

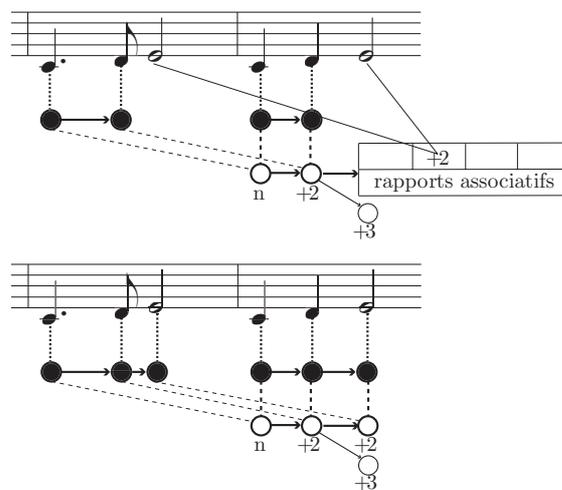


FIG. 7.23 – Les deux premières notes de chaque mesure (figure du haut) forment des reproductions (noeuds noirs) d'un schéma (noeuds blancs rattachés aux noeuds noirs). À ce schéma sont associés des rapports associatifs de prolongement. Dans chacune des mesures, le prolongement des deux premières notes par la troisième vérifie une relation associative de prolongement commune \mathcal{M}_{+2} . Puisque cette relation est ainsi vérifiée par plusieurs successions syntagmatiques, le schéma est prolongé par un noeud supplémentaire (figure du bas). D'autre part, chaque reproduction vérifiant ce rapport est prolongée par un noeud supplémentaire, reliant la troisième note au nouveau schéma.

Chaque fois qu'une reproduction mémorisée est prolongée par l'intermédiaire des rapports associatifs de prolongement, la description du *prolongement-même* de cette reproduction prolongée est mémorisée au sein du rapport associatif de prolongement associé au schéma étendu. Ceci permet d'assurer le rappel ultérieur de ce prolongement par la mémoire associative, afin de poursuivre le prolongement schématique de manière récursive.

7.7 Utilités du réseau motivique

Le réseau motivique ainsi décrit réalise une analyse motivique par découverte automatique de répétitions mélodiques et rythmiques. Son utilité réside principalement dans les points suivants :

- Le réseau effectue une recherche de répétitions par prise en compte des paramètres d'intervalles mélodiques, de contour et de rapports rythmiques de manière *adaptive*.
- La fondation du mécanisme de découverte sur le concept de rapport associatif permet une recherche *optimale en temps* : toutes les configurations susceptibles de rendre possible une répétition sont mémorisées une fois pour toute dans les tables de rapports. Chaque fois qu'un nouveau motif est entendu, la réactivation des motifs similaires se fait ainsi de manière immédiate.
- En opposition au paradigme de la segmentation, la modélisation des motifs en terme de groupements rendra possible une généralisation immédiate à la *polyphonie* et à la recherche de motifs constitués de notes non successives. Elle permet également la *polysémie* [Cho02], c'est-à-dire la constitution de descriptions parallèles d'un même groupe de notes. Nous verrons l'utilité d'une telle propriété dans les deux chapitres qui suivent.

Chapitre 8

La minimisation du réseau motivique

Le modèle conceptuel décrit au chapitre précédent permet une découverte schématique à faible complexité temporelle. Cependant, mis à part ces performances, le comportement qu'il présente est comparable à celui de tout système classique de recherche de répétitions.

Le présent chapitre, et celui qui le suit, résolvent deux problématiques qui semblent intrinsèquement associées à celle de la recherche de répétitions. C'est en raison de la prise en considération de ces deux questions que le système résultant de cette étude offre des résultats qui concordent pour la première fois avec certains aspects élémentaires de l'écoute musicale.

Dans ce premier chapitre est traité le problème de la minimisation du réseau motivique, qui, lorsqu'il n'est pas considéré, entraîne une explosion combinatoire, et aboutit à une analyse illisible, du fait de sa complexité. Les approches actuelles, n'ayant pas attaqué ce problème de front, se trouvent alors contraintes à effectuer une sélection aveugle n'assurant ni la pertinence, ni l'exhaustivité des résultats.

Cette explosion combinatoire est expliquée ici en terme de description redondante de classes associatives, et résolue par l'introduction d'un principe de description des classes par *maximisation de la spécificité* (§ 8.2). La relation de spécificité entre schémas ou entre reproductions inclut à la fois les notions d'*inclusion* entre paramètres musicaux et de *suffixe*, au sein d'un formalisme unique (§ 8.1).

Le principe est ensuite traduit sous forme de règles simples (§ 8.3), tirant parti de l'existence d'un graphe de spécificité au sein des reproductions superposées (§ 8.4). Des optimisations supplémentaires permettent l'établissement d'un programme compact et efficace.

8.1 Inclusion et relations de spécificités

8.1.1 Les relations de spécificité entre relations associatives

Certaines descriptions peuvent entrer en relation de dépendance les unes par rapport aux autres.

Définition 8.1.1. *Une relation associative R_1 est dite plus spécifique qu'une autre relation associative R_2 lorsque la description de R_1 est une condition nécessaire de la description de R_2 .*

$$\text{Descr}(R_1) \implies \text{Descr}(R_2) \quad (8.1)$$

Le chapitre précédent met en évidence deux cas possibles de relation de spécificité :

Le contour et l'intervalle mélodique. D'une part, le paramètre d'intervalle mélodique peut être considéré comme plus spécifique que le paramètre de contour :

$$\forall m > 0, \quad \text{Descr}(\mathcal{M}_m) \implies \text{Descr}(\mathcal{C}_+) \quad (8.2)$$

$$\forall m < 0, \quad \text{Descr}(\mathcal{M}_m) \implies \text{Descr}(\mathcal{C}_-) \quad (8.3)$$

La conjonction de relations associatives. D'autre part, en conséquence de l'équation 7.23, une conjonction de relations associatives est plus spécifique que chacune de ses relations associatives :

$$\forall i \in [1, N], \text{Descr}\left(\bigcap_{i \in [1, N]} R_i\right) \implies \text{Descr}(R_i) \quad (8.4)$$

Spécificité et inclusion

Lorsque des relations associatives entrent en relation de spécificité, comme le montre la propriété suivante et l'illustre la figure 8.1, les classes associatives entrent en relation d'inclusion.

Propriété 8.1.1 (Inclusion des classes associatives spécifiques). *Soient R_1 et R_2 deux relations associatives.*

Si $\text{Descr}(R_1) \implies \text{Descr}(R_2)$, alors $\text{Classe}(R_1) \subseteq \text{Classe}(R_2)$

Démonstration. Soit R la relation associative conjonction de R_1 et R_2 : $R = R_1 \cap R_2$.

On a alors :

$$\text{Classe}(R) = \text{Classe}(R_1) \cap \text{Classe}(R_2) \quad (8.5)$$

$$\text{Descr}(R) = \text{Descr}(R_1) \cap \text{Descr}(R_2) \quad (8.6)$$

Puisque $\text{Descr}(R_1) \implies \text{Descr}(R_2)$, alors $\text{Descr}(R) = \text{Descr}(R_1)$.

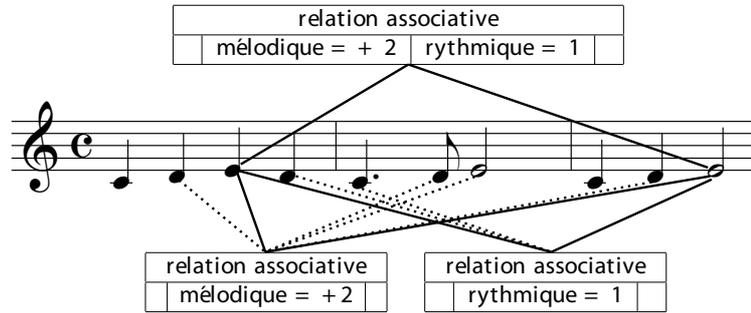


FIG. 8.1 – La conjonction $\mathcal{M}_{+2} \cap \mathcal{R}_1$ étant plus spécifique que ses relations associatives élémentaires \mathcal{M}_{+2} et \mathcal{R}_1 , sa classe associative (reliées en traits continus) est incluse dans celle des relations élémentaires (reliées en traits pointillés ou continus en-dessous de la partition).

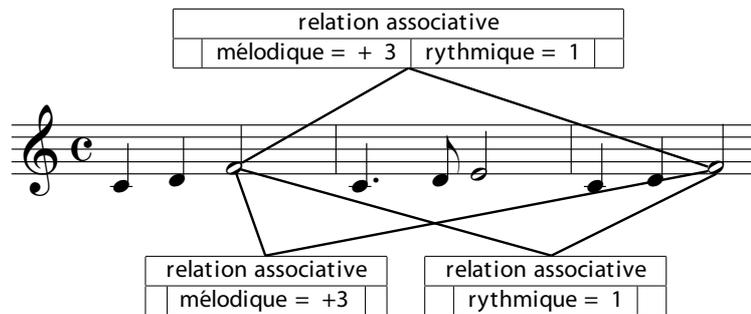


FIG. 8.2 – La conjonction $\mathcal{M}_{+3} \cap \mathcal{R}_1$ a beau être plus spécifique que ses relations associatives élémentaires \mathcal{M}_{+3} et \mathcal{R}_1 , sa classe associative est ici égale à celle des relations élémentaires.

Puisque chaque relation associative est décrite de manière particulière, on a alors $R = R_1$.

L'équation 8.6 se réécrit alors :

$$\text{Classe}(R_1) = \text{Classe}(R_1) \cap \text{Classe}(R_2) \quad (8.7)$$

C'est-à-dire : $\text{Classe}(R_1) \subseteq \text{Classe}(R_2)$. □

La relation d'inclusion entre classes indiquée par la propriété précédente n'est pas stricte : il se peut que $\text{Classe}(R_1) = \text{Classe}(R_2)$ (figure 8.2). De même, la réciproque de la propriété 8.1.1 n'est pas vraie (figure 8.3).

8.1.2 La conjonction de schémas

Nous avons défini la conjonction de relations associatives élémentaires par la conjonction des descriptions des relations associatives élémentaires (7.23), ainsi

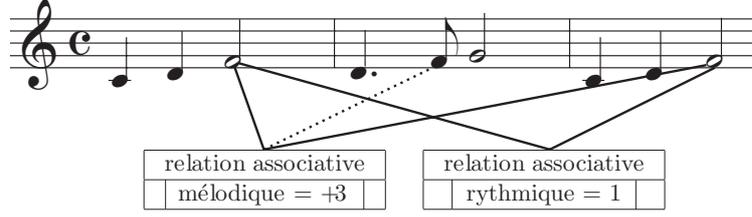


FIG. 8.3 – La classe associative de la relation associative \mathcal{R}_1 a beau être incluse dans celle de \mathcal{M}_{+3} , il ne s’ensuit pas que, du point de vue simplement des descriptions, la relation associative \mathcal{R}_1 soit plus spécifique que la relation associative \mathcal{M}_{+3} .

TAB. 8.1 – Conjonction de schémas.

Descr(S_1)		\mathcal{N}	\succ	\mathcal{S}	\succ	$\{\mathcal{R}_1\}$
Descr(S_2)		\mathcal{N}	\succ	$\{\mathcal{M}_{+2}\}$	\succ	$\{\mathcal{M}_{+3}\}$
Descr($S_1 \cap S_2$)		\mathcal{N}	\succ	$\{\mathcal{M}_{+2}\}$	\succ	$\{\mathcal{M}_{+3}\}$
						$\{\mathcal{M}_{+2}; \mathcal{R}_1\}$

que par l’intersection des classes des relations associatives élémentaires (7.24). Nous allons maintenant généraliser cette notion de conjonction aux relations associatives schématiques.

Soit un ensemble de relations associatives $(S_{N^i}^i)_{i \in [0, M-1]}$ de longueur N^i diverses. Chaque relation associative non élémentaire Descr($S_{N^i}^i$) ($N^i > 0$) peut être décomposé en un schéma préfixe Descr($S_{N^{i-1}}^i$) et une relation associative de prolongement $R_{N^i}^i$ sous la forme :

$$\text{Descr}(S_{N^i}^i) = \text{Descr}(S_{N^{i-1}}^i) \succ \text{Descr}(R_{N^i}^i) \quad (8.8)$$

Définition 8.1.2 (Conjonction de schémas). La conjonction des schémas $\bigcap_{i \in [0, M-1]} \text{Descr}(S_{N^i}^i)$ consistera alors, de manière récursive, en la succession de la conjonction des schémas préfixes et de la conjonction de la description de la relation associative d’extension.

$$\bigcap_{i \in [0, M-1]} \text{Descr}(S_{N^i}^i) = \left(\bigcap_{i \in [0, M-1]} \text{Descr}(S_{N^{i-1}}^i) \right) \succ \left(\bigcap_{i \in [0, M-1]} \text{Descr}(R_{N^i}^i) \right) \quad (8.9)$$

Les relations associatives élémentaires, n’ayant pas de description particulière, sont des éléments neutres de la conjonction :

$$\text{Descr}(S) \cap \mathcal{N} = \text{Descr}(S) \quad (8.10)$$

$$\text{Descr}(S) \cap \mathcal{S} = \text{Descr}(S) \quad (8.11)$$

Un exemple de conjonction de schémas est donné à la table 8.1.

Définition 8.1.3 (Conjonction des relations associatives schématiques). La conjonction des relations associatives schématiques $\bigcap_{i \in [0, M-1]} S_{N^i}^i$ est alors la relation associative décrite par la conjonction des schémas :

$$\text{Descr}\left(\bigcap_{i \in [0, M-1]} S_{N^i}^i\right) = \bigcap_{i \in [0, M-1]} \text{Descr}(S_{N^i}^i) \quad (8.12)$$

On a alors :

$$\text{Classe}\left(\bigcap_{i \in [0, M-1]} S_{N^i}^i\right) = \bigcap_{i \in [0, M-1]} \text{Classe}(S_{N^i}^i) \quad (8.13)$$

En effet, chaque classe associative $\text{Classe}(S_{N^i}^i)$ peut s'écrire sous la forme (7.37) :

$$\text{Classe}(S_{N^i}^i) = \left\{ \begin{array}{l} \dots \succ n_{k+1} \in \text{Classe}(R_{N^i}) \\ \dots \succ n_k \in \text{Classe}(R_{N^{i-1}}) \\ \dots \succ n_{k-1} \in \text{Classe}(R_{N^{i-2}}) \\ \dots \\ \dots \succ n_{k-N^i+1} \in \text{Classe}(R_0) \end{array} \right\} \quad (8.14)$$

D'où :

$$\bigcap_{i \in [0, M-1]} \text{Classe}(S_{N^i}^i) = \left\{ \begin{array}{l} \dots \succ n_{k+1} \in \bigcap_{i \in [0, M-1]} \text{Classe}(R_{N^i}) \\ \dots \succ n_k \in \bigcap_{i \in [0, M-1]} \text{Classe}(R_{N^{i-1}}) \\ \dots \succ n_{k-1} \in \bigcap_{i \in [0, M-1]} \text{Classe}(R_{N^{i-2}}) \\ \dots \\ \dots \succ n_{k-N^i+1} \in \text{Classe}(R_0) \end{array} \right\} \quad (8.15)$$

C'est-à-dire :

$$\bigcap_{i \in [0, M-1]} \text{Classe}(S_{N^i}^i) = \left\{ \begin{array}{l} \dots \succ n_{k+1} \in \text{Classe}\left(\bigcap_{i \in [0, M-1]} R_{N^i}\right) \\ \dots \succ n_k \in \text{Classe}\left(\bigcap_{i \in [0, M-1]} R_{N^{i-1}}\right) \\ \dots \succ n_{k-1} \in \text{Classe}\left(\bigcap_{i \in [0, M-1]} R_{N^{i-2}}\right) \\ \dots \\ \dots \succ n_{k-N^i+1} \in \text{Classe}(R_0) \end{array} \right\} \quad (8.16)$$

D'où le résultat (8.13).

8.1.3 Les relations de spécificité entre schémas

La relation de spécificité définie entre relations associatives élémentaires par la définition 8.1.1 peut maintenant être élargie aux relations associatives schématiques.

Définition 8.1.4. *Une relation associative schématique S_N est dite plus spécifique qu'une autre relation associative $S'_{N'}$ lorsque la description de S_N est une condition nécessaire de la description de $S'_{N'}$.*

$$\text{Descr}(S_N) \implies \text{Descr}(S'_{N'}) \quad (8.17)$$

Que la description de S_N soit une condition nécessaire de la description de $S'_{N'}$, cela signifie que la description de S_N spécifie des caractéristiques — concernant les successions syntagmatiques appartenant à la classe associative de S_N — qui sont incluses dans celles de la description de $S'_{N'}$. Cela veut donc dire que :

- D'une part, la description de S_N spécifie des caractéristiques, concernant le dernier élément de chaque succession syntagmatique appartenant à la classe associative de S_N , qui sont incluses dans celles de la description

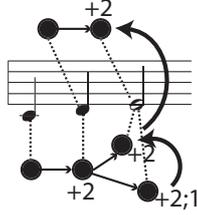


FIG. 8.4 – Le schéma $\mathcal{N} \succ \{\mathcal{M}_{+2}\} \succ \{\mathcal{M}_{+2}; \mathcal{R}_1\}$ donne une description plus spécifique de la succession syntagmatique finale de cette partition, que le schéma $\mathcal{N} \succ \{\mathcal{M}_{+2}\} \succ \{\mathcal{M}_{+2}\}$ (flèche du bas), qui lui-même donne une description plus spécifique que le schéma $\mathcal{N} \succ \{\mathcal{M}_{+2}\}$ (flèche du haut). D'où $(\mathcal{N} \succ \{\mathcal{M}_{+2}\} \succ \{\mathcal{M}_{+2}; \mathcal{R}_1\}) \implies (\mathcal{N} \succ \{\mathcal{M}_{+2}\} \succ \{\mathcal{M}_{+2}\}) \implies (\mathcal{N} \succ \{\mathcal{M}_{+2}\})$.

de $S'_{N'}$. Puisque la caractérisation du dernier élément de ces successions est réalisée par la description des relations associatives de prolongation respectives R_N et $R'_{N'}$, on obtient :

$$\text{Descr}(R_N) \implies \text{Descr}(R_{N'}) \quad (8.18)$$

- D'autre part, la description de S_N spécifie des caractéristiques, concernant le préfixe de chaque succession syntagmatique appartenant à la classe associative de S_N , qui sont incluses dans celles de la description de $S'_{N'}$. Puisque la caractérisation du préfixe de ces successions est réalisée par les schémas préfixes respectifs S_{N-1} et $S'_{N'-1}$, on obtient :

$$\text{Descr}(S_{N-1}) \implies \text{Descr}(S'_{N'-1}) \quad (8.19)$$

Ce qui aboutit à la propriété suivante :

$$\left(\text{Descr}(S_N) \implies \text{Descr}(S'_{N'}) \right) \iff \begin{cases} \text{Descr}(S_{N-1}) \implies \text{Descr}(S'_{N'-1}) \\ \text{Descr}(R_N) \implies \text{Descr}(R_{N'}) \end{cases} \quad (8.20)$$

Un exemple de relations de spécificité est donné à la figure 8.4.

Il doit être remarqué qu'un schéma est toujours plus spécifique que son suffixe. Ainsi, la relation de spécificité rend compte à la fois de comparaisons de séquences considérées, de manière extensive, sur leur étendue, et, de manière intensive, de comparaisons de paramètres musicaux.

Spécificité et inclusion

La propriété 8.1.1 peut maintenant être généralisée pour les relations schématiques.

Propriété 8.1.2 (Inclusion des classes associatives spécifiques). Soient S_N et $S'_{N'}$ deux relations schématiques.

Si $\text{Descr}(S_N) \implies \text{Descr}(S'_{N'})$, alors $\text{Classe}(S_N) \subseteq \text{Classe}(S'_{N'})$

La relation d'inclusion entre classe indiquée par la propriété précédente n'est pas stricte : il se peut que $\text{Classe}(R_1) = \text{Classe}(R_2)$ (figure 8.6). De même, ici aussi, la réciproque de la propriété 8.1.2 n'est pas vraie.

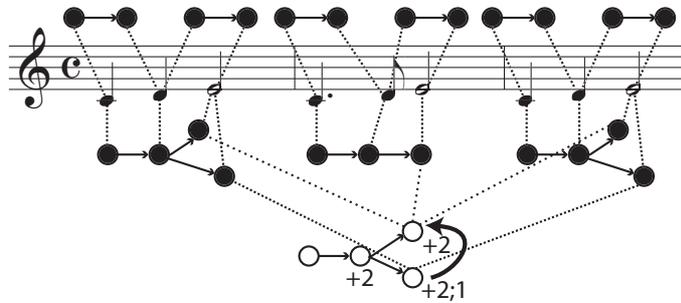


FIG. 8.5 – Le schéma $\mathcal{N} \succ \{\mathcal{M}_{+2}\} \succ \{\mathcal{M}_{+2}; \mathcal{R}_1\}$ étant plus spécifique que le schéma $\mathcal{N} \succ \{\mathcal{M}_{+2}\} \succ \{\mathcal{M}_{+2}\}$ (flèche), la classe associative du premier (reliée en traits pointillés espacés) est incluse dans celle de la seconde (reliée en traits pointillés denses).

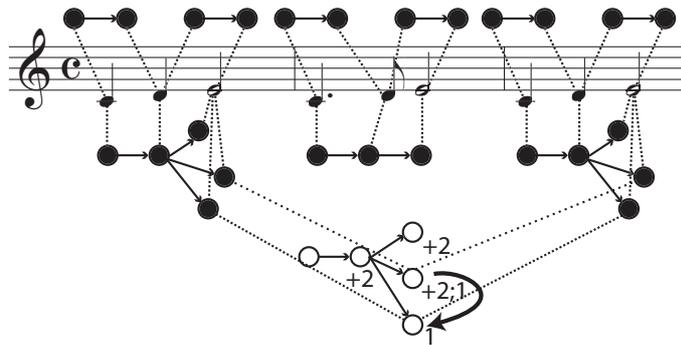


FIG. 8.6 – Le schéma $\mathcal{N} \succ \{\mathcal{M}_{+2}\} \succ \{\mathcal{M}_{+2}; \mathcal{R}_1\}$ a beau être plus spécifique que le schéma $\mathcal{N} \succ \{\mathcal{M}_{+2}\} \succ \{\mathcal{R}_1\}$ (flèche), les deux classes associatives sont ici égales.

8.2 Optimisation et maximisation de la description

8.2.1 Une description unique des classes

Dans les deux propriétés 8.1.1 et 8.1.2, ni l'inclusion stricte des classes associatives, ni la réciproque ne sont assurées. Si l'équivalence entre inclusion des descriptions et inclusion des classes n'est pas assurée, c'est parce qu'une même classe associative peut être associée à plusieurs relations associatives R_1 et R_2 distinctes :

$$\text{Classe}(R_1) = \text{Classe}(R_2) \text{ et en même temps } \text{Descr}(R_1) \neq \text{Descr}(R_2) \quad (8.21)$$

De nombreuses classes d'équivalence peuvent ainsi être décrites de diverses manières. Le réseau des relations associatives présente alors une grande redondance. Une telle redondance, exacerbée à chaque extension de nouvelles relations associatives, mène à une grande lourdeur combinatoire. D'autre part, l'aspect final d'un tel réseau, dénué de toute analyse synthétique, n'offre que peu d'intérêt.

C'est pourquoi il serait utile d'envisager un principe de description unique des classes :

Principe 8.2.1 (Description unique des classes). *Si deux relations associatives ont la même classe, alors elles ont également la même description. Elles sont donc identiques.*

Une telle contrainte ne risque-t-elle pas de limiter les découvertes de relations associatives ? Non, puisque ces découvertes ne nécessitent que la prise en compte des classes de ces relations, et non de leur description.

8.2.2 Une description spécifique des classes

Par contre, une limitation de la description des classes risque de limiter le potentiel descriptif de l'analyse elle-même. Un tel danger peut cependant être écarté grâce à la propriété suivante :

Propriété 8.2.1 (Description maximale des classes). *Pour une classe associative donnée, il existe une description maximale.*

Démonstration. Soit deux relations associatives S_N et $S'_{N'}$, de même classe. Si l'on considère la relation associative $S_N \cap S'_{N'}$, conjonction des deux relations S_N et $S'_{N'}$, on a alors :

$$\text{Classe}(S_N \cap S'_{N'}) = \text{Classe}(S_N) \cap \text{Classe}(S'_{N'}) \quad (8.22)$$

$$= \text{Classe}(S_N) \quad (8.23)$$

$$= \text{Classe}(S'_{N'}) \quad (8.24)$$

Et d'autre part :

$$\text{Descr}(S_N \cap S'_{N'}) = \text{Descr}(S_N) \cap \text{Descr}(S'_{N'}) \quad (8.25)$$

On a donc en même temps :

$$\text{Descr}(S_N) \subseteq \text{Descr}(S_N \cap S'_{N'}) \quad (8.26)$$

$$\text{Descr}(S'_{N'}) \subseteq \text{Descr}(S_N \cap S'_{N'}) \quad (8.27)$$

À chaque classe associative peut ainsi être associée une relation associative de description maximale. □

Ceci nous permet alors de formuler le principe suivant :

Principe 8.2.2 (Maximisation de la spécificité des schémas). *Une classe associative est décrite de la manière la plus spécifique possible. Si elle admet deux descriptions possibles, c'est la description la plus spécifique qui est choisie.*

En parallèle au principe précédent, qui permet une minimisation des relations associatives, coexiste un principe permettant, au contraire, une maximisation des relations associatives :

Principe 8.2.3 (Maximisation de la découverte des classes). *L'analyse s'évertue à trouver le plus possible de classes associatives, composées d'au moins deux éléments..*

L'interaction de ces deux principes définit alors un système de découverte optimale de classes associatives.

8.2.3 Conséquences

L'équivalence entre spécificité et inclusion de classes associatives

Propriété 8.2.2 (Équivalence de la spécificité). *Pour toutes relations associatives de description maximale R_1 et R_2 , tel que $R_1 \neq R_2$, on a :*

$$(\text{Descr}(R_1) \implies \text{Descr}(R_2)) \iff (\text{Classe}(R_1) \subset \text{Classe}(R_2)) \quad (8.28)$$

Démonstration. La propriété 8.1.1 assure l'implication directe, avec une inclusion large :

$$(\text{Descr}(R_1) \implies \text{Descr}(R_2)) \implies (\text{Classe}(R_1) \subseteq \text{Classe}(R_2)) \quad (8.29)$$

Puisque $R_1 \neq R_2$, le principe 8.2.1 de description unique des classes impose alors $\text{Classe}(R_1) \neq \text{Classe}(R_2)$. L'implication directe de l'équation 8.28 est donc assurée.

On suppose maintenant $\text{Classe}(R_1) \subset \text{Classe}(R_2)$. Tous les éléments entrant sous la relation associative R_1 entrent également sous la relation associative R_2 . En vertu du principe 8.2.2 de maximisation de la spécificité des schémas, ils sont décrits en particulier par la description de la relation R_2 . L'implication inverse de l'équation 8.28 est donc également assurée. □

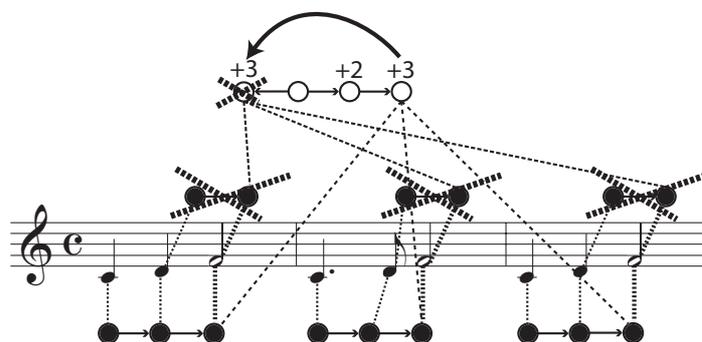


FIG. 8.7 – Les deux schémas $\mathcal{N} \succ \{\mathcal{M}_{+3}\}$ et $\mathcal{N} \succ \{\mathcal{M}_{+2}\} \succ \{\mathcal{M}_{+3}\}$ (reliés par la flèche) sont de même classe associative (pointillés gras). Le moins spécifique des deux — $\mathcal{N} \succ \{\mathcal{M}_{+3}\}$ (barré) — ne peut donc pas être accepté au sein du réseau motivique, en raison du principe 8.2.2 de maximisation de la spécificité des descriptions de classes associatives.

Le filtrage des suffixes redondants

Le principe de maximisation de la spécificité des descriptions schématiques induit la règle suivante :

Règle 8.2.1 (Négligence des suffixes redondants). *Les suffixes d'un schéma ne sont pas des schémas, s'ils n'existent qu'en tant que suffixes de ces schémas.*

En effet, nous avons vu (§ 8.1.3) qu'un schéma S est plus spécifique que chacun de ses suffixes S_s .

$$\text{Descr}(S) \implies \text{Descr}(S_s) \quad (8.30)$$

D'autre part, si le suffixe S_s n'existe qu'en tant que suffixe du schéma S , alors la classe associative du suffixe S_s s'identifie à celle de S :

$$\text{Class}(S) = \text{Class}(S_s) \quad (8.31)$$

Des deux équations précédentes 8.30 et 8.31, et en application du principe 8.2.2 de maximisation de la spécificité des schémas, il en ressort que le schéma suffixe S_s ne doit pas exister en tant que schéma.

Les préfixes des schémas, au contraire, sont des schémas à part entière. En effet, ils sont des étapes intermédiaires à la détection des schémas entiers et rendent compte véritablement d'une classe associative spécifique.

On observe ainsi une dissymétrie fondamentale entre préfixe et suffixe, qui indique une caractéristique de la stratégie de l'écoute due à la temporalité du phénomène musical. Il peut être remarqué, toutefois, que l'écoute peut, suivant son humeur, orienter son attention sur certains suffixes bien que redondants. Ces suffixes sont en fait pris en compte dans le réseau motivique, en tant que suffixes implicites des schémas découverts.

8.2.4 Statut du critère

Une caractéristique de la perception

Il doit être souligné qu'une telle règle n'a aucune pertinence à un niveau immanent, elle relève uniquement de stratégies d'écoute. Or une telle règle semble être une condition nécessaire à la pertinence de l'analyse. Voilà donc une illustration, parmi tant d'autres, de la nécessité impérieuse du recours à des critères perceptifs.

Une nécessité cognitive

Mieux, cette règle qui, de prime abord, semble caractériser la spécificité de la perception, trouve une raison d'être bien plus générale : lorsqu'une reproduction d'un schéma a été mise en évidence, la prise en compte systématique de tout suffixe de cette reproduction comme reproduction d'un nouveau schéma charge inutilement le réseau de connaissances et endommage la qualité synthétique des découvertes. Nous entrevoyons alors ici la forte analogie qui peut être tirée entre système computationnel et système cognitif.

8.2.5 Mise en œuvre temporelle du critère

Les états progressifs de la relation associative

Une relation associative présente cinq phases distinctes :

1. Dans un premier temps, aucune succession syntagmatique n'est susceptible d'être mise en relation avec cette relation associative.
2. L'apparition d'une première succession syntagmatique identifiable avec cette relation associative ne permet pas de déduire l'existence de cette relation, car c'est par l'existence d'une redondance qu'une telle relation associative peut émerger (figure 8.8-1).
3. Des successions syntagmatiques ultérieures identifiables avec cette relation associative sont susceptibles de provoquer la création de cette relation associative. Mais si la classe associative ainsi constituée est déjà décrite par une relation associative plus spécifique, le schéma n'est pas constitué (figure 8.8-2).
4. À partir du moment où la classe associative présente une reproduction qui ne s'identifie à aucune relation associative plus spécifique, le schéma est constitué. Cette reproduction sera dite alors *décisive* (figure 8.8-3).
5. Une fois que la relation associative est créée, son existence ne sera plus mise en cause, car elle rend compte de la manière la plus spécifique de certaines successions syntagmatiques. De nouvelles successions syntagmatiques pourront être intégrées au sein de la classe associée (figure 8.8-4).

On remarque également que lorsqu'un schéma existe, ses préfixes existent également, mais ses prolongations ne sont pas forcément sélectionnées.

The figure consists of four vertically stacked musical staves, labeled 1 through 4 on the left. Each staff is in a treble clef with a common time signature (C).
 - Staff 1: A single melodic line with five notes: C4, D4, E4, F4, G4.
 - Staff 2: Two lines. The top line has the same five notes as staff 1. The bottom line has five notes: C4, D4, E4, F4, G4. Some notes in the top line are crossed out with diagonal lines.
 - Staff 3: Three lines. The top line has the same five notes as staff 1. The middle line has five notes: C4, D4, E4, F4, G4. The bottom line has five notes: C4, D4, E4, F4, G4. Some notes in the top line are crossed out.
 - Staff 4: Four lines. The top line has the same five notes as staff 1. The second line has five notes: C4, D4, E4, F4, G4. The third line has five notes: C4, D4, E4, F4, G4. The bottom line has five notes: C4, D4, E4, F4, G4. Some notes in the top line are crossed out.

FIG. 8.8 – La première reproduction d'un schéma (1), au moment de son apparition, n'est pas appréhendée en tant que « reproduction d'un schéma », puisqu'il n'y a pas eu encore de quelconque reproduction. Les reproductions ultérieures (2) peuvent ne pas être considérées non plus comme des reproductions en tant que telles, si celles-ci se déduisent toutes de reproductions d'un schéma plus spécifique. À partir du moment (3) où une des reproductions rend compte d'une classe associative de manière spécifique, alors le schéma et toutes les reproductions — antérieures et courante — sont désormais constitués de manière définitive. Toute reproduction ultérieure (4) est simplement subsumée sous le schéma.

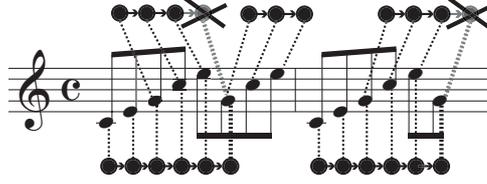


FIG. 8.9 – L’avant-dernière note de cette partition participe à des reproductions de deux schémas distincts (au-dessus et en-dessous). La note suivante est susceptible de provoquer l’extension de chacun de ces schémas. Cependant les classes associatives de chacun de ces schémas sont identiques. Seule la description la plus spécifique de cette classe (par le schéma du bas, qui est plus grand) est sélectionnée.

8.3 Réalisation du principe de maximisation de la description

Le principe 8.2.3 de maximisation des classes impose de représenter toutes les classes associatives possibles sous la forme d’une relation schématique. Mais en même temps, le principe 8.2.1 de description unique des classes impose une description *unique* de chaque classe associative. Lorsque deux relations associatives de prolongation de schémas distincts $S_i \succ P$ et $S_j \succ Q$ peuvent donner lieu à une même classe (figure 8.9) :

$$\text{Classe}(S_i \succ P) = \text{Classe}(S_j \succ Q) \quad (8.32)$$

seule une de ces deux relations donnera effectivement lieu à une prolongation de schéma. C’est suivant les indications du principe 8.2.2 de maximisation de la spécificité que s’effectue ce choix. Sera choisi alors le schéma le plus spécifique.

8.3.1 Une nécessaire relation de spécificité entre classes associatives identiques

Propriété 8.3.1 (Inclusions des descriptions de classes associatives identiques). *Supposons qu’une nouvelle note entendue mette en évidence deux nouvelles classes associatives d’extension de deux schémas S_N et $S'_{N'}$, et que ces deux classes associatives soient décrites de manière maximale sous la forme $S_N \succ R_{N+1}$ et $S'_{N'} \succ R'_{N'+1}$.*

Si :

$$\text{Classe}(S_N \succ R_{N+1}) = \text{Classe}(S'_{N'} \succ R'_{N'+1}) \quad (8.33)$$

alors, d’une part,

$$R_{N+1} = R'_{N'+1} = R \quad (8.34)$$

et, d’autre part, la classe associative étend également la conjonction des schémas S_N et $S'_{N'}$:

$$\text{Classe}((S_N \cap S'_{N'}) \succ R) = \text{Classe}(S_N \succ R_{N+1}) = \text{Classe}(S'_{N'} \succ R'_{N'+1}) \quad (8.35)$$

En vertu du principe de spécificité maximale, seul le schéma $(S_N \cap S'_{N'}) \succ R$ est susceptible d’être étendu.

En particulier, la description $(S_N \cap S'_{N'}) \succ R$ peut s'identifier à l'un des schémas $S_N \succ R_{N+1}$ et $S'_{N'} \succ R'_{N'+1}$. Dans ce cas, l'un des schémas-préfixe était déjà inclus dans l'autre :

$$\text{ou } \begin{cases} \text{Descr}(S_N) \subset \text{Descr}(S'_{N'}) \\ \text{Descr}(S'_{N'}) \subset \text{Descr}(S_N) \end{cases} \quad (8.36)$$

Démonstration. Toute chaîne syntagmatique de type :

$$s \in \text{Classe}(S_N \succ R_{N+1}) = \text{Classe}(S'_{N'} \succ R'_{N'+1}) \quad (8.37)$$

se décompose en une succession d'une chaîne syntagmatique préfixe s' et d'un rapport syntagmatique final r . Tous les rapports syntagmatiques finaux r appartiennent à la fois aux relations associatives R_{N+1} et $R'_{N'+1}$. Puisque ces deux relations décrivent de manière maximale les mêmes prolongations, les deux descriptions sont donc identiques, d'où (8.34).

D'autre part, toutes les chaînes syntagmatiques préfixes s' appartiennent à la fois aux classes associatives de S_N et de $S'_{N'}$, donc elles appartiennent à la classe associative de $S_N \cap S'_{N'}$, laquelle peut donc être également étendue par la relation associative R , d'où (8.35). \square

Selon la propriété précédente, pour que deux descriptions conduisent à la même classe associative — situation que le principe 8.2.1 de description unique cherche à éviter —, il est *nécessaire*, soit que l'une soit plus spécifique que l'autre, soit qu'il existe une autre description de cette classe plus spécifique que les deux premières. En conséquence, le respect du principe doit être contrôlé uniquement entre relations associatives en relation de spécificité. Le principe 8.2.2 pourra alors être traduit sous la forme d'une règle plus simple :

Règle 8.3.1 (Prolongation de schéma, première version). *L'extension $S_N \succ R$ est réalisée au moment où :*

1. $\text{Card}(\text{Classe}(S_N \succ R_{N+1})) \geq 2$,
2. *pour toute relation associative $S'_{N'+1}$ plus spécifique que $S_N \succ R_{N+1}$*

$$\text{Descr}(S'_{N'+1}) \implies \text{Descr}(S_N \succ R_{N+1}) \quad (8.38)$$

on a :

$$\text{Classe}(S'_{N'+1}) \subset \text{Classe}(S_N \succ R_{N+1}) \quad (8.39)$$

8.3.2 Un simple dénombrement de classes en relation de spécificité

Nous pouvons simplifier encore davantage cette règle à l'aide de la propriété suivante.

Propriété 8.3.2 (Extension subsumée). *Supposons qu'une nouvelle note entendue mette en évidence deux nouvelles classes associatives de prolongation de deux schémas S_N et $S'_{N'}$, et que ces deux classes associatives soient décrites de manière maximale sous la forme $S_N \succ R_{N+1}$ et $S'_{N'} \succ R'_{N'+1}$.*

Si les trois conditions suivantes sont réunies :

$$\text{Descr}(S_N) \implies \text{Descr}(S'_{N'}) \quad (8.40)$$

$$\text{Descr}(R_{N+1}) \implies \text{Descr}(R'_{N'+1}) \quad (8.41)$$

$$\text{Card}(\text{Classe}(S_N \succ R_{N+1})) = \text{Card}(\text{Classe}(S'_{N'} \succ R'_{N'+1})) \quad (8.42)$$

alors on a en même temps :

$$\text{Descr}(S_N \succ R_{N+1}) \implies \text{Descr}(S'_{N'} \succ R'_{N'+1}) \quad (8.43)$$

$$\text{Classe}(S_N \succ R_{N+1}) = \text{Classe}(S'_{N'} \succ R'_{N'+1}) \quad (8.44)$$

$$R_{N+1} = R'_{N'+1} \quad (8.45)$$

En vertu du principe 8.2.2 de spécificité maximale, le schéma moins spécifique S_N ne peut alors pas être prolongé.

Démonstration. L'équation (8.43) provient des deux équations (8.40) et (8.41), ainsi que de la définition (8.20) de la relation d'inclusion entre relations associatives.

En vertu de la propriété 8.1.1, l'équation (8.43) implique l'inclusion suivante :

$$\text{Classe}(S_N \succ R_{N+1}) \subseteq \text{Classe}(S'_{N'} \succ R'_{N'+1}) \quad (8.46)$$

L'équation (8.42) implique alors l'égalité (8.44). La propriété 8.3.1 assure alors l'égalité (8.45). \square

La condition (8.40) de la propriété 8.3.2 est nécessaire, car des classes associatives totalement disjointes peuvent donner des prolongements de taille identiques, mais entièrement disjointes. De même, la condition (8.41) est nécessaire, car il peut exister plusieurs classes associatives de prolongement d'un même schéma qui soient de même taille, mais totalement disjointes.

Selon la propriété précédente, pour que deux descriptions en relation d'inclusion conduisent à la même classe associative, il suffit que leur classe soit de même taille. Ceci nous conduit à un raffinement de la règle 8.3.1 :

Règle 8.3.2 (Prolongation de schéma, seconde version). *L'extension $S_N \succ R$ est réalisée au moment où :*

1. $\text{Card}(\text{Classe}(S_N \succ R_{N+1})) \geq 2$,
2. *pour toute relation associative $S'_{N'+1}$ plus spécifique que $S_N \succ R_{N+1}$*

$$\text{Descr}(S'_{N'+1}) \implies \text{Descr}(S_N \succ R_{N+1}) \quad (8.47)$$

on a :

$$\text{Card}(\text{Classe}(S_N \succ R_{N+1})) \neq \text{Card}(\text{Classe}(S'_{N'+1})) \quad (8.48)$$

8.4 Le graphe de spécificité des reproductions

8.4.1 Description du graphe de spécificité

Une estimation de la spécificité au niveau des reproductions

Toute constitution d'une nouvelle extension d'un schéma S dépend, comme nous venons de le voir, des éventuelles extensions de ses schémas plus spécifiques.

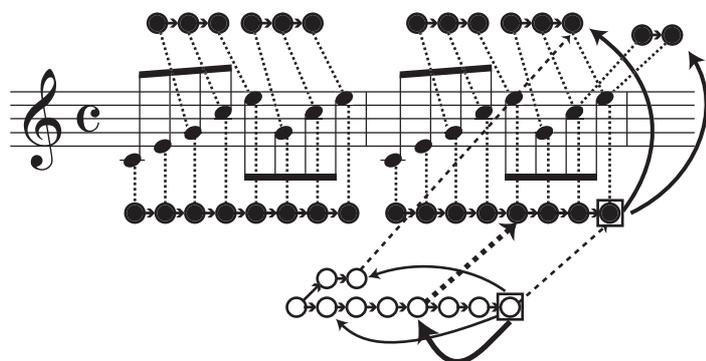


FIG. 8.10 – On considère la reproduction (noeud noir encadré) du schéma de 8 notes (noeud blanc encadré). Parmi l'ensemble des schémas plus spécifiques que ce schéma (flèches courbes dans l'arbre des schémas), le schéma de 5 notes (pointé par la grosse flèche, en bas) n'est pas reproduit dans le contexte considéré. Plutôt que de considérer les schémas plus spécifiques, il est donc préférable de considérer les reproductions plus spécifiques que la reproduction considérée (flèches courbes en haut à droite).

Notons alors que la constitution d'une telle extension a lieu lors de l'apparition d'une reproduction particulière R de ce schéma S , dont l'extension sera, par définition, une reproduction décisive de cette extension schématique. Or, parmi les multiples — et parfois très nombreux — schémas plus spécifiques que S , seuls quelques uns sont effectivement subsumés par la reproduction R (figure 8.10). Seuls ces quelques schémas plus spécifiques particuliers doivent être réellement pris en compte lors de l'estimation de l'originalité de l'extension de S .

Afin d'éviter de prendre en compte inutilement de nombreux schémas impertinents, l'estimation de l'originalité de l'extension de S pourra être effectuée non pas à partir des schémas plus spécifiques que S , mais uniquement des groupements plus spécifiques que R .

Règle 8.4.1 (Prolongation de schéma, troisième version). La prolongation $S_N \succ R$ est réalisée lors de la prolongation d'une de ses reproductions G_i telle que :

1. $\text{Classe}(S_N \succ R_{N+1}) \geq 2$,
2. pour toute relation associative $S'_{N'+1}$ plus spécifique que $S_N \succ R_{N+1}$,

$$\text{Descr}(S'_{N'+1}) \implies \text{Descr}(S_N \succ R_{N+1}) \quad (8.49)$$

telle que l'une des reproductions du préfixe $S'_{N'}$ de $S'_{N'+1}$ est plus spécifique que G_i , on a :

$$\text{Card}(\text{Classe}(S_N \succ R_{N+1})) \neq \text{Card}(\text{Classe}(S'_{N'+1})) \quad (8.50)$$

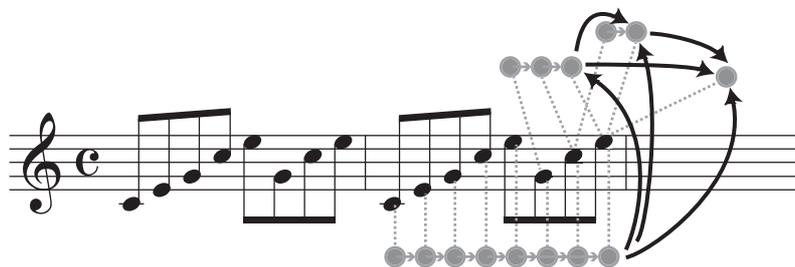


FIG. 8.11 – Un graphe de spécificité relie toutes les reproductions conclues par la même note, suivant la relation de spécificité.

Définition du graphe de spécificité

Pour une note n_k actuellement considérée, le graphe de spécificité contient toutes les reproductions de schémas quelconques conclues par cette note n_k , et les relie les uns aux autres suivant la relation de spécificité (figure 8.11).

À la note n_k est associée la reproduction correspondante R_0 du schéma élémentaire de notes \mathcal{N} . Tous les autres groupements terminés par la note n_k sont en fait des groupements plus spécifiques que R_0 . Le groupement R_0 sera dit le *groupement le plus général* de l'ensemble des groupements terminés par n_k .

Une propagation séquentielle au sein du graphe

Suivant la condition 2 de la règle 8.4.1 de prolongation de schéma, les extensions de groupements dépendent de la configuration générale de l'ensemble des groupements. Une telle interdépendance entre schémas risque de poser certains problèmes particuliers. En effet, la configuration générale des schémas résulte elle-même des extensions schématiques, lesquelles dépendent de cette configuration générale. Un tel système, s'il est véritablement rebouclé, pourrait alors présenter un comportement très différent, peu maîtrisable, voire chaotique, en fonction des conditions initiales et de la manière exacte dont les différentes opérations sont agencées.

Cependant une telle crainte peut être levée, fort heureusement, car le système n'est pas véritablement rebouclé. En effet, suivant la spécification exacte de la condition 2 de la règle 8.4.1, chaque tentative d'extension schématique dépend *uniquement des groupements plus spécifiques* que le groupement étendu candidat.

Dans un véritable système cognitif, qui se distingue nettement de l'ordinateur séquentiel en raison de son parallélisme massif, les diverses extensions schématiques peuvent être effectuées simultanément en parallèle. Les dépendances entre schémas en relation de spécificité doivent alors être réalisées suivant des mécanismes de propagation assez subtils.

Dans le cadre séquentiel qui nous est imposé, la réalisation de la règle d'extension optimale pourra être effectuée sous la forme d'une opération récursive d'extension schématique suivant un ordre de spécificité décroissante au sein du

graphe de spécificité.

La décomposition de la relation de spécificité

La condition 2 de la règle 8.4.1 d'extension optimale prend en compte l'ensemble des schémas plus spécifiques, déterminés par l'équation 8.49. En raison de la définition même de la relation de spécificité schématique, cette équation peut être décomposée en deux termes conjonctifs : l'un appliqué aux préfixes, l'autre à l'extension :

$$\begin{cases} \text{Descr}(S_N) \implies \text{Descr}(S'_{N'}) \\ \text{Descr}(R_{N+1}) \implies \text{Descr}(R'_{N'+1}) \end{cases} \quad (8.51)$$

La condition 2 de la règle 8.4.1 peut être mise en œuvre suivant deux articulations :

- d'une part, un parcours du graphe de spécificité des groupements préfixes suivant un ordre de spécificité décroissante (§ 8.4.3), à partir du ou des groupements les plus spécifiques (§ 8.4.2),
- d'autre part, pour chacun de ces groupements préfixes, une série de tentatives d'extension schématique suivant un ordre de spécificité décroissante des extensions (§ 8.4.4).

8.4.2 La détermination des groupements les plus spécifiques

Dans un premier temps, pour une note donnée, sont déterminés, parmi l'ensemble des groupements qu'elle termine, les groupements les plus spécifiques.

Définition 8.4.1 (Groupement les plus spécifiques). *Un groupement G_j est un groupement des plus spécifiques d'un ensemble de groupements $\{G_i\}_i$ si et seulement si :*

- *s'il appartient à cet ensemble : $G_j \in \{G_i\}_i$ et*
- *si aucun autre groupement de l'ensemble ne lui est plus spécifique :*

$$\forall i, i \neq j \implies (G_i \not\Rightarrow G_j) \quad (8.52)$$

Les groupement les plus spécifiques d'un ensemble de groupements $\{G_i\}_i$ sont l'ensemble des groupements G_j des plus spécifiques de cet ensemble.

Nous avons vu que l'ensemble des groupements terminés par une même note n_k accepte un unique groupement le plus général (§ 8.4.1). En revanche, cet ensemble n'accepte pas toujours un unique groupement le plus spécifique (figure 8.12).

8.4.3 Le parcours du graphe de spécificité des préfixes

La condition 2 de la règle 8.4.1 d'extension optimale peut être mise en œuvre sous forme d'une procédure récursive. Chaque groupement des plus spécifiques donne lieu séparément à un appel initial à la procédure de récursion. Cette procédure se déroule en trois temps :

1. Si des groupements spécifiques au groupement actuellement considéré n'ont pas encore été traités, alors ceux-ci sont considérés au préalable.

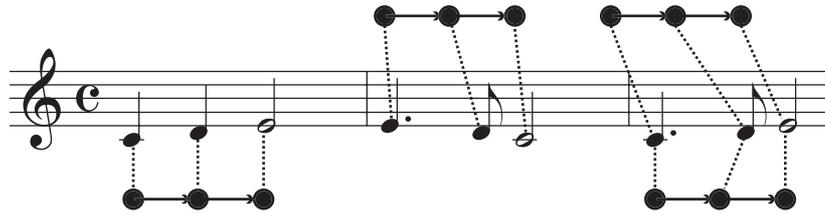


FIG. 8.12 – La chaîne syntagmatique de la mesure 3 est à la fois une occurrence du motif mélodique (en-dessous) et du motif rythmique (au-dessus). Puisqu’une telle conjonction n’a lieu qu’une seule fois dans la partition, elle ne donne pas lieu à la création d’un motif mélodico-rythmique. Parmi les deux reproductions effectuées par la chaîne syntagmatique de la mesure 3, c’est-à-dire ces motifs mélodique et rythmique, aucun n’est plus spécifique que l’autre. La chaîne syntagmatique de la mesure 3 a donc non pas un, mais deux groupements les plus spécifiques.

2. Le groupement actuellement considéré peut ensuite être l’objet du traitement proprement dit. Le groupement peut alors être retiré de la liste des groupements non encore traités.
3. Chaque groupement moins spécifique est ensuite considéré par la récursion.

De cette manière, lors du traitement de chaque groupement, on est assuré, en raison du point 1, de la prise en compte de tous les groupements plus spécifiques.

8.4.4 L’ordonnement des extensions schématiques de chaque préfixe

Pour un groupement donné, l’ensemble des relations associatives d’extension doit être considéré suivant un ordre de spécificité décroissante. Toutes les conjonctions possibles des relations associatives de paramètres individuels sont considérées les unes après les autres, de telle manière que chaque conjonction est considérée lorsque toutes les conjonctions dans lesquelles elle est incluse ont été déjà considérées au préalable.

Dans un premier temps, est traitée la relation associative la plus spécifique possible, qui est la conjonction de toutes les relations associatives des paramètres individuels : intervalle mélodique, contour et rapport rythmique. Rappelons toutefois que puisque la description de contour est incluse au sein de la description d’intervalle mélodique, le contour n’est pas considéré dans cette relation spécifique. Les relations associatives des paramètres individuels seront les dernières traitées (figure 8.13).

8.4.5 L’optimisation du graphe de spécificité

La prise en compte de la transitivité de la relation de spécificité permet une optimisation du graphe de spécificité.

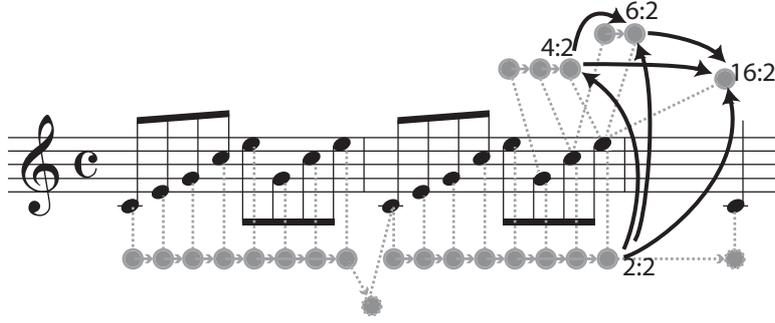


FIG. 8.13 – D’abord on considère le groupement le plus spécifique (noté 2:2, ce qui signifie : taille de la classe préfixe = 2 et taille de la classe d’extension = 2). Ce groupement, ne connaissant pas de groupement plus spécifique, peut être immédiatement étendu (extensions pointillées). Ensuite on considère un groupement moins spécifique (par exemple, 6:2). Celui-ci connaît un groupement plus spécifique pas encore traité : 4:2. On traite donc d’abord ce dernier groupement, qui ne connaît pas de groupement plus spécifique pas encore traité. Mais comme la taille de la classe d’extension (2) est égale à celle d’un groupement plus spécifique (2:2), l’extension n’a pas lieu. Puis on considère un groupement moins spécifique, par exemple 16:2. Mais on doit traiter le groupement 6:2 auparavant, qui ne peut pas être étendu non plus, ni 16:2.

Une limitation aux schémas immédiatement plus spécifiques

Considérons l’extension d’un certain schéma S_N par une relation associative R_{N+1} . Supposons qu’il existe un schéma $S'_{N'+1}$ plus spécifique que $S_N \succ R_{N+1}$ (8.49), et de classe associative distincte (8.50). Puisque ce schéma plus spécifique $S'_{N'+1}$ existe, il vérifie en particulier la condition 2 de la règle 8.4.1 d’extension schématique optimale. S’il existe donc un schéma $S''_{N''+1}$ plus spécifique que $S'_{N'+1}$

$$\text{Descr}(S''_{N''+1}) \implies \text{Descr}(S'_{N'+1}) \quad (8.53)$$

on a alors :

$$\text{Classe}(S''_{N''+1}) \subset \text{Classe}(S'_{N'+1}) \quad (8.54)$$

Or, en raison de la transitivité de la relation de spécificité, $S''_{N''+1}$ est un schéma plus spécifique que $S_N \succ R_{N+1}$ et devrait donc être considéré lors de l’application de cette même règle 8.4.1 au schéma $S_N \succ R_{N+1}$. Mais en vertu des équations 8.54 et 8.50, la relation suivante :

$$\text{Classe}(S''_{N''+1}) \subset \text{Classe}(S_N \succ R_{N+1}) \quad (8.55)$$

est déjà vérifiée.

En résumé, un schéma $S''_{N''+1}$ plus spécifique que $S_N \succ R_{N+1}$ est déjà un schéma plus spécifique qu’un schéma $S'_{N'+1}$, lui-même plus spécifique que $S_N \succ R_{N+1}$. Ce schéma $S''_{N''+1}$ vérifie donc immédiatement la condition 2 de la règle 8.4.1 d’extension schématique optimale, et n’a donc pas besoin d’être considéré.

Définition 8.4.2 (Relation de spécificité immédiate). *Un schéma S_+ est immédiatement plus spécifique qu’un autre schéma S si :*

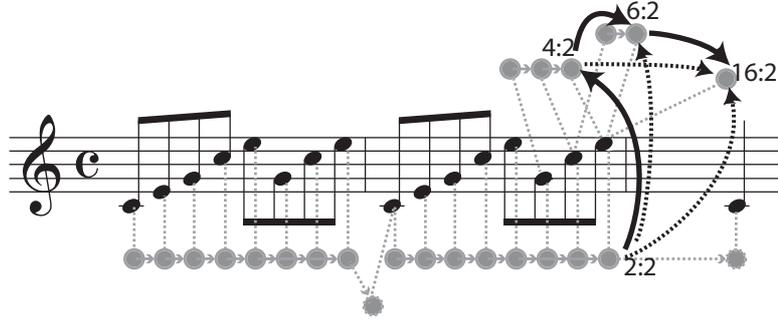


FIG. 8.14 – L’optimisation du graphe de spécificité consiste en la suppression des relations de spécificité qui se déduisent d’autres relations de spécificité (en pointillés). De cette manière, le parcours du graphe est plus simple. D’abord on considère le groupement le plus spécifique (2:2). Ce groupement, ne connaissant pas de groupement plus spécifique, peut être immédiatement prolongé (extensions pointillées). Ensuite on considère un groupement immédiatement moins spécifique (ici, seulement 4:2). Celui-ci ne connaissant pas de groupement immédiatement plus spécifique pas encore traité, peut être lui-même traité. Mais comme la taille de la classe d’extension (2) est égale à celle d’un groupement immédiatement plus spécifique (2:2), la prolongation n’a pas lieu. Puis on considère un groupement immédiatement moins spécifique (ici, seulement 6:2). Etc.

- il est plus spécifique que S : $\text{Descr}(S_+) \implies \text{Descr}(S)$,
- il n’existe pas d’autre schéma S' plus spécifique que S , tel que S_+ soit plus spécifique que S' :

$$\forall S', (\text{Descr}(S') \implies \text{Descr}(S)) \implies (\text{Descr}(S_+) \not\implies \text{Descr}(S')) \quad (8.56)$$

Règle 8.4.2 (Prolongation de schéma, quatrième version). La prolongation $S_N \succ R$ est réalisée lors de la prolongation d’une de ses reproductions G_i telle que :

1. $\text{Classe}(S_N \succ R_{N+1}) \geq 2$,
2. pour toute relation associative $S'_{N'+1}$ immédiatement plus spécifique que $S_N \succ R_{N+1}$, telle que l’une des reproductions du préfixe de S_j est plus spécifique que G_i , on a :

$$\text{Card}(\text{Classe}(S_N \succ R_{N+1})) \neq \text{Card}(\text{Classe}(S'_{N'+1})) \quad (8.57)$$

Une telle règle permet un parcours optimisé du graphe de spécificité et un traitement plus rapide de chaque groupement du graphe (figure 8.14).

La détermination des schémas immédiatement plus spécifiques

Pour terminer, on propose ici une méthode de détermination rapide des schémas immédiatement plus spécifiques.

Soit S un schéma de préfixe P et de prolongation E : $S = P \succ E$. La détermination des schémas immédiatement plus spécifiques que S donné s’effectue

à partir des schémas immédiatement plus spécifiques que son préfixe P , de la manière suivante :

1. On considère chaque schéma P' immédiatement plus spécifique que P .
2. Pour chacun de ces schémas P' , on considère l'ensemble de ses prolongations E' dans un ordre de spécificité croissante.
3. Dès que l'une de ces prolongations E' est égale ou plus spécifique que E , alors le schéma $P' \succ E'$ est ajouté à l'ensemble des schémas immédiatement plus spécifiques que S .
4. Si, au contraire, aucune prolongation n'est plus spécifique que E , alors le mécanisme reprend récursivement au point 1, où cette fois-ci on considère chaque schéma P'' immédiatement plus spécifique que P' . En ainsi de suite.

Le schéma S est explicitement relié à chacun de ses schémas immédiatement plus spécifiques suivant une relation bidirectionnelle de spécificité immédiate. De cette manière, la recherche — au point 1 de l'algorithme précédent — des schémas immédiatement plus spécifiques qu'un préfixe P ne nécessite aucun calcul.

8.5 Conclusion

La réflexion engagée dans ce chapitre a permis de défricher un nouveau territoire de questionnements que l'on pourrait qualifier de « musico-logiques », d'un grand intérêt, à la fois pour la mise en œuvre d'un système computationnel d'analyse musical, mais également pour la réflexion musicale théorique. Cette investigation se fonde sur l'idée maîtresse d'un réseau motivique, muni d'une relation de spécificité, laquelle intègre à la fois les opérations de suffixe et de conjonction de paramètres. Il semblerait qu'un tel concept régisse une part importante du mécanisme de découverte de structures musicales.

Cette étude a permis, d'autre part, de construire une procédure opérationnelle, dont nous avons également suggéré des optimisations, qui n'ont en fait pas encore été toutes implémentées. Certaines des considérations évoquées ici semblent se rapporter exclusivement au paradigme informatique *stricto sensu* — et notamment à ses caractéristiques séquentielles —, d'autres suggèrent des mécanismes cognitifs plus généraux.

Chapitre 9

Les reproductions périodiques

Ce chapitre propose une résolution de la deuxième difficulté fondamentale à laquelle se heurte tout système de découverte de schémas. Contrairement à la première difficulté présentée au chapitre précédent, il ne s'agit plus, ici, d'une *maîtrise de la redondance*, mais d'un *contrôle de la complexité combinatoire*, provoquée par toute reproduction successive d'un même schéma. Cette complexité existe en tant que telle au sein de la structure. Cependant, l'écoute est capable de la factoriser par soucis d'efficacité et de synthèse.

Le problème se décline en deux points. D'une part, la reproduction successive d'un schéma entraîne un prolongement indéfini de chaque reproduction. Deux solutions sont proposées, mais l'une d'entre elles doit être rejetée. La solution retenue possède certaines propriétés intéressantes, qui permettent notamment de prolonger de manière sélective la première reproduction d'une succession, en tant que reproduction totale de cette succession (§ 9.1). Le cas rythmique, en raison de sa définition particulière, nécessite un traitement à part (§ 9.2).

D'autre part, toute reproduction de schéma découverte au sein d'une reproduction successive d'un autre schéma — ou, en d'autres termes, tout *groupement émergent d'une trame périodique* — est susceptible d'être entraînée dans un prolongement indéfini, entrant ainsi en fusion avec cette trame. Un tel phénomène peut être résolu par l'adjonction d'une règle contraignant tout prolongement d'un groupement émergent à être lui-même émergent (§ 9.3).

De telles règles semblent mettre en évidence des propriétés de type gestaltiste d'un grand intérêt, et d'une réelle efficacité computationnelle.

9.1 La périodicité mélodique

9.1.1 Le prolongement redondant combinatoire

Une reproduction périodique d'un même schéma induit une configuration structurelle particulière.

Définition 9.1.1. *On appelle reproduction périodique mélodique toute succession répétée de reproductions d'un même schéma $S = \{s_0^{i_0} s_1^{i_1} \dots s_N^{i_N}\}$, telle que*

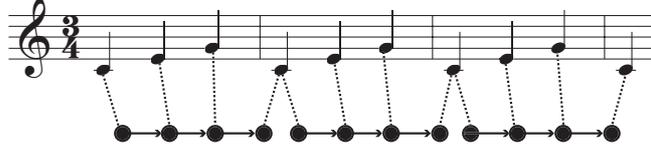


FIG. 9.1 – Cette séquence est périodique : un schéma est reproduit de manière successive, de manière à ce que la dernière note de chaque reproduction soit également la première note de la reproduction suivante.

1. $s_1^{i_1} \neq \mathcal{S}$,
2. la dernière note d'une reproduction est également la première note de la reproduction suivante.

On obtient alors une configuration de la forme suivante (figure 9.1) :

$$\left\{ \begin{array}{l} n_0^{s_0^{i_0}} \succ n_1^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_N^{s_N^{i_N}} \\ n_N^{s_0^{i_0}} \succ n_{N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{2.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{2.N}^{s_N^{i_N}} \\ \dots \\ n_{(M-1).N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{(M-1).N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{M.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{M.N}^{s_N^{i_N}} \end{array} \right. \quad (9.1)$$

En raison de la configuration particulière d'une telle reproduction périodique mélodique (voir figure 9.2), les successions syntagmatiques $\dots \succ n_{i.N} \succ n_{i.N+1}$ prolongeant toutes ces reproductions $n_{(i-1).N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{(i-1).N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{i.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{i.N}^{s_N^{i_N}}$ — exceptée la dernière, c'est-à-dire $i < M$ — entrent toutes dans une même classe associative, car elles forment toutes des reproductions $n_{i.N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{i.N+1}^{s_1^{i_1}}$ du même schéma $s_0^{i_0} \succ s_1^{i_1}$.

La règle de synthèse schématique impliquerait donc que le schéma soit prolongé en $s_0^{i_0} \succ s_1^{i_1} \succ \dots \succ s_{N-1}^{i_{N-1}} \succ s_N^{i_N} \succ s_{N+1}^{i_{N+1}}$ et que toutes ses reproductions (exceptée la dernière) soient prolongées en $n_{(i-1).N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{(i-1).N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{i.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{i.N}^{s_N^{i_N}} \succ n_{i.N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}}$. On obtiendrait alors la succession de reproductions suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} n_0^{s_0^{i_0}} \succ n_1^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_N^{s_N^{i_N}} \succ n_{N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \\ n_N^{s_0^{i_0}} \succ n_{N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{2.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{2.N}^{s_N^{i_N}} \succ n_{2.N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \\ \dots \\ n_{(M-2).N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{(M-2).N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{(M-1).N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{(M-1).N}^{s_N^{i_N}} \succ n_{(M-1).N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \\ n_{(M-1).N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{(M-1).N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{M.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{M.N}^{s_N^{i_N}} \end{array} \right. \quad (9.2)$$

Une telle prolongation se poursuivrait alors de manière récursive (figure 9.3 et 9.4), en raison de l'identité des rapports syntagmatiques $n_{i.N} \succ n_{i.N+1}$ par-

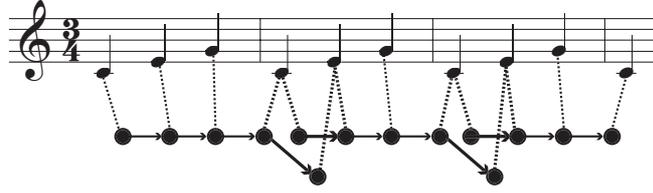


FIG. 9.2 – Au sein de cette séquence périodique, les prolongements des reproductions constituent une nouvelle classe associative, car elles forment toutes, en même temps, des reproductions du préfixe de ce schéma. Chaque reproduction est ainsi prolongée de manière à entrer en tuilage avec la reproduction suivante.

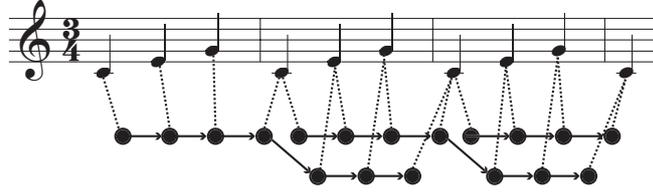


FIG. 9.3 – Les reproductions ainsi prolongées peuvent elles-aussi se prêter à un tel prolongement, puisque celles-ci forment déjà des étapes intermédiaires de la reproduction du schéma. Le schéma résultant consiste en une duplication du schéma-période initial.

Participant aux reproductions du schéma $s_0^{i_0} \succ s_1^{i_1} \succ s_2^{i_2}$:

$$\left\{ \begin{array}{l} n_0^{s_0^{i_0}} \succ n_1^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_N^{s_N^{i_N}} \succ n_{N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \succ \dots \succ n_{N+K}^{s_{N+K}^{i_{N+K}}} \\ n_N^{s_0^{i_0}} \succ n_{N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{2.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{2.N}^{s_N^{i_N}} \succ n_{2.N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \succ \dots \succ n_{2.N+K}^{s_{N+K}^{i_{N+K}}} \\ \dots \\ n_{(M-2).N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{(M-2).N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{(M-1).N+K}^{s_{N+K}^{i_{N+K}}} \\ n_{(M-1).N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{(M-1).N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{M.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{M.N}^{s_N^{i_N}} \end{array} \right. \quad (9.3)$$

Remarque. Si au contraire $s_1^{i_1} = \mathcal{S}$, alors le prolongement 9.2 n'est pas assurée, car le schéma $s_0^{i_0} \succ s_1^{i_1}$ ne présente aucune relation associative particulière permettant un tel prolongement. De même, si chaque reproduction s'achève avant la reproduction suivante, de telle manière que la dernière note de chaque reproduction ne s'identifie pas à la première note de la reproduction suivante, — ce que l'on peut appeler *reproduction périodique mélodique partielle* — alors, dans ce cas également, le phénomène de prolongement redondant combinatoire n'a pas lieu.

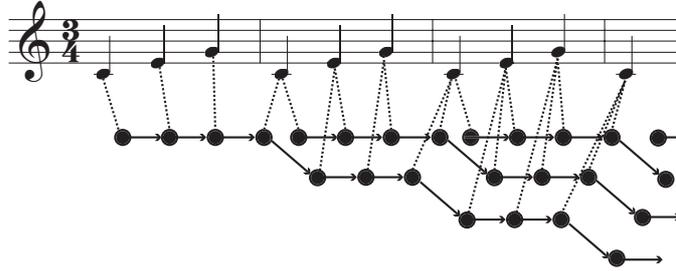


FIG. 9.4 – Ce schéma étendu peut se prêter ainsi à de nouveaux prolongements, et contenir alors une multitude de répétitions du schéma-période. C'est ce que l'on appelle le prolongement redondant combinatoire.

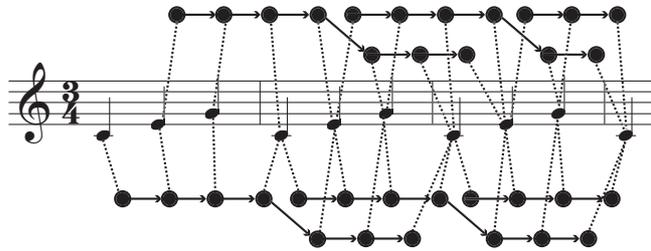


FIG. 9.5 – Une telle reproduction périodique entraîne une accumulation de schémas de tailles multiples (en-dessous). Mais il aurait pu également être constitué une multitude de schémas commençant à des phases intermédiaires du schéma-période initial (au-dessus). Heureusement, la règle de maximisation de la description évite généralement une telle redondance.

Le filtrage des suffixes redondants

Si, en outre, il n'était pas appliqué le principe 8.2.2 de maximisation de la spécificité des schémas défini au chapitre précédent, la règle 8.2.1 de filtrage des suffixes n'étant alors plus valable, il serait également déterminé des reproductions de schémas commençant à des positions intermédiaires $p \in]0, N[$ au sein des reproductions de S , de la forme (figure 9.5) :

$$\left\{ \begin{array}{l} n_p^{s_0^{j_0}} \succ n_{p+1}^{s_1^{j_1}} \succ \dots \succ n_{p+N-1}^{s_{N-1}^{j_{N-1}}} \succ n_{p+N}^{s_N^{j_N}} \succ n_{p+N+1}^{s_{N+1}^{j_{N+1}}} \succ \dots \succ n_{p+N+K'}^{s_{N+K'}^{j_{N+K'}}} \\ n_{p+N}^{s_0^{j_0}} \succ n_{p+N+1}^{s_1^{j_1}} \succ \dots \succ n_{p+2.N-1}^{s_{N-1}^{j_{N-1}}} \succ n_{p+2.N}^{s_N^{j_N}} \succ n_{p+2.N+1}^{s_{N+1}^{j_{N+1}}} \succ \dots \succ n_{p+2.N+K'}^{s_{N+K'}^{j_{N+K'}}} \\ \dots \\ n_{p+(M-2).N}^{s_0^{j_0}} \succ n_{p+(M-2).N+1}^{s_1^{j_1}} \succ \dots \succ n_{p+(M-1).N+K'}^{s_{N+K'}^{j_{N+K'}}} \\ n_{p+(M-1).N}^{s_0^{j_0}} \succ n_{p+(M-1).N+1}^{s_1^{j_1}} \succ \dots \succ n_{M.N}^{s_{N-p}^{j_{N-p}}} \end{array} \right. \quad (9.4)$$

Une vision globale de la partition ne privilégiera pas de segmentation particulière parmi la combinatoire de structures mathématiquement présentes au

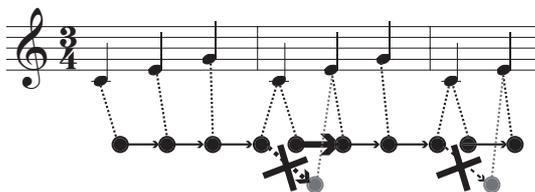


FIG. 9.6 – Les deux reproductions ne peuvent pas être prolongées, car la reproduction-modèle empiéterait sur la reproduction décisive.

sein d’une telle configuration. En d’autres termes, aucune heuristique valable ne permet de privilégier une *phase* $p = 0$ du processus périodique que constitue cette séquence.

La stratégie de maximisation de la spécificité des schémas offre une heuristique permettant de limiter une telle combinatoire, et de dégager une phase particulière de la séquence périodique. En effet, en vertu de la règle 8.2.1 de filtrage des suffixes redondants, les reproductions présentées à l’équation 9.4, pour une certaine valeur de $p > 0$ et de K' , sont des suffixes redondants des reproductions présentées à l’équation 9.3, avec $K = K' + p$.

Mais une telle heuristique ne permet pas d’empêcher le prolongement redondant combinatoire décrit par cette équation 9.3. Il semblerait préférable d’éviter de tels tuilages redondants et de limiter la prolongation des schémas à l’équation 9.1.

9.1.2 L’efficacité partielle de la règle de non-recouvrement

Rappelons que la reproduction décisive de S , soit

$$n_N^{s_0^{i_0}} \succ n_{N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{2.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{2.N}^{s_N^{i_N}} \quad (9.5)$$

est découverte par l’intermédiaire de la reproduction modèle :

$$n_0^{s_0^{i_0}} \succ n_1^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_N^{s_N^{i_N}} \quad (9.6)$$

De même, le prolongement ultérieur de la reproduction décisive :

$$n_N^{s_0^{i_0}} \succ n_{N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{2.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{2.N}^{s_N^{i_N}} \succ n_{2.N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \quad (9.7)$$

s’effectue toujours par l’intermédiaire du prolongement de la reproduction modèle :

$$n_0^{s_0^{i_0}} \succ n_1^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_N^{s_N^{i_N}} \succ n_{N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \quad (9.8)$$

Or se produit ici une configuration particulière (figure 9.6) : la reproduction modèle commence à recouvrir la reproduction décisive. En effet, les deux dernières notes n_N et n_{N+1} appartiennent aux deux reproductions. Une telle configuration entre reproduction décisive et reproduction modèle semblerait enfreindre certaines contraintes de nos capacités cognitives. On peut alors poser la règle suivante :

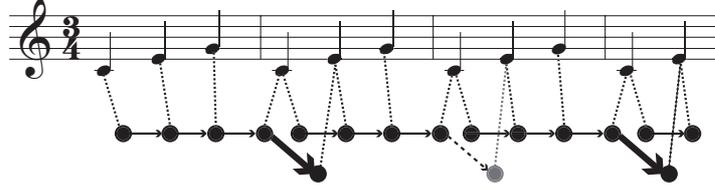


FIG. 9.7 – Mais une nouvelle reproduction peut cette fois-ci être prolongée en suivant la même reproduction-modèle, car cette dernière n’empiète plus, cette fois-ci, sur la nouvelle reproduction décisive. La règle de non-recouvrement n’est donc pas efficace.

Règle 9.1.1 (Non-recouvrement). Une reproduction d’un schéma ne peut pas être prolongée en un nouveau schéma, si son unique reproduction modèle se conclut sur sa première note, car son prolongement doit alors se superposer sur la reproduction décisive.

Par contre, la reproduction modèle pouvait, auparavant, être prolongée jusqu’à la première note de la reproduction décisive, car il ne s’agit alors pas encore d’une réelle superposition de contexte.

La règle ainsi formulée se limite à la seconde note de la reproduction décisive, car les notes suivantes ne pourront pas être atteintes non plus, la récursion étant avortée.

Une telle règle de non-recouvrement permet effectivement d’empêcher le prolongement de la reproduction décisive (9.5).

Hélas, lorsqu’une nouvelle reproduction se découvre :

$$\left\{ \begin{array}{l} n_0^{s_0^{i_0}} \succ n_1^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_N^{s_N^{i_N}} \\ n_N^{s_0^{i_0}} \succ n_{N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{2.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{2.N}^{s_N^{i_N}} \\ n_{2.N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{2.N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{3.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{3.N}^{s_N^{i_N}} \end{array} \right. \quad (9.9)$$

le prolongement de cette dernière pourra cette fois-ci se baser sur la même reproduction modèle que précédemment et engendrer ainsi la configuration suivante (figure 9.7) :

$$\left\{ \begin{array}{l} n_0^{s_0^{i_0}} \succ n_1^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_N^{s_N^{i_N}} \succ n_{N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \\ n_N^{s_0^{i_0}} \succ n_{N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{2.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{2.N}^{s_N^{i_N}} \\ n_{2.N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{2.N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{3.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{3.N}^{s_N^{i_N}} \succ n_{3.N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \\ n_{3.N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{3.N+1}^{s_1^{i_1}} \end{array} \right. \quad (9.10)$$

La nouvelle reproduction décisive et son modèle peuvent ensuite être pro-

longés jusqu'à atteindre un nouveau point de recouvrement, centré sur $n_{2.N}$.

$$\left\{ \begin{array}{l} n_0^{s_0^{i_0}} \succ n_1^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_N^{s_N^{i_N}} \succ n_{N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \succ \dots \succ n_{2.N-1}^{s_{2.N-1}^{i_{2,-1}}} \succ n_{2.N}^{s_{2.N}^{i_{2,N}}} \\ n_N^{s_0^{i_0}} \succ n_{N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{2.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{2.N}^{s_N^{i_N}} \\ n_{2.N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{2.N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{3.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{3.N}^{s_N^{i_N}} \succ n_{3.N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \succ \dots \succ n_{4.N-1}^{s_{2.N-1}^{i_{2,-1}}} \succ n_{4.N}^{s_{2.N}^{i_{2,N}}} \\ n_{3.N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{3.N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{4.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{4.N}^{s_N^{i_N}} \end{array} \right. \quad (9.11)$$

Et ainsi de suite :

$$\left\{ \begin{array}{l} n_0^{s_0^{i_0}} \succ n_1^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_N^{s_N^{i_N}} \succ n_{N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \succ \dots \succ n_{2.N-1}^{s_{2.N-1}^{i_{2,-1}}} \succ n_{2.N}^{s_{2.N}^{i_{2,N}}} \\ n_N^{s_0^{i_0}} \succ n_{N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{2.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{2.N}^{s_N^{i_N}} \succ n_{2.N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \succ \dots \succ n_{3.N-1}^{s_{2.N-1}^{i_{2,-1}}} \succ n_{3.N}^{s_{2.N}^{i_{2,N}}} \\ n_{2.N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{2.N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{3.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{3.N}^{s_N^{i_N}} \succ n_{3.N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \succ \dots \succ n_{4.N-1}^{s_{2.N-1}^{i_{2,-1}}} \succ n_{4.N}^{s_{2.N}^{i_{2,N}}} \\ n_{3.N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{3.N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{4.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{4.N}^{s_N^{i_N}} \succ n_{4.N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \succ \dots \succ n_{5.N-1}^{s_{2.N-1}^{i_{2,-1}}} \succ n_{5.N}^{s_{2.N}^{i_{2,N}}} \\ n_{4.N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{4.N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{5.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{5.N}^{s_N^{i_N}} \end{array} \right. \quad (9.12)$$

9.1.3 L'efficacité de la règle du rebouclage schématique mélodique

Le principe de non-recouvrement de la reproduction décisive avec son modèle échoue à assurer une découverte des périodes de la séquence périodique. Il pourrait alors être supposé qu'une telle capacité de détermination de la période n'entre pas réellement dans les compétences de l'écoute. L'écoute peut en effet déterminer, à partir d'une telle séquence périodique, de nombreuses segmentations différentes, et accumuler certaines reproductions du type (9.11). La problématique de la détermination de la période concernerait alors uniquement l'analyse, en tant que discipline distincte du processus de l'écoute.

Il semblerait pourtant que l'écoute soit capable de distinguer, elle-aussi, les périodes caractéristiques. Le mécanisme qu'elle met en jeu à cette fin se laisse difficilement expliciter par l'intuition. Nous posons alors l'hypothèse que celui-ci se fonde simplement sur la reproduction de schéma en cours de découverte, à partir d'une heuristique simple. Nous proposons de traiter, dans un premier temps, le cas mélodique, le cas rythmique étant considéré au paragraphe 9.2.2.

Définition 9.1.2 (Reproduction mélodiquement rebouclée). Une reproduction $R = n_{k-N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{k-N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_k^{s_N^{i_N}}$ d'un schéma S est dite mélodiquement rebouclée si :

1. le dernier prolongement $s_N^{i_N}$ du schéma S inclut une description mélodique (contour ou intervalle de hauteur),
2. il existe une autre reproduction R' de S se terminant sur le premier élément n_{k-N} de R .

Un tel concept de reproduction mélodiquement rebouclée, dont un exemple est présenté à la figure 9.8, peut fonder une règle d'annihilation des prolongements redondants combinatoires, présentée de la manière suivante.

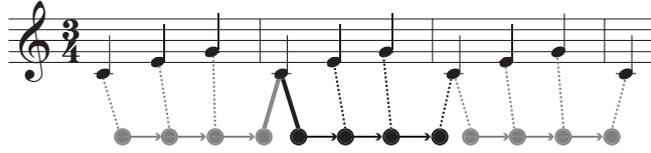


FIG. 9.8 – La reproduction de la deuxième mesure (noeuds noirs) est mélodiquement rebouclée : sa première note est également la dernière note d’une autre reproduction du même schéma.

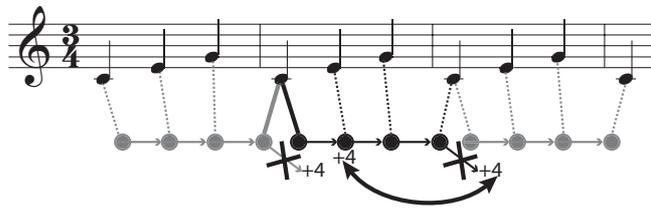


FIG. 9.9 – La reproduction de la deuxième mesure — mélodiquement rebouclée — ne peut pas être prolongée par une relation associative \mathcal{M}_{+4} , car celle-ci, s’identifiant au deuxième état du schéma, est considérée comme un simple rebouclage.

Règle 9.1.2 (Le rebouclage mélodique). Soit une reproduction $G = n_{k-N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{k-N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_k^{s_N^{i_N}}$, susceptible d’être prolongée suivant une relation associative R .

Si les trois conditions suivantes sont vérifiées :

1. G est mélodiquement rebouclée,
2. la relation associative E de prolongement de G ne comporte pas de description rythmique,
3. la relation associative E de prolongement de G est moins spécifique que la relation associative $s_1^{i_1}$:

$$\text{Descr}(s_1^{i_1}) \implies \text{Descr}(E) \tag{9.13}$$

alors une nouvelle reproduction $n_k^{s_0^{i_0}} \succ n_{k+1}^{s_1^{i_1}}$ est créée au détriment de tout prolongement de G par la relation R , que ce soit dans le cadre d’une découverte ou d’une reconnaissance de schéma.

Une telle règle, dont une illustration est donnée à la figure 9.10, semblerait de prime abord particulièrement contournée, et conçue de manière *ad hoc* pour la prise en compte d’une problématique particulière. Une réflexion intuitive nous pousserait pourtant à supposer qu’un tel souci d’identification entre la reproduction en cours de formation et la reproduction précédente puisse régir effectivement certaines démarches de l’écoute. En effet, ce qui est décrit ici, est

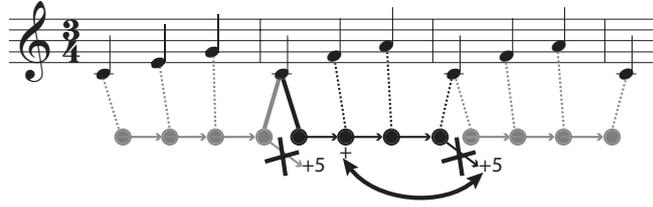


FIG. 9.10 — La reproduction de la deuxième mesure — mélodiquement rebouclée — ne peut pas être prolongée par une relation associative \mathcal{C}_+ , car celle-ci, est déjà déduite par le deuxième état du schéma, et est donc considérée comme un simple rebouclage.

l'idée d'une subsomption systématique, de la part de l'écoute, de tout ce qui prolonge chaque reproduction successive en une simple reconnaissance d'une reproduction successive.

Le cas où la condition 2 de la règle précédente n'est pas vérifiée — c'est-à-dire lorsque la relation associative E de prolongement de G comporte une description rythmique — sera traité dans la section suivante, dédiée spécifiquement à la périodicité rythmique.

La vertu sélective de la règle

Une telle règle trouve une justification plus évidente, dans le fait qu'elle permet de mettre en évidence quelques particularités qui concordent effectivement avec certaines logiques d'écoute.

Le fait qu'une telle règle soit fondée sur l'existence d'une reproduction similaire précédent la reproduction considérée, permet un prolongement sélectif des reproductions périodiques.

En effet, si la reproduction périodique présentée à l'équation 9.1 réapparaît à un autre moment de la séquence musicale :

$$\left\{ \begin{array}{l} n_L^{s_0^{i_0}} \succ n_{L+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{L+N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{L+N}^{s_N^{i_N}} \\ n_{L+N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{L+N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{L+2.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{L+2.N}^{s_N^{i_N}} \\ \dots \\ n_{L+(M-1).N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{L+(M-1).N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{L+M.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{L+M.N}^{s_N^{i_N}} \end{array} \right. \quad (9.14)$$

alors la reproduction périodique mélodique totale sera envisagée comme un prolongement schématique de S :

$$\left\{ \begin{array}{l} n_0^{s_0^{i_0}} \succ n_1^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{M.N}^{s_N^{i_N}} \\ n_L^{s_0^{i_0}} \succ n_{L+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{L+M.N}^{s_N^{i_N}} \end{array} \right. \quad (9.15)$$

car, en vertu de la condition 1 de la règle 9.1.2 du rebouclage schématique, les notes n_0 et n_L , contrairement aux notes $n_{k.N}, k > 0$ et $n_{k.N+L}, k > 0$, ne concluent aucune reproduction schématique de S .

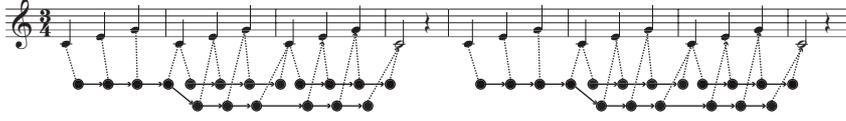


FIG. 9.11 – Là où les reproductions intermédiaires, étant mélodiquement rebouclées, ne peuvent pas être prolongées, la reproduction initiale peut l'être. De cette manière, la reproduction de la reproduction périodique mélodique totale elle-même (branche du bas) peut être considérée comme un grand prolongement du schéma-période initial.

9.2 La périodicité rythmique

Une reproduction périodique peut être envisagée pour les schémas $S = s_0^{i_0} \succ s_1^{i_1} \succ \dots \succ s_N^{i_N}$, tels que, cette fois-ci $s_1^{i_1} = S$, ainsi que, de manière plus générale, pour les prolongements E de la reproduction rebouclée G incluant une description rythmique.

9.2.1 Le prolongement redondant combinatoire

Définition 9.2.1. On appelle reproduction périodique rythmique toute succession répétée de reproductions d'un même schéma $S = s_0^{i_0} \succ s_1^{i_1} \succ \dots \succ s_{N+1}^{i_{N+1}}$, tel que

1. La relation associative $s_{N+1}^{i_{N+1}}$ inclut une description rythmique, et
2. la dernière note de chaque reproduction est également la seconde note de la reproduction suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} n_0^{s_0^{i_0}} \succ n_1^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_N^{s_N^{i_N}} \succ n_{N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \\ n_N^{s_0^{i_0}} \succ n_{N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{2.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{2.N}^{s_N^{i_N}} \succ n_{2.N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \\ \dots \\ n_{(M-1).N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{(M-1).N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{M.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{M.N}^{s_N^{i_N}} \succ n_{M.N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \end{array} \right. \quad (9.16)$$

En effet, comme nous l'avons constaté précédemment, si par exemple $s_1^{i_1} = S$, alors le prolongement redondant combinatoire n'est pas toujours assuré, car le schéma $s_0^{i_0} \succ s_1^{i_1}$ ne présente aucune relation associative particulière permettant un tel prolongement (figure 9.12). Par contre, si le premier prolongement redondant (9.2) a effectivement lieu — ce qui correspondant à la condition 2 de la définition précédente, alors le phénomène de prolongement perpétuel est désormais possible (figure 9.13), induisant les reproductions suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} n_0^{s_0^{i_0}} \succ n_1^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_N^{s_N^{i_N}} \succ n_{N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \succ \dots \succ n_{N+K}^{s_{N+K}^{i_{N+K}}} \\ n_N^{s_0^{i_0}} \succ n_{N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{2.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{2.N}^{s_N^{i_N}} \succ n_{2.N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \succ \dots \succ n_{2.N+K}^{s_{N+K}^{i_{N+K}}} \\ \dots \\ n_{(M-2).N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{(M-2).N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{(M-1).N+K}^{s_{N+K}^{i_{N+K}}} \\ n_{(M-1).N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{(M-1).N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_{M.N-1}^{s_{N-1}^{i_{N-1}}} \succ n_{M.N+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}} \end{array} \right. \quad (9.17)$$

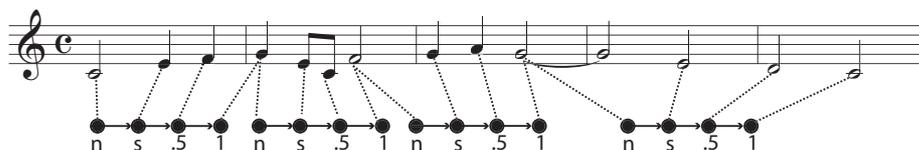


FIG. 9.12 – Cette séquence est une reproduction périodique rythmique partielle. Elle présente une reproduction successive d'un schéma rythmique, mais chaque reproduction s'effectue à un tempo différent. Il n'y a alors pas de risque de prolongement redondant combinatoire.

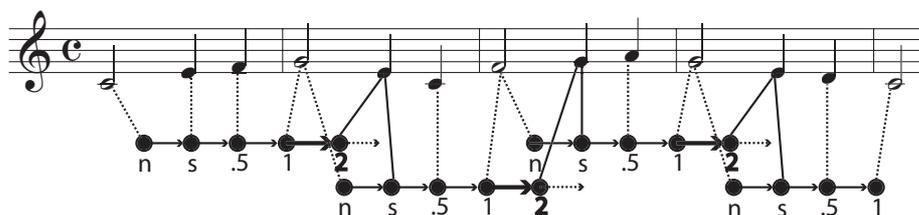


FIG. 9.13 – Cette séquence est une reproduction périodique rythmique totale. À chaque reproduction successive est ajoutée un prolongement supplémentaire, permettant de fixer le tempo de la reproduction suivante. Il en résulte alors un prolongement redondant combinatoire.

De plus, même dans le cas où $s_1^{i_1} \neq S$, la caractérisation 1 de la reproduction périodique rythmique remet en cause la condition 3 de la règle 9.1.2 du rebouclage schématique mélodique. En effet la relation associative de prolongement initial d'un schéma ($s_1^{i_1}$) n'inclut jamais de description rythmique, car un rapport rythmique nécessite au minimum deux relations syntagmatiques successives (§ 7.3.5). De ce fait, le prolongement de chaque reproduction (9.2) est désormais pertinent, car il met en évidence le rebouclage rythmique, en association au rebouclage mélodique.

9.2.2 La règle de rebouclage schématique, appliquée au cas rythmique

La limitation du prolongement redondant combinatoire, dans le cas rythmique, peut être réalisée de manière similaire à celle dans le cas du rythme, présentée dans la section précédente. On définit donc la notion de reproduction rythmiquement rebouclée (figure 9.14).

Définition 9.2.2 (Reproduction rythmiquement rebouclée). Une reproduction $R = n_{k-N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{k-N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_k^{s_{N+1}^{i_{N+1}}}$ d'un schéma S est dite rythmiquement rebouclée si :

1. le dernier prolongement $s_{N/1}^{i_{N+1}}$ du schéma S inclut une description rythmique,
2. il existe une autre reproduction R' de S se terminant sur le second élément n_{k-N+1} de R .

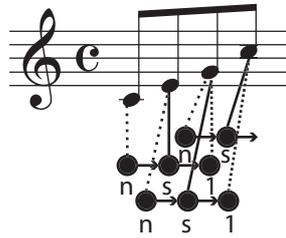


FIG. 9.14 – Les reproductions sont rythmiquement rebouclées : la deuxième note de chaque reproduction est également la dernière note de la reproduction précédente.

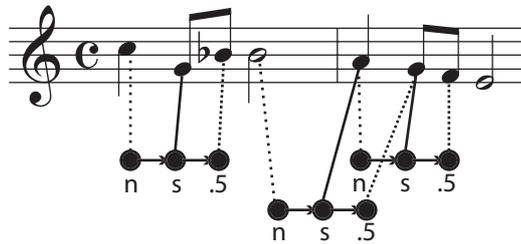


FIG. 9.15 – La reproduction de la deuxième mesure est, en théorie, rythmiquement rebouclée. Toutefois, un tel rebouclage ne semble pas perceptible, car de taille trop faible.

Il semblerait nécessaire, toutefois, d'imposer une contrainte particulière sur la taille limite d'une reproduction rythmiquement rebouclée. En effet, le rebouclage rythmique d'une reproduction de trois notes — c'est-à-dire deux durées, ou encore *un seul* rapport rythmique — ne semble pas perceptible en tant que tel (figure 9.15), sauf s'il s'agit du rapport rythmique de valeur 1 (figure 9.14). Par contre, un rebouclage rythmique d'une reproduction de quatre notes peut être perçu. Un exemple caractéristique a été découvert dans le *Boléro* de RAVEL (§ A.2) : il s'agit des deux premières reproductions du schéma numéro 29.

Telle qu'elle est définie ici, la reproduction rythmiquement rebouclée forme *déjà* un tuilage, comme on peut le constater sur la figure 9.13. Une telle configuration ne peut alors accepter *plus aucune extension ultérieure*. La règle associée à la reproduction rythmiquement rebouclée peut alors être simplement exprimée de la manière suivante.

Règle 9.2.1 (Le rebouclage schématique rythmique). *Si une reproduction*

$G = n_{k-N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{k-N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_k^{s_N^{i_N}} \succ n_{k+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}}$ *est rythmiquement rebouclée, alors une nouvelle reproduction* $n_k^{s_0^{i_0}} \succ n_{k+1}^{s_1^{i_1}} \succ n_{k+2}^{s_2^{i_2}}$ *est créée au détriment de tout prolongement de* G , *que ce soit dans le cadre d'une découverte ou d'une reconnaissance de schéma.*

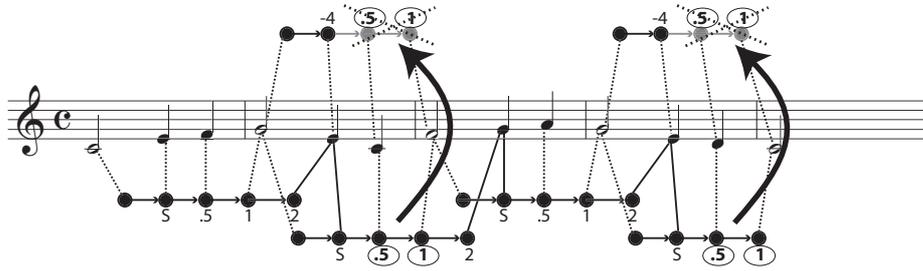


FIG. 9.16 – Les reproductions mélodiques, au-dessus de la partition (en noir), sont incluses au sein de la reproduction rythmique périodique (indiquée en-dessous de la partition). Ce sont donc des groupements émergents par-dessus une trame périodique. Si ces groupements émergents apparaissent à des phases identiques de la reproduction périodique, ils risquent alors d'être prolongés indéfiniment en suivant exactement la trame périodique (prolongements barrés). L'écoute semble préférer achever ces groupements dès qu'ils ne sont plus émergents, plutôt que de les étendre indéfiniment.

9.3 L'émergence de groupements par-dessus une trame périodique

9.3.1 Description du problème

Dans cette dernière section est considéré un problème général survenant au sein de reproductions périodiques, et qui provient de la combinatoire des extensions étudiée dans les sections précédentes. Le phénomène envisagé ici concerne, cette fois, une reproduction, au sein même de la reproduction périodique, d'un *autre* schéma, plus spécifique que le schéma-période. Il s'agit donc d'une forme émergente placée devant la trame que constitue la reproduction périodique.

Définition 9.3.1 (Groupement émergent d'une trame périodique). On dit qu'un groupement $G = n_{k-N}^{s_0^{i_0}} \succ n_{k-N+1}^{s_1^{i_1}} \succ \dots \succ n_k^{s_N^{i_N}}$ émerge d'une trame périodique $S_p = (s_0^{j_0} \succ s_1^{j_1} \succ \dots \succ s_{N_{S_p}}^{j_{N_{S_p}}})$, lorsque

1. G est inclus au sein d'une succession syntagmatique $n_{k-N_p} \succ n_{k-N_p+1} \succ \dots \succ n_k$, $N_p > N$ qui constitue une reproduction périodique R_p du schéma S_p ,
2. le groupement G est plus spécifique que la période partielle P de R_p en cours de prolongement : $P = n_{k-N_p}^{s_0^{j_0}} \succ n_{k-N_p+1}^{s_1^{j_1}} \succ \dots \succ n_k^{s_{N_p}^{j_{N_p}}}$, $N_p \geq N$:

$$\forall l \in [0, N], \quad \text{Descr}(s_l^{i_l}) \implies \text{Descr}(s_l^{j_l}) \quad (9.18)$$

Une fois qu'un tel groupement émergent est découvert, toute prolongation ultérieure du fond périodique entraîne une prolongation parallèle du groupement émergent. La moindre émergence décelée sur un fond périodique se voit ainsi systématiquement prolongée jusqu'aux limites de ce fond (figure 9.16). Un tel phénomène ne concorde pas avec les intuitions de l'écoute.

9.3.2 Le prolongement émergent des groupements émergents

L'écoute semble capable d'éviter de tels prolongements, car elle opère une distinction entre le groupement émergent et le fond périodique. Si le groupement émergent se confond de nouveau avec la trame de fond, alors celui-ci peut être considéré comme achevé. Une telle heuristique correspond à la règle gestaltiste figure/fond, qui peut être formalisée de la manière suivante.

Règle 9.3.1 (Prolongement émergent d'un groupement émergent). *Si un groupement G émerge d'une trame périodique S_p , alors il ne pourra être prolongé par aucune relation associative R dont la description se déduit de celle du prolongement $s_{N_P+1}^{j_{N_P+1}}$ de la période partielle P en cours de prolongement, c'est-à-dire si :*

$$\text{Descr}(s_{N_P+1}^{j_{N_P+1}}) \implies \text{Descr}(R) \quad (9.19)$$

En effet, le groupement émergent ne peut pas accepter un prolongement moins spécifique que le prolongement de la trame périodique $s_{N_P+1}^{j_{N_P+1}}$, car il n'émergerait alors plus de la trame périodique et peut alors être considéré comme achevé.

Chapitre 10

Le groupement de groupements

Les reproductions de schémas sont des groupements formés de succession de notes. Ces groupements peuvent eux-mêmes constituer des successions qui sont susceptibles de présenter une logique motivique. Il peut se créer alors des groupements de groupements. Les successions de groupements peuvent elles-mêmes se grouper de manière *réursive*. De tels groupements de groupements sont aussi des reproductions de schémas, et peuvent eux-mêmes constituer récursivement des groupements d'ordre supérieur, et ainsi de suite.

Une telle prise en compte de niveaux hiérarchiques multiples — que l'on ne pourra évoquer dans ce chapitre que sous forme d'ébauches — permettrait d'élever l'analyse motivique du niveau local de la succession de notes. Ceci mènerait en outre vers des visions plus larges de l'expression motivique et vers une appréhension de la forme de l'œuvre.

10.1 Les successions de groupements

Les reproductions de schémas émergent de relations associatives globales entre des successions, à divers instants de la pièce, de relations syntagmatiques. Ces relations syntagmatiques ont été pour l'instant considérées entre des notes élémentaires successives. Or les groupements issues de telles relations s'offrent aussi — comme nous venons de le constater — à une logique de succession. Il est donc pertinent d'étendre la notion de relation syntagmatique aux groupements eux-mêmes.

10.1.1 Les difficultés du groupement de groupements

Une telle généralisation, bien que nécessaire, présente de nombreuses difficultés.

Un groupement d'éléments non-ponctuels

Là où les relations syntagmatiques entre notes bénéficiaient du statut clairement délimité et simple des notes, celles entre groupements font face à une

réalité moins évidente et plus complexe. Contrairement aux notes parfaitement ponctuelles et donc facilement paramétrisables, les groupements présentent en effet une étendue se prêtant difficilement à une délimitation mais également à une paramétrisation.

Un groupements d'éléments typés

En outre, leur propriété de subsomption sous des schémas doit également entrer en considération.

10.1.2 Rapport et relation syntagmatiques entre reproductions d'un schéma

Rapport syntagmatique entre reproductions d'un schéma

Toute reproduction $\{n_{k-N}^{s_0^{i_0}} n_{k-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_k^{s_N^{i_N}}\}$ d'un schéma $S = \{s_0^{i_0} s_1^{i_1} \dots s_N^{i_N}\}$ est en rapport syntagmatique avec la reproduction $\{n_{l-N}^{s_0^{i_0}} n_{l-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_l^{s_N^{i_N}}\}$ qui le précède :

$$\{n_{l-N}^{s_0^{i_0}} n_{l-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_l^{s_N^{i_N}}\} \succ \{n_{k-N}^{s_0^{i_0}} n_{k-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_k^{s_N^{i_N}}\} \quad (10.1)$$

Relation syntagmatique entre reproductions d'un schéma

Un tel rapport syntagmatique de reproductions d'un schéma constitue alors une relation syntagmatique :

$$R = \overrightarrow{\{n_{l-N}^{s_0^{i_0}} n_{l-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_l^{s_N^{i_N}}\} \{n_{k-N}^{s_0^{i_0}} n_{k-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_k^{s_N^{i_N}}\}} \quad (10.2)$$

Les paramètres d'une relation syntagmatique entre reproductions d'un schéma peuvent être l'ensemble des paramètres des relations syntagmatiques entre les notes de même position $t \in [0, N]$ d'une reproduction à l'autre (figure 10.1) :

$$\overrightarrow{\{n_{l-N}^{s_0^{i_0}} n_{l-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_l^{s_N^{i_N}}\} \{n_{k-N}^{s_0^{i_0}} n_{k-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_k^{s_N^{i_N}}\}} = \{n_{l-N+t}^{s_0^{i_0}} n_{k-N+t}^{s_1^{i_1}}\}_{t \in [0, N]} \quad (10.3)$$

L'extension totale de la relation syntagmatique entre reproductions d'un schéma

La dernière reproduction du schéma S peut être étendue en une reproduction $\{n_{k-N}^{s_0^{i_0}} n_{k-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_{k+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}}\}$ d'un schéma étendu $S' = \{s_0^{i_0} s_1^{i_1} \dots s_{N+1}^{i_{N+1}}\}$.

Si la reproduction précédente du schéma S peut être étendue de la même manière en $\{n_{l-N}^{s_0^{i_0}} n_{l-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_{l+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}}\}$, alors les deux nouvelles reproductions entretiennent le même rapport syntagmatique :

$$\{n_{l-N}^{s_0^{i_0}} n_{l-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_{l+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}}\} \succ \{n_{k-N}^{s_0^{i_0}} n_{k-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_{k+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}}\} \quad (10.4)$$

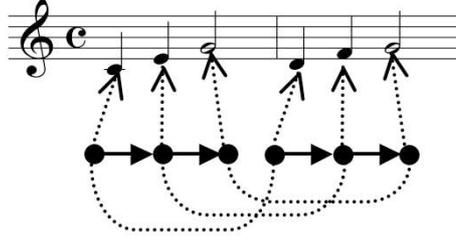


FIG. 10.1 – Deux reproductions successives d'un même schéma peuvent entrer en rapport syntagmatique et former une relation syntagmatique. Les paramètres de cette relation syntagmatique se décomposent en un ensemble de relations syntagmatiques entre les notes de chaque reproduction de même position.

D'autre part, une nouvelle relation syntagmatique est établie entre ces deux groupements étendus :

$$R' = \overrightarrow{\{n_{l-N}^{s_0^{i_0}} n_{l-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_{l+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}}\} \{n_{k-N}^{s_0^{i_0}} n_{k-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_{k+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}}\}} \quad (10.5)$$

La nouvelle relation syntagmatique R' est reliée à la relation syntagmatique R suivant une *relation d'extension totale* \rightarrow , laquelle indique que la relation R' est une extension de R .

$$R \rightarrow R' \quad (10.6)$$

Les paramètres de nouvelle relation syntagmatique R' sont ceux de la relation syntagmatique R , ajoutés des paramètres de la relation syntagmatique $\overrightarrow{n_{l+1} n_{k+1}} | \mathcal{H}$ entre les dernières notes de chaque reproduction.

L'extension partielle de la relation syntagmatique entre reproductions d'un schéma

Par contre, si la reproduction précédente du schéma S ne peut être étendue en une reproduction du schéma étendu S' , la reproduction actuelle du schéma étendu S' est mise en rapport syntagmatique avec la reproduction précédente du schéma étendu S' :

$$\{n_{m-N}^{s_0^{i_0}} n_{m-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_{m+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}}\} \succ \{n_{k-N}^{s_0^{i_0}} n_{k-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_{k+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}}\} \quad (10.7)$$

Une nouvelle relation syntagmatique R'' est alors constituée :

$$R'' = \overrightarrow{\{n_{m-N}^{s_0^{i_0}} n_{m-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_{m+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}}\} \{n_{k-N}^{s_0^{i_0}} n_{k-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_{k+1}^{s_{N+1}^{i_{N+1}}}\}} \quad (10.8)$$

La nouvelle relation syntagmatique R'' n'est alors pas une extension directe de la relation R , car la reproduction précédente n'est plus la même. Par contre, elle intègre une extension de la reproduction suivante. La relation R'' est alors reliée à la relation R suivant une *relation d'extension partielle* \rightarrow .

$$R \rightarrow R'' \quad (10.9)$$

Les paramètres de la nouvelle relation syntagmatique R'' , cette fois-ci, sont totalement distincts de ceux de l'ancienne relation R . Ils doivent donc être tous calculés.

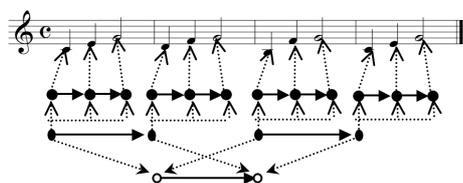


FIG. 10.2 – Des reproductions successives peuvent elles-mêmes être reproduites, ce qui induit la constitution de groupements constitués eux-mêmes de groupements.

10.2 La découverte des groupements de groupements

10.2.1 Les relations associatives des relations syntagmatiques entre reproductions d'un schéma

Chaque succession syntagmatique de reproductions d'un schéma R' entre en rapports associatifs mélodique et/ou rythmique avec les autres successions syntagmatiques de la mémoire pour chaque position sur chaque reproduction. L'ensemble des conjonctions possibles de ces rapport associatifs constituent un réseau de relations associatives.

Il se détermine en particulier :

- une relation associative d'intervalle mélodique pour chaque position i dans les reproductions respectives \mathcal{M}^i ,
- une relation associative de contour pour chaque position i dans les reproductions respectives \mathcal{C}^i ,
- une relation associative de rapport rythmique pour chaque position i dans les reproductions respectives \mathcal{R}^i ,
- une relation associative conjonction des intervalles mélodiques pour deux position i et j : $(\mathcal{M}^i \cap \mathcal{M}^j)$,
- une relation associative conjonction de l'intervalle mélodique pour une position i , du contour pour une position j et du rapport rythmique pour une position k : $(\mathcal{M}^i \cap \mathcal{C}^j \cap \mathcal{R}^k)$,
- etc.

10.2.2 Les schémas de schémas

Ces relations associatives entre successions syntagmatiques de reproductions d'un schéma — suivant le principe de celles établies préalablement entre notes successives — permettent la découverte de schémas (figure 10.2), lorsque est respecté le principe 8.2.2 de maximisation de la spécificité des schémas.

De même, également, chaque schéma S engendre un nouvel ensemble de relations associatives de prolongement de schéma : $S \succ \mathcal{P}$. Chacune de ces relations associatives d'extension est elle-même susceptible de former un prolongement du schéma, et ainsi de suite.

De tels schémas unissant ces groupements de groupements sont spécifiques au schéma des reproductions élémentaires. En effet, ils mettent en évidence des

successions de relations associatives à *des positions spécifiques* des reproductions du schéma de base. On pourra alors les appeler des *schémas de schémas*.

Un schéma S' de schémas $S = \{s_0^{i_0} s_1^{i_1} \dots s_N^{i_N}\}$ pourra être représenté sous la forme : $S' = \{s_0^{j_0} s_1^{j_1} \dots s_{N'}^{j_{N'}}\}$ et ses reproductions sous la forme

$$\left\{ \begin{array}{l} \{n_{k_0-N}^{s_0^{i_0}} n_{k_0-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_{k_0}^{s_N^{i_N}}\}^{s_0^{j_0}} \\ \{n_{k_1-N}^{s_0^{i_0}} n_{k_1-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_{k_1}^{s_N^{i_N}}\}^{s_1^{j_1}} \\ \dots \\ \{n_{k_{N'}-N}^{s_0^{i_0}} n_{k_{N'}-N+1}^{s_1^{i_1}} \dots n_{k_{N'}}^{s_N^{i_N}}\}^{s_{N'}^{j_{N'}}} \end{array} \right\} \quad (10.10)$$

10.3 Le groupement de groupements de groupements

Maintenant que la récursion a été totalement spécifiée, un tel mécanisme de groupement de groupements peut prendre en compte directement des groupements d'ordres supérieurs — des groupements de groupements de groupements et ainsi de suite — sans la nécessité d'ajouter un quelconque mécanisme supplémentaire.

Le rapport syntagmatique entre groupements de groupements :

$$\left\{ \begin{array}{l} \{n_{k_0-N}^{s_0^{i_0}} \dots n_{k_0}^{s_N^{i_N}}\}^{s_0^{j_0}} \\ \{n_{k_1-N}^{s_0^{i_0}} \dots n_{k_1}^{s_N^{i_N}}\}^{s_1^{j_1}} \\ \dots \\ \{n_{k_{N'}-N}^{s_0^{i_0}} \dots n_{k_{N'}}^{s_N^{i_N}}\}^{s_{N'}^{j_{N'}}} \end{array} \right\} \succ \left\{ \begin{array}{l} \{n_{l_0-N}^{s_0^{i_0}} \dots n_{l_0}^{s_N^{i_N}}\}^{s_0^{j_0}} \\ \{n_{l_1-N}^{s_0^{i_0}} \dots n_{l_1}^{s_N^{i_N}}\}^{s_1^{j_1}} \\ \dots \\ \{n_{l_{N'}-N}^{s_0^{i_0}} \dots n_{l_{N'}}^{s_N^{i_N}}\}^{s_{N'}^{j_{N'}}} \end{array} \right\} \quad (10.11)$$

Soit R une relation syntagmatique entre groupements de groupements :

$$R = \left\{ \begin{array}{l} \overline{\left\{ \begin{array}{l} \{n_{k_0-N}^{s_0^{i_0}} \dots n_{k_0}^{s_N^{i_N}}\}^{s_0^{j_0}} \\ \{n_{k_1-N}^{s_0^{i_0}} \dots n_{k_1}^{s_N^{i_N}}\}^{s_1^{j_1}} \\ \dots \\ \{n_{k_{N'}-N}^{s_0^{i_0}} \dots n_{k_{N'}}^{s_N^{i_N}}\}^{s_{N'}^{j_{N'}}} \end{array} \right\}} \\ \left\{ \begin{array}{l} \{n_{l_0-N}^{s_0^{i_0}} \dots n_{l_0}^{s_N^{i_N}}\}^{s_0^{j_0}} \\ \{n_{l_1-N}^{s_0^{i_0}} \dots n_{l_1}^{s_N^{i_N}}\}^{s_1^{j_1}} \\ \dots \\ \{n_{l_{N'}-N}^{s_0^{i_0}} \dots n_{l_{N'}}^{s_N^{i_N}}\}^{s_{N'}^{j_{N'}}} \end{array} \right\} \end{array} \right\} \quad (10.12)$$

Les paramètres de R sont l'ensemble des paramètres des relations syntagmatiques entre les reproductions de même position $t \in [0, N]$:

$$R = \left\{ \begin{array}{l} \overline{\left\{ \begin{array}{l} \{n_{k_0-N}^{s_0^{i_0}} \dots n_{k_0}^{s_N^{i_N}}\} \{n_{l_0-N}^{s_0^{i_0}} \dots n_{l_0}^{s_N^{i_N}}\} \\ \{n_{k_1-N}^{s_0^{i_0}} \dots n_{k_1}^{s_N^{i_N}}\} \{n_{l_1-N}^{s_0^{i_0}} \dots n_{l_1}^{s_N^{i_N}}\} \\ \dots \\ \{n_{k_{N'}-N}^{s_0^{i_0}} \dots n_{k_{N'}}^{s_N^{i_N}}\} \{n_{l_{N'}-N}^{s_0^{i_0}} \dots n_{l_{N'}}^{s_N^{i_N}}\} \end{array} \right\}} \end{array} \right\} \quad (10.13)$$

De même, chaque relation syntagmatique entre reproductions d'un schéma R entre en relation associative avec les autres relations syntagmatiques de la mémoire, suivant les différents paramètres associés à ces relations, ainsi que leurs intersections.

10.4 Conclusions

Les réflexions engagées dans ce chapitre ne sont que des esquisses à une investigation de plus longue haleine. Des expérimentations ont été effectuées durant cette thèse. L'architecture générale du système a notamment été reconstruite de manière à permettre une découverte de groupements de groupements : chaque fois qu'un groupement est constitué, celui-ci est alors considéré comme un simple élément que l'on tente de grouper avec des groupements précédents, et ainsi de suite de manière récursive. Un module de mise à jour des groupements de groupements a d'autre part été élaboré, permettant une extension des groupements élémentaires directement dans les groupements de groupements.

Chapitre 11

Résultats et perspectives

11.1 La présentation des résultats

11.1.1 Le logiciel *OpenMusic*

Le modèle présenté aux chapitres précédents a été implémenté sous la forme d'une bibliothèque — intitulée *OMkanthus* — du logiciel *OpenMusic* [ARL⁺99] qui propose un environnement de programmation de structures musicales, ou, si l'on veut, de composition algorithmique. Ce logiciel présente un certain nombre d'avantages. D'une part, il permet aux compositeurs de construire des algorithmes en *Lisp* à l'aide d'un environnement visuel qui leur dispense, s'ils le souhaitent, d'entrer une seule ligne de code. D'autre part, une large panoplie de structures musicales fondamentales — telles les notes, les accords, les séquences musicales, les fichiers MIDI, etc. — sont accessibles à l'utilisateur. Ces structures peuvent en outre être éditées à l'aide d'interface adaptées. Enfin, le logiciel est livré, clef en main, avec un grand nombre de bibliothèques spécialisées offrant à l'utilisateur de nombreuses fonctionnalités, telles que la quantification rythmique, le contrôle sonore, etc.

Du logiciel *OpenMusic*, nous n'utiliserons pas ici les qualités d'interface de programmation visuelle. Nous nous concentrerons uniquement sur les outils de gestion des fichiers MIDI, ainsi que de représentation visuelle de séquences musicales, sous forme de partitions. Il est possible également, par un moyen détourné, d'annoter la partition en associant un entier à chaque note. Ceci s'effectue par l'assignation de chacune des notes à un canal MIDI indicé par ce même entier.

La représentation graphique d'*OpenMusic*

Comme nous l'avions expliqué dans le paragraphe 5.2, la représentation musicale suivant la norme MIDI néglige une part importante de l'information symbolique présente dans une partition :

- La hauteur théorique est réduite à une simple spécification de touche du clavier, que l'on appellera *hauteur enharmonique*. Une note en enharmonie avec une touche blanche sera représentée par le nom de cette touche (do, ré, etc.), alors qu'une note en enharmonie avec une touche noire sera représentée par le nom sous forme diézée de cette touche (do#, ré#, fa#, sol#, la#).

- La valeur rythmique est réduite à une *durée* temporelle.
- Les indications de dynamique et d’accent est réduite à une grandeur numérique d’*intensité*.
- La tonalité, la métrique et le tempo (et variation) sont purement absents.
- La position de chaque note dans la partition, est réduite à une *date*, qui correspond à la durée écoulée depuis le début de la séquence.

Nous avons d’autre part expliqué qu’une telle perte d’information est pertinente au niveau de l’analyse, car l’écoute ne dispose pas, elle non-plus, de ces informations symboliques de haut niveau, mais doit les reconstruire de manière autonome.

Notre approche, comme nous l’avions annoncé, se cantonne aux dimensions les plus élémentaires de l’expression musicale et procède à une analyse motivique abstraite de tout contexte tonal ou métrique.

Les séquences musicales considérées dans ces analyses sont donc envisagées suivant la représentation MIDI de bas niveau. Le logiciel *OpenMusic* propose, pour une telle représentation, une disposition graphique basée sur la partition traditionnelle. Les notes sont représentées sur une portée classique, sous forme de noires, positionnées, de manière verticale, à sa hauteur enharmonique, et, de manière horizontale, à une distance, par rapport au début de la partition, proportionnelle à sa date.

11.1.2 La représentation graphique des résultats

Une analyse motivique détaillée d’une séquence musicale, telle que celle que nous tentons d’automatiser, dégage un très grand nombre de structures. Les résultats de l’analyse ne peuvent pas être directement utilisés tels quels, mais nécessitent une *mise en forme* adaptée.

Les inconvénients de la représentation de Lévi-Strauss

Nous avons vu que la méthode d’analyse de Nicolas RUWET tire parti d’une représentation proposée par LÉVI-STRAUSS, permettant de disposer dans un espace bi-dimensionnel les structures découvertes. Il doit être remarqué, toutefois, que cette méthode avait non seulement une fonction de représentation, mais également de *schématisation opératoire*, qui offre un guide aux intuitions de l’analyste durant la procédure de l’analyse. Puisque, dans notre approche, l’explicitation computationnelle nous interdit tout appel à l’intuition, la fonction de schématisation ne sera pas utilisée au cours de l’analyse. La représentation des résultats offrira en revanche une meilleure lisibilité à l’utilisateur.

Nous avons remarqué que la représentation de LÉVI-STRAUSS pose de graves problèmes, car elle induit une fusion des logiques synchronique et paradigmatique. La solution envisagée ici consiste alors simplement en une désolidarisation de ces deux logiques. Leur orthogonalisation permettra d’engendrer un nouvel espace de représentation matricielle permettant d’assurer les exigences syntagmatique et associative.

La représentation proposée ici se décline également sous la forme d’une superposition de portées musicales. Chaque portée correspond à un schéma, c’est-à-dire une classe motivique. Au sein de chaque portée est représenté l’ensemble des reproductions du schéma, c’est-à-dire les occurrences de la classe motivique.

La disposition des schémas

Nous avons vu que l'ensemble des schémas forme un arbre. Chaque ligne de la représentation peut être associée à un noeud distinct de l'arbre. Toutefois, il peut être remarqué que les noeuds qui ne sont pas des feuilles de l'arbre peuvent être considérés comme des préfixes de leur descendance. Ainsi, plutôt que de représenter séparément les motifs et leurs préfixes, il semble préférable, pour des raisons de clarté, de les représenter tous dans une seule ligne. Les suffixes des motifs, quant à eux, ne sont pas représentés en tant que tels — en raison du principe de description maximale présenté au chapitre — à moins de connaître une existence indépendante du motif qui le contient.

Il reste à organiser la disposition de la superposition de portées de manière à faciliter la lecture. La représentation de LÉVI-STRAUSS n'avait pas à se poser cette question, puisque le déroulement vertical résulte de la superposition successive des motifs. Dans notre approche, nous proposons de disposer les schémas suivant l'ordre chronologique d'apparition de la première reproduction. De cette manière, l'ensemble de la représentation offre un aspect assez cohérent, et le lecteur peut ainsi retrouver assez facilement un motif souhaité.

Les schémas de très faible taille ne présentent pas toujours un grand intérêt ; leur insertion au sein de la représentation peut gêner la lecture. C'est pourquoi il est proposé à l'utilisateur de spécifier une taille minimale de schéma. Il en est de même pour les groupements eux-mêmes, puisque chaque portée représente les reproductions d'un schéma donné, et de tous ses préfixes.

Dans la lignée de la méthode de RUWET, nous sommes contraints, dans notre étude, à nous restreindre à la monodie. Toutefois, le cadre mis en place ici est conçu de telle manière à pouvoir être généralisé au domaine polyphonique sans encombre. Ainsi, dans la représentation proposée ici, la représentation de structures polyphoniques développées sur plusieurs voix instrumentales pourra être effectuée par le simple remplacement des portées par des systèmes de portées. Dans ce cas, la représentation consistera alors en une superposition de systèmes de portées, chaque système étant dédié à la représentation d'un schéma musical particulier.

11.1.3 Les résultats

Les analyses offertes par le modèle ainsi développé présentent un intérêt indéniable. D'une part, une majeure partie des motifs découverts mettent effectivement en évidence des structures musicales perçues comme telle de manière plus ou moins explicite durant l'écoute. Ainsi l'analyse de la voie supérieure du *Menuet*, K1 de MOZART (§ A.1) ne présente aucune irrégularité particulière. La plupart des motifs découverts lors de l'analyse du premier thème du *Boléro* de RAVEL (§ A.2) semblent effectivement pris en compte de manière plus ou moins explicite par l'écoute. En effet, une fois l'œuvre entendue et mémorisée, l'observation des résultats de cette analyse computationnelle semble non pas faire découvrir des structures totalement inconnues, mais au contraire faire rappeler des structures prises en compte de manière relativement implicite durant l'écoute.

Certaines classes de motifs découverts dans le *Boléro* sont en revanche difficilement perceptibles en tant que tels. Il s'agit de classes de motifs plus spécifiques que d'autres classes de motifs, de telle manière que cette spécificité additionnelle

se développe à une position ponctuelle particulière du motif. Ainsi le motif 23 est plus spécifique que le motif rythmique 3, simplement parce qu'il présente une identité mélodique supplémentaire au niveau d'un intervalle particulier du motif. Une telle stratégie de classification ne semble pas être mise en œuvre par l'écoute, et nécessiterait donc d'être revue.

Les analyses présentées par ce système peuvent paraître d'une grande simplicité, car elles ne mettent pas en œuvre, de la part de la machine, des connaissances musicales théoriques de haut niveau ni une vision formelle développée. Pourtant, dans un paradigme aussi élémentaire d'analyse motivique, aucun système informatique n'avait, pour l'instant, été capable de grouper des motifs musicaux simples, d'une manière analogue à celle engagée par l'écoute ou par une analyse musicale élémentaire. C'est ici que réside un intérêt majeur de l'approche proposée. Une telle efficacité est rendue possible en raison, principalement, de la prise en compte des mécanismes de minimisation du réseau motivique (chapitre 8) et de contrôle de la redondance combinatoire (chapitre 9).

D'autre part, non seulement l'analyse peut être validée en grande partie par l'écoute, mais elle permet de mettre en évidence des motifs que l'écoute semble pouvoir percevoir de manière implicite, sans pour autant être capable de les objectiver consciemment. Le système informatique ainsi proposé présente donc une réelle utilité, qui n'est rien d'autre que celle attendue de toute analyse.

Enfin une telle automatisation pourra être appliquée à l'analyse de grandes bases de données musicales, rendant ainsi possibles des investigations musicologiques de grande échelle ainsi que des applications industrielles.

Une faible complexité

Le système présente en outre une faible complexité, à la fois en temps et en espace :

- Pour chaque nouvelle note considérée, on détermine tout d'abord sa ou ses notes syntagmatiquement précédente. Une telle opération est évidente dans la cadre de notre restriction aux monodies : il n'y a qu'une seule note précédente. Dans un cadre polyphonique général, la multiplicité des notes précédentes reste faible, en dessous de la dizaine. Une telle complexité doit de toute manière être considérée, sous peine de perdre une part importante de l'écoute musicale.
- Chaque note précédente clôt un certain nombre de reproductions de divers schémas. Notre mécanisme de minimisation du réseau motivique par description maximale des classes associatives permet de limiter le nombre de schémas aux plus spécifiques d'entre eux, les schémas moins spécifiques — tels que les suffixes — pouvant être déduits des plus spécifiques. Le nombre des schémas associés à chaque note précédente peut ainsi être confiné à un petit nombre — en dessous de la dizaine — qui ne peut être réduit davantage, sous peine de perdre de l'information.
- Chaque schéma ainsi reproduit peut admettre un certain nombre d'extensions, que peut réaliser la nouvelle note. Le nombre de ces extensions est, une fois de plus, faible et irréductible, grâce à la minimisation du réseau motivique. L'opération effective d'extension ne pose aucun problème de complexité.
- À chaque schéma sont d'autre part associées trois relations associatives d'extension, permettant la découverte de trois types d'extension : mélo-

dique, rythmique et mélodico-rythmique. C'est ici que l'utilisation de relations associatives, c'est-à-dire de tables de hache, permet une réduction importante de la complexité. Sans ces tables, la découverte d'une extension nécessiterait le parcours de toutes les anciennes reproductions, afin d'y déceler une extension candidate. Ici, au contraire, cette recherche revient ici à une simple consultation des tables d'extension. Ici aussi, l'opération effective d'extension ne pose aucun problème de complexité.

La complexité d'une telle procédure peut donc être considérée comme quasi-linéaire, ou n-logarithmique, si l'on peut modéliser l'ensemble des multiplicités indiquées dans la liste précédente comme autant de facteur multiplicatifs logarithmiques.

De manière pratique, dans notre système — non-entièrement optimisé — les analyses du *Menuet* et du *Boléro*, composé chacun d'une centaine de notes, dure moins d'une seconde sur un *PowerPC G4* à 800 MHz.

L'écoute elle-même doit être considérée comme une procédure d'analyse mise en œuvre par un système cognitif particulièrement optimisé, pour des raisons évolutionnistes. Avant d'être détournée à des fins esthétiques, l'écoute est avant tout un instrument de survie. Elle se base en particulier sur l'associativité de la mémoire associative, dont l'efficacité semble pouvoir être mise en évidence par l'intermédiaire d'une modélisation par tables de hache. D'autre part, la musique elle-même est, en général, optimisée pour l'écoute : le compositeur joue avec certains invariants de la logique d'écoute, pour véritablement *communiquer* des structures. Qu'une modélisation cognitiviste de l'écoute musicale présente une faible complexité n'a donc rien d'étonnant.

Comparaisons

L'approche proposée dans cette thèse, vu ses résultats, se présente comme un progrès significatif de la modélisation computationnelle de l'analyse motivique. En effet, les analyses réalisées par le système informatique montrent une concordance forte avec les attentes de l'auditeur, ainsi qu'une efficacité algorithmique. Si de tels résultats ont pu être obtenus, c'est parce que ce modèle résulte d'une tentative de description minutieuse et progressive de stratégies de l'écoute, et de leur mise en œuvre progressive sous forme d'un réseau motivique. Notre étude a mis en évidence deux problématiques fondamentales issues du mécanisme de répétition motivique, dont une résolution a pu être réalisée par l'intermédiaire du réseau motivique.

Un tel concept de réseau motivique muni d'opérations de spécificité présente certaines similarités avec l'approche topologique de Chantal BUTEAU [But03], laquelle structure le vaste réseau combinatoire des motifs sous forme arborescente, afin de mettre en évidence des relations de similarité et d'inclusion. L'objectif de cette démarche n'est pas une détermination des motifs musicaux en fonction de leur répétition au sein de la partition, ce qui explique qu'elle n'ait pas été traitée dans le chapitre 5. Il s'agit ici, au contraire, d'une caractérisation de motifs en fonction de leur structuration interne, et de la multiplicité de sous-motifs qui peuvent être décelés. Ces sous-motifs n'étant régis par aucune contrainte de syntagmaticité (§ 5.3.1), la possibilité de leur détection par l'écoute peut être questionnée. En outre, les notions d'inclusions se fondent sur des distances globales établies à partir de diverses représentations musicales, distances globales dont l'implication effective sur l'écoute musicale ne semble pas faire l'unanimité

(§ 6.1.2). Quoi qu'il en soit, cette approche, qui aboutit sous la forme d'un outil computationnel, met en évidence des configurations musicales d'un grand intérêt.

11.2 Travaux futurs

L'information musicale de haut niveau

La représentation musicale considérée dans cette approche montre d'importantes limitations, car elle ne se base sur aucune échelle ni aucune métrique sous-jacente. Les intervalles mélodiques ont été exprimés en demi-tons, et les valeurs rythmiques en terme de rapports entre intervalles de durée. La prise en compte d'informations de plus haut niveau peut être effectuée de deux manières. D'un côté, l'analyse peut être appliquée directement sur la partition. Toutefois certaines échelles et métriques peuvent exister de manière implicite et ne pas être représentées directement sur la partition. D'un autre côté, ces informations peuvent être découvertes par un algorithme particulier, et être mises à la disposition du système d'analyse [Cam98] [MSJ04]. Il semblerait que la découverte de l'échelle et de la métrique nécessite une recherche schématique préalable, telle qu'une détermination d'une pulsation régulière. L'adjonction d'une telle phase pré-analytique risque donc d'apporter une certaine redondance dans la procédure.

Intégrer le contour

Nous avons intégré conceptuellement le paramètre de contour au sein de notre approche théorique, mais il reste à y ajouter des règles qui lui soient spécifiques. En effet, le contour joue un rôle majeur dans la reconnaissance motivique, mais principalement pour la reconnaissance de motifs temporellement proches : il ne peut contribuer, seul, à une mise en relation qu'entre chaînes syntagmatiques suffisamment proches temporellement. Par contre, si ce paramètre entre en conjonction avec d'autres grandeurs — telles que des valeurs rythmiques par exemple —, cette contrainte temporelle est levée. Ceci nécessite une modélisation particulière au sein des mécanismes associatifs.

Généraliser la syntagmaticité

Dans le modèle présenté, les schémas ont été définis en terme de successions de paramètres caractéristiques entre notes immédiatement successives. Une telle approche semble rendre compte de certaines caractéristiques de l'écoute, laquelle identifie effectivement les motifs par l'intermédiaire de successions caractéristiques. Toutefois il serait nécessaire d'étendre la notion de succession de note — ce que nous avons appelé la *relation syntagmatique* — aux notes non-immédiatement successives, mais pouvant être reliées les unes aux autres en raison de certaines caractéristiques, notamment spectrales. En parallèle, et suivant une démarche similaire, il est nécessaire de généraliser l'approche par la prise en compte de la polyphonie.

Les transformations musicales

De nombreuses transformations musicales peuvent être considérées, telles que les rétrogrades et inversions. Il sera alors nécessaire de questionner les conditions de possibilité de découverte de telles transformations de manière générale. On peut en effet supposer par exemple que la détection de telles transformations peut tirer parti d'identités supplémentaires, par exemple rythmiques, entre les motifs et leurs transformations.

La découverte de schémas stylistiques

Si une telle démarche d'automatisation de l'analyse motivique peut aboutir, il peut être envisagé par la suite d'attaquer des schémas musicaux stylistiques de plus grande complexité, tels que de accords classés, des progressions d'accords, des structures tonales, etc.

11.3 Conclusion

Capturer la complexité musicale

La méthode développée dans cette thèse, qui n'en est qu'à ses débuts, a pour objectif de permettre une analyse détaillée de la richesse musicale. Pourtant, à l'état actuel de nos recherches, il ne nous est pas encore possible de rendre compte de la *polyphonie*. De ce point de vue, le travail entrepris ici n'a pas permis d'élever l'analyse musicale systématique de la dimension monodique sur laquelle elle reste souvent cantonnée :

Malgré le considérable développement de l'analyse musicale au cours du vingtième siècle, on constate la persistante difficulté qu'elle éprouve pour aborder un des faits constituants majeurs du phénomène musical : la polyphonie.¹

Néanmoins, l'approche entreprise permet la mise en évidence d'une multiplicité de logiques motiviques parallèles, ce qui offre une voie d'entrée appréciable vers l'étude d'une certaine forme de polyphonie que CHOUVEL nomme *polysémie* :

Il faut ici comprendre le terme de polyphonie au sens large, c'est-à-dire, au delà de la tradition contrapuntique issue de la pratique vocale occidentale, au sens d'une perception simultanée de phénomènes différents, voire au sens de la génération par le même phénomène d'ambiguïtés sémantiques (ce qu'il convient d'appeler polysémie).²

Une musicologie expérimentale

On peut éprouver un certain malaise devant la table rase imposée dans cette étude, qui se refuse toute notion de tonalité et de métrique en particulier. Mais cela semblait ici nécessaire, car l'intégration de telles connaissances aurait entraîné le surgissement de difficultés supplémentaires, et aurait réduit le champ

¹[Cho02], p. 287.

²*Ibid.*

d'application. Ce n'est que de manière lente et progressive que des considérations musicales de plus haut niveau doivent être modélisées et intégrées dans le système computationnel.

Vers une modélisation cognitive

De nombreuses hypothèses proposées dans cette thèse ont été découvertes lors de l'expérimentation des versions progressives du modèle computationnel. Chacune d'entre elle a été ajoutée au modèle dans un double souci d'amélioration des capacités et des performances du système, mais également et surtout de simplicité et de pertinence intuitive.

Un tel modèle de l'écoute musicale ne peut pas être considéré comme « cognitif », car il n'a pas été constitué suivant une véritable démarche multidisciplinaire, incluant une validation psychologique expérimentale voire neuronale. Il prétend cependant offrir une esquisse à une telle modélisation. L'intérêt principal de notre méthode réside dans la mise en œuvre d'un système cognitiviste, fondé sur un substrat algorithmique. Si la cognition humaine est régie par des règles explicites formalisables, alors son fonctionnement peut être partiellement simulé par un modèle mathématique. De tels systèmes, qu'ils fonctionnent tels quels dans le cerveau où qu'ils soient modélisés dans une abstraction, mettent en œuvre des propriétés mathématiques particulières. Le fonctionnement d'un système cognitif virtuel peut alors servir d'hypothèse de base à la compréhension du système cognitif humain, comme l'explique David TEMPERLEY :

The mere fact that a model performs a process successfully certainly does not prove that the process is being performed cognitively in the same way. However, if a model does *not* perform a process successfully, then one knows that the process is *not* performed cognitively in that way. If the model succeeds in its purpose, then one has at least a hypothesis for how the process might be performed cognitively, which can then be tested by other means.³

Le prototype cognitiviste envisagé ici permettra donc de mettre en évidence des conditions nécessaires au bon fonctionnement d'un véritable système cognitif réel. Un tel système virtuel peut ensuite être accaparé par les autres disciplines cognitives, et notamment être consolidé par des expérimentations en psychologie expérimentale ou en neurologie. Enfin, une telle modélisation cognitiviste, conçue en termes algorithmiques, peut ensuite être envisagée suivant une forme connexionniste, plus proche de la réalité computationnelle cérébrale.

³[Tem88], p. 6.

Troisième partie

Appendices

Annexe A

Analyses

A.1 *Menuet, k1, de Mozart.*

L'analyse d'une des premières œuvres de jeunesse de MOZART, malgré l'apparente simplicité de celle-ci, dégage déjà un vaste réseau de correspondances motiviques (figures A.1 et A.2).

- La ligne 0 représente la séquence totale analysée. En raison de la restriction de notre approche à des monodies, il a fallu dans un premier temps conserver du menuet la mélodie supérieure.
- Le motif 1 est rythmique : il s'agit d'une séquence du type noire - deux croches, qui ne connaît ici ni augmentation ni diminution.
- Le motif 2 est une extension du motif rythmique précédent. Le motif 1 n'est pas inclus dans le motif 2 en tant que préfixe, car le motif 2 présente un enrichissement mélodique concernant l'intervalle d'unisson entre les troisième et quatrième notes.
- Le motif 3 est mélodico-rythmique dont le motif rythmique est le motif 2.
- Le motif 4 est rythmique sur toute son étendue, mais également mélodique au niveau de la trille. Il est intéressant de constater que le motif rythmique n'incorpore pas les notes précédentes, malgré la régularité rythmique qu'elles présentent. Ces notes précédentes forment en fait une séquence de pulsations rebouclées. La séquence périodique précédant chaque reproduction du motif 4 est de taille différente. Il n'est donc pas possible de pouvoir déterminer une séquence rythmique commune. Ceci explique pourquoi on ne peut pas étendre des reproductions rebouclés.
- Le motif 5 est mélodico-rythmique.
- Le motif 6 consiste en toutes les séquences rythmiques composées d'une reproduction successive d'une pulsation constante.
- Le motif 7 est un cas particulier du motif 6, tel que le premier intervalle est une composé de deux demi-tons.
- Le motif 8 est la trille mélodico-rythmique.
- Le motif 9 est mélodico-rythmique sur ses trois premières notes puis rythmique par la suite.
- Le motif 10 est uniquement mélodique sur ses quatre premières notes, puis mélodico-rythmique, en enfin uniquement rythmique pour sa dernière note. Notons la présence d'un préfixe de quatre notes.

The image displays a musical score for the Minuet in G major, K. 1, by Wolfgang Amadeus Mozart. The score is presented on eight staves, numbered 0 through 7. Staff 0 is the top staff, containing the main melodic line. Staves 1, 2, and 3 show the accompaniment, with staves 1 and 2 containing boxed annotations of specific rhythmic patterns. Staves 4 and 5 show the left hand's accompaniment, with staff 4 containing boxed annotations of sixteenth-note runs. Staves 6 and 7 show the right hand's accompaniment, with staff 6 containing boxed annotations of sixteenth-note runs. The score includes various musical notations such as notes, rests, and dynamic markings, along with several boxed annotations highlighting specific musical features.

FIG. A.1 – Analyse du Menuet, K1, de MOZART.

The image displays a musical score for the Minuet in G major, K. 1, by Mozart, specifically measures 8 through 15. The score is written for a single melodic line on a grand staff. Measures 8 and 9 feature sixteenth-note runs. Measures 10 through 15 show a sequence of eighth-note patterns with various rests and phrasing. The notation includes treble clefs, a key signature of one sharp (F#), and a 3/4 time signature. The measures are numbered 8 through 15 on the left side of the staff.

FIG. A.2 – Analyse du Menuet, K1, de MOZART (suite).

- Le motif 11 est mélodique.
- Le motif 12 également. Remarquons le tuilage de deux reproductions.
- Le motif 13 est d’abord mélodique, puis rythmique. Il est à noter que la caractéristique rythmique consiste en une reproduction successive de pulsation, qui constitue la trame périodique dont la première occurrence est un groupement émergent. Si l’extension, bien que non émergente a bien lieu, c’est parce que la deuxième reproduction du motif 13, par contre, n’est pas issue d’une telle trame périodique.
- Le motif 14 est mélodico-rythmique. Si les quatre notes précédant la première reproduction ne forment pas un tel motif, c’est parce qu’ils ne sont pas composés des mêmes intervalles exacts.
- Le motif 15 est principalement mélodique.

L’analyse qui vient d’être présentée ici résulte directement du programme informatique. Est décrite ici l’intégralité des structures découvertes par la machine, et dans leur ordre effectif de présentation au sein du logiciel. Aucune sélection n’a donc été apportée, si ce n’est le simple rejet des motifs de moins de quatre notes. Le système informatique présenté dans cette thèse réussit ainsi pour la première fois à détecter au sein d’une séquence musicale, des motifs musicaux qui corroborent avec l’intuition de l’auditeur.

Mais il doit être reconnu qu’un tel système d’analyse n’a pas encore atteint un degré de maturité suffisant pour pouvoir véritablement embrasser l’intégralité de la richesse de cette œuvre, aussi simple soit-elle.

A.2 *Boléro* de Ravel

Nous proposons maintenant une analyse du premier thème du *Boléro* de RAVEL (figures A.3 à A.7).

- Le motif 1 présente une petite cellule rythmique — noire pointée, deux doubles croches — qui peut facilement passer inaperçu, mais qui, une fois découvert, semble apporter une information intéressante sur un aspect particulier de la configuration motivique.
- Le motif 2 est d’abord mélodico-rythmique sur ses trois premières notes, puis présente par la suite une simple succession rythmique de double-croches.
- Le motif 3 rend compte de la simple succession rythmique de double-croches.
- Le motif 4 est une figure mélodique ascendante puis descendante, qui se termine par une petite forme rythmique.
- Le motif 5 est une ornementation mélodico-rythmique.
- Le motif 6 est une petite inflexion mélodique prolongée par une succession rythmique de double-croches.
- Le motif 7 est un mouvement mélodique descendant prolongé par une succession rythmique de double-croches.
- Le motif 8 est un mouvement mélodico-rythmique descendant.
- Le motif 9 est une cellule mélodico-rythmique de trois notes, qui peut être éventuellement prolongée d’une succession rythmique de double-croches.
- Le motif 10 est une extension du préfixe mélodico-rythmique du motif 9 par une quatrième note.
- Les motifs 11 et 12 sont rythmiques.

- Le motif 13 est une extension du motif 3, prolongé d'une inflexion mélodique de trois notes. Ce motif montre deux limitations du système. D'une part, il est difficilement identifiable par l'auditeur, car les deux occurrences de ce motif ne sont pas disposés de la même manière sur la pulsation de croches sous-jacente : l'un commence sur une pulsation, l'autre sur le contre-temps de cette pulsation. D'autre part, les occurrences suivantes du motif, étant des préfixes, ne devraient pas être représentés ici, mais plutôt comme préfixe du motif 3.
- Le motif 14 présente un problème similaire.
- Le motif 15 est mélodico-rythmique, puis rythmique pour la dernière note.
- Les motifs 16 et 17 sont rythmiques.
- Le motif 18 est d'abord mélodique, puis rythmique.
- Le motif 19 est mélodique.
- Le motif 20 est mélodique, et aussi rythmique sur sa fin.
- Le motif 21 est un préfixe du motif 16, présentant une spécificité mélodique sur ses trois dernières notes.
- Le motif 22 est mélodique.
- Le motif 23 est un préfixe du motif 3, présentant une spécificité mélodique sur ses deux dernières notes.
- Le motif 24 est mélodico-rythmique.
- Etc.
- Le motif 38 est aisément découvert par l'auditeur. Si la dernière note n'appartient pas à ce motif, c'est en raison du fait que ce motif est rebouclé rythmiquement. Dans la première reproduction, la note en question étend en fait une nouvelle reproduction du motif. Par contre, cette note est incluse dans ce motif, lorsqu'il n'est plus considéré comme rebouclé. Il s'agit alors du motif 37.
- Le motif 39 enrichi le motif 38 d'une identité mélodique particulière concernant l'intervalle de tierce descendante entre les septième et huitième notes.
- Le motif 40 est une extension du motif 38 qui présente elle-même un rebouclage rythmique.

The image displays a musical score for the Bolero by Maurice Ravel, consisting of nine staves. The notation is as follows:

- Staff 0:** A single melodic line with a complex, rhythmic pattern of eighth and sixteenth notes.
- Staff 1:** A melodic line with a few notes, including some beamed eighth notes.
- Staff 2:** A melodic line with two measures, each containing a beamed eighth-note figure, enclosed in a rectangular box.
- Staff 3:** A melodic line with several measures, each containing a beamed eighth-note figure, all enclosed in rectangular boxes.
- Staff 4:** A melodic line with two measures, each containing a beamed eighth-note figure, enclosed in rectangular boxes.
- Staff 5:** A melodic line with two measures, each containing a beamed eighth-note figure, enclosed in rectangular boxes.
- Staff 6:** A melodic line with three measures, each containing a beamed eighth-note figure, enclosed in rectangular boxes.
- Staff 7:** A melodic line with four measures, each containing a beamed eighth-note figure, enclosed in rectangular boxes.
- Staff 8:** A melodic line with two measures, each containing a beamed eighth-note figure, enclosed in rectangular boxes.

FIG. A.3 – Analyse du Boléro de RAVEL.

The image displays a musical score for the Boléro by Maurice Ravel, specifically measures 9 through 17. The score is written for a string quartet, with each instrument (Violin I, Violin II, Viola, and Cello/Double Bass) represented by a separate staff. The music is in 3/4 time and features a characteristic slow, steady tempo. The notation includes various rhythmic patterns, such as eighth and sixteenth notes, and rests. The score is annotated with rectangular boxes highlighting specific musical phrases or motifs across the different staves. The page number 231 is printed vertically on the left side of the page.

FIG. A.4 – Analyse du Boléro de RAVEL (suite).

The image displays a musical score for the Boléro by Maurice Ravel, specifically measures 18 through 26. The score is written for a string quartet, with each instrument (Violin I, Violin II, Viola, and Violoncello) represented by a separate staff. The notation is in treble clef. Measures 18-26 show a complex rhythmic and melodic structure. Measures 18-20 feature a prominent rhythmic motif of eighth notes. Measures 21-23 show a more melodic line with eighth notes. Measures 24-26 continue the melodic development with eighth notes. The score is annotated with various musical symbols, including accents, slurs, and dynamic markings, indicating the performance style. The page number 232 is printed vertically on the left side of the page.

FIG. A.5 – *Analyse du Boléro de RAVEL (suite).*

The image displays a musical score for the Boléro by Maurice Ravel, specifically measures 27 through 35. The score is written for a string quartet, with each instrument (Violin I, Violin II, Viola, and Violoncello) represented by a separate staff. The notation is in treble clef and features a complex, rhythmic pattern of eighth and sixteenth notes, characteristic of the piece's signature 'tombé' rhythm. The measures are numbered on the left side of the staves, from 27 at the top to 35 at the bottom. The music is presented in a clean, black-and-white format, with no dynamics or articulation markings visible.

FIG. A.6 – *Analyse du Boléro de RAVEL (suite).*

The image displays a musical score for the final section of Bolero by Maurice Ravel, covering measures 36 through 43. The score is written for a string quartet, with each instrument (Violin I, Violin II, Viola, and Violoncello) represented by a separate staff. The notation is in treble clef. Measures 36 and 43 feature sparse, chordal textures. Measures 37, 38, and 39 are characterized by dense, rhythmic patterns of sixteenth notes, with overlapping lines between the instruments. Measures 40, 41, and 42 show a return to a more rhythmic, eighth-note pattern, with some instruments playing in a more active role than others. The overall texture is dense and rhythmic, typical of the Bolero style.

FIG. A.7 – Analyse du Boléro de RAVEL (suite et fin).

Annexe B

Code

```
(in-package :om)

(defvar *kh_note_counter* 0
  "")

(defvar *kh_node_counter* 0
  "")

(defvar *kh_occurrence_counter* 0
  "")

(defvar *kh_print* 0
  "")

(defvar *kh_note* 0
  "")

(defvar *kh_root* 0
  "")

(defclass kh_object ()
  ((kh_address :type integer :accessor kh_address :initarg :kh_address)))

(defclass kh_description ()
  ((kh_interpitch :type t :accessor kh_interpitch :initarg :kh_interpitch :initform nil)
   (kh_rhythm :type number :accessor kh_rhythm :initarg :kh_rhythm :initform nil)))

(defmethod kh_equal ((d kh_description) (e kh_description))
  (and (equal (kh_interpitch d) (kh_interpitch e))
       (equal (kh_rhythm d) (kh_rhythm e))))

(defmethod kh_equal_or_specific ((d kh_description) (e kh_description))
  (and (or (not (kh_interpitch e))
           (if (typep (kh_interpitch e) 'number)
               (equal (kh_interpitch d) (kh_interpitch e))
               (if (typep (kh_interpitch d) 'number)
                   (kh_same_contour (kh_interpitch e) (kh_interpitch d))
                   (equal (kh_interpitch d) (kh_interpitch e))))))
       (or (not (kh_rhythm e))
           (equal (kh_rhythm d) (kh_rhythm e)))))

(defclass kh_pattern (kh_object)
  ((kh_last :type t :accessor kh_last :initform nil :initarg :kh_last)
   (kh_description :type kh_description :accessor kh_description :initarg :kh_description :initform (make-instance 'kh_description))
   (kh_occurrence :type list :accessor kh_occurrence :initform nil)
   (kh_children :type list :accessor kh_children :initform nil)
   (kh_interpitch_associative_memory :type t :accessor kh_interpitch_associative_memory :initform (make-hash-table))
   (kh_contour_associative_memory :type t :accessor kh_contour_associative_memory :initform (make-hash-table))
   (kh_rhythm_associative_memory :type t :accessor kh_rhythm_associative_memory :initform (make-hash-table))
   (kh_interpitch_cyclic :type t :accessor kh_interpitch_cyclic :initarg :kh_interpitch_cyclic :initform nil)
   (kh_rhythm_cyclic :type t :accessor kh_rhythm_cyclic :initarg :kh_rhythm_cyclic :initform nil)
   (kh_general :type list :accessor kh_general :initarg :kh_general :initform nil)
   (kh_specific :type list :accessor kh_specific :initarg :kh_specific :initform nil)))

(defmethod kh_equal_or_specific ((o kh_pattern) (p kh_pattern))
  (and (kh_equal_or_specific (kh_description o) (kh_description p))
       (or (not (kh_last p))
           (and (kh_last o)
                (kh_equal_or_specific (kh_last o) (kh_last p))))))

(defmethod kh_more_general ((o kh_object) (p kh_object))
  (or (member o (kh_general p))
      (loop for g in (kh_general p)
```

```

        thereis (kh_more_general o g)))

(defmethod kh_level ((pattern kh_pattern))
  (if (kh_last pattern)
      (1+ (kh_level (kh_last pattern)))
      0))

(defmethod kh_interpitch ((pattern kh_pattern))
  (kh_interpitch (kh_description pattern)))

(defmethod kh_contour ((pattern kh_pattern))
  (kh_contour (kh_description pattern)))

(defmethod kh_rhythm ((pattern kh_pattern))
  (kh_rhythm (kh_description pattern)))

(defclass kh_temporal_object (kh_object)
  ((kh_from :type list :accessor kh_from :initform nil)
   (kh_to :type list :accessor kh_to :initform nil)
   (kh_node :type kh_pattern :accessor kh_node :initarg :kh_node :initform *kh_note*)
   (kh_upto :type list :accessor kh_upto :initform nil)))

(defclass kh_occurrence (kh_temporal_object)
  ((kh_last :type t :accessor kh_last :initarg :kh_last :initform nil)
   (kh_param :type list :accessor kh_param :initarg :kh_param :initform nil)
   (kh_next :type list :accessor kh_next :initform nil)
   (kh_general :type list :accessor kh_general :initarg :kh_general :initform nil)
   (kh_specific :type list :accessor kh_specific :initarg :kh_specific :initform nil)))

(defmethod kh_intertime ((occurrence kh_occurrence))
  (and (kh_last occurrence)
       (- (kh_time (kh_param occurrence)) (kh_time (kh_param (kh_last occurrence))))))

(defmethod kh_rhythm ((occurrence kh_occurrence))
  (and (kh_last occurrence)
       (kh_last (kh_last occurrence))
       (kh_ratio (kh_intertime occurrence) (kh_intertime (kh_last occurrence)))))

(defmethod kh_level ((occurrence kh_occurrence))
  (if (kh_last occurrence)
      (1+ (kh_level (kh_last occurrence)))
      0))

(defmethod kh_equal_or_specific ((o kh_occurrence) (p kh_occurrence))
  (kh_equal_or_specific (kh_node o) (kh_node p)))

(defclass kh_note (kh_temporal_object)
  ((kh_pitch :type integer :accessor kh_pitch :initarg :kh_pitch)
   (kh_duration :type integer :accessor kh_duration :initarg :kh_duration)
   (kh_time :type integer :accessor kh_time :initarg :kh_time)))

(defclass kh_syntagmatic_relation ()
  ((kh_from :type kh_from :accessor kh_from :initarg :kh_from)
   (kh_to :type kh_to :accessor kh_to :initarg :kh_to)))

(defmethod kh_description ((occurrence kh_occurrence))
  (kh_description (kh_node occurrence)))

(defmethod kh_description_chain ((relation kh_syntagmatic_relation) (occurrence kh_occurrence))
  (make-instance 'kh_description :kh_interpitch (kh_interpitch relation) :kh_rhythm (kh_rhythm_ratio relation occurrence)))

(defmethod kh_interpitch ((relation kh_syntagmatic_relation))
  (- (kh_pitch (kh_to relation)) (kh_pitch (kh_from relation))))

(defun kh_same_contour (contour interpitch)
  (apply contour (list interpitch)))

(defun kh_ascending (interpitch)
  (> interpitch 0))

(defun kh_descending (interpitch)
  (< interpitch 0))

(defun kh_constant (interpitch)
  (= interpitch 0))

(defmethod kh_contour ((relation kh_syntagmatic_relation))
  (let ((interpitch (kh_interpitch relation)))
    (if (kh_ascending interpitch)
        (kh_ascending interpitch)
        (kh_descending interpitch)))))

```

```

      #'kh_ascending
      (if (kh_descending interpitch)
          #'kh_descending
          #'kh_constant)))

(defmethod kh_intertime ((relation kh_syntagmatic_relation))
  (- (kh_time (kh_to relation)) (kh_time (kh_from relation))))

(defun kh_rhythm_ratio (r s)
  (and (kh_intertime s)
       (kh_ratio (kh_intertime r) (kh_intertime s))))

(defmethod! kh_analyze ((midi list) (meta t) (print t))
  :initvals '(nil nil nil)
  :indoc '("a MIDI sequence" "meta option" "printing option")
  :icon 128
  :numouts 0
  :doc "Analyzes the MIDI sequence. (More precisely: the first MIDI channel.)

inputs:
midi: a MIDI sequence
meta: if true, also finds meta-patterns of patterns
print: if true, print discovered patterns in the Listener

output:
no.
"
  :menuins ((1 ("no meta analysis" 'nil)
               ("meta analysis" 't))
            (2 ("print in Listener" 't)
               ("no print" 'nil))))
  (setf *kh_note_counter* 0)
  (setf *kh_node_counter* -2)
  (setf *kh_occurrence_counter* 0)
  (setf *kh_print* print)
  (setf *kh_root* (make-instance 'kh_pattern
                                :kh_address (incf *kh_node_counter*)))
  (setf *kh_note* (make-instance 'kh_pattern
                                :kh_address (incf *kh_node_counter*)))
  (setf *kh_syntagm* (make-instance 'kh_pattern
                                   :kh_address (incf *kh_node_counter*)
                                   :kh_last *kh_root*))
  (setf (kh_children *kh_root*) (cons *kh_syntagm* (kh_children *kh_root*)))
  (loop for event in (car midi)
        do
          (progn (incf *kh_note_counter*)
                 (let ((note (make-instance 'kh_note
                                             :kh_address *kh_note_counter*
                                             :kh_time (second event)
                                             :kh_pitch (first event)
                                             :kh_duration (third event))))
                   (push note (kh_occurrence *kh_note*))
                   (kh_print note)
                   (kh_instantiate note))))))

(defmethod! kh_analyze ((midifile Midifile) (meta t) (print t))
  (kh_analyze (mf-info midifile) meta print))

(defun kh_previous (event)
  (cadr (member event (kh_occurrence (kh_node event)))))

(defmethod kh_instantiate ((event kh_object))
  (if (kh_previous event)
      (loop for old_event in (kh_previous event)
            do (kh_instantiate (make-instance 'kh_syntagmatic_relation
                                              :kh_from old_event
                                              :kh_to event)))
      (kh_link (kh_instantiate_node nil event *kh_root*) nil)))

(defmethod kh_instantiate ((relation kh_syntagmatic_relation))
  (push relation (kh_from (kh_from relation)))
  (push relation (kh_to (kh_to relation)))
  (kh_run (kh_upto (kh_from relation))
          #'kh_extend
          (list relation))
  (let ((most_general (kh_most_general (kh_upto (kh_to relation)))))
      (kh_link (kh_instantiate_node nil (kh_to relation) *kh_root*) most_general))
  (kh_run (kh_upto (kh_from relation))
          #'kh_develop_test
          (list relation)))

(defun kh_extend (old_occurrence relation)
  (push (list old_occurrence relation)
        (gethash (kh_interpitch relation) (kh_interpitch_associative_memory (kh_node old_occurrence))))
  (or (member (kh_interpitch relation) (gethash (kh_contour relation) (kh_contour_associative_memory (kh_node old_occurrence))))
      (push (kh_interpitch relation) (gethash (kh_contour relation) (kh_contour_associative_memory (kh_node old_occurrence))))
      (and (kh_last (kh_node old_occurrence))
           (push (list old_occurrence relation)
                 (gethash (kh_ratio (kh_intertime relation) (kh_intertime old_occurrence))
                          (kh_ratio_associative_memory (kh_node old_occurrence)))))))

```

```

(kh_rhythm_associative_memory (kh_node old_occurrence))))
(kh_remember_test relation old_occurrence))

(defun kh_run (list function arg)
  (let ((remaining (copy-list list)))
    (labels ((recurs (element)
              (and (member element remaining)
                   (progn
                    (loop for specific in (kh_specific element)
                          when (not (member specific (kh_general element)))
                            do (recurs specific))
                    (and (member element remaining)
                         (apply function (cons element arg)))
                    (setq remaining (remove element remaining :test #'equal))
                    (loop for general in (kh_general element)
                          do (recurs general))))))
      (loop for element in (kh_most_specific list)
            do (recurs element))))))

(defun kh_most_specific (list)
  (loop for occ in list
        with most_specific = nil
        do (progn
            (setf most_specific (delete-if #'(lambda (x) (kh_equal_or_specific occ x))
                                           most_specific))
            (or (some #'(lambda (x) (kh_equal_or_specific x occ))
                  most_specific)
                (push occ most_specific)))
        finally return most_specific))

(defun kh_most_general (list)
  (loop for occ in list
        with most_general = nil
        do (progn
            (setf most_general (delete-if #'(lambda (x) (kh_equal_or_specific x occ))
                                           most_general))
            (or (some #'(lambda (x) (kh_equal_or_specific occ x))
                  most_general)
                (push occ most_general)))
        finally return (progn
                        most_general)))

(defun kh_remember_test (relation occurrence)
  (kh_run (kh_children (kh_node occurrence))
          #'kh_child_test
          (list relation occurrence)))

(defun kh_child_test (child relation occurrence)
  (and (kh_equal_or_specific (kh_description_chain relation occurrence) (kh_description child))
       (not (member child (kh_upto (kh_to relation) :key #'kh_node))
            (or (not (kh_cycling occurrence (kh_description child) (kh_to relation))
                  (equal child (second (kh_enumerate (kh_node occurrence))))
                  (equal child (third (kh_enumerate (kh_node occurrence))))
                  (or (typep (kh_from relation) 'kh_note)
                      (not (member child (kh_next (kh_from relation)) :key #'kh_node))
                      (kh_remember (kh_to relation) occurrence child))))))

(defun kh_remember (new_element occurrence n)
  (let ((newocc (kh_instantiate_node occurrence new_element n))
        (kh_check_cyclic newocc)
        (kh_link newocc (kh_new_most_specific
                        (if (> (kh_level n) (kh_level (kh_node occurrence)))
                            occurrence
                            (loop for occ in (kh_upto (kh_param occurrence))
                                  when (equal (kh_node occ) (kh_last n))
                                    return occ))
                        (kh_description n)))
        newocc))

(defun kh_new_specific (occurrence description)
  (loop for occ in (let ((list_specific nil))
                    (labels ((recurs (o)
                              (and (not (member o list_specific))
                                   (push o list_specific))
                              (loop for s in (kh_specific o)
                                    when (not (member o (kh_specific s)))
                                      do (recurs s))))
                      (recurs occurrence)
                      list_specific))
        append (loop for next in (kh_next occ)
                    when (and (kh_equal_or_specific (kh_description next) description)
                              (not (and (equal occ occurrence)
                                         (equal description (kh_description next)))))
                  collect next)))

(defun kh_new_most_specific (occurrence description)
  (kh_most_general (loop for occ in (let ((list_specific nil))
                                     (labels ((recurs (o)
                                               (and (not (member o list_specific))
                                                    (push o list_specific))
                                               (loop for s in (kh_specific o)
                                                     do (recurs s))))
                                       (recurs occurrence)
                                       list_specific))
                   collect next)))

```

```

                                when (not (member o (kh_specific s)))
                                  do (recurs s)))
      (recurs occurrence)
      list_specific)
  append (loop for next in (kh_next occ)
          when (and
                (> (kh_level (kh_node next)) (kh_level (kh_node occ)))
                (kh_equal_or_specific (kh_description next) description)
                (not (and (equal occ occurrence)
                          (equal description (kh_description next))))))
          collect next)))

(defun kh_new_most_general (occurrence description)
  (kh_most_specific (loop for occ in (let ((list_general nil))
                                       (labels ((recurs (o)
                                                (and (not (member o list_general))
              (push o list_general)
              (loop for s in (kh_general o)
                    when (not (member o (kh_general s)))
                    do (recurs s)))
              (recurs occurrence)
              list_general))
                 append (loop for next in (kh_next occ)
                             when (progn
                                     (and (> (kh_level (kh_node next)) (kh_level (kh_node occ)))
                                     (kh_equal_or_specific description (kh_description next))
                                     (not (and (equal occ occurrence)
                                               (equal description (kh_description next))))))
                             collect next))))))

(defun kh_develop_test (occurrence relation)
  (let* ((interpitch (kh_interpitch relation))
        (contour (kh_contour relation))
        (rhythm (and (kh_last occurrence)
                     (kh_rhythm_ratio relation occurrence)))
        (interpitch_hash (progn
                          (gethash interpitch (kh_interpitch_associative_memory (kh_node occurrence))))))
        (contour_hash (loop for interpitches in (gethash contour (kh_contour_associative_memory (kh_node occurrence)))
                           append (gethash interpitches (kh_interpitch_associative_memory (kh_node occurrence))))))
        (rhythm_hash (gethash rhythm (kh_rhythm_associative_memory (kh_node occurrence))))
        (intersect_hash (kh_intersect interpitch_hash rhythm_hash)))
    (progn (and rhythm
                (not (equal (kh_node occurrence) *kh_root*))
                (not (equal (kh_node occurrence) *kh_syntagm*)))
            (progn (kh_associative_test occurrence
                                         (make-instance 'kh_description :kh_interpitch interpitch :kh_rhythm rhythm)
                                         (kh_intersect interpitch_hash rhythm_hash)
                                         (kh_to relation))
                  #|
                  (kh_associative_test occurrence
                                       (make-instance 'kh_description :kh_interpitch contour :kh_rhythm rhythm)
                                       (kh_intersect contour_hash rhythm_hash)
                                       (kh_to relation))
                  |#
            ))
    (and (not (equal (kh_node occurrence) *kh_syntagm*))
         (or (equal (kh_node occurrence) *kh_root*
                    (kh_interpitch (kh_description (kh_node occurrence))))))
        (progn (kh_associative_test occurrence
                                     (make-instance 'kh_description :kh_interpitch interpitch)
                                     interpitch_hash
                                     (kh_to relation))
              #|
              (kh_associative_test occurrence
                                    (make-instance 'kh_description :kh_interpitch contour)
                                    contour_hash
                                    (kh_to relation))
              |#
            ))
    (and rhythm
         (not (equal (kh_node occurrence) *kh_root*))
         (kh_associative_test occurrence (make-instance 'kh_description :kh_rhythm rhythm) rhythm_hash (kh_to relation))))))

(defun kh_associative_test (occurrence description class new_element)
  (and (not (kh_cycling occurrence description new_element))
       (not (loop for child in (kh_children (kh_node occurrence))
                 thereis (and (> (length (kh_enumerate child)) (length (kh_enumerate occurrence)))
                              (kh_equal (kh_description child) description))))
       (let* ((uncyclic_class (loop for occ in class
                                   when (not (kh_cycling (car occ) description nil))
                                   collect occ))
             (card (length uncyclic_class)))
         (and (> card 1)
              (and (not (loop for specific in (kh_new_specific occurrence description)
                              thereis (and
                                        (not (and (<= (kh_level (kh_node specific)) (kh_level (kh_node occurrence)))
                                                  (<= card
                                                    (length (kh_occurrence (kh_node specific))))))
                              (not (loop for occ in (kh_upto (kh_param occurrence))
                                      thereis (and ;(print ">")
                                                  (kh_more_general occ occurrence)
                                                  (member description (kh_next occ) :key #'kh_description :test #'kh_equal)
                                                  (> (kh_level occ) (kh_level occurrence))))))
                    (kh_develop (kh_node occurrence) uncyclic_class description
                                  (kh_new_most_specific occurrence description)
                                  (kh_new_most_general occurrence description) occurrence))))))

```

```

(defun kh_cycling (occurrence description new_element)
  (or (and (not (kh_rhythm description))
           (kh_interpitch_cyclic occurrence)
           (kh_equal_or_specific (kh_description (second (kh_enumerate occurrence))) description))
      (kh_rhythm_cyclic occurrence)))

(defun kh_check_cyclic (newocc)
  (and (kh_interpitch (kh_description newocc))
       (let ((oldocc (member (kh_node newocc) (kh_upto (kh_param (first (kh_enumerate newocc))) :key #'kh_node)))
             (and oldocc
                  (progn
                   (setf (kh_last (second (kh_enumerate newocc))) (car oldocc))
                   (push (second (kh_enumerate newocc)) (kh_next (car oldocc)))
                   (setf (kh_interpitch_cyclic (kh_node newocc)) t))))))
       (and (kh_rhythm (kh_description newocc))
            (let* ((oldocc (member (kh_node newocc) (kh_upto (kh_param (second (kh_enumerate newocc))) :key #'kh_node))
                  (same_interpitch (and oldocc
                                         (equal (kh_interpitch (kh_description (kh_node newocc)))
                                               (kh_interpitch (kh_description (kh_node (car oldocc))))))))
              (and oldocc
                   (or (> (length (kh_enumerate newocc)) 3)
                       (= (kh_rhythm newocc) 1))
                   (progn (setf (kh_last (third (kh_enumerate newocc))) (car oldocc))
                          (push (third (kh_enumerate newocc)) (kh_next (car oldocc)))
                          (and same_interpitch
                              (setf (kh_rhythm_cyclic (kh_node newocc)) t))))))))))

(defmethod kh_interpitch_cyclic ((occurrence kh_occurrence))
  (and (kh_interpitch (kh_description (kh_node occurrence)))
       (first (kh_enumerate occurrence))
       (equal (kh_node (first (kh_enumerate occurrence))) (kh_node occurrence))))

(defmethod kh_rhythm_cyclic ((occurrence kh_occurrence))
  (and (kh_rhythm (kh_description (kh_node occurrence)))
       (second (kh_enumerate occurrence))
       (equal (kh_node (second (kh_enumerate occurrence))) (kh_node occurrence))))

(defun kh_develop (node class description specific general occurrence)
  (let ((newnode (make-instance 'kh_pattern
                               :kh_address (incf *kh_node_counter*)
                               :kh_last node
                               :kh_description description)
        (newoccurrence nil)
        (setf (kh_children node) (cons newnode (kh_children node)))
        (loop for selected in (loop for assoc in (sort (copy-list class) #'< :key #'(lambda (x) (kh_time (kh_param (car x))))))
              when (not (kh_cycling (car assoc) description nil))
                collect assoc)
          do (or (let ((newocc (kh_instantiate_node (car selected) (kh_to (cadr selected)) newnode))
                    (loop for relation in (kh_from (kh_to (cadr selected)))
                        do (progn
                           (push (list newocc relation)
                                   (gethash (kh_interpitch relation) (kh_interpitch_associative_memory newnode)))
                           (or (member (kh_interpitch relation)
                                       (gethash (kh_contour relation) (kh_contour_associative_memory newnode)))
                               (push (kh_interpitch relation)
                                       (gethash (kh_contour relation) (kh_contour_associative_memory newnode)))
                               (push (list newocc relation)
                                       (gethash (kh_rhythm_ratio relation (cadr selected)) (kh_rhythm_associative_memory newnode))))
                           (kh_check_cyclic newocc)
                           (if (equal (car selected) occurrence)
                               (setq newoccurrence newocc))))
                    (loop for s in specific
                        do (progn (if (not (member newnode (kh_general (kh_node s))))
                                    (push newnode (kh_general (kh_node s)))
                                    (if (not (member (kh_node s) (kh_specific newnode)))
                                        (push (kh_node s) (kh_specific newnode))))))
                    (loop for g in general
                        do (progn (if (not (member newnode (kh_specific (kh_node g))))
                                    (push newnode (kh_specific (kh_node g)))
                                    (if (not (member (kh_node g) (kh_general newnode)))
                                        (push (kh_node g) (kh_general newnode))))))
                    (kh_print newnode)
                    (kh_interlink newoccurrence specific general)))
          (kh_print newnode)
          (kh_interlink newoccurrence specific general)))

(defun kh_link (newoccurrence specific)
  (loop for s in specific
      when (not (member newoccurrence (kh_general s)))
      do (progn (push newoccurrence (kh_general s))
                (push s (kh_specific newoccurrence))))))

(defun kh_interlink (newoccurrence specific general)
  (kh_link newoccurrence specific)
  (loop for g in general
      when (not (member newoccurrence (kh_specific g)))
      do (progn (push newoccurrence (kh_specific g))
                (push g (kh_general newoccurrence))))
  (loop for s in specific
      do (loop for g in general
              do (progn (setf (kh_specific g) (delete s (kh_specific g)))
                        (setf (kh_general s) (delete g (kh_general s)))))))

```

```

(defun kh_instantiate_node (from to node)
  (or (car (member node (kh_upto to) :key #'kh_node))
      (if (typep to 'kh_pattern)
          (let ((res (make-instance 'kh_occurrence
                                   :kh_address (incf *kh_occurrence_counter*)
                                   :kh_node node
                                   :kh_last from
                                   :kh_param to)))
              (push res (kh_upto to))
              (if from
                  (push res (kh_next from)))
              res)
          (let ((res (make-instance 'kh_occurrence
                                   :kh_address (incf *kh_occurrence_counter*)
                                   :kh_node node
                                   :kh_last from
                                   :kh_param to)))
              (labels ((recurs (n)
                        (push res (kh_upto n))
                        (if (and (not (typep n 'kh_note))
                                (kh_last n))
                            (recurs (kh_last n))))
                      (recurs to))
                (and from
                     (progn
                      (push res (kh_next from))
                      (if (not (> (kh_level node) (kh_level (kh_node from))))
                          (push res (kh_next (loop for occ in (kh_upto (kh_param from))
                                                    when (equal (kh_node occ) (kh_last node))
                                                    return occ))))))
                (push res (kh_occurrence node))
                (kh_print res)
                res))))))

(defmethod kh_list ((occurrence kh_occurrence))
  (labels ((recurs (o n)
            (append
             (and (kh_last n)
                  (recurs (kh_last o) (kh_last n)))
             (list (kh_param o))))
          (recurs occurrence (kh_node occurrence))))

(defmethod kh_enumerate ((occurrence kh_occurrence))
  (labels ((recurs (o n)
            (append
             (and (kh_last n)
                  (recurs (kh_last o) (kh_last n)))
             (list o))))
          (recurs occurrence (kh_node occurrence))))

(defmethod kh_enumerate ((pattern kh_pattern))
  (labels ((recurs (n)
            (append
             (and (kh_last n)
                  (recurs (kh_last n)))
             (list n))))
          (recurs pattern)))

(defun kh_ratio (i j)
  (if (= j 0) 0
      (/ (round (* (/ i j) 10.0)) 10.0)))

(defun kh_intersect (list1 list2)
  (loop for elem in list1
        when (member elem list2 :test #'equal)
        append (list elem)))

(defmethod! kh_print ((note kh_note))
  (terpri)
  (format t "Note #D : ~20,1T time = ~D ~40,1T Pitch = ~D ~60,1T Duration = ~D"
          (kh_address note) (kh_time note) (kh_pitch note) (kh_duration note)))

(defmethod! kh_print ((node kh_pattern))
  (and *kh_print*
       (progn
        (terpri)
        (format t "Node #D : ~20,1T Level = ~D ~40,1T Interpitch = ~D ~60,1T rhythm = ~D ~80,1T Occurrence = "
                (kh_address node)
                (kh_level node)
                (loop for i in (cdr (kh_enumerate node))
                      collect (let ((interpitch (kh_interpitch (kh_description i))))
                                (if (numberp interpitch)
                                    interpitch
                                    (if (equal interpitch #'kh_ascending)
                                        '+'
                                        (if (equal interpitch #'kh_descending)
                                            '-'
                                            (and (equal interpitch #'kh_constant)
                                                0))))))
                (loop for i in (cdr (kh_enumerate node))
                      collect (kh_rhythm i))))))

```

```

(loop for occurrence in (kh_occurrence node)
  do (labels ((recurs (o)
    (format t "(")
    (loop for note in (kh_list o)
      do (if (typep note 'kh_note)
        (format t "n#D" (kh_address note))
        (recurs note)))
      (format t ")"))
    (recurs occurrence)))
  (and (kh_children node)
    (progn
      (format t " Children = (")
      (loop for child in (kh_children node)
        do (format t " N#D" (kh_address child)))
      (format t ")"))))
  (and (kh_general node)
    (progn (format t " General =")
      (loop for general in (kh_general node)
        do (format t " N#D" (kh_address general))))))
  (and (kh_specific node)
    (progn (format t " Specific =")
      (loop for specific in (kh_specific node)
        do (format t " N#D" (kh_address specific))))))))

(defmethod! kh_print ((occurrence kh_occurrence))
  (and *kh_print*
    (progn
      (terpri)
      (format t "Occurrence #D : ~20,1T Node = n~D ~40,1T Notes = "
        (kh_address occurrence) (kh_address (kh_node occurrence)))
      (labels ((recurs (o)
        (format t "(")
        (loop for note in (kh_list o)
          do (if (typep note 'kh_note)
            (format t "n#D" (kh_address note))
            (if (typep note 'kh_pattern)
              (format t "nd~D" (kh_address note))
              (recurs note))))
          (format t ")"))
        (recurs occurrence))
      (format t " Interpitch = ~D rhythm = ~D ~80,1T"
        (loop for i in (cdr (kh_enumerate (kh_node occurrence)))
          collect (let ((interpitch (kh_interpitch (kh_description i))))
            (if (numberp interpitch)
              interpitch
              (if (equal interpitch #'kh_ascending)
                +
                (if (equal interpitch #'kh_descending)
                  -
                  (and (equal interpitch #'kh_constant)
                    0))))))
          (loop for i in (cdr (kh_enumerate (kh_node occurrence)))
            collect (kh_rhythm i))))))

(defmethod! kh_display ((max integer) (order t) (criterion t) (min_depth t) (min_depth_occ t))
  :initvals '(40 t 'most_relevant 3 3)
  :indoc "(an integer"
  "chronological order (t) or criterion order (nil)"
  "a selecting criterion ('longest', 'most_frequent', 'most_relevant', 'first_discovered)"
  "min depth"
  "min depth occ")
  :icon 128
  :numouts 1
  :doc "Lists the occurrences of the n best pattern classes in a definite order."

inputs:

n: the number of most pertinent pattern classes considered.
order: pattern classes are ordered either chronologically (t) or in a decreasing values of the selecting criterion.
criterion: choose either the longest patterns ('longest'), most frequent ones ('most_frequent'), most relevant ones ('most_relevant')
where relevance is the product of frequency and length, or select the first discovered patterns ('first_discovered').

output:

a list of n lists of the occurrences of the n most pertinent abstract patterns.
"
:menus ((1 ("chronological order" 't)
  ("criterion order" 'nil))
  (2 ("longest" 'longest)
  ("most frequent" 'most_frequent)
  ("most relevant" 'most_relevant)
  ("first discovered" 'first_discovered))))
(labels ((criterion (list_occ)
  (case criterion
    (longest (loop for i in list_occ
      maximize (length (kh_list i))))
    (most_frequent (length list_occ))
    (most_relevant (* (loop for i in list_occ
      maximize (length (kh_list i))
      (length list_occ)))
      (first_discovered (- (cadr (sort (loop for occ in list_occ
        collect (kh_time (kh_param occ)))
        #'<)))))))
  (let* ((table (loop for list_occ in (kh_list_occ min_depth)
    with table = (make-hash-table)
    do (progn
      (setf (gethash (criterion list_occ) table)

```

```

        (cons list_occ (gethash (criterion list_occ) table))))
      finally return table)
    (key_list (sort (loop for key being the hash-key of table
                      collect key
                      #>>)
                  (result (loop for i from 0 to (1- max)
                                append (loop for j in (gethash (nth i key_list)
                                                                table)
                                collect (kh_generate_occurrences j min_depth_occ))))))
    (if order
      (sort (copy-list result) #'< :key #'(lambda (x) (car (sort (lonset x) #'<))))
      result))))

(defun kh_list_occ (min_depth)
  (labels ((recurs_last (m)
            (and (kh_last m)
                 (< 0
                  (loop for child in (kh_children (kh_last m))
                        count (> (kh_level child) (kh_level (kh_last m))))))
            (append (loop for i in (kh_occurrence (kh_last m))
                          when (and ;(not (kh_print i))
                                    (not (loop for next in (kh_next i)
                                                thereis (> (kh_level (kh_node next)) (kh_level (kh_node i))))
                                (>= (kh_level i) min_depth))
                    collect i)
                    (recurs_last (kh_last m))))))
    (recurs_children (n)
      (append (and (not (loop for i in (kh_general n)
                                    thereis (and (= (kh_level n) (kh_level i))
                                                  (not (equal i n))
                                                  (not (< 0
                                                       (loop for child in (kh_children i)
                                                             count (> (kh_level child) (kh_level i))))))
                    (or (not (kh_last n)
                            (> (kh_level n) (kh_level (kh_last n))))
                        ;(print ">")
                        ;(not (kh_print i))
                        )))
              (not (< 0
                    (loop for child in (kh_children n)
                          count (> (kh_level child) (kh_level n))))
                (>= (kh_level n) min_depth)
                (list (sort (copy-list (append (recurs_last n) (kh_occurrence n))) #'>
                            :key #'(lambda (x) (kh_time (first (kh_list x))))))
                    (loop for i in (kh_children n)
                          when (> (kh_level i) (kh_level n))
                          append (recurs_children i))))))
      (recurs_children *kh_root*))

(defun kh_map_apt (f)
  (labels ((recurs (n)
            (append (list (apply f (list n)))
                    (loop for i in (kh_children n)
                          append (recurs i))))))
    (loop for i in *kh_dico*
          append (recurs i))))

(defun kh_generate_occurrences (list_occurrences min_depth_occ)
  (let ((list_res (sort (loop for occurrence in (reverse list_occurrences)
                            with i = 0
                            when (>= (kh_level (kh_node occurrence)) min_depth_occ)
                            append (progn
                                    (setq i (1+ i))
                                    (mapcar #'(lambda (x) (list (* 100 (kh_pitch x))
                                                                (kh_time x)
                                                                (kh_duration x)
                                                                i))
                                            (labels ((recurs (o)
                                                      (if (not (typep (kh_param o) 'kh_note))
                                                          (loop for oc in (kh_list o)
                                                                append (recurs oc))
                                                          (kh_list o))))
                                            (recurs occurrence))))))
                    #'<
                    :key #'cadr)))
    (make-instance 'chord-seq
      :lmidic (mapcar #'car list_res)
      :lonset (mapcar #'cadr list_res)
      :ldur (mapcar #'caddr list_res)
      :lchan (mapcar #'caddr list_res)
      :lvel 100
      :legato 0)))

```

Table des figures

1.1	La synthèse locale.	18
1.2	La reproduction de schéma.	19
1.3	L'enchaînement des schémas.	20
1.4	L'arborescence des schémas.	20
1.5	La hiérarchisation des schémas.	21
1.6	Les reproductions successives.	22
1.7	La fonction sémiotique du schéma.	30
2.1	L'inexistence de l'immanence.	53
3.1	La segmentation d'une séquence musicale.	69
3.2	Les groupements au sein d'une séquence musicale.	70
3.3	Début de l'analyse du <i>Geisslerlied</i> , selon RUWET.	72
3.4	Autre manière de débiter l'analyse du <i>Geisslerlied</i>	73
5.1	Clôture locale correcte.	127
5.2	Clôture locale incorrecte.	127
6.1	Répétition mélodique au sein d'une séquence aléatoire.	140
6.2	Répétition mélodique approximative au sein d'une séquence aléatoire.	140
6.3	Répétition de contour au sein d'une séquence aléatoire.	141
6.4	L'indépendance paramétrique des invariants.	145
6.5	La continuité paramétrique locale des invariants.	146
7.1	Formalisation de la représentation temporelle.	151
7.2	Rapport syntagmatique.	152
7.3	Absence de relation syntagmatique.	153
7.4	Chaîne syntagmatique.	153
7.5	Graphe syntagmatique.	153
7.6	Rapport rythmique.	155
7.7	Identité de rapport rythmique.	156
7.8	Description de note.	157
7.9	Rapport associatif.	158
7.10	Relation associative d'intervalle mélodique.	159
7.11	Relation associative de contour.	160
7.12	Relation associative de rapport rythmique.	161
7.13	Conjonction de relations associatives.	162
7.14	Relation associative schématique.	163

7.15	Prolongation de relations associatives schématiques.	164
7.16	Rapport associatif de prolongation de relation associative.	165
7.17	Le schéma originaire des notes.	166
7.18	Le schéma originaire des relations syntagmatiques.	167
7.19	L'arborescence des schémas.	168
7.20	L'arbre des schémas.	169
7.21	Rattachement des reproductions à leur schéma.	170
7.22	Subsomption sous un schéma existant.	171
7.23	Découverte d'un prolongement schématique.	172
8.1	Inclusion de la conjonction dans ses relations associatives.	176
8.2	Égalité éventuelle de la conjonction dans ses relations associatives.	176
8.3	Non-spécificité d'inclusion de classes associatives.	177
8.4	Relations de spécificité entre relations associatives schématiques.	179
8.5	Inclusion des classes associatives en relation de spécificité.	180
8.6	Égalité éventuelle de classes associatives en relation de spécificité.	180
8.7	Les suffixes redondants.	183
8.8	Les états progressifs d'une relation associative.	185
8.9	Prolongement limité aux schémas plus spécifiques.	186
8.10	La spécificité au niveau des reproductions.	189
8.11	Graphe de spécificité.	190
8.12	Pluricité des groupements les plus spécifiques.	192
8.13	Parcours du graphe de spécificité.	193
8.14	Graphe de spécificité optimisé.	194
9.1	Reproduction périodique mélodique.	197
9.2	Prolongement redondant d'une reproduction périodique mélodique.	198
9.3	Prolongement redondant d'une reproduction périodique mélodique (suite).	198
9.4	Prolongement redondant combinatoire d'une reproduction périodique mélodique.	199
9.5	Les multiples phases de la reproduction périodique.	199
9.6	Interdiction du recouvrement.	200
9.7	Inefficacité de l'interdiction de recouvrement.	201
9.8	Reproduction mélodiquement rebouclée.	203
9.9	Le rebouclage mélodique.	203
9.10	Le rebouclage mélodique moins spécifique.	204
9.11	Reproduction périodique mélodique totale.	205
9.12	Reproduction périodique rythmique partielle.	206
9.13	Reproduction périodique rythmique totale.	206
9.14	Reproduction rythmiquement rebouclée.	207
9.15	Cas imperceptible de reproduction rythmiquement rebouclée.	207
9.16	Groupement émergent par-dessus une trame périodique.	208
10.1	Relation syntagmatique entre reproductions de schéma.	212
10.2	Groupements de groupements.	213
A.1	Analyse du <i>Menuet</i> , K1, de MOZART.	226
A.2	Analyse du <i>Menuet</i> , K1, de MOZART (suite).	227
A.3	Analyse du <i>Boléro</i> de RAVEL.	230

A.4	Analyse du <i>Boléro</i> de RAVEL (suite).	231
A.5	Analyse du <i>Boléro</i> de RAVEL (suite).	232
A.6	Analyse du <i>Boléro</i> de RAVEL (suite).	233
A.7	Analyse du <i>Boléro</i> de RAVEL (suite et fin).	234

Liste des tableaux

1.1	La fonction sémiotique, selon HJELMSLEV, entre l'expression et le contenu du signe.	29
5.1	Panorama synthétique des approches actuelles.	134
8.1	Conjonction de schémas.	177

Index

- échelle, 21, 32, 138
- écoute, 32, 52, 91
 - potentiel d'écoute total, 38
- émergence d'un groupement d'une trame périodique, 208
- Gestaltqualität*, 93

- agrégat, 17
- alignement, 117, 120
- analyse
 - motivique, 114
- analytique, 65
- arborescence
 - des schémas, 20, 167
- arbre
 - des schémas, 20, 167
- articulations
 - du langage, 31
- associatif
 - rapport associatif, 87, 157
 - relation associative
 - simple, 158
- associative
 - relation associative, 19

- Bent, Ian, 26, 41, 43, 47, 57

- Cambouropoulos, Emiliós, 134
- chaîne
 - de schémas, 20
 - syntagmatique, 18
 - réduite, 153
- Chomsky, Noam, 63, 65
- Chouvel, Jean-Marc, 67, 222
- code, 64
- cognitivismes, 92
- conjonction
 - de relations associatives, 161
 - de schémas, 176
- Conklin, Darrell, 134
- contenu
 - forme du contenu, 29
- contour mélodique, 140
- Cook, Nicholas, 50
- Cope, David, 134
- Cross, Ian, 107

- découverte, 33, 113
 - schématique, 45
- déduction, 62, 66
- délimitation
 - syntagmatique, 87
- développement
 - motivique, 63
- Dannenberg, Roger, 134
- date, 114
- Debussy, Claude, 23
- descriptif, 23
- description, 47
 - poïétique, 49
 - schématique, 49
 - structurelle, 48
 - syntagmatique des notes, 156
- Deutsch, Diana, 102
- distinctif
 - unité distinctive, 30
- durée, 114

- Ehrensfels, Christian Von, 93
- espace
 - de mémoire, 148
- esthétique, 36
- explication, 47
 - esthétique normative, 50
 - poïétique, 49
 - savante, 49
 - structurelle, 48
 - théorique, 49
- explicitation, 38
- expression
 - forme de l'expression, 29
 - substance de l'expression, 29

Feroe, John, 102
 fonction
 sémiotique, 29
 forme, 24, 43, 146
 de l'expression, 29
 du contenu, 29
 formel
 schéma formel, 25
 Francès, Robert, 37

 gamme, 21
 Gardin, Jean-Claude, 78
 gestaltisme, 35, 93
 grandeur
 de substance de l'expression, 30
 Granger, Gilles-Gaston, 28
 graphe
 de spécificité, 188
 syntagmatique, 152
 groupement, 17, 69, 131
 local, 18, 94

 hauteur, 114, 137, 151
 hiérarchisation, 101
 Hjelmlev, Louis, 28, 29, 58, 66, 70, 84

 identification, 34, 62, 118, 135
 identité
 exacte, 118
 partielle, 118
 relative, 120
 immanence, 92
 implication, 96
 induction, 62, 66, 111
 poïétique, 49
 information retrieval, 42
 intervalle mélodique, 139
 invariant, 18, 21

 Jackendoff, Ray, 94, 99, 101
 Jakobson, Roman, 27, 28, 77

 Kant, Emmanuel, 52
 Keller, Hans, 47

 Lévi-Strauss, Claude, 78
 langage hjelmslevien, 58
 langue saussurienne, 58
 Lerdahl, Fred, 94, 99, 101
 linguistique, 56

 mémoire, 26, 34, 148
 machine learning, 111
 Martinet, André, 31
 Marx, Adolf Bernhard, 24, 26
 Meeùs, Nicolas, 30, 31, 88
 Meredith, David, 134
 message, 64
 Meudic, Benoît, 134
 Meyer, Leonard, 28, 32, 34, 38, 42, 93, 99, 107

 midi, 114
 mimétisme du schéma, 22
 Molino, Jean, 52
 monodie, 116
 motif, 19, 114
 thématique, 23
 motivique
 réseau motivique, 148
 music information retrieval, 42
 musical pattern discovery, 42
 musicologie, 40

 Narmour, Eugene, 54, 96
 Nattiez, Jean-Jacques, 28, 31, 36, 51, 64, 75, 102
 niveau neutre, 51, 75
 normatif, 22
 note, 16, 149

 OpenMusic, 216

 périodique
 reproduction périodique mélodique
 partielle, 198
 totale, 196
 reproduction périodique, 21
 reproduction périodique rythmique, 205
 parallélisme, 95
 pattern discovery, 42
 poïétique, 36
 induction poïétique, 49
 polyphonie, 116, 127, 222
 polysémie, 222
 potentiel
 d'écoute, 104
 d'écoute total, 38
 de mémoire, 105
 préfixe, 20

processus, 61, 64
 prologation
 de relation associative, 161
 prolongement, 20
 pulsation, 21, 32, 142

 réseau
 motivique, 148
 rappel, 34
 rapport
 associatif, 87, 157
 de prolongation, 164
 rythmique, 143, 154
 syntagmatique, 86, 151
 rattachement, 169
 rebouclage
 mélodique, 202
 rythmique, 207
 recherche
 schématique ciblée, 44
 reconnaissance, 33, 113
 schématique spontanée, 45
 recouvrement, 200
 redondant
 suffixe redondant, 183
 relation
 associative, 19, 158
 élémentaire, 159
 d'intervalle mélodique, 159
 de contour, 160
 de rapport rythmique, 160
 schématique, 161
 de spécificité, 21, 175, 178
 syntagmatique, 17, 154
 reproduction
 périodique, 21
 rythmique, 205
 reproduction du schéma, 18
 Reti, Rudolph, 23–25, 47, 49, 50, 108
 Rolland, Pierre-Yves, 134
 Rouget, Gilbert, 69
 Rowe, Robert, 134
 Ruwet, Nicolas, 23, 31, 46, 55, 56, 64
 rythmique
 rapport rythmique, 143, 154

 sélection, 124, 132
 sémiotique
 fonction sémiotique, 29

 séquentiel
 schéma séquentiel, 19
 Saussure, Ferdinand de, 29, 56, 58, 83, 85
 Schönberg, Arnold, 47
 schéma, 18, 19, 30, 162
 formel, 25
 non-séquentiel, 20
 originaire, 165
 des notes, 165
 des relations syntagmatiques, 166
 préfixe, 20
 séquentiel, 19
 stylistique, 22
 schématisation, 19
 Schenker
 Heinrich, 49
 Schenker, Heinrich, 43, 44, 50
 segmentation, 68, 126, 131
 locale, 18, 126
 schématique, 126
 signe, 29
 signifié, 29
 signifiant, 29
 significatif
 unité significative, 30
 signification, 27, 34
 similarité, 119, 136
 Sloboda, John, 106
 spécificité
 graphe de spécificité, 188
 relation de spécificité, 21, 175, 178
 statistique, 121
 Stiegler
 Bernard, 105
 style, 22
 substance
 de l'expression, 29
 succession
 syntagmatique, 18
 suffixe
 redondant, 183
 superposition, 69
 syntagmaticité, 116, 132
 syntagmatique
 chaîne syntagmatique, 18
 graphe syntagmatique, 152
 rapport syntagmatique, 86, 151

- relation syntagmatique, 17, 154
- succession syntagmatique, 18
- syntagme, 86
- synthétique, 65
- système, 61, 64

- taxinomie, 65
- Temperley
 - David, 54
- Temperley, David, 95
- thématique
 - motif thématique, 23
- tonalité, 21
- transcription, 42
- transformation, 23

- unité
 - distinctive, 30
 - significative, 30

- Valéry, Paul, 36
- valeur rythmique, 114, 142
- Von Ehrenfels, Christian, 93

Bibliographie

- [ACR99] C. Allauzen, M. Crochemore, et M. Raffinot. Factor oracle: a new structure for pattern matching. In *Conference on Current Trends in Theory and Practice of Informatics*, 1999.
- [ARL⁺99] G. Assayag, C. Rueda, M. Laurson, C. Agon, et O. Delerue. Computer assisted composition at Ircam: From Patchwork to Openmusic. *Computer Music Journal*, 23(3):59–72, 1999.
- [Aro85] S. Arom. *Polyphonies et polyrythmies instrumentales d’Afrique centrale : structure et méthodologie*, volume 1. Selaï, 1985.
- [AW97] C. Anagnostopoulou et G. Westermann. Classification in music: A computational model for paradigmatic analysis. In *Proceedings of the 1997 International Computer Music Conference*. International Computer Music Association, 1997.
- [BD98] I. Bent et W. Drabkin. *L’analyse musicale : Histoire et Méthodes*. Collection musique mémoire. Éditions Main d’Oeuvre, 1998. Traduit de l’anglais par Annie COEREVEY et Jean TABOURET.
- [Bha87] J.J. Bharucha. Musact: A connectionist model of musical harmony. In *Proceedings of the Cognitive Science Society*. Lawrence Erlbaum, 1987.
- [But03] C. Buteau. *A Topological Model of Motivic Structure and Analysis of Music: Theory and Operationalization*. Thèse de doctorat, Université de Zürich, 2003.
- [CA01] D. Conklin et C. Anagnostopoulou. Representation and discovery of multiple viewpoint patterns. In *Proceedings of the 2001 International Computer Music Conference*. International Computer Music Association, Cambridge University Press, 2001.
- [Cam98] E. Cambouropoulos. *Towards a General Computational Theory of Musical Structure*. Thèse de doctorat, Université de Edinburgh, 1998.
- [Cam00] E. Cambouropoulos. Extracting ‘signifiant’ patterns from musical strings: Some interesting problems. Présenté aux *London String Days 2000*, 2000.
- [CCI⁺99] E. Cambouropoulos, M. Crochemore, C.S. Iliopoulos, L. Mouchard, et Y.J. Pinzon. Algorithms for computing approximate repetitions in musical sequences. In *Proceedings of the 10th Australasian Workshop On Combinatorial Algorithms*, 1999.

- [CHL01] M. Crochemore, C. Hancart, et T. Lecroq. *Algorithmique du texte*. Vuibert, 2001.
- [Cho71] N. Chomsky. *Aspects de la théorie syntaxique*. Seuil, 1971.
- [Cho98] J.-M. Chouvel. *Esquisses pour une pensée musicale : les métamorphoses d’Orphée*. Logiques sociales. L’Harmattan, 1998.
- [Cho02] J.-M. Chouvel. Polyphonie / polysémie : Comment aborder la multidimensionnalité du temps musical? In J.-M. CHOUVEL et F. LÉVY, éditeurs, *Observation, analyse, modèle : Peut-on parler d’art avec les outils de la science ?*, Les cahiers de l’Ircam, pages 287–309. Ircam - L’Harmattan, 2002.
- [Coo87] N. Cook. *A Guide to Musical Analysis*. J.M. Dent & Sons, 1987.
- [Cop91] D. Cope. *Computers and Musical Style*. Computer Music and Digital Audio Series. Oxford University Press, 1991.
- [Cro81] M. Crochemore. An optimal algorithm for computing the repetitions in a word. *Information Processing Letters*, 12(5):244–250, 1981.
- [Cro85] I. Cross. Music and change: On the establishment of rules. In P. Howell, I. Cross, et R. West, éditeurs, *Musical Structure and Cognition*, chapitre 1. Academic Press, 1985.
- [DALB03] S. Dubnov, G. Assayag, O. Lartillot, et G. Bejerano. Using machine-learning methods for musical style modeling. *Computer*, 36(10):73–80, 2003.
- [Dan02] R. Dannenberg. Listening to ‘naima’: An automated structural analysis of music from recorded audio. In *Proceedings of the 2002 International Computer Music Conference*. International Computer Music Association, Cambridge University Press, 2002.
- [DB81] W.J. Dowling et J.C. Bartlett. The importance of interval information in long-term memory for melodies. *Psychomusicology*, (1):30–49, 1981.
- [Deu82] D. Deutsch. Organizational processes in music. In M. CLYNES, éditeur, *Music, Mind and Brain: The Neuropsychology of Music*, pages 119–136. Plenum Press, 1982.
- [DF71] W.J. Dowling et D.S. Fujitani. Contour, interval, and pitch recognition in memory for melodies. *Journal of the Acoustical Society of America*, 49(2):524–531, 1971.
- [DF81] D. Deutsch et J. Feroe. The internal representation of pitch sequences in tonal music. *Psychological Review*, 88(6):503–522, 1981.
- [DH86] W.J. Dowling et D.L. Harwood. *Music Cognition*. Series in Cognition and Perception. Academic Press, 1986.
- [Dov01] M.J. Dovey. A technique for “regular expression” style searching in polyphonic music. In *Proceedings of the 2001 International Symposium of Music Information Retrieval*, 2001.
- [Edw85] J. Edworthy. Melodic contour and musical structure. In P. Howell, I. Cross, et R. West, éditeurs, *Musical Structure and Cognition*, chapitre 7. Academic Press, 1985.

- [Goo84] N. Goodman. *Faits, Fictions et Prédications*. Les Éditions de Minuit, 1984. Traduction revue par Pierre Jacob.
- [HB03] H.H. Hoos et D. Bainbridge, éditeurs. *Proceedings of the Fourth International Conference on Music Information Retrieval*, 2003.
- [HE02] L. Hofmall-Engl. Panel on similarity in music. In *Proceedings of the Third International Conference on Music Information Retrieval*, 2002.
- [HHNT89] J.H. Holland, K.J. Holyoak, R.E. Nisbeth, et P.R. Thagard. *Induction : Processes of Inference, Learning, and Discovery*. The MIT Press, 1989.
- [Hje84] L. Hjelmlev. *Prolégomènes à une théorie du langage*. Argument. Éditions de Minuit, 1984.
- [Hof95] D. Hofstadter. *Fluid Concepts and Creative Analogies: Computer Models of the Fundamental Mechanisms of Thought*. Basic Books, New York, 1995.
- [HSF98] W. Hewlett et E. Selfridge-Field. *Melodic similarity: Concepts, procedures, and applications*. MIT Press, 1998.
- [JL83] P.N. Johnson-Laird. *Mental models*. Harvard University Press, 1983.
- [Kan97] E. Kant. *Critique de la Raison Pure*. Bibliothèque Philosophique. Aubier, 1997. Traduction, présentation et notes par Alain RENAUT.
- [Lar] O. Lartillot. Analyse musicale, induction et analogie. In *Actes des séminaires « Mathématiques, Musique et Philosophie » à l'Ircam*. L'Entretiens. En projet.
- [LDAB01] O. Lartillot, S. Dubnov, G. Assayag, et G. Bejerano. Automatic modeling of musical style. In *Proceedings of the 2001 International Computer Music Conference*. International Computer Music Association, Cambridge University Press, 2001.
- [Ler85] F. Lerdahl. Théorie générative de la musique et composition musicale. In T. Machover, éditeur, *Quoi? Quand? Comment? : La recherche musicale*, Musique/Passé/Présent. Christian Bourgois, Ircam, 1985.
- [LJ83] F. Lerdahl et R. Jackendoff. *A Generative Theory of Tonal Music*. The M.I.T. Press, 1983.
- [Mar70] A. Martinet. *Eléments de linguistique générale*. Armand Colin, 1970.
- [MB01] C. Meek et W.P. Birmingham. Thematic extractor. In *Proceedings of the 2001 International Symposium on Music Information Retrieval*, 2001.
- [MCM83] R. Michalski, J.G. Carbonell, et T. Mitchell. *Machine Learning : An Artificial Intelligence Approach*. Symbolic Computation. Springer-Verlag, 1983.
- [Mee93] N. Meeùs. *Heinrich Schenker : Une introduction*. P. Pardaga, 1993.
- [Mee01] N. Meeùs. Cinq dichotomies pour décrire l'analyse musicale. In Danièle Pistone et Jean-Pierre Mialaret, éditeurs, *Analyse Musicale et Perception*, Observatoire Musical Français, 2001.

- [Mey56] L.B. Meyer. *Emotion and Meaning in Music*. The University of Chicago Press, 1956.
- [MLW02] D. Meredith, K. Lemström, et G.A. Wiggins. Algorithms for discovering repeated patterns in multidimensional representations of polyphonic music. *Journal of New Music Research*, 31(4):321–345, 2002.
- [Mol75] J. Molino. Fait musical et sémiologie de la musique. *Musique en jeu*, 17, 1975.
- [MS90] M. Mongeau et D. Sankoff. Comparison of musical sequences. *Computer and the Humanities*, 24:161–175, 1990.
- [MSJ04] B. Meudic et E. Saint-James. Automatic extraction of approximate repetitions in polyphonic midi files based on perceptive criteria. In U.K. WILL, éditeur, *Computer Music Modelling and Retrieval*, number 2771 in Lecture Notes in Artificial Intelligence / Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag, 2004.
- [Nar90] E. Narmour. *The Analysis and Cognition of Basic Melodic Structures: The Implication-Realization Model*. The University of Chicago Press, 1990.
- [Nar92] E. Narmour. *The Analysis and Cognition of Melodic Complexity: The Implication-Realization Model*. The University of Chicago Press, 1992.
- [Nat71] J.-J. Nattiez. Situation de la sémiologie musicale. *Musique en jeu*, 5, 1971.
- [Nat73a] J.-J. Nattiez. Analyse musicale et sémiologie : le structuralisme de lévi-strauss. *Musique en jeu*, 12, 1973.
- [Nat73b] J.-J. Nattiez. Trois modèles linguistiques pour l’analyse musicale. *Musique en jeu*, 10, 1973.
- [Nat75] J.-J. Nattiez. *Fondements d’une sémiologie de la musique*. Union Générale d’Editions, 1975.
- [Nat99] J.-J. Nattiez. *La musique, la recherche et la vie : un dialogue et quelques dérives*. Leméac, Montréal, 1999.
- [NHP73] J.-J. Nattiez et L. Hirbour-Paquette. Analyse musicale et sémiologie à propos du prélude de Pelléas. *Musique en jeu*, 10, 1973.
- [NS72] A. Newell et H.A. Simon. *Human problem solving*. Prentice-Hall, 1972.
- [Ret51] R. Reti. *The Thematic Process in Music*. Macmillan Publishing, 1951. Publié de nouveau en 1978 par Greenwood Press.
- [Rol99] P.-Y. Rolland. Discovering patterns in musical sequences. *Journal of New Music Research*, 28:334–350, 1999.
- [Row93] R. Rowe. *Interactive Music Systems (Machine Listening and Composing)*. The MIT Press, 1993.
- [RST96] D. Ron, Y. Singer, et N. Tishby. The power of amnesia : Learning probabilistic automata with variable memory length. *Machine Learning*, 25(2-3):117–119, 1996.

- [Ruw62] N. Ruwet. Note sur les duplications dans l'oeuvre de claud DEBUSSY. *Revue belge de Musicologie*, (16):57–70, 1962. Repris dans [Ruw72].
- [Ruw66] N. Ruwet. Méthodes d'analyse en musicologie. *Revue belge de Musicologie*, (20):65–90, 1966. Repris dans [Ruw72].
- [Ruw72] N. Ruwet. *Langage, musique, poésie*. Poétique. Seuil, 1972.
- [Sag98] M.-F. Sagot. Spelling approximate repeated or common motifs using a suffix tree. In C. L. Lucchesi and A. V. Moura, éditeurs, *Latin'98*, Lecture Notes in Computer Science, pages 111–127. Springer Verlag, 1998.
- [Sau78] F. de Saussure. *Cours de linguistique générale*. Payothèque. Payot, 1978.
- [SP85] J.A. Sloboda et D.H. Parker. Immediate recall of melodies. In P. Howell, I. Cross, and R. West, éditeurs, *Musical Structure and Cognition*, chapitre 6. Academic Press, 1985.
- [Sti01] B. Stiegler. *Le temps du cinéma, et la question du mal-être*, volume 3 de *La technique et le temps*. Galilée, 2001.
- [SYHC⁺99] I. Shmulevich, O. Yli-Harja, E. Coyle, D.-J. Povel, et K. Lemström. Perceptual issues in music pattern recognition - complexity of rhythm and key finding. In *Proceedings of the AISB '99 Symposium on Music Creativity*, pages 64–69, 1999.
- [Tem88] D. Temperley. *The Cognition of Basic Musical Structures*. The MIT Press, 1988.
- [WD85] A.J. Watkins et M.C. Dyson. On the perceptual organisation of tone sequences and melodies. In P. Howell, I. Cross, et R. West, éditeurs, *Musical Structure and Cognition*, chapitre 4. Academic Press, 1985.
- [WHC85] R. West, P. Howell, et I. Cross. Modelling perceived musical structure. In P. Howell, I. Cross, et R. West, éditeurs, *Musical Structure and Cognition*, chapitre 2. Academic Press, 1985.
- [ZL77] J. Ziv et A. Lempel. A universal algorithm for sequential data compression. *IEEE Transactions on Information Theory*, 23(3):337–343, 1977.
- [ZL78] J. Ziv et A. Lempel. Compression of individual sequences via variable-rate coding. *IEEE Transactions on Information Theory*, 24(5):530–536, 1978.

Cette thèse présente un système d'analyse musicale automatique, qui consiste en une découverte non-supervisée de motifs mélodico-rythmiques, à partir d'une recherche de répétitions au sein d'une séquence musicale. Ce système présente trois avantages :

- Les résultats obtenus, d'une grande fiabilité, semblent concorder, pour une grande partie, avec la logique musicale, telle qu'elle est mise en œuvre par l'écoute.
- Les capacités combinatoires permettent tout à la fois une échelle de détail extrêmement fine, et une investigation de longue haleine sur une longue séquence. Une telle analyse, contrairement à la démarche intuitive humaine, peut ainsi être menée de manière exhaustive.
- Ces analyses sont effectuées en des temps très brefs. Ceci suggère la possibilité d'une mise en application d'une telle approche dans le cadre de bases de données musicales.