Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales
Formation Doctorale « Musique et Musicologie du XX^{e} siècle »
Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'EHESS en musicologie

COMPLEXITE GRAMMATOLOGIQUE ET COMPLEXITE APERCEPTIVE EN MUSIQUE

Étude esthétique et scientifique du décalage entre
la pensée de l'écriture et la perception cognitive des processus musicaux
sous l'angle des théories de l'information et de la complexité.

Fabien Lévy

sous la direction de **Jean-Marc Chouvel**
Co-direction : **Marc Chemillier**

Thèse soutenue le 06 février 2004 à l'EHESS
avec la mention « très honorable avec les félicitations du jury à l'unanimité »

Jury de thèse :

Jean-Marc CHOUVEL (directeur)
Marc CHEMILLIER (co-directeur)
Hugues DUFOURT (rapporteur)
Jean-Claude RISSET (rapporteur)
Emmanuel PEDLER (EHESS)

Septembre 1995 – décembre 2003

NOTE AU LECTEUR :

*Ce travail est une étude de musicologie. Il se veut a priori compréhensible par des théoriciens de la musique, plus que par des scientifiques. L'étude présente peu de textes mathématiques, et n'est en aucun cas un mémoire de sciences. Dans certains cas, des prolongements techniques ont été effectués. Ils sont alors rédigés dans une présentation différente (italique précédé de '**note mathématique', 'note épistémologique', 'note musicologique' ou 'note sémiologique'**), afin éventuellement que le lecteur non averti ne les lise pas. Certaines notes sont au contraire des rappels de notions scientifiques utiles à la compréhension de concepts qui suivent.*

« La constitution d'une science ou d'une philosophie de l'écriture est une tâche nécessaire et difficile. Mais parvenue à ces limites et les répétant sans relâche, une pensée *de la trace, de la* différance *ou de la réserve, doit aussi pointer au-delà du champ de* l'épistémé *».*

Jacques Derrida, *De la Grammatologie*, p.142

CARTE D'IDENTITÉ DE LA THÈSE

Début de la thèse : septembre 1995.

Université d'accueil : École des Hautes Études En Sciences Sociales.

Laboratoire d'accueil : Centre d'Information et de Documentation/Recherche Musicale (C.I.D./R.M.). Laboratoire mixte I.R.C.A.M./C.N.R.S (U.M.R. 9912).

Remerciements :

Je remercie tout d'abord mes directeurs de recherche successifs **Hugues Dufourt** (Directeur de recherche au C.N.R.S., ancien Directeur du C.I.D./R.M.) puis **Jean-Marc Chouvel** (Professeur à l'Université de Reims), ainsi que mon co-directeur de recherche, **Marc Chemillier** (Maître de conférence habilité en informatique à l'Université de Caen), pour leur encadrement et leurs conseils, et pour la confiance qu'ils ont eue dans cette recherche transdisciplinaire.

Je suis également reconnaissant aux nombreuses personnes qui ont accepté un échange scientifique sur ce projet, qui m'ont apporté des éclairages essentiels et corrigé certaines de mes erreurs, entre autres **Gérard Assayag** (directeur du département *Représentations musicales* à l'IRCAM), **Jérôme Baillet** (musicologue, qui a eu le courage et la patience de relire et corriger attentivement l'ensemble du travail), **Jean-Paul Delahaye** (spécialiste des théories de la complexité, lab. d'informatique fondamentale de Lille, URA CNRS 369), **Gérard Grisey** (professeur de composition au Conservatoire de Paris), **Yves Hellegouarch** (mathématicien, Université de Caen), **Gilles Léothaud** (prof. d'acoustique et d'ethnomusicologie à l'université Paris IV-Sorbonne et au CNSMDP), **Pierre-Michel Menger** (sociologue de l'art, E.H.E.S.S.), **Thomas Noll** (mathématicien de la musique, Technische Universität, Berlin), **Jean-Claude Risset** (compositeur et physicien, CNRS, Univ. de Marseille-Lumigny), **Yizhak Sadaï** (théoricien, prof. à l'Université de Tel Aviv), **Dominique Sageot-Duvaurot** (économiste de l'art, Univ. de Paris I-Sorbonne), **Christian-Martin Schmidt** (professeur de musicologie, Technische Universität de Berlin), **Mathilde Vallespir**, (doctorante en transsémiotique, Université Paris-IV), **Bernard Walliser** (économiste du comportement et de la théorie des jeux, lab. C.E.R.A.S., Ecole Nationale des Ponts et Chaussées) et **Nicolas Szilas** (chercheur en sciences cognitives).

Enfin, je remercie **mes parents, ma famille et mes amis proches, Elena, Elisa, Joël, Ludivine, Petar, Pol-louis, Stephan, Sylvie, et tous les autres** qui m'ont soutenu et permis de persévérer dans ces huit années de recherche

PRÉSENTATION

Une composition musicale est une suite d'informations qui, pour les trois niveaux de la théorie de tripartition de Molino[1] -le niveau esthésique (le récepteur), le niveau neutre (le résultat sonore ou noté), et le niveau poïétique (l'acte créateur)-, permettent de parler de système organisé. Au niveau poïétique, l'appellation sémantique donnée à l'acte créateur, la *composition,* est explicite pour décrire ce jeu de construction. Au niveau esthésique, l'auditeur est exposé pendant l'écoute à un flux d'informations sonores. Bien que le déroulement du temps soit par nature unidirectionnel, les psychoacousticiens ont montré que l'auditeur met en place, lors de l'écoute, des processus cognitifs de mémorisation, d'identification, de hiérarchisation, et de comparaison des informations reçues qui structurent le résultat perceptif en un système organisé plus abstrait (Bharucha [1987], par exemple). Enfin, au niveau neutre, l'œuvre musicale est représentée dans les musiques de tradition écrite par une partition, c'est-à-dire un agencement organisé de symboles et de signes.

Il est donc pertinent de parler, pour une œuvre ou une partie d'œuvre musicale, de système musical, et de s'intéresser à la complexité de ce système. Le terme de "*complexité d'un système*" sert souvent à désigner une difficulté de compréhension ou de réalisation de ce système, parfois associée à une connotation morale, péjorative ou laudative selon la discipline. Ce n'est que depuis les travaux précurseurs de Von Neumann sur les automates, puis l'essor des théories de l'information à partir de Shannon, que la complexité d'un processus ou d'un système est devenue un objet d'étude propre (Colloque de Cerisy [1991]). C'est dans ce sens computationnel que nous entendrons le mot « complexité ».

Toutefois, il semblerait vain de vouloir définir la complexité intrinsèque d'une œuvre musicale. Les algorithmes et les schémas que conçoivent les compositeurs avant de réaliser l'œuvre possèdent leur propre complexité que l'on peut calculer, par exemple, par le nombre de nœuds ou de branches que possède le graphe représentant l'algorithme, ou par la longueur ou le nombre d'éléments constitutifs de la procédure. On peut également calculer la complexité du résultat sonore, par exemple en mesurant la quantité d'informations qu'il transporte. Enfin,

au niveau perceptif, la complexité de réception d'une œuvre musicale reste relative à la culture et au comportement de l'auditeur face à une information nouvelle, ce qui implique une troisième conception de la complexité.

Cette thèse de doctorat tente d'étudier le décalage éventuel entre ces différentes complexités. Certes, nous ne prétendrons pas être exhaustif sur une question qui tient autant de la sociologie comportementale, de la philosophie de la perception, ou de l'intelligence artificielle que de la musique, et dont les conséquences sont autant esthétiques que techniques. Les études de systématique scientifique sur la complexité et l'information en musique se situaient généralement soit dans le champ de l'informatique et de l'algorithmie musicales, tentant de définir plus ou moins rigoureusement une complexité analytique du processus employé, soit dans le champ de la psychoacoustique, étudiant la complexité de perception de ces processus, soit dans le domaine de la philosophie esthétique. Entre ces trois domaines se situe un vaste champ d'investigation au sein des sciences humaines formalisées[2]. Se placer à l'intérieur de ce domaine signifie que l'on n'étudiera pas la complexité analytique d'un processus musical sans s'interroger sur l'intention compositionnelle qui le précède, ni sans s'interroger sur les conséquences musicales et esthétiques d'une telle approche, alors même que les théories des graphes et des algorithmes soulignent déjà la difficulté de définir mathématiquement la complexité purement algorithmique d'un processus. Placer notre étude à l'intérieur de ce domaine signifie également que l'on n'étudiera pas la complexité de perception d'un processus d'un point de vue purement psychoacoustique sans tenir compte des biais culturels qui influencent l'écoute.

Peu d'études ont jusqu'à aujourd'hui appréhendé les rapports entre complexité analytique et complexité perceptive à l'intérieur de ce champ d'investigation, alors qu'on trouve de nombreux travaux d'algorithmie, de psychoacoustique, ou d'esthétique sur l'un ou l'autre aspect de cette question. En effet, une recherche sur cette dialectique nécessiterait idéalement d'aborder à la fois des notions de philosophie, d'algorithmie, de psychoacoustique, de sciences humaines formalisées et de théorie musicale. Les spécialistes de ces différentes disciplines relèveront certainement des absences dans l'étude qui suit. Nous nous en excusons

[1] Voir Nattiez [1975]

par avance. Précisons cependant que ce travail est une introduction générale sur ce thème, en l'absence de chercheurs en nombre suffisant venus d'horizons différents pour l'approfondir. Ce type de travail nous a paru nécessaire, d'une part parce que la question est aujourd'hui pertinente et parce que les outils pour y répondre existent, d'autre part parce que seule une approche trans-disciplinaire peut procurer quelques pistes intéressantes en ce qui concerne une problématique aux conséquences esthétiques non négligeables.

Malgré la présence abondante dans le titre et les différents chapitres des mots « complexité », « processus », et « information », cette thèse ne s'intéresse pas spécialement aux musiques de *l'école de la complexité* ni aux *musiques de processus*, bien que ces deux esthétiques soient souvent mentionnées. *L'école de la complexité* est un terme apparu vraisemblablement dans les années 1980, à partir d'une caractérisation par le compositeur anglais Nigel Osborne d'œuvres des compositeurs Chris Dench et James Dillon (Toop [2000], p. 5). Bien que ce terme ne représente pas une définition réellement pertinente (on ne sait si la complexité caractérise l'interprétation instrumentale, la pensée compositionnelle, ou la difficulté perceptive), il s'est néanmoins imposé pour caractériser les musiques de nombreux compositeurs des années 80 et 90 (Ferneyhough, Redgate, Dillon, Mahnkopf, Pauset, Mark André, etc...). Quant au terme *musiques de processus*, il est apparu à propos de certaines musiques des années 70, notamment en France (école dite « spectrale ») et aux Etats-Unis (école dite « répétitive »), même si on l'étend aujourd'hui à des musiques antérieures (Nancarrow, Ligeti, etc..). On peut objecter que le processus existe depuis longtemps en musique (la fugue ou la sonate d'école ont un programme strict). Les *musiques de processus* caractérisent néanmoins des musiques dont le processus de composition, la transformation du matériau, est l'objet même de la chose à entendre. En conséquence, le matériau préliminaire de ces musiques est souvent relativement clair et neutre (spectres ou traits simples dans les musiques spectrales, accords classés et rythmes connotés dans les musiques répétitives), et la transformation se fait de façon régulière, organique, déterminée et totalement audible. Dans ces *musiques de processus*, apparues en réaction au structuralisme musical des années 50 et 60 qui s'intéressait surtout aux niveaux poïétique et neutre et à la musique concrète qui ne pensait pas assez la procédure du matériau sonore, l'esthésique rejoint un poïétique virtuel, c'est-à-dire

[2] Que nous définissons ici comme les sciences de l'homme utilisant des modèles formels réfutables

que l'auditeur est « dans la chambre d'un compositeur virtuel en train d'écrire ». Si ces *musiques de processus* et *l'école de la complexité* sont parfois abordées dans cette étude, elles ne sont pas au centre de notre recherche. Il faudra plutôt entendre ici le mot *processus* au sens de programme, tel un programme informatique, et le mot *complexité* dans son acception également computationnelle. Plutôt que *processus,* nous utiliserons parfois le terme de ***procédure****s,* pour reprendre un concept mis en avant en musique par Célestin Deliège. Les notions de *complexité* et de *processus* seront précisées dans la partie A de l'étude (complexité algorithmique, complexité de Kolmogorov-Chaitin, automate, algorithme, graphe, etc…).

Nous avons également utilisé, dans le titre et le corps du texte, les expressions de *complexité grammatologique*, plutôt que de *complexité analytique*, et de *complexité aperceptive* plutôt que de *complexité perceptive.* Nous adoptons en effet l'hypothèse, tout au long de cette étude, que la complexité analytique d'un processus est liée à son écriture, et que l'écriture contient sa propre pensée. La grammatologie (de <gramma>=lettre en grec) désigne en théorie linguistique cette pensée de l'écriture. Toute écriture a en effet deux fonctions, une fonction de transcription, que la linguistique nomme *graphémologique,* et une fonction d'autonomisation par rapport à l'objet transcrit, qui interroge la pensée de cette écriture, appelée *grammatologie.* Ecrire permet en effet de penser différemment l'objet à transcrire, et de s'en abstraire pour penser le signe, la représentation. Par exemple, une fois la notation musicale établie entre le XIIe et XIVe siècle, les compositeurs se sont emparés de cette écriture pour la penser entre autres sous forme de procédures sur le signe (canons, rétrogrades). De même, Pierre Schaeffer crée avec la musique concrète une grammatologie du sonore en récupérant et détournant la fonction graphémologique de la bande magnétique et en élaborant une pensée propre à cette nouvelle écriture (son à l'envers, mixage, boucle de réinjection, etc.).

L'autre terme, qui fait écho dès le titre à la *complexité grammatologique*, est la *complexité aperceptive.* Parce que nous étudions ici *l'écouter* et non *l'entendre*, nous supposons que la réception active d'informations sonores est cognitive, c'est-à-dire qu'elle fait appel à des schèmes inconscients. Le mot aperception fut initialement employé par Leibniz

qui refusait l'explication mécaniste de la perception issue de Descartes[3]. Pour Leibniz, l'aperception émerge de la représentation d'un objet par le *cogito* et à travers la présence du sujet, et non simplement par son empreinte. Kant catégorise ensuite les différentes aperceptions selon leur proximité du sensible, en les distinguant de la pensée consciente[4]. L'*aperception* est donc une perception cognitive, mais inconsciente[5]. Complexité d'une écriture qui pense son geste, complexité d'une perception qui pense inconsciemment son objet, le décalage entre ces deux pensées complexes forme l'objet de cette étude.

Ces recherches ont été réalisées selon deux méthodes :

La **première méthode** consiste à construire un certain nombre de modèles appréhendant les mesures possibles des différentes complexités : complexités analytiques statiques d'un algorithme grâce à la théorie des graphes ; complexités analytiques dynamiques de décomposition d'une procédure en éléments simples ; complexités informationnelles d'un résultat sonore par un " auditeur universel ", grâce aux concepts établis par l'école russe de la complexité (Kolmogorov, Chaitin,..) ; complexité perceptive culturelle abordée à travers des modèles utilisés par les sciences humaines " dures " (modèles d'apprentissage et de comportement face à la complexité pour un auditeur plongé dans une certaine culture et certaines conventions, modèles d'aperception culturelle d'une dissonance, calculs des longueurs des chemins d'aperception culturelle d'une transformation de motifs). Ces modèles issus des sciences humaines caractérisent plus particulièrement notre démarche épistémologique : Comme dans les théories économiques, la psychologie formalisée, les sciences cognitives, et de nombreuses sciences humaines, les modèles explicités dans l'étude ne

---

[3] « *On est obligé d'ailleurs de confesser, que la Perception et ce qui en dépend, est inexplicable par des raisons mécaniques, c'est-à-dire par les figures et par les mouvements.* » Leibniz, *Monadologie* [1714], § 17. Source : reproduction électronique du texte original (édition Delagrave, 1881) par Prof. Daniel Banda (univ. Paris X) : www.uqac.uquebec.ca/zone30/Classiques_des_sciences_sociales/classiques/Leibniz/La_Monadologie/leibniz_monadologie.doc et bibliothèque universelle : http://abu.cnam.fr/cgi-bin/go?monadologie1,21,40

[4] « *Le* je pense *doit pouvoir accompagner toutes mes représentations ; car autrement quelque chose serait représenté en moi qui ne pourrait pas du tout être pensé, ce qui revient à dire ou que la représentation serait impossible, ou que, du moins, elle ne serait rien pour moi. La représentation qui peut être donnée avant toute pensée s'appelle intuition. Tout le divers de l'intuition a, par conséquent, un rapport nécessaire au* je pense *dans le même sujet où se rencontre ce divers. Mais cette représentation est un acte de la spontanéité, c'est-à-dire qu'elle ne peut être considérée comme appartenant à la sensibilité. Je la nomme :* ***aperception pure*** *pour la distinguer de l'aperception empirique, ou encore : aperception originaire parce qu'elle est cette conscience de soi qui, en produisant la représentation* je pense, *qui doit pouvoir accompagner toutes les autres, et qui est une et identique en toute conscience, ne peut être accompagnée d'aucune autre.* » Kant, *Critique de la raison pure,* Analytique transcendantale, 2e édition [1787], § 16.

[5] Il faut replacer l'origine de cette hypothèse musicale de perception cognitive inconsciente à l'intérieur des paradigmes esthétiques des compositeurs de *musiques de processus* des années 70, dont nous restons influencés.

cherchent en aucun cas à établir une quelconque *vérité* ni une quelconque *universalité.* Ils construisent seulement des concepts logiques, mathématisés, et réfutables au sens de Popper afin de poser proprement des notions opératoires. Ceci vient du fait que notre hypothèse de départ considère qu'un auditeur développe, lors de l'écoute, des mécanismes cognitifs complexes non universels, influencés si ce n'est totalement induits par sa culture et son comportement. Notre champ de recherche se différencie donc de celui de la psychoacoustique classique en minimisant les " invariants naturels " de perception et l'" oreille biologique " de l'auditeur. La psychoacoustique expérimentale a évité, avec raison, ce genre de problématiques culturelles, en étudiant des objets musicaux ultra-élémentaires. Les textes fondateurs dans le domaine de la psychoacoustique des perceptions culturelles restent donc rares et controversés (Lerdahl & Jackendoff [1986], Bharucha [1987], Kramer [1994]). Notre étude prend au contraire en compte l'hypothèse culturelle, et nie ainsi toute tendance de modèle universaliste. C'est pourquoi, sans recherche de vérité universelle mais seulement de raisonnement rationnel inductif, notre méthodologie s'inspire plus de celles des sciences humaines que de celles des sciences exactes, et les utilisations éventuelles de modélisations paramétrées de processus ou de résultats d'enquètes ne seront employées ici qu'à titre d'exemple, sans faculté de preuve ou de réfutation de l'énoncé. Seule l'implication logique du raisonnement, et non sa véracité, fait acte ici de « preuve » scientifique et de concept opératoire. Ce point, général à de nombreuses sciences humaines, est intitulé *propriété d'apriorisme* par l'épistémologie (d'après les travaux de Cairnes et Senior de 1875)[6].

La deuxième méthode, la seule approchant éventuellement une certaine " véracité esthétique ", consiste en l'explicitation d'exemples applicatifs et de paradoxes musicaux. Ceux-ci proviendront d'œuvres du répertoire classique et contemporain, ou de techniques usuelles d'écriture, et alterneront avec les modèles théoriques plus généraux. Notre travail, du fait qu'il tente de nuancer la démarche analytique pure, cherche plus à poser question qu'à établir des normes. En cela, l'explicitation de paradoxes et de contre-exemples reste le paradigme adéquat de remise en cause de la pensée analytique.

---

[6] Le principe d'*apriorisme*, posé par John Elliot Cairnes (1824-1875) et par Senior en économie, et développé dans les sciences humaines par Von Mises (1881-1973), postule que i) une théorie doit partir d'hypothèses fortes, développées par induction et déduction ; ii) une théorie dépend plus du raisonnement que de l'observation ; iii) les déductions issues d'axiomes a priori sont vraies sur un plan apodictique, c'est-à-dire sur un plan strictement

Cette étude est articulée en trois sections :

La première section, préliminaire, s'intéresse aux propriétés purement analytiques des procédures musicales. Elle tente d'abord de préciser quelques principes de la pensée analytique dans la musique occidentale. Ensuite seront définis rigoureusement quelques algorithmes utilisés par les compositeurs et en seront calculés différents indices de complexité analytique. Sont enfin évoqués les raisons de la crise de la grammatologie musicale qui motivent cette étude.

La deuxième section s'intéresse au rapport entre l'algorithme et le résultat sonore, c'est-à-dire à la confrontation entre la démarche analytique du compositeur (en amont de l'œuvre) ou de l'analyste (en aval), et la perception de ce langage musical par un auditeur de type " universel " (modélisé par une « *machine de Turing* »). Nous empruntons certains résultats significatifs de la théorie de l'information et de la théorie de la complexité pour mettre en évidence et analyser conceptuellement le décalage possible entre la complexité perceptive et la complexité analytique à travers huit principes fondamentaux. Plusieurs exemples et paradoxes musicaux éclaireront ensuite ces principes afin d'appuyer l'argumentation : un premier exemple propose deux processus rythmiques de structures analytiques similaires et de mêmes complexités organisationnelles, mais de complexités perceptives opposées. Un second exemple explicite une transformation analytique élémentaire et prototypique différenciant pourtant radicalement le résultat de son original sur un plan perceptif. Un troisième exemple propose au contraire deux procédures aux grammatologies et aux conséquences esthétiques différentes engendrant des résultats perceptifs similaires. Puis, s'attachant non plus aux procédures compositionnelles mais à la réception analytique d'une œuvre, un quatrième paradoxe montre que la genèse d'un même résultat sonore peut être explicitée a posteriori par des analyses différentes, plus où moins concentrées sur la procédure ou sur la perception du résultat sonore. En conclusion, nous montrerons que ces réflexions et paradoxes sur les rapports entre grammatologie et perception peuvent être prospectives, engendrant de nouvelles techniques « d'écriture d'une perception paradoxale ».

---

nécessaire ; iv) les théories ne peuvent être testées dans la réalité, mais par l'examen de leur logique et par leur

La **troisième section** s'intéresse au rapport entre la règle musicale et sa perception par un auditeur cette fois-ci non plus " universel " mais plongé dans sa culture et ses conventions. Nous développons dans un premier temps des modèles formalisés généraux d'adaptation et d'apprentissage explicitant des stratégies de comportement d'un auditeur face à des surprises locales et à de la nouveauté musicale. Ces résultats sont approfondis par le concept de *convention d'écoute*, puis généralisés pour un ensemble d'auditeurs (sociologie de la perception). Deux modèles précis formalisant des chemins d'aperception viennent ensuite enrichir le discours théorique : une simulation informatique modélise la perception de transformations de lignes motiviques selon différentes cultures possibles d'auditeurs. Puis nous nous interessons au paramètre peut-être le plus important dans la culture musicale occidentale, la hauteur, et présentons un modèle d'aperception de la consonance (consonance pris au sens de complexité perceptive d'un intervalle) dépendant de la culture de l'auditeur. Enfin, nous nous interrogerons sur la valeur, au sens économique, attribuée par nos cultures à l'analytique et à ce qui y échappe.

L'œuvre musicale est le résultat sonore de réflexions que peut avoir un compositeur, ce qui la rend extrêmement complexe et humaine, car issue d'un raisonnement non vérifiable. C'est pourquoi il faut rester modeste sur les apports des théories musicales. L'histoire a souvent montré que de solides lois, démontrées avec force par une théorie irréfutable, pouvaient être contrées par une simple œuvre de musique. Car le propre de l'art est d'être exception et non loi. " *Ce n'est pas la théorie qui englobe l'art, c'est l'art qui englobe la théorie en tant que fiction* " (F. Nietzsche).

---

applicabilité aux situations historiques.

SECTION A - L'ECRITURE EN TANT QUE PENSÉE :

LA COMPLEXITE ANALYTIQUE DU PROCESSUS MUSICAL

Ce travail traite du rapport entre le processus musical et sa perception, -objet d'étude essentiel et parfois polémique dans le débat musical d'aujourd'hui-, sous l'angle particulier de leur complexité respective. Avant d'aborder une réflexion sur ce rapport, il convient de préciser les notions de procédure musicale, d'écriture, de complexité analytique, et plus généralement de pensée analytique du musical.

Le premier chapitre présente donc succinctement, malgré la difficulté de la tache, les principaux fondements de la pensée analytique et de la grammatologie de la musique en occident : rationalité, séparation des paramètres, discrétisation des unités de description, écriture, jeux sur le signe, métalangages logico-textuels, procédures. Ce chapitre poursuit à plus petite échelle et avec des thèses parfois différentes ce qu'avait développé Max Weber dans ses recherches sur les fondements rationnels et sociaux de la musique (Weber [1998]).

Dans le deuxième chapitre sont présentés quelques outils de mesure de la complexité analytique d'un algorithme. Lorsque le processus peut être clairement décrit sous forme de graphe ou d'algorithme, des sciences issues des mathématiques et de l'informatique offrent des outils d'analyse et de calcul de cette complexité analytique. Nous verrons cependant que, même lorsqu'un algorithme est proprement explicité sur le plan mathématique, sa complexité analytique se définit avec difficulté. De plus, nous serons très vite confrontés à des problèmes d'ordre musical pour définir et interpréter l'algorithme d'une procédure musicale et pour donner sens à ce que les différents signes de cette formalisation expriment.

Enfin, le dernier chapitre expose la crise historique qu'a connue à partir des années 1970 la grammatologie musicale traditionnelle. Cette crise, qui est aussi la crise d'une certaine rationalité de la musique, a ouvert de nouvelles réflexions sur les rapports entre l'écriture et la perception. Les compositeurs ont en effet pris conscience que le phénomène sonore ne pouvait être entièrement décrit selon les paramètres et les alphabets discrétisés classiques, et ont proposé de nouvelles grammatologies tenant compte de la perception dans la pensée analytique du musical. Ce tournant épistémologique fonde en grande partie les motivations et la conduite de ce travail.

I- QUELQUES PRINCIPES DE LA PENSÉE ANALYTIQUE DANS LA MUSIQUE OCCIDENTALE

1) Rationalité et paramétrisation

a) Logos, rationalité, archi-écriture

Avant d'aborder la notion de complexité analytique d'une procédure musicale, puis son rapport avec la complexité perceptive, il convenait de s'interroger sur la notion de procédure elle-même, et plus généralement sur les principes de la pensée analytique du phénomène sonore dans la musique occidentale. Une composition musicale est une organisation de sons dans le temps. Le compositeur ou l'improvisateur ont en conséquence la plupart du temps recours à des moyens extérieurs à leur seule intelligence auditive pour construire leur discours et réduire la complexité de la chaîne d'information sonore à celle d'algorithmes et de schémas : doigtés particuliers, paroles, pas de danse, graphiques, écritures, théorisation, informatique, etc., ce que nous nommerons ultérieurement, après Derrida, une *archi-écriture.* L'ethnomusicologue et ethnomathématicien Marc Chemillier a ainsi montré que des combinaisons particulières de doigtés des harpistes Nzakara de Centrafrique leur permettaient, en l'absence de partition écrite, de structurer leurs motifs mélodico-rythmiques[7]. D'autres études d'ethnomusicologie systématique signalent l'existence de systèmes de composition implicites ou transmis par apprentissage dans les musiques de traditions orales : on a ainsi découvert des cycles rythmiques itérés complexes (basés sur le chiffre 13) portés par les formants de la voix dans les musiques de *Didjeridu* des Aborigènes d'Australie. Constantin Brailoiu a indiqué des principes modaux stricts dans les musiques non écrites d'Europe Centrale (Brailoiu [1973]). Simha Arom a explicité et formalisé certaines règles, comme les règles d'imparité rythmique et celles de double métrique, dans les différentes musiques vocales ou instrumentales des pygmées Aka de Centrafrique (Arom [1985]). François Pachet a formalisé un système arborescent de règles pouvant définir la totalité des morceaux de *Blues* (Pachet [2000], p.85 et Pachet&Carrive [1998], p.20). Il faut cependant souligner que l'explicitation sémantique de telles structures dans les musiques de traditions non-écrites a été

[7] Marc Chemillier : « Ethnomusicologie, ethnomathématique. Les logiques sous-jacentes aux pratiques artistiques transmises oralement », intervention au *Colloque Diderot*, Société de mathématiques européennes, Ircam, 03/12/99, voir aussi : http://users.info.unicaen.fr/~marc/publi/diderot/nzakara.html

effectuée par des observateurs de cultures écrites, selon des catégories verbales appartenant à la culture de l'observateur (analysant par exemple l'objet d'étude selon les paramètres occidentaux de rythme, de hauteur ou de dynamique). Il faut donc distinguer l'explicitation de telles structures de leur existence propre, consciente ou inconsciente.

La musique occidentale, en particulier parce qu'elle est basée sur l'écriture (nous préciserons ultérieurement les termes de cette relation), fonde sa pratique sur des théories rationnelles explicites de son organisation. Les premières théories musicales apparaissent bien avant l'invention de la notation musicale, puisque que l'on en trouve des traces écrites dans la plupart des cultures antiques connaissant l'écriture sémantique. Les babyloniens et les chinois avaient élaboré très tôt des théories de leur pratique musicale. Chez les grecs, l'effort spéculatif se développe en Ionie vers la fin du VII^{e} siècle avant Jésus-Christ (conjointement à la généralisation de l'écriture[8]), notamment avec Héraclite d'Ephèse qui tente de relier les phénomènes célestes et terrestres. Pour les philosophes ioniens se cache derrière l'essence du réel, conflictuel et pluriel, la loi fondamentale et unitaire du *Logos*, inatteignable à l'homme. Le *Logos* s'appuie sur l'harmonie, la raison, la sagesse et l'expression du caché. Cependant, les modalités de la rationalité du phénomène musical dont va hériter la musique occidentale restent surtout celles de la philosophie pythagoricienne, qui apparaît au VI^{e} siècle avant Jésus-Christ en opposition à la vision spéculative ionienne de la musique. L'approche pythagoricienne n'est connue qu'indirectement, par les écrits de Platon, d'Aristote, ou par ses prolongements effectués par les disciples tels Philolaos ou Archytas. La *République* de Platon évoque l'école pythagoricienne à travers la recherche empirique de la science des rapports harmoniques des sons, en opposition à des préoccupations théoriques (Dufourt [1998]). L'argument principal de l'école pythagoricienne demeure « tout est nombre » (Boyer [1989], p.57). Pythagore établirait notamment que les principaux intervalles consonants peuvent être représentés par des rapports numériques simples, issus de phénomènes physiques (poids d'enclumes, longueurs des cordes) : l'octave par le rapport 2:1, la quinte par 3:2 et la quarte par 4:3. Ces trois intervalles et leur combinaison sont à la base du système des hauteurs en occident[9]. De plus, pour Pythagore (à travers ses disciples), la *consonance* n'est issue ni de considérations

[8] Jack Goody lie l'apparition de l'écriture en 750 avant J.C. en Grèce à l'émergence de la science (Goody (1987], p.41 & 54)

métaphysiques, ni de considérations perceptives, mais de rapports numériques. Sa position est *rationaliste*, c'est-à-dire qu'elle se base sur la raison, contrairement aux *empiristes* qui se fondent sur la réception. Chez les philosophes pythagoriciens, la musique est donc réduite à une discipline scientifique accessible dont le monocorde est l'instrument de mesure. Notons que l'harmonie des hauteurs reste pour Pythagore au centre de la théorie musicale, et c'est l'harmonie qui érige la musique en discipline rationnelle (Wersinger [1998], p.69). Dans d'autres cultures, la rationalité émerge d'autres relations numériques du sonore : la théorie musicale indienne, par exemple, se concentre plus sur les relations entre rythmes, et la théorie arabe puise dans les deux sources, à travers les perses pour les théories rythmiques et Ptolémée pour les hauteurs.

Les attitudes de Platon et d'Aristote diffèrent ensuite quelque peu de celles de Pythagore : ces philosophes s'intéressent plus à la capacité de l'art d'affecter les émotions et le comportement des citoyens (Moutsopoulos [1989] p.68). Dans le *Gorgias*, Platon définit la musique comme une *techné*, c'est-à-dire un art qui procure du plaisir[10], mais qui n'a pas autant de dignité que la science (Fubini [1983], p.23). La position rationaliste pythagoricienne, notamment l'importance donnée aux rapports rationnels entre les hauteurs, à l'harmonie, et à la notion de consonance[11] imprègnera toutefois fortement la théorie musicale occidentale, notamment par le relais des théories de Philolaos, reprises par Nicomaque, qui influencera lui-même Boèce[12] (Boèce [524], livre 1, §10, p.17). On la retrouve ensuite chez Rameau et Zarlino[13] et, de façon plus isolée, chez Euler, Hellegouarch ou Xenakis[14].

---

[9] En Europe à travers Boèce, mais également, comme on le verra, dans le monde arabe à travers Aristote et Ptolémée.

[10] Pour Platon, le mode dorien représente par exemple le courage et le mode phrygien la sobriété, alors que la musique plaintive est représentée par les modes mixolydien ou syntolydien. Les modes ionien et lydien lui semblent efféminés.

[11] C'est pourquoi cette étude s'achèvera sur un chapitre sur la consonance, définie comme la complexité de perception cognitive d'un intervalle.

[12] « *C'est pour cette raison* [on doit plus faire confiance à la raison qu'aux sens pour le jugement] *que Pythagore, abandonnant le jugement de l'oreille, se tourna vers la mesure des lois.* » (Boèce [524, p.17). « *Le noble Pythagore ne voulait pas que l'on jugea de la musique selon les sens, car il disait que sa vertu ne pouvait être appréhendée que par l'esprit. Aussi n'en jugeait-il pas lui-même selon son ouïe mais selon les lois de l'harmonie, et il estimait suffisant de limiter l'étude de la musique à l'analyse de l'octave*(Porphyre, cité par A Bélis [1986], p.102 ; voir aussi p.64).

[13] Une relecture normative de l'histoire a fait croire que les systèmes de Pythagore et de Zarlino évoluent dans le sens des partiels harmoniques, justifiant ainsi acoustiquement la consonance de la quinte et de la tierce. Les harmoniques n'ont cependant été découverts par Sauveur qu'au XVIII^{ème} siècle, et Zarlino justifiait la consonance de la tierce par des rapports numériques simples, et non des notions d'acoustique (Zarlino [1573], p.244)

[14] « Nous sommes tous des Pythagoriciens », Xenakis, « vers une philosophie de la musique », *Musiques nouvelles, Revue d'esthétique*, 1968, p.174.

b) L'invention d'une notation en paramètres musicaux discrétisés

Les modalités de la rationalisation de la musique en occident sont liées à la représentation du phénomène sonore selon des paramètres indépendants [durées/rythme, fréquences/hauteurs, intensités/dynamiques]. La séparation des paramètres et leur discrétisation marquent une étape importante des modalités de la pensée analytique. Elle signifie à la fois une catégorisation des problématiques musicales, qui permet d'aller plus loin dans les recherches à l'intérieur de chacune de ces catégories, et une préoccupation amoindrie des phénomènes transparamétriques.

Les motivations pour séparer les phénomènes en paramètres indépendants dans une discipline qui se rationalise semblent de deux types.

Il y a d'une part la volonté de quantifier le phénomène que l'on observe et que l'on rationalise. La mesure du temps (l'invention des horloges solaires ou hydrauliques, par exemple) et la mise en relation ordinale (pythagoricienne) puis cardinale (désignation d'un référent) des hauteurs proposent alors deux unités claires et indépendantes de mesure d'une partie du phénomène sonore.

Il y a d'autre part la volonté de transcrire et représenter efficacement le phénomène que l'on rationalise. Le sémiologue Posner montre qu'un alphabet de description se constitue sur des principes d'économie et d'efficacité, qui peuvent être la création de sous-alphabets autonomes (Posner [1988], p.910). Selon Posner, lorsqu'une langue distingue à l'intérieur de son alphabet deux sous-familles indépendantes, elle crée en fait un alphabet de deuxième niveau plus étendu (chaque combinaison de syllabes), sans accroître le nombre de permutation ni de signe. Ce fut le cas de l'alphabet grec séparant consonnes et voyelles à partir de l'alphabet syllabique phoenicien[15]. Ce fut vraisemblablement aussi le cas du passage de la notation neumatique à la notation en alphabets indépendants de hauteurs, de rythmes et de nuances[16].

---

[15] Les alphabets des langues greco-latines, avec une vingtaine ou une cinquantaine de signes seulement, énoncent par exemple ce que les logogrammes chinois expriment en 8000 signes, les alphabets syllabiques (coréen, etc..) en 1000 signes, et l'alphabet morse en trois signes. Cependant la lecture comme l'écriture de l'alphabet morse est plus lente que celles des alphabets greco-latins, permettant l'expression d'un mot par une combinaison de signes plus réduite (la longeur de la chaîne est plus courte pour le même sens), et nettement plus lente qu'un alphabet d'idéogrammes chinois exprimant en un signe un mot.

[16] Dans son *Micrologus*, chap.XV, Guido d'Arezzo fait le même rapprochement entre les sons individuels qu'il rapproche des lettres et les neumes qu'il rapproche des syllabes. L'argument principal en faveur de son nouvel alphabet est l'efficacité d'apprentissage et d'utilisation.

On observe dans la pratique que les deux motivations de quantification et de représentation sont distinctes : si le phénomène musical a été paramétrisé dès l'antiquité, les signes distincts pour le représenter n'ont été inventés que douze siècles plus tard, et de façon assez laborieuse. En ce qui concerne la motivation de quantification, la conscience quantifiée du rythme est déjà présente dès l'antiquité dans la poésie. On peut alors spéculer que le paramètre des hauteurs s'en déduit logiquement lorsqu'on passe de la poésie à la musique. Acoustiquement, une voix chantée est en effet, grosso modo, surtout en occident, une voix qui rallonge temporellement les voyelles sur les consonnes, et fait émerger, lorsque le mouvement des cordes vocales en vibration ne se modifie pas, un son harmonique constant et une fondamentale. Les formants des voyelles sont en effet, au contraire des consonnes, relativement harmoniques[17].

On peut alors s'interroger si la représentation du phénomène sonore sous la forme des paramètres traditionnels de rythme, de hauteur, et d'intensité, est unique et optimale. Ces paramètres sont des signes d'interprétation du monde tel que nous nous le représentons. Nous donnerons ultérieurement de nombreux exemples de limite de cette paramétrisation (xylophone Tikar du chap. I-5-a), paradoxes de Risset, etc..).

c) Discrétisation en alphabets finis d'éléments : le cas du partage du tétracorde et de la fixation des intervalles

La tri-paramétrisation du phénomène musical, un des fondements analytiques de la musique occidentale, s'est très tôt accompagnée de la création d'éléments finis pour décrire chacune de ces sous-dimensions du sonore. Il ne va pourtant pas de soi que l'on sépare le phénomène sonore selon ses évolutions temporelles, dynamiques, et fréquentielles, puis que l'on réduise chacune de ces sous-descriptions selon des combinaisons finies d'unités élémentaires. Il ne va pas non plus de soi que l'on discrétise les événements temporels comme combinaisons d'une unité discrète unique, la ronde, et ses subdivisions par deux, trois, parfois plus (la noire, le triolet, etc..). Il ne va pas de soi de réduire l'évolution formantique d'un son

éventuellement inharmonique à sa fondamentale, de fixer cette fondamentale à une valeur constante (les glissandi sont rapidement devenus accessoires dans la musique occidentale, notamment à partir de la notation carrée des hauteurs), et de décrire cette fondamentale sur une échelle finie de douze degrés par octave. Il ne va enfin pas de soi de réduire une évolution dynamique de chacun des partiels à celle de la fondamentale, de considérer cette dynamique temporellement constante, et de la représenter par un alphabet sur une échelle finie d'environ dix degrés (de $pppp$ à $ffff$), que l'on nuance à la rigueur par un signe unique décrivant une évolution linéaire naïve entre deux valeurs constantes (les signes < ou >).

C'est pourtant grâce à ces différentes restrictions, uniques parmi tous les arts comme parmi l'ensemble des cultures humaines, que s'est ouverte la possibilité de l'écriture de la musique, de la pensée combinatoire, de l'explicitation de catégories quantitatives, et finalement des modalités de la pensée analytique occidentale en musique du XIII^{e} siècle à nos jours. Pour insister sur cette non-évidence comme sur ses alternatives possibles ou adoptées dans d'autres cultures, nous étudions l'exemple encore trop peu déconstruit de la réduction des hauteurs sur une échelle d'intervalles en nombre finis (du demi-ton à l'octave), c'est-à-dire le cas du partage du tétracorde.

L'histoire débute à nouveau avec Pythagore. Des intervalles de quarte (4:3), de quinte (3:2), et d'octave (2:1) prônés par Pythagore s'en est immédiatement déduit la valeur du ton pythagoricien (9/8) [18] « *excès de la quinte sur la quarte* » (Aristoxène, cité par Bélis [1986], p. 65 ; voir aussi Boèce [524], p.19). Notons que tous ces rapports sont épimores, c'est-à-dire de la forme [(n+1)/n], ratio appelé *superparticularis* en latin[19]. À partir de ce partage de

[17] Dans la réalité, selon les styles et les cultures, la voix chantée se distingue aussi de la voix parlée par l'amplification de certains formants, le vibrato, etc. (*source : Xavier Rodet, équipe analyse synthèse de l'Ircam, discussion privée).*

[18] (3/2)/(4/3) = 9/8. Définir le ton comme la différence entre la superposition de deux quintes et d'une octave est une interprétation historique, même si le résultat numérique est le même. La quarte a en effet un rôle aussi important que la quinte et l'octave chez les grecs (voir sur ce sujet Weber [1979] p.98).

[19] Les rapports épimores [(n+1)/n]=(1+1/n), ont une signification particulière pour l'antiquité, pour des raisons d'efficacité de calcul (une longueur plus une partie de sa longueur; ils permettent aussi des opérations de division et multiplication faciles, et le partage d'un intervalle en deux intervalles « aliquotes »). Les autres « espèces » importantes, en musique comme en mathématiques, étaient les rapports *multiples* (.n), les superpartients (1+a/n), et les multiple-superpartients (m+a/n). Les multiples et les superparticularis étaient souvent considérés comme symétriques (n fois la longueur, et la longueur plus une partie d'elle-même) et consonants, (cf. Boèce [524] I.6,

l'octave en deux quartes, faisant apparaître quatre intervalles (l'octave, la quinte, la quarte et le ton pythagoricien), tous épimores, vont s'opposer deux héritages pythagoriciens : ceux des disciples de Pythagore favorisant les propriétés épimores des intervalles, comme Archytas, que reprendront Aristoxène de Tarente, Aristote, Ptolémée, puis toute la musique arabe (voir partie C-IV), et ceux favorisant plutôt les valeurs absolues des intervalles, comme Philolaos que reprendra ensuite Boèce (480-524), puis toute la musique occidentale.

Chez chacun de ces disciples se pose en effet la question du partage de la quarte en trois intervalles, c'est-à-dire le partage du tétracorde. Or, selon que l'on accorde plus d'importance à la nature épimore ou à la valeur des intervalles, le partage du tétracorde, qui débouche sur la définition de nos gammes occidentales actuelles et des genres arabes, n'est pas la même. Philolaos (env. 450-400 av.J.C.)[20] avait de son côté observé qu'en retirant d'une quarte deux tons, on trouvait un demi-ton de valeur 256/243[21] (limma pythagoricien), non superparticularis (voir aussi Bélis [1986], p.66). Les héritiers de Philolaos « l'occidental », en particulier Nicomaque puis Boèce, en déduisent trois façons uniques de partager le tétracorde à partir de ratios composés uniquement de combinaisons du ton et de ce Limma[22], c'est-à-dire à partir d'intervalles dont les numérateurs et dénominateurs des fractions sont exprimés uniquement de puissances des chiffres [1, 2, 3 et 4] : le genre diatonique (ton, ton, demi-ton/limma), le genre chromatique (demi-ton/limma, demi-ton/*limma*, tierce mineure/*tri-hemiton*) et le genre enharmonique (quart de ton, quart de ton, tierce majeure/*diton*) (Boèce[524], livre I, §21, p.41, et IV.8, p.136)[23]. Boèce en tire, par combinaison des genres, huit modes (lydien,

---

p.14, Safiyu-d-Din in d'Erlanger [1935], T.III, p.13). Cet argument sera aussi repris par Zarlino pour légitimer la tierce 5/4 comme consonante (Zarlino[1573], I §26, p.122)

[20] Philolaos, contemporain de Socrate, est né à Croton au sud de l'Italie, dans une communauté religieuse liée aux enseignements de Pythagore, qui avait vécu dans cette région. Philolaos est le premier à avoir écrit sur Pythagore. À la destruction de sa communauté, il se réfugie à Thèbes, et devient en particulier le professeur d'Archytas et de Democrite.

[21] [4/3]/[(9/8)*(9/8)]= 256/243

[22] Annie Bélis écrit « *Nous savons par Aristoxène que les Harmoniciens prenaient pour mesure de tout intervalle musical la diésis, le quart de ton ; Mais la diésis n'est pas une grandeur déterminée absolument, dans la théorie musicale : à chaque genre, sa diésis ; en enharmonique, elle couvre un quart de ton, en chromatique, un tiers de ton, et en diatonique, un demi-ton. Encore ces principes doivent-ils être amendés : chaque école adoptait ses propres « nuances », χροαι, selon sa méthode.* » (Bélis [1986], p.70). Philolaos, d'après Boèce, fixe alors la « diésis » comme « *l'intervalle qui sépare le ratio sesquitertia* [la quarte] *de deux tons* », c'est-à-dire le limma pythagoricien lorsque le ton est fixe (Boèce, livre III, § 8, p.97). Boèce fixe dans le même paragraphe les autres intervalles : le *comma*, le *schisma* et le *diaschisma*. Boèce reconnait aussi que le limma n'est pas exactement un demi-ton, (Boèce [524], II.29, p.83),

[23] Boèce connaissait les méthodes alternatives d'Archytas (V.17, p.177) et de Ptolémée (V.19, p.179), favorisant les épimores, mais préfére celles de Nicomaque et exprime tout ratio par les nombres 1, 2, 3, 4 (livre II, §18, p.72 : « *concernant le mérite ou les mesures de consonance de Nicomaque* »).

phrygien, dorien, etc..) (Boèce[524], livre IV, §17, p.157). Il faut remarquer combien la théorie musicale occidentale a conservé cette approche en la simplifiant (en abandonnant les intervalles plus petits que le demi-ton, elle abandonne également le genre enharmonique), et oublié les autres alternatives. La théorie musicale occidentale commune enseignée dans les manuels scolaires décrit en effet les genres chromatiques et diatoniques selon les seules combinaisons du ton et du demi-ton[24], chacun de valeur fixe.

Archytas de Tarente[25] (IV^{e} siècle av.J.-C.), élève de Philolaos, puis Aristote (384-322 av.J.-C.), et son élève Aristoxène de Tarente (375-360 av.JC) s'opposent aux pythagoriciens[26] (en fait à Philolaos). Ils favorisent plutôt le partage du tétracorde en intervalles « mobiles », tous exprimés en rapport épimore[27] à l'intérieur de l'intervalle « fixe » de quarte. « *Telle étant la nature de la musique, nous devons, en matière de chant harmonieusement construit, accoutumer et notre oreille et notre intellect à juger correctement des éléments fixes et des éléments mobiles* » (Aristoxène, Traité d'harmonie, 34.25-30, cité par Bélis [1986], p.209). Ptolémée tentera une réconciliation[28] entre les deux approches et entre l'empirisme et le rationalisme en calculant les rapports numériques des intervalles, mais sans les fixer sous forme d'intervalles fixes. Après avoir discuté les six tétracordes d'Aristoxène[29], Ptolémée propose en effet une définition plus large des genres[30], sans fixation de certains intervalles autres que leur valeur épimore, lorsque cela est possible : le genre est dit *diatonique* (ou *dur*)

---

[24] L'encyclopédie Fasquelle [1958] de la musique écrit ainsi à l'entrée *diatonique* : « Chez les théoriciens grecs, le genre diatonique est celui des 3 qui procède par tons et demi-tons majeurs ; les modernes ont conservé le terme pour qualifier la gamme dite *naturelle*, succession de 5 tons et de 2 demi-tons majeurs. » (T.I, p.655). De même, selon A.Danhauser, le demi-ton *diatonique* est (« *celui qui se place entre deux notes de noms différents* ») et le demi-ton *chromatique* (« *celui qui se place entre deux notes de même nom, mais dont l'une est alterée* »). *L'enharmonie* est « *le rapport, l'espèce de synonymie qui existe entre deux notes de noms différents, mais affectées toutes deux au même nom* » (Danhauser [1929], p.25).

[25] Archytas de Tarente, ami de Platon, élève de Philolaos, est aussi le découvreur des trois moyennes mathématiques (arithmétique, géométrique, harmonique). Il énonce également le premier la notion de quadrivium, et montre, selon Boèce, qu'on ne peut séparer un épimore en deux parties égales.

[26] Aristote écrira de nombreux textes critiques contre les « *pythagoriciens d'Italie* », voir Bélis [1986], p .69), critiques que reprendra ensuite Aristoxène de Tarente, surtout sur le plan musical.

[27] Epimores que Ptolémée puis Al-Farabi appèleront « emmèles[27] » lorsqu'ils sont plus petits que la quarte.

[28] Ptolémée critique en fait les « *aristoxeniens qui sont plus concernés par la perception que par la raison* » (Ptolémée [203], livre I, § 6.5, p.9), et qui désignent les intervalles par leur distance *diastema* et non par des ratios exacts, et les pythagoriciens qui « *n'ont pas bien investigué les consonances* », en particulier 5/4 et plus généralement tous les épimores (lI.6, §13.23, p.19).

[29] *enharmonion* [1/4, 1/4, 2], chromatique doux *chroma malakon* [1/3, 1/3, 1+5/6], chromatique hémiolique *chroma hemilion* [3/8, 3/8, 1+3/4], chromatique tonique *chroma tonaion* [1/2, 1/2, 1+1/2], diatonique doux *diatonon malakon* [1/2, 3/4, 1+1/4], diatonique dur *Diatonon syntonon* [1/2, 1, 1] (Ptolémée[204] I.12, p.41, et *Article diatonique/chromatique/enharmonique*, Peter Cahn, encyclopédie MGG, T.II p.1219). Voir Zarlino [1573], II.16 qui contestera aussi 'Pythagore' et trouve quatre enharmoniques, cinq chromatiques et quatre chromatiques.

[30] Les genres décrivent le type de partage du tétracorde.

lorsque la somme des deux petits intervalles est plus grande que le plus grand intervalle, et *chromatique* (ou *mou*) lorsque la somme des deux petits intervalles est plus petite que le plus grand intervalle. Ptolémée en déduit huit partages du tétracordes[31]. Notons que cette approche n'est pas purement théorique[32] : elle influencera la théorie musicale arabo-turque (cf. le chapitre C-IV).

L'approche de Philolaos, que reprendra Nicomaque, puis Boèce et toute la musique occidentale, permet en fait de fixer les notions de note et d'intervalle (réduits au ton et au demi ton), et d'en déduire par combinaison un nombre fini de gammes et d'échelles finies (trois genres, douze modes). Au contraire, l'approche d'Archytas et d'Aristoxène, puis de Ptolémée, d'Al-Farabi, et de toute la musique arabo-turque, ne permet pas la discrétisation des hauteurs en quelques valeurs. Elle offre par contre une infinité d'intervalles possibles à l'intérieur d'une définition précise des intervalles autorisés (rapports épimores, définis ensuite par certains théoriciens arabes comme les intervalles consonants). Dans un cas, l'occident s'offre ainsi un alphabet restreint d'intervalles, relativement peu intéressants en soi, et ses multiples combinatoires, qui ouvrent la voix à la polyphonie, au contrepoint, au tempérament égal, et à l'écriture des hauteurs. Dans l'autre cas, celui du Proche-Orient, l'alphabet de hauteurs n'est pas discrétisé, non susceptible de grammatologie visuelle ou combinatoire, ce qui implique plutôt la monodie et l'absence d'écriture. Mais il est riche d'une infinité d'éléments (réduits ensuite par les principes des Maqamat), ce qui induit en particulier que le choix de l'intervalle en soi, ses inflexions et ses hésitations[33], fassent partie du processus artistique.

[31] enharmonique doux [46/45, 24/23, 5/4], chromatique dur [28/27, 15/14, 6/5], chromatique doux [22/21, 12/11, 7/6], diatonique tonique [21/20, 10/9, 8/7], diatonique ditonique [28/27, 8/7, 9/8], diatonique dur (= diatonique chez les pythagoriciens) [256/254, 9/8, 9/8], diatonique droit [16/15, 9/8, 10/9], et diatonique pur [12/11, 11/10, 10/9] (Ptolémée [203], p.52).

[32] Annie Bélis ("Auloi grecs du louvre" *bulletin de correspondance Helenique*, cité par Solomon p.47) aurait découvert une double Aulos grecque à deux tubes contenant 14 intervalles différents, tous sauf deux basés sur des superparticuliers : [32:27 11:10 9:8 8:7 7:6 16:15 9:8 7:6] et [32:27 9:8 14:13 9:8 8:7 18:17].

[33] À côté d'une théorie fixant un certain nombre de modes, la pratique arabe se développe sur des intervalles assurés, et d'autres plus hésitants, accompagnés de glissandi, d'inflexions, etc. (voir la remarque d'Erlanger dans la partie C-III)

2) Noter la musique

Trois principes essentiels de la pensée analytique de la musique occidentale ont donc été posés dès l'antiquité, bien avant que la musique n'acquiert sa propre écriture : i) un désir de rationalité (qui implique entre autres les notions de science musicale, d'harmonie et de consonance) ; ii) une représentation du phénomène sonore selon des paramètres indépendants [rythme, hauteurs, nuances] (ce qui permet une quantification de la musique, mais en limite ses descriptions et les grammatologies transparamétriques, spectrales ou sur l'inharmonique) ; iii) des alphabets et des unités de descriptions discrètes et finies selon ces paramètres (treize intervalles dans une octave, valeurs rythmiques, valeurs de dynamiques). Ces trois fondements analytiques ouvriront la voie à la pensée combinatoire et à l'écriture. Inversement, l'écriture restera un stimulateur essentiel de la pensée analytique dans la musique occidentale.

a) Fonctions d'une notation

On attribue généralement deux fonctions aux écritures : la fonction *graphémologique,* qui considère que l'écriture représente à travers ses différents signes la transcription d'une langue, et la fonction *grammatologique* (de <gramma>=lettre en grec) qui a un rapport avec le processus matériel sur l'écriture, c'est-à-dire qui considère que la lettre et l'écriture sont des substances graphiques autonomes interrogeant la pensée et le matériau (Klinkenberg [1996], p.226 à 230) . En ce sens, l'écriture de la partition est graphémologique puisqu'elle renvoie à une action de jouer, à un son, tout comme l'écriture linguistique renvoie à une langue orale. L'écriture musicale est ensuite grammatologique puisque le compositeur ou l'analyste se l'accaparent comme outil d'étude et de création (par exemple, les permutations sur les signes des compositeurs de l'Ars Nova ou du sérialisme généralisé).

Certaines musiques sont écrites, d'autres non. De même, la réception d'une oeuvre peut être modifiée par une explication de type logico-textuel (analyse musicale, note de programme) ou par des phénomènes d'apprentissage inconscient. L'écriture est donc un médium dépassant la fonction de transcription. Cette conception purement graphémologique de l'écriture, d'origine aristotélicienne s'est en effet rapidement assumée fausse (Will [1999] p.15). Le signe et l'écriture sont des modèles de représentation de l'univers et des modalités de pensée. À ce titre, ils appellent des fonctions de formalisation et de théorisation.

Note sémiologique : typologie des signes graphémologiques et grammatologiques

La notation musicale, dans sa fonction **graphémologique**, mobilise trois types de signes : les signes de type *idéographique* (ou *logographique*), qui renvoient à des signifiés musicaux (par exemple une note), des signes *morphologiques* ou *monophosyntaxiques*, qui renvoient à des règles syntaxiques (le signe #), et des signes *thématiques*, qui renvoient à une catégorie de sens (par exemple le chiffrage du degré harmonique dans les continuo baroques ou les partitions de jazz). Contrairement à l'écriture linguistique, l'écriture musicale n'a pas de signes aux fonctions *phonographiques*, c'est-à-dire renvoyant à des phonèmes (la lettre [a] renvoie au son <a>). De manière générale, la fonction *idéographique* est dite *autonome*, car les unités signifiantes renvoient directement à une unité de signifié, alors que les fonctions *monosyntaxiques* et *thématiques* sont *hétéronomes*, car les signes ne fonctionnent qu'en présence d'autres signes.

Le compositeur et l'analyste musical utilisent les écritures musicales ou logico-textuelles dans un but également **grammatologique**. On distingue alors cinq types de signes pour cette fonction : *l'index*, signe dont la fonction est de renvoyer de façon contiguë à l'objet en question. Ainsi, un titre d'œuvre, le nom « basse d'Alberti », « transposition » ou « multiplication d'accords », un signe de lever de pédale ou de note harmonique ont des fonctions indexicales. Les signes peuvent aussi avoir une fonction *taxonomique* (ou *topologique*), si le signe renvoie à un objet selon une logique de classement différente de l'objet lui-même : attribution de lettres de l'alphabet aux différentes parties d'une œuvre, des groupes de notes, ou des notes (d'un motif, d'une série), etc. Dans les fonctions *symboliques*, le choix du caractère ajoute une information : Par exemple, A B A' pour mentionner différentes parties d'une forme ternaire (le ' ajoute une fonction symbolique supplémentaire), les flèches pour indiquer le sens de la série, etc.. Dans les fonctions *indicielles*, le choix du signe est motivé, justifié, (par exemple, le chiffrage I pour signifier le premier degré). Enfin, les signes à fonction *iconique* ont une forme qui renvoient directement à un objet ou un autre signe (par exemple, le chiffrage T pour signifier une tonique, le signe de cymbale pour indiquer l'instrument, …). Les deux fonctions *indexicales* et *taxonomiques* sont hétéronomes, les autres fonctions sont autonomes.

b) Principes graphémologiques et grammatologiques des premières notations musicales.

Après l'Édit de Milan de 313, favorisant la tolérance et la diversité culturelle et religieuse, la musique occidentale s'émancipe dans des directions très diverses, alors que la musique d'Orient reste contrainte par les édits de l'empereur Justinien et de ses successeurs. Au VIII[e] siècle, la réforme du Plain-Chant[34] fixe les règles musicales. Les chantres de l'empire franc entreprennent un travail de codification des techniques (séquences, tropes, drame liturgique, classement des modes dans des tonaires). D'importants écrits théoriques apparaissent ensuite avec Aurélien de Réomé (milieu du IX[e] siècle) et Hucbald de Saint-Amand (vers 840-930). Ces derniers reprennent la conception pythagoricienne défendue par

[34] La refonte du chant romain en Gaule, en grande partie responsable de l'invention de la notation musicale, a en fait été initiée par Pépin le Bref et Etienne II à partir des années 750, et fut plus tard attribué à Saint-Grégoire (Colette & alii [2003], p.13).

Saint-Augustin[35] et par Boèce selon laquelle la musique est une branche des mathématiques. Boèce avait théoriquement confirmé les valeurs fixes des intervalles et la définition des genres et des modes, qu'il décrivait avec des alphabets latins (pour les intervalles) et grecs (pour les hauteurs) (Viret [1999] p.78). Hucbald de Saint-Amand réalise ensuite que les mélodies du répertoire traditionnel de plain-chant sont constituées sur une seule échelle[36]. Il envisage de représenter par des points ou des séparations les tons et les demi-tons, et imagine des représentations verticales des intervalles conformes aux tétracordes grecs (Colette & alii [2003], p.20). Hucbald de Saint-Amand concrétise ainsi la possibilité de l'écriture musicale moderne et la pensée catégorielle des hauteurs. Il défendra d'ailleurs les systèmes alphabétiques grecs de notation des hauteurs, employés également par Boèce, contre la notation neumatique nouvelle, tout en reconnaissant les limites d'une notation discrétisée : « *Les signes neumatiques usuels, toutefois, ne doivent pas être tenus pour tout à fait inutiles, particulièrement lorsqu'il s'agit d'indiquer le mouvement lent ou rapide de la mélodie, ou si le son représenté contient une note tremblée* [tremulam]*, ou bien de quelle manière ces sons-là sont rassemblés en un seul [groupe neumatique] ou séparés l'un de l'autre (...), toutes choses que les signes alphabétiques artificiels[37] ne peuvent absolument pas exprimer. »* (Hucbald de Saint-Amand, *Musica*, trad. Yves Chartier, cité in (Colette [2003], p.20)).

Conscient de la complexité non réductible du phénomène musical, l'archevêque Isidore de Séville écrivait déjà au début du VII^{e} siècle dans son *Etymologiarum* (chap.III, 15) : « *A moins que l'homme ne s'en souvienne, les sons périssent car ils ne peuvent être couchés sur le papier* ». Deux siècles plus tard apparaît pourtant, quasiment à l'échelle d'un continent (d'Italie en Allemagne, de Bretagne à Constantinople, c'est-à-dire dans les pays à clergé chrétien), la notation du plain-chant en neumes. Les premiers neumes ne décrivent toutefois pas vraiment de hauteurs ni de rythmes exacts, et ne sont utiles que pour ceux qui connaissent déjà la mélodie. Ils ne sont donc pas encore une écriture au sens actuel, mais servent d'aide-

[35] Saint-Augustin écrit dans son *De Musica* « Musica est scienta bene modulandi » (la musique est la science du mouvement bien réglé).
[36] Dans les théories arabes, cette unité de l'échelle des hauteurs n'existe pas. Si les théoriciens Al-Farabi et Saffi-d-Din s'accordent à trois siècles de distance sur les genres et modes théoriques, issus de Ptolémée, leur accord du luth Oud diffère, Al-Farabi construisant une échelle à 24 tons, auquel il faudra rajouter certaines frettes empiriques pour les tierces de Zalzal, et Safi-d-Din proposant un autre système comprenant dix-sept intervalles.
[37] Noter le terme *artificiel* : la notation neumatique serait plus « naturelle », moins symbolique.

mémoire approximatif et perceptif des contours mélodiques et de moyen de transmission. La notation diastématique est toutefois, selon Jacques Chailley, la première notation à fixer visuellement un sens de 'hauteur' (grave=bas, aigu=haut)[38], mais aussi des formules rythmiques précises (*punctum, virga, podatus, clivis, torculus*).

L'apparition d'une écriture remplacent souvent certains mécanismes propres à une société musicale de tradition orale et de l'improvisation :

* D'une part, la notation neumatique aurait peut-être fixé et schématisé le répertoire. Toutefois, les spécialistes émettent plusieurs hypothèses : selon des théoriciens comme Treitler, Huche ou Van der Werf (années 70), la notation neumatique a cristallisé peu à peu les formes improvisées, notamment en Europe occidentale. Dans les années 90, on pensait au contraire que les mélodies étaient restées stables indépendamment du fait qu'elles soient notées, notamment du fait qu'on retrouvait des transcriptions identiques d'un même chant dans des origines géographiques très diverses. Selon Kenneth Levy ou Marie-Noëlle Colette, le neume fut un révélateur de la stabilisation du répertoire, sans en être la cause[39].

* Selon Kenneth Levy, la notation neumatique a de plus affaibli le rôle de la mémoire humaine tout en stabilisant les règles mélodiques ; les deux fonctions de cette écriture, transcription musicale et mémorisation, auraient parfois été conflictuelles (K. Levy[1998], p.253).

* Enfin, la stabilisation du répertoire n'a pas signifié un ralentissement de son évolution. On a au contraire assisté à un développement plus rapide, du fait que la transcription écrite rend inutile la préservation orale du répertoire et que l'écriture offre une dimension grammatologique de recherche supérieure à celle de l'oralité[40].

---

[38] Selon Marie-Elisabeth Duchez, citée par M.-N. Colette, il n'y a pas de caractère immédiat dans l'équivalence bas-grave et haut-aigu. Ceci est symptomatique d'une pensée musicale qui se rationalise (Colette & alii [2003], p.18).

[39] en 754, soit un siècle avant les premières notations neumatiques, le Pape Etienne II visite Charlemagne et son père Pépin le Bref, et demande en particulier une normalisation des règles musicales du chant grégorien et une transmission des mélodies liturgiques grégoriennes à travers le monde chrétien occidental, afin de permettre une suprématie progressive du chant carolingien sur le chant gallican, trop profane. Il y a donc volonté de codifier le répertoire, et l'écriture en serait seulement, selon Kenneth Levy, un outil. Marie-Noël Colette partage cet avis. Selon cette musicologue, la présence de modes, par exemple, déjà perceptible au VIe siècle, a été codifiée et organisée à la fin du VIII^{e} siècle, soit un peu avant la création de la notation (les premiers témoins de cette organisation en sont les tonaires, livres liturgiques qui classent au VIII^{e} siècle les antiphonaires de la messe selon les huit tons psalmodiques du chant grégorien -communication personnelle, mail du 28/07/02).

[40] Charles Atkinson note par exemple que l'écriture a modifié la théorie des tons psalmodiques (Atkinson [1998], p.108)

L'apparition de l'écriture neumatique a donc permis le développement de nouvelles pratiques et pensées analytiques de la musique, qui ont influencé à nouveau les évolutions de l'écriture : les influences réciproques entre graphémologie et grammatologie étaient amorcées.

Note musicologique : principes de la notation neumatique

Comme l'écriture latine, les neumes se notent généralement de gauche à droite, par un système de lignes et de points, et accompagnent souvent un texte. Malgré une diversité régionale apparente des neumes (Les différentes écritures neumatiques coïncident relativement avec les différents royaumes issus de l'éclatement du Royaume franc à la mort de Charlemagne en 814 et du traité de Verdun de 843), on observe, selon le sémiologue Eugène Cardine, un archétype d'écriture neumatique que l'on peut diviser en trois genres : une notation graphique (traits et points), une notation gestuelle (points et lignes courbes), et une notation carrée (dite diastématique, car elle indique les intervalles), venue ultérieurement, plus précise pour les hauteurs. Marie-Noelle Colette distingue plutôt les notations à point, les notations accentuelles plus cursives, et les notations mixtes usant les deux types de signe (Colette [2003], p.48).

L'origine de ces signes n'est pas encore établie clairement. Les neumes adiastématiques représenteraient les signes du chef de chœur (hypothèse chironomique d'André Mocquereau), ou proviendraient soit des accents de la prosodie grecque, soit des modèles byzantins issus des accents grecs, soit des signes de ponctuation et de prosodie du langage, soit de la notation ekphonetique, issue du latin et utilisée dans la liturgie byzantine entre le IX^{e} et XIV^{e} siècle.

c) Les écritures musicales comme opérateurs de nouvelles rationalités

La notation neumatique gestuelle du début du IX^{e} siècle ne séparait pas encore les paramètres de durée et de fréquence[41] et conservait les inflexions et glissandi de la voix. Si cette notation est plus apte à décrire certains phénomènes sonores, elle limite sa grammatologie (le théoricien Hucbald ajoute à la notation neumatique une notation alphabétique discrétisée des hauteurs issue de la notation grecque pour élaborer ses réflexions sur les hauteurs et les intervalles). La notation des hauteurs dans sa forme actuelle, dite *notation carrée*, fut établie au XI^{e} siècle, entre autres par Guido d'Arezzo (991-1033). Avec son principe de solmisation, ce théoricien invente la portée avec des espaces de lignes représentant la hauteur utilisée, un signe (la clef) disposé sur une ligne pour établir une hauteur précise liée à une ligne précise, et des représentations carrées et rondes (*rotundum* et *quadratum*) du 'B' pour désigner si le si est bémol ou bécarre. Dans le même temps, Guido d'Arezzo identifie le mode avec la finale. Il insiste sur le fait que son système permet l'apprentissage du chant grégorien en deux ans et

[41] À la fin du X^{e} siècle, certains chants grégoriens, comme le chant aquitain, disposent verticalement des neumes dits « diastématiques » pour représenter une hauteur relative mais fixe, et y adjoignent une ligne représentant la finale (ou sa tierce supérieure), ce qui représente une prise de conscience analytique formelle forte.

non en dix comme pratiqué jusqu'alors, et saisit les avantages d'une écriture plus analytique. Plus généralement, la notation carrée modifie le rapport entre le signe et sa signification, puisque le neume privilégie le point sur la ligne, la hauteur l'emportant sur les mouvements et les liaisons (M. Popin, in Colette & alii [20003], p.95). Cependant, la notation carrée des XIII^{e} et XIV^{e} siècles échappe encore, selon Marielle Popin, à une logique mathématique totale (p.93), notamment au niveau rythmique.

La polyphonie avait rendu nécessaire la coordination rythmique entre les voix. Jean de Garlande, théoricien de l'école de Notre-Dame vers 1217, établit dans son *De mensurabili musica* une notion modale de rythme, distinguant six modes élémentaires de combinaisons entre longues et brèves. Il réemploie les notions de *longa* et de *brevis,* inspirées des règles de la poésie latine quantitative (métrique, faisant la différence entre syllabes longues et courtes) et qualitative (rythmique, différenciant les syllabes avec et sans accent). Les compositeurs du Moyen-âge vont ensuite compliquer encore ces règles (ce qui montre en particulier un intérêt de plus en plus pour le rythme en tant que paramètre autonomisé), rendant parfois sa lecture interprétative. Francon de Cologne opérera dans son *Ars cantus mensurabilis* (vers 1280), une rationalisation révolutionaire. Il inverse la relation entre modes et durées en traduisant les rythmes sous forme de notes individuelles, qui composeront ensuite le mode dans une échelle de durées où chacune vaut le tiers de la valeur plus grande : la longue, la *brevis* et la *semi-brevis*. Selon Anna-Maria Busse-Berger, la « *révolution conceptuelle* [du renversement entre mode et valeur de rythme] *est inséparable du fait que la notation devient plus importante que la transmission de la musique* » (Busse-Berger, in Lévy [2001], p.33). Marielle Popin caractérise la nouveauté fondamentale de ce système au principe « *qu'à une valeur de note ne correspond qu'un seul signe, et qu'inversement à un signe ne correspond qu'une seule valeur de note. De plus la cohérence des signes est totale, chacun possédant son contraire* » (in Colette [2003], p.107). Ce système invente en particulier la notion de silence mesuré, de mesure liée à la battue, et de double unité rythmique et métrique, avec la brève comme unité de pulsation et la longue comme unité de mesure. Au début du XIV^{e} siècle, cette pensée analytique des rythmes est améliorée par les musiciens de l'Ars Nova (Philippe de Vitry, Pierre de la Croix et Jean de Murs), qui étendent les valeurs à la maxima et à la minima et divisent de façon ternaire (mensuration parfaite) et binaire (mensuration imparfaite) les valeurs. Marielle Popin montre ainsi que le début du XIV^{e} est traversé par un désir de

rationalisation azimut (*rationabilis* et *subtilis*) que chacun, anciens (Jacques de Liège et l'ars antica) ou modernes (les compositeurs de l'ars nova) croit le mieux défendre : « *tout est affaire de 'subtilité' chez les uns comme chez les autres. La mathématique s'impose toujours plus fortement aux musiciens qui n'acceptent plus les incohérences nées des théories successives, ni l'a peu près de la pratique* » (in Colette [2003], p.116). Ce système n'est cependant pas totalement « rationnel » : divisant toujours plus, en couleur noir lorsque la division reste dans la même mensuration, en rouge pour les changements locaux, les compositeurs obtiennent parfois des logiques singulières où un même signe peut avoir deux valeurs différentes. Marielle Popin parle « d'effets pervers de la subtilité », et écrit à propos des compositeurs de cet « ars subtilior[42] » : « *non seulement le signifiant ne correspond plus à un signifié, mais il ne doit plus correspondre à une signification précise. Le secret est de rigueur et l'interprétation relève de l'exploit. (...) La subtilité est à l'origine d'une mutation profonde, tendant à faire porter sur le signe écrit l'essentiel de la composition. Graphisme, couleurs, dispositions symboliques deviennent une finalité, entraînant la préférence pour une dissymétrie et l'absence de forme visible. (...) La partition se 'tricote' sans modèle, en toute liberté. Elle est devenue recherche, objet unique, objet malheureusement visuel plus qu'auditif.* » (in Colette [2003], p.123-124).

La Renaissance simplifiera et rationalisera ce principe de division en retrouvant la notion mathématique antique de « proportion »[43], et sera nommée *notation mensurale* : appliquant aux rythmes les catégories (*species* ou *genus*) arithmétiques grecques et latines (*superparticularis* [n+1/n], *multiplex*, *submultiplex*, etc..), de la même façon qu'elles avaient été appliquées par les disciples directs de Pythagores aux hauteurs. Les théoriciens de la Renaissance s'attachent à mieux définir les rapports des durées entre deux niveaux hiérarchiques conjoints de division : une proportion *sesquialtera*, indiquée par 3/2 signifie par exemple que trois notes durent la valeur de deux. Ce système de mesure du temps est de nature duodécimale (division possible en deux ou en trois, soit en douze unités élémentaires), et « *chaque fraction devient le point de départ de nouvelles subdivisions* » (Busse-Berger, in Lévy [2001] p.43). Cependant si l'on veut exprimer une valeur en fonction de valeurs beaucoup plus petites dans la hiérarchie des divisions, on arrive rapidement à des fractions très complexes. Ce

[42] terme inventé par la musicologue Ursula Günther dans son ouvrage *Das Ende der Ars Nova,* 1963.

n'est que du fait de la généralisation du système des fractions rationnelles indo-arabes[44], de celle de l'imprimerie, et de la volonté d'atteindre le maximum de public, que la notation mensurale déclinera au XVI[e] siècle au profit d'une division uniquement binaire des durées (notre système actuel), plus simple[45]. Selon Philippe Vendrix, cette simplification de la notation entraîne une transformation des modes de composition (Vendrix, in Colette [2003], p.172) : abandon du ternaire comme point de référence, abandon de la ligature, division absolue des durées, etc.., caractéristiques que la pensée occidentale a conservées jusqu'à nos jours.

Notons enfin, pour être complet, qu'il n'y avait ni signe, ni même de mot pour désigner les dynamiques au Moyen-âge. Prendre conscience de la nuance, c'est s'éloigner du signe, s'intéresser à l'expression, à l'équilibre, aux contrastes et au rapport entre plusieurs sons. C'est également notifier la qualité de la source instrumentale, pratique qui débouchera sur les « sciences » de l'instrumentation, de l'orchestration, puis de l'acoustique. Cependant, créer un signe de nuance, c'est aussi ôter une liberté à l'interprète, objectiver une émotion pour la rendre transmissible et la « rationaliser ». Historiquement, On trouve la première indication « *tocca pian piano* » en 1517 dans le *Codex Capirola*, et des théoriciens comme Vicentino ou Zarlino mentionnent ce paramètre pour la première fois au milieu du XVI[e] siècle. Au XVII[e] siècle par contre, apparaissent les premières mentions *p* et *f* dans des oeuvres de Bonelli (*primo livro delle vilanelle*), Gabrieli, et Biancheri. Michael Praetorius théorise le « pian e forte » en 1619 pour « exprimer les sentiments humains » et Mersenne distingue en 1634 huit degrés différents. Enfin, l'école de Mannheim, notamment Carl-Philippe-Emmanuel Bach et Schubart, vont aller très loin avec le développement des genres sonates et symphonies, dans l'écriture des crescendi et des changements de dynamique.

---

[43] Ce principe, qui tente initialement de réunifier les différents systèmes français et italiens, apparait pour la première fois en 1408 dans le *Tractatus practice de cantus mensurabilis* de Prosdocimus de Beldemandis (Vendrix, in Colette [2003], p.136).

[44] Les fractions duodécimales romaines étaient encore utilisées au Moyen-Age pour mesurer les poids, les longueurs, le temps (*chronaca*, dont notre système heure:minute:seconde en est l'héritier), pour subdiviser les différentes pièces de monnaies, ou dans la comptabilité des banquiers de l'époque. C'est Leonardo Fibonacci, après un voyage dans les pays arabes, qui réimportera le système indo-arabe de fractions rationnelles.

[45] Philippe Vendrix écrit qu'au XVI[e] siècle, « *compositeurs et théoriciens s'engagent résolument dans un processus de simplification de la notation au point de ne plus être capables de lire la musique du XV[e] siècle* » (in Colette [2003], p.171)

d) Quelques propriétés analytiques propres à la notation musicale moderne

La notation musicale classique occidentale, telle que conçue depuis le XI^{e} siècle par Guido d'Arezzo pour les hauteurs, et depuis le XIII^{e} siècle par Francon de Cologne pour l'échelle de rythmes, est donc une représentation symbolique dont chaque paramètre possède son propre alphabet (hauteur d'un point sur une échelle verticale pour les fréquences, alphabet de signes associés à ces points pour les rythmes, abréviations pour les nuances, etc.). Chaque alphabet est distinct, sans qu'aucun ne soit a priori prioritaire sur l'autre. De plus, chaque alphabet respecte la structure ordinale des espaces, sans la munir d'une distance (contrairement à la notation numérique).

La notation musicale occidentale actuelle, en tant que graphémologie (c'est-à-dire en tant que système de transcription), possède alors les trois propriétés de tout système d'écriture : **elle est globalement stable**, son évolution étant mineure par rapport aux acquis partagés ; **elle est échangeable**, c'est-à-dire comprise et partagée par un groupe d'individus ; **elle est assimilable implicitement**, c'est-à-dire que sa lecture ne nécessite pas de traduction dans un autre code (en d'autres termes, elle est directement significative). Enfin, elle possède une particularité propre : **elle est évolutive à l'infini**, ce qui la rend adéquate à l'axiome de progrès propre aux musiques occidentales. Du fait de ces quatre propriétés, cette notation s'est avérée optimale, graphémologiquement comme grammatologiquement, pour les musiques savantes occidentales. Ses limites ne sont perceptibles que depuis les années 70, notamment du fait qu'elle réduit un son complexe en une simple durée et en une fondamentale (cf. chap A.-III)

Pour certaines recherches et applications propres à la pensée analytique de la musique occidentale, il est parfois nécessaire de se munir d'une autre notation numérique ou textuelle, comportant une échelle cardinale absolue et une distance, ce que ne possède pas la notation musicale traditionnelle qui travaille avec des signes aux propriétés seulement ordinales. Cette graphémologie cardinale, bien souvent numérique, est indispensable, par exemple, pour le codage MIDI, ou pour certaines techniques de composition. La forme la plus traditionnelle est une représentation vectorielle (cardinale et finie) attribuant à chaque élément d'une chaîne finie un chiffre dans l'ordre d'apparition des informations. C'est par exemple la méthode des *Pitch*

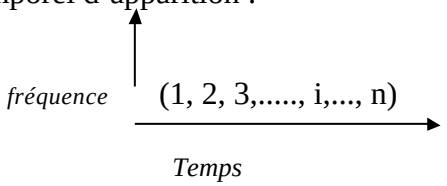
Classes de A. Forte[46] (Forte [1973]), ou celle de la numérotation de la série initiale en musique sérielle. Cette notation présente néanmoins de nombreux inconvénients :

i) Elle est peu échangeable entre humains, car moins implicitement acquise par les musiciens que la notation classique. La notation numérique sert plus de repère et d'outil de travail que de réel alphabet. Elle est par contre échangeable entre machines (la norme MIDI).

ii) Cette notation hiérarchise et polarise les éléments ou les intervalles de la chaîne. Il n'y a par exemple aucune raison musicale a priori de numéroter do ou mi, ou bien le premier élément d'une série dodécaphonique[47], par 1. Avec cette notation, un processus musicalement simple en terme de transformation des intervalles -une symétrie, par exemple- peut devenir difficilement déchiffrable dans l'écriture numérique. A l'inverse, certains processus de composition deviennent maniables et prospectifs dans cette seule écriture.

iii) La numérotation des notes focalise trop souvent le compositeur sur le métalangage numérique, extra-musical, c'est-à-dire que ce principe de graphémologie induit de nouvelles grammatologies (ce qui peut être un avantage en ouvrant de nouveaux horizons prospectifs). On observe parfois une utilisation abusive d'opérations sur le groupe mathématique des nombres entiers (N,+) (comme l'addition ou la soustraction de notes). Afin d'éviter toute confusion, dans le cas où on veut les éviter, il est conseillé d'utiliser des lettres plutôt que des nombres, qui conservent l'aspect symbolique et ordinal de la notation sans présenter de distance ni de structure cardinale, et se situent à mi-distance entre une notation numérique et une notation de signes non ordinale et arbitraire (par exemple pour les opérations combinatoires sur les séries).

iv) Enfin, la notation numérique présentée sous forme de vecteurs occulte parfois la dimension temporelle de la musique. En effet, en numérotant de 1 à n les notes, on numérote en fait des hauteurs sur une échelle verticale de fréquences (pas toujours ordonnée dans le sens des fréquences) dans leur ordre temporel d'apparition :



[46] Cette méthode permet surtout d'étudier les intervalles composant un accord et de regrouper par classe les accords suivant leur structure intervalique.
[47] Un exemple intéressant de hiérarchisation d'une série est donné dans Boulez [1966, p.152].

Ceci est dû au fait que la notation numérique n'utilise qu'un alphabet, alors que la notation musicale combine plusieurs alphabets donnant des informations simultanées sur les différents paramètres (hauteurs, rythmes, intensités). Une notation n'utilisant qu'un alphabet sous-entend en fait au minimum une notation en deux lignes, qui superpose à la valeur verticale des hauteurs le numéro de sa position dans une échelle temporelle graduée :

(a1,a2,a3,.....,ai,...,an)

(1 ,2 ,3 ,.....,i ,..., n)

Cette autre notation est donc adéquate à certaines grammatologies que la notation traditionnelle ne permet pas. Une graphémologie entraîne en effet un certain type de grammatologie, et la pensée analytique de la musique occidentale a été fortement conditionnée par sa notation. Inversement, le choix d'une notation n'est que la représentation d'un type de pensée, et la notation musicale occidentale est le révélateur précieux de la pensée analytique de la musique dans la culture occidentale.

Remarque : La deuxième ligne, qui représente la dimension horizontale (opération de concaténation), est parfois occultée par la dimension verticale (opération de superposition), car elle reste inutile pour de nombreuses transformations qui laissent inchangée la position temporelle de la note. Ceci n'est pas le cas de certaines transformations temporelles particulières. Ainsi, le rétrograde est une transformation simple qui agit sur la deuxième ligne et non la première :

(a1,a2 ,a3 ,.....,ai ,...,an)
(n ,n-1 ,n-2 ,.....,n-i ,...,1)
←

Temps

que l'on peut aussi noter :

(an,an-1,an-2,.....,an-i,...,an)
(1 ,2 , 3,....., i ,...,n)
→

Temps

3) Jouer et composer avec l'écriture

L'élaboration d'une écriture musicale autonome telle qu'adoptée dans la musique occidentale savante a non seulement permis l'assimilation rapide et la reproduction de l'œuvre par d'autres interprètes, mais a également créé de nouvelles propriétés analytiques du phénomène sonore, et de nouvelles grammatologies.

a) Propriétés grammatologiques d'une écriture

De manière générale, une information écrite possède des propriétés grammatologiques particulières que l'information acoustique ne possède pas : une **capacité de perception active**, une **dimension spatiale et visuelle**, un **aspect symbolique,** et un **statut conservateur**.

i) La lecture est une ***perception active*** alors que l'audition en temps-réel reste **passive** (même si elle est cognitive). En effet, l'œil contrôle de façon autonome sa vitesse de lecture et peut s'attarder ou revenir sur un signe. L'apprentissage itératif et le contrôle des mécanismes de compréhension des données du récepteur ne sont pas subordonnés aux capacités de communication du producteur. L'écriture s'interpose entre le récepteur et le producteur en figeant l'information. Ce phénomène n'est pas une caractéristique du visuel : des logiciels de lecture à vitesse variable de fichiers sonores (*audiosculpt, sound designer, protools, logic audio,* etc. .) peuvent également permettre un contrôle de la réception auditive d'une information sonore que l'écoute en temps réel rend impossible.

ii) L'écriture possède une ***dimension spatiale et visuelle,*** qui confère à la lecture une bidimensionnalité de l'espace visuel de lecture, alors que l'espace-temps de l'audition est unidimensionnel. La bidimensionnalité induit une distance et une meilleure mémorisation de la perception (les sciences cognitives ont montré que la mémoire visuelle est plus large que la mémoire auditive). Cette dimension spatiale change la nature de l'information : l'information sous forme auditive est « *un flux d'événements temporels dans lequel il n'y a pas d'éléments non contextuels. La disposition visuelle et spatiale du langage écrit permet des opérations qu'il est impossible de réaliser dans le langage oral* » (Will [1999], p.14), en particulier la codification sous forme de signes et une calculabilité.

iii) ***L'écriture conserve l'information.*** En cela, elle est un moyen d'enregistrement et de distance pour le compositeur qui peut étaler son temps de réflexion et tracer son travail. Elle est aussi un moyen d'échange entre personnes appartenant à des espaces ou des époques différents. Jack Goody note ainsi que l'écriture apparaît systématiquement dans les sociétés africaines de tradition orale qui s'urbanisent (Goody [1987], p.54). Selon Udo Will (Will [1999], p.21), l'information conservée a un statut différent de l'information transmise oralement, perdant celui d'événement pour celui d'existant permanent.

L'enregistrement audio est évidemment aujourd'hui le second moyen de conservation et d'échange différé de l'information musicale, certainement encore plus fidèle. L'enregistrement est également devenu, grâce à Pierre Schaeffer créant en 1948 la musique concrète, une grammatologie, une écriture travaillée du son.

iv) ***L'aspect en signes*** permet une première compression de l'information. Ceci améliore la compréhension des données, sa mémorisation (les sciences cognitives ont montré que la mémoire sémantique est supérieure à la mémoire sensorielle), et la capacité à compresser davantage l'information et à la manipuler. Selon Jack Goody, l'écriture permet entre autres la « scientifisation » d'une société en favorisant l'accumulation et la manipulation des savoirs, notamment des savoirs abstraits, et en renforçant les modalités du criticisme, du scepticisme, de la reproductibilité et de la vérification d'une authenticité (Goody [1977], p.37 à 59). La notion de listes arborescentes et de taxonomies complexes sont par exemple, pour cet anthropologue, difficiles à réaliser dans une société de tradition orale (p.105), qui distinguera également plus difficilement ce qui est scientifique de ce qui est magique (Goody [1987], p.66 à 72). Dans une société écrite, les données sont au contraire préservées, transmissibles, analysables a posteriori, et manipulables. Les preuves sont consignées, enregistrées, réfutables. Le fait que la logique et la grammatologie abstraite soient propres à l'écriture a cependant été contesté[48]. Selon Udo Will, une absence de catégories analytiques élaborées dans l'oralité incite généralement les cultures ne connaissant pas l'écriture à conceptualiser et verbaliser leurs connaissances selon d'autres modalités, par exemple en se référant au monde du vivant. Marc Chemillier a montré pour les harpes Nzakara que les procédures musicales sous-jacentes au morceau pouvaient rester abstraites, liées aux combinaisons de doigtés. Il s'agit donc d'un principe de grammatologie équivalent à l'écriture graphique, et, comme l'écrit Derrida, « *en vérité, les peuples dits 'sans écriture' ne manquent jamais que d'un certain type* d'écriture » (Derrida [1967], p.124[49]). Derrida emploie alors le terme d'*archi-écriture, « première possibilité de la parole, puis de la 'graphie'' au sens étroit* » (p.103).

[48] Voir la position de Goody sur ce sujet dans (Goody [1987], p.219). Lucien Lévy-Bruhl parlait de « mentalité prélogique » dans les sociétés primitives, c'est-à-dire la coexistence de l'élément logique et prélogique dans des mentalités essentiellement synthétiques et non analytiques (Lévy-Bruhl [1910], p.111).

[49] voir aussi p.180 à 183, la critique de Derrida à l'encontre de Lévi-Strauss dans son interprétation de l'absence d'écriture chez les Nambikwara

Plus généralement, qu'elle soit écrite ou archi-écrite, la représentation symbolique d'une information la rend plus abstraite, logocentrique, quelque peu déshumanisée. Selon Derrida, une (archi-)écriture est en effet une trace de la parole sans présence du sujet, un ensemble d'éléments autonomes, inscrits dans un réseau et non une simple représentation de la parole. Chaque élément signifiant se constitue à partir de la *trace* en lui des éléments du système auquel il appartient, trace où se livre aussi sa différence par rapport à eux. Derrida élimine ainsi avec le concept de *differance* toute métaphysique producteur/récepteur (c'est-à-dire l'absence ou la présence du producteur dans la réception) pour l'(archi-)écriture. L'écriture permet la dissimulation, le détour, *l'espacement, le dehors « qui n'apparaîtrait pas sans le gramme, sans la différance comme temporalisation* » (Derrida [1967], p.103).

L'écriture n'est de plus pas un moyen de conservation et de reproductibilité intégral. Par sa traduction en signes abstraits, elle dénature et simplifie l'information : la prosodie du langage est par exemple peu représentée par l'écriture (à part les signes de ponctuation) ; en musique, les inflexions de hauteur ont été discrétisées en hauteurs fixes et les variations locales de tempérament et de timbre évacuées lorsque le système de portée sur quatre lignes a été élaboré au début du XI^{e} siècle, et le système neumatique abandonné. Les rythmes complexes ont été également simplifiés par l'écriture, et le temps noté a été basé sur un principe de division, alors que le temps vécu est additif (événements qui s'enchaînent). Selon Udo Will, la notation a ainsi changé la conception musicale, puisqu'elle a proposé des modèles normatifs d'information, autant pour la musique que pour la pensée, et a servi à représenter des idées musicales parfois non audibles (les symétries), plutôt qu'à créer simplement des événements musicaux temporels (Will [1999]).

b) L'Ars Nova : un exemple de grammatologie extrême de l'écriture

Sitôt un outil graphémologique établi, il est remarquable d'observer le processus par lequel les compositeurs s'en emparent et le détournent à des fins grammatologiques. L'écriture est en effet un modèle de représentation du musical qui offre la possibilité du regard et de l'écoute obliques. Ce fut le cas avec la transcription sur bande magnétique et son détournement

à des fins compositionnelles par Pierre Schaeffer en 1948. Ce fut aussi le cas avec la fixation du tétracorde et de l'alphabet des intervalles, qui permit d'engendrer une nouvelle combinatoire, en particulier la polyphonie et le contrepoint[50]. Ce fut enfin le cas avec l'Ars Nova sitôt la notation musicale stabilisée[51].

Dès le début du XIII^e^ siècle, c'est-à-dire dès la fixation des premières écritures aux paramètres séparés, apparaissent des techniques d'écriture élaborées, notamment au niveau du rythme et de ses notations. Le *Viderunt Omnes* de Perotin contient par exemple des sections présentant des canons, des permutations de voix, des « hoquets », et une écriture à quatre voix, techniques croisées à un contexte harmonique vertical. Vers 1322, le compositeur Philippe de Vitry publie, à la suite du *Roman de Fauvel* auquel il a majoritairement contribué, un traité intitulé *Ars Nova* qui complexifie radicalement l'écriture musicale en la désolidarisant du texte. Ce traité fait suite à celui de Johannes de Muris, *Ars novae musicae* (env. 1320). Le terme *ars nova* s'oppose, selon ses prosélytes, à celui de l'*ars antiqua*, et il faut comprendre le mot *ars* comme la traduction moyenâgeuse du mot grec *techné*. Le grand défenseur de *l'ars antiqua*, dans ce débat entre anciens et modernes reste Jacobus de Liège qui, dans son *Speculum musice* (env. 1320), défend l'autorité de Francon de Cologne et de Petrus de Cruce face aux techniques modernes d'écriture qu'il critique de plusieurs façons : a) les compositeurs modernes privilégient le motet et la chanson au détriment des organum, conductus et hocquetus. b) Ils superposent mensurations imparfaites et mensurations parfaites, alors que Francon de Cologne privilégiait la mensuration parfaite, et ils divisent la semi-brève en valeurs plus petites (la minime) c) En conséquence, leurs rythmes sont trop inconstants (*musica lasciva* contre *musica modesta)*. Il s'agit donc d'un problème de technique et d'écriture autant que d'esthétique[52]. En 1325, le pape Jean XXII émet d'ailleurs une bulle (*Docta sanctorum patrum)* condamnant la musique de *l'ars* nova en ces termes « *Certains disciples d'une nouvelle école ont grand souci de mesurer le temps, cherchent à exprimer avec de nouveaux moyens des airs de leur invention, et abandonnent les chants anciens pour d'autres, composés*

[50] La polyphonie apparaît avec l'utilisation des premiers grands chœurs à voix mixtes et les parallélismes en octave ou en quinte de l'Organum. Elle se complexifie ensuite avec la technique du discantus (voix en mouvement contraire ajoutée au plain-chant) de l'École de Notre-Dame (Léonin et Perotin, fin du XIIème siècle), qui engendre les premiers contrepoints (par exemple, le conductus à 3 voix du *Salvatoris hode* de Perotin).
[51] Les lignes qui suivent sont connues des spécialistes, qu'ils m'en excusent.
[52] La graphémologie est d'ailleurs la même chez Jacobus de Liège et chez Philippe de Vitry, qui s'opposent sur la grammtologie.

de brèves, de semi-brèves et de notes presque impossibles à percevoir[53]*. Ils entrecoupent leurs mélodies, leur confèrent un caractère efféminé par le moyen du déchant, les emplissent parfois de motets triples et en langue vulgaire, de façon à mépriser les principes fondamentaux de l'Antiphonaire et du Graduel. (…). La multitude de leurs sons fait fi des notions de simplicité et d'équilibre qui permettent de distinguer les notes dans le plain-chant. »* (cité par Fubini [1983], p.53).

L'Ars Nova, cherchant à s'éloigner de l'ancienne conception, héritée de Saint-Augustin, qui considère la musique comme une émanation de l'harmonie divine, développe de très nombreuses techniques d'écriture, en particulier sur le plan rythmique : Utilisation des modes binaires combinés aux modes ternaires, introduction de notes courtes (minimes et semi-minimes) et du point, chiffrage des mesures, rétrogradation, symétrie, canons augmentés. Ces techniques sont totalement liées aux propriétés de l'écriture et du signe.

Ainsi Guillaume de Machault (env.1284-1377), exploitant la propriété de séparation paramétrique de l'écriture, développe des techniques sur le rythme sans modifier les hauteurs (*prolatio,* diminution des valeurs d'un motif rythmique par deux ou *color per medium, etc.*) (Machabey [1955], T.I p.96). Ce compositeur emploie aussi parfois le même motif rythmique pour l'appliquer à un autre contour mélodique (*talea*) ou conserve au contraire le contour mélodique original et lui applique une métrique et une rythmique nouvelles (*color,* car indiqué en rouge*)*. Guillaume de Machault profite également de la propriété visuelle et détemporalisée de l'écriture. La Figure I-1 montre une œuvre de Guillaume de Machault dont une partie, comme l'indique le titre, est le rétrograde de l'autre à partir de la double barre[54]. Or la notion de rétrograde et de symétrie sont des concepts avant tout visuel (nous verrons dans les parties ultérieures que ces transformations sont de complexité analytique et visuelle simple, mais de complexité perceptive élevée).

[53] Nous soulignons
[54] Noter la cellule rythmique principale [♩𝅗𝅥 ♩] utilisée souvent en talea, et diminuée en [♪♩ ♪].

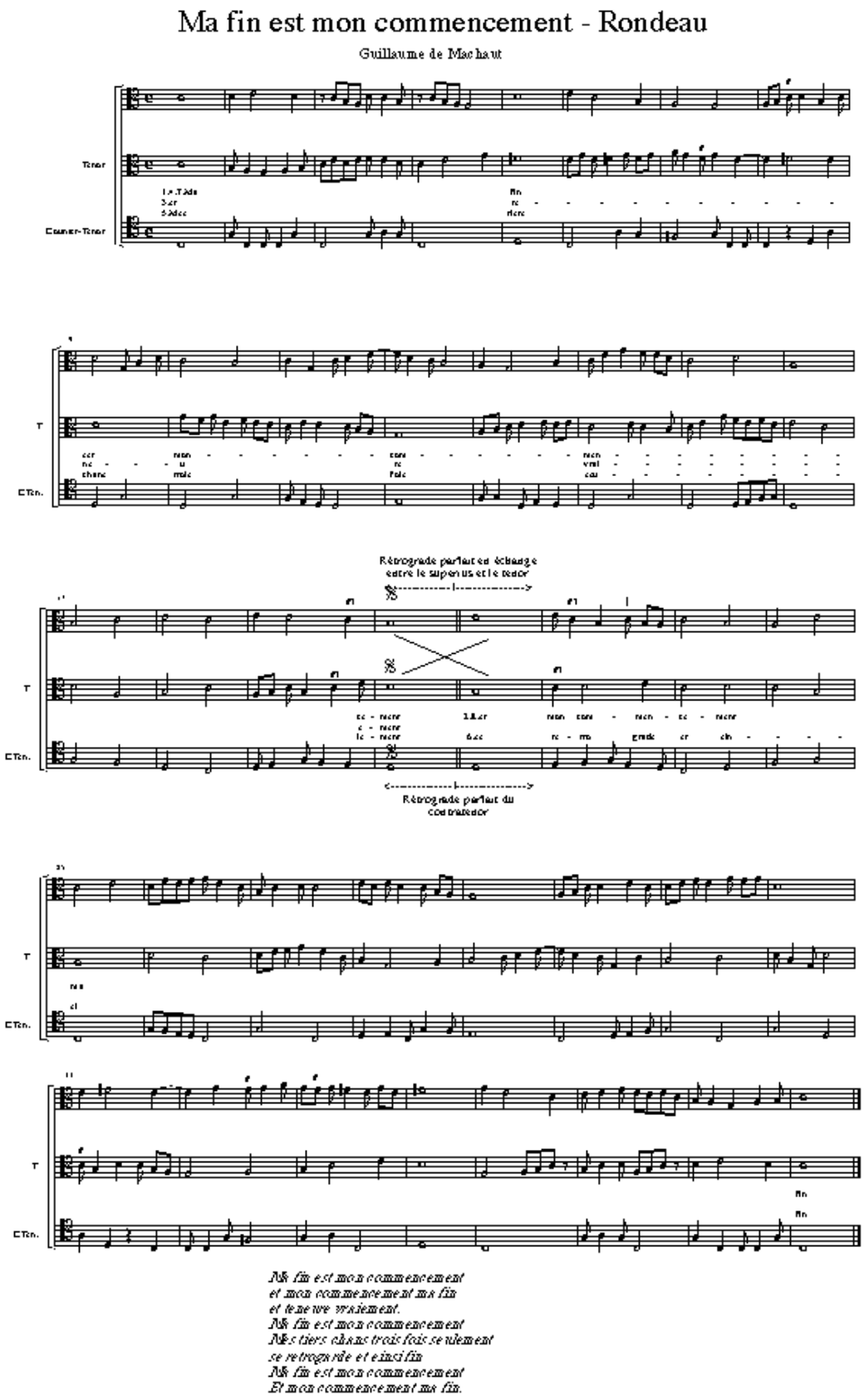



Figure I-1 : Guillaume de Machault (env.1284-1377), Ma fin est mon commencement

sources : Guillaume de Machaut, Musikalische Werke, erster Band, Breitkopf&hartel, Wiesbaden, p.63-64

Les techniques de composition de l'époque s'appuient donc de plus en plus sur des procédés d'écriture et du signe, et non sur des procédures d'origine perceptive. Même si elle ne sera jamais complètement abandonnée par les musiciens de la renaissance jusqu'aux romantiques tardifs (Bach, Beethoven, Schumann, en sont quelques exemples), cette dimension grammatologique pure de l'écriture, qu'on peut relier au rationalisme du quadrivium, ne sera à nouveau rencontrée, à un tel niveau, qu'à la seconde moitié du XX^{e} siècle (musique sérielle généralisée, par exemple).

Après la mort de Guillaume de Machault culmine en pleine guerre de cent ans, notamment dans le sud de la France (à la cour papale d'Avignon), en Aragon, et dans la colonie française de Chypre, *l'Ars Subtilior*[55], forme avancée de l'Ars Nova. Certaines oeuvres de ce répertoire présentent des chiffrages de mesure apposés simultanément, des syncopes, des canons virtuoses, une intertextualité, un maniérisme de l'écriture et parfois une notation dans des formats symboliques (par exemple une chanson en forme de cœur ou de cercle, fig. I-2).

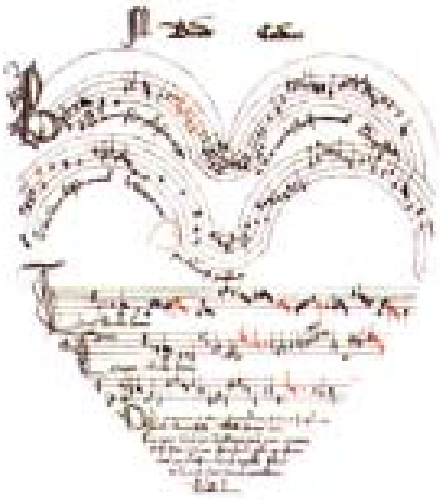



Figure I-2 : composition sur le signe : «Belle, bonne, sage» Rondeau de Baude Cordier . ***Codex de Chantilly: Bibliothèque du Musée Condé 564, fol. 11v (3/1).***

L'Ars Subtilior s'affirme volontairement dans la spéculation analytique et la complexité (par exemple les œuvres de la « proto-confrérie des fumeux » de Asprage et Cordier), en motivant cette approche par le fait que l'homme est complexe alors que Dieu est simple et pur. La compréhension de cet art est réservée à une élite, comme le chante Solage dans *fumeux fume*, (fig. I-3)[56].

[55] L'appelation *Ars Subtilior* <ars plus subtil> a été formulée par la musicologue Ursula Günther dans son ouvrage *Das Ende der Ars Nova* paru en 1963). Ce répertoire, que l'on situe généralement entre 1377 et 1412, s'appuie entre autres sur le codex da Faenza de l'abbaye de Modene et sur les manuscrits de Chantilly.

[56] Observer dans cette oeuvre l'audace des conduites des voix qui sortent du système de l'hexacorde médiéval, en particulier les « changements de tonalité » des cadences : la fin du refrain du rondeau est un ton en dessous de celle du couplet.

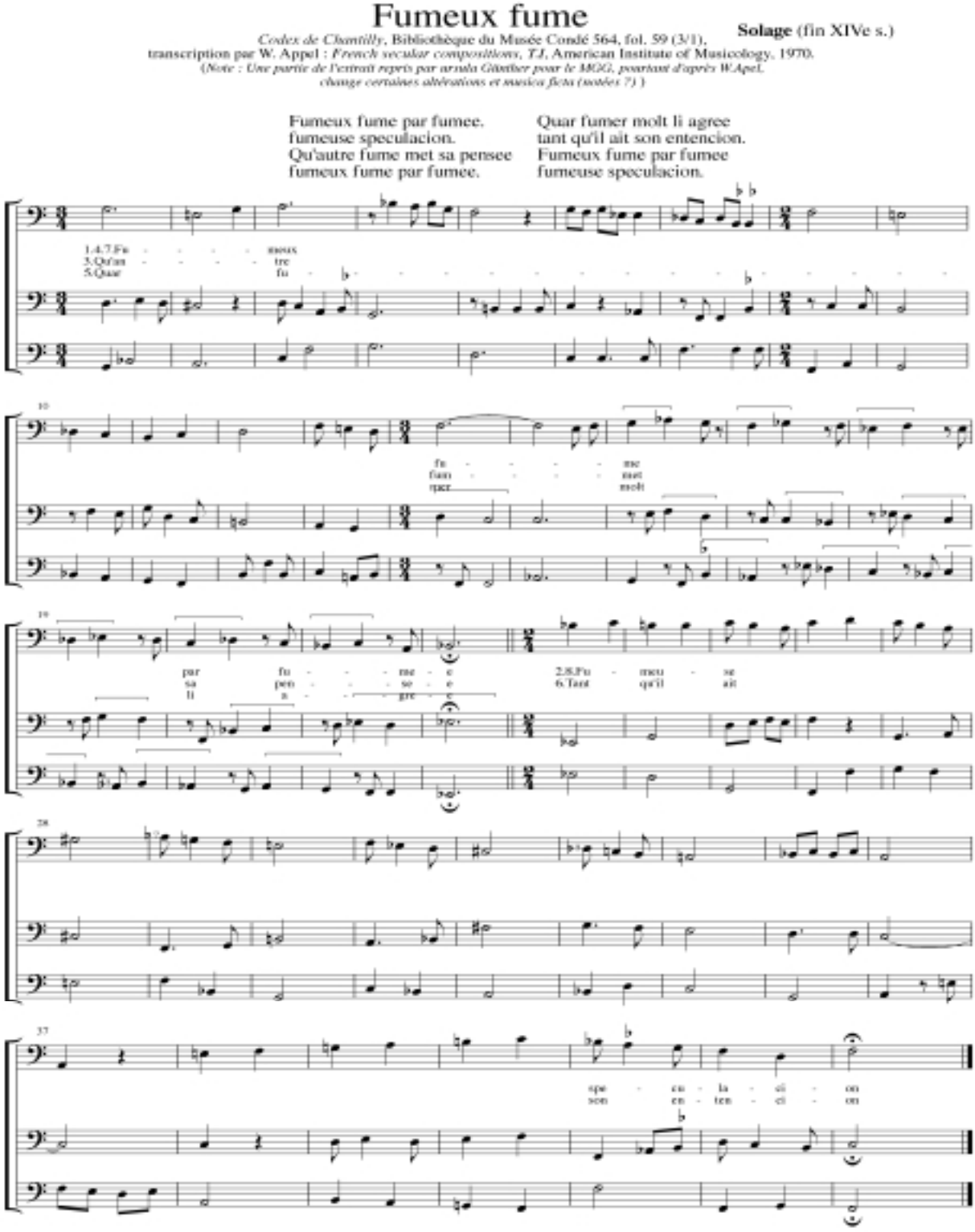



Figure I-3 : Solage : « fumeux fume », Codex de Chantilly, *Bibliothèque du Musée Condé 564, fol. 59 (3/1), transcription par W. Appel :* French secular compositions, T.I, *American Institute of Musicology, 1970.*

Le temps est à la radicalité de l'écriture et des procédures. Le compositeur Guido (de Lange ?) écrit en manifeste « *Or voit tout en aventure/puis qu'ainsi me convient fayre/a la nouvelle figure/qui doit a chascun desplayre/que c'est trestout en contraire/de bon art qui est parfayt* ».[57] Le musicologue Charles van den Borren décrit cette époque en terme de *« déliquescences d'un art flamboyant »*, auxquelles ne peut succéder qu'un « *retour à la simplicité* ». Cette école va surtout décliner du fait de l'occupation, au début du XV^e^ siècle, d'une grande partie du territoire français par les anglais et les bourguignons qui favoriseront l'éclosion d'une école franco-flamande (Dufay, Josquin Desprez, Binchois, Ockeghem, Dunstable). Alors que l'Ars Subtilior recherche avant tout la difficulté, le XV^e^ siècle favorisera la beauté et l'évocation des sentiments, sans renier l'inventivité technique : c'est le début de la Renaissance.

c) Des techniques d'écriture pérennes

Même si l'écriture musicale occidentale autorise une évolution sans fin de sa grammatologie, dans une dimension inégalée dans les autres cultures, même si, selon les époques, des débats émergeront de façon variée entre les partisans de l'empirisme et ceux du rationalisme, entre les partisans d'une simplicité accessible perceptivement et ceux d'une subtilité inatteignable de la construction, il semble que les principes de la pensée analytique musicale occidentale se soient construits définitivement dans les siècles qui ont immédiatement suivi l'élaboration des principes graphémologiques. Aux XV^e^ et XVI^e^ siècles, la notation se simplifie, le rythme se binarise, le langage musical se stabilise et les influences de l'Ars Nova restent fortes, bien que la parole et le sens des mots soient de plus en plus pris en compte. L'école franco-flamande présente encore des oeuvres riches en complexité analytique : J. Ockeghem (1410-1497) (cf. les canons de la *Missa Prolationum* ou de la *Missa Cujus Vis Toni*), J. Obrecht (env.1450-1505) (cf. le travail combinatoire à travers les augmentations et les transpositions qu'il fait dans sa messe *Maria Zart* à partir d'une chanson mariale), ou ultérieurement T.Tallis (1505-1585) (cf. le célèbre canon à 36 voix du Motet *Spem in Alium*). Dans la *messe à deux visages* de Pierre Moulu (1484-1550), le jeu sur le signe est extrême sans volonté que ce jeu s'entende : cette oeuvre contient en effet deux œuvres, selon qu'on chante la partition en préservant les pauses écrites ou qu'on les ôte, (fig. I-4)

[57] cité par U. Günther, *Das Ende der ars nova, 1963,* p.107

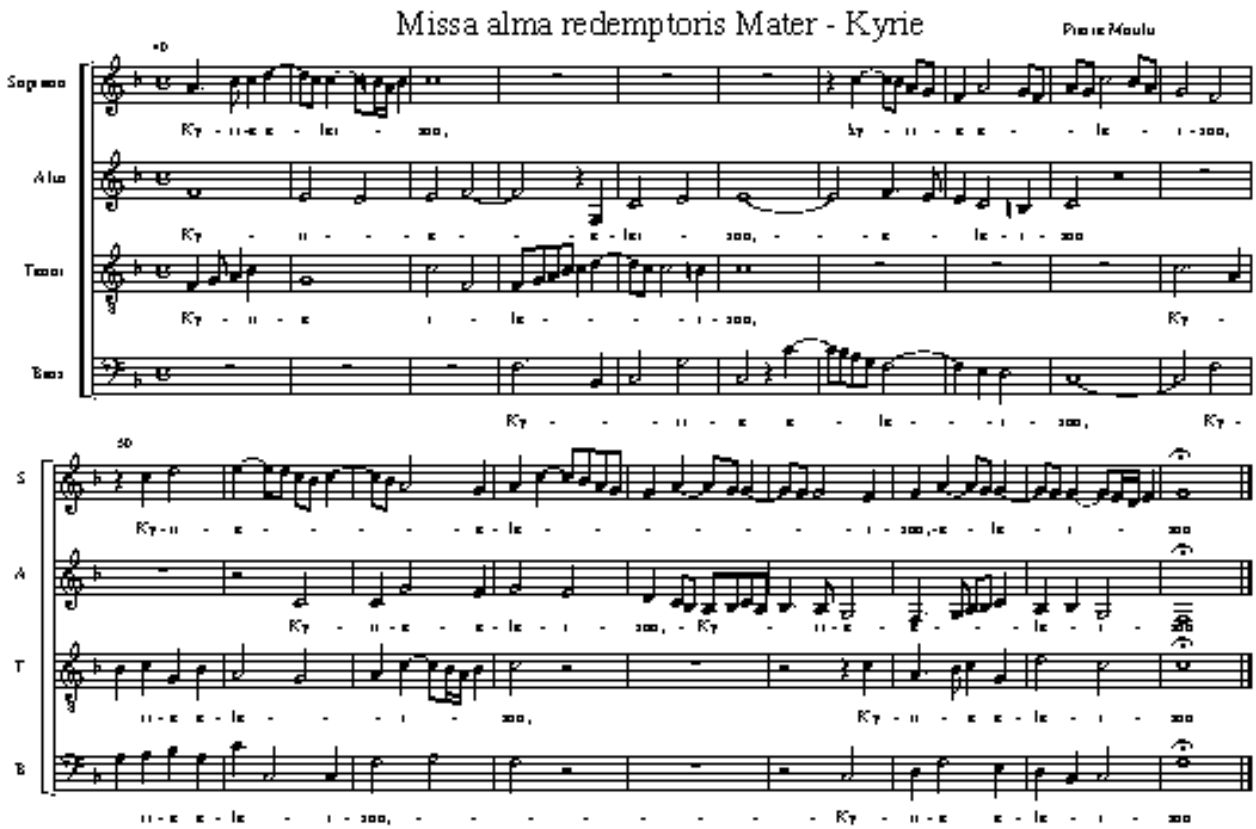



Figure I-4 : Exemple de travail pur sur le signe.

Kyrie de la Messe à deux visages *de Pierre Moulu (1484-1550). Version avec pauses.*

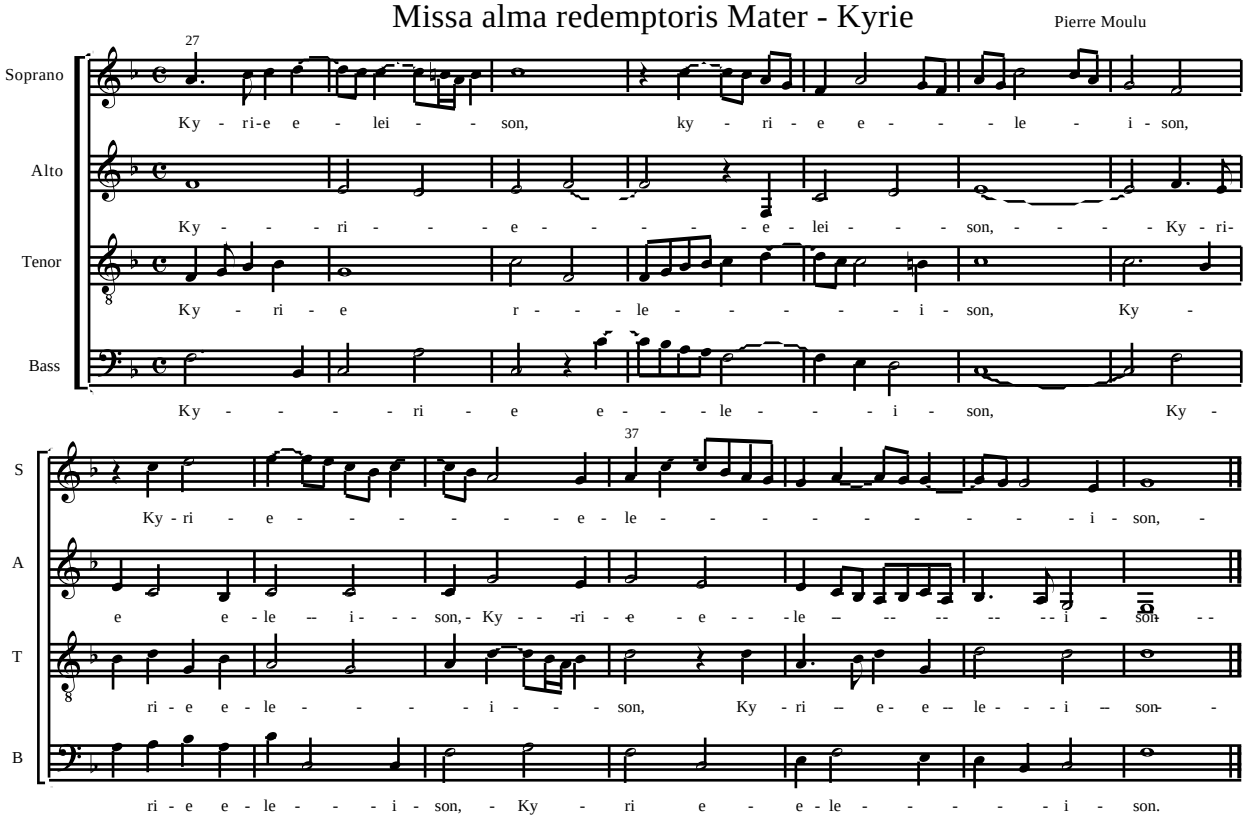



Figure I-5 : Kyrie de la Messe à deux visages *de Pierre Moulu (1484-1550). Version sans pause.*

A la fin du XVI[e] siècle, considérant peut-être que les possibilités qu'offrent les techniques d'écriture sont majoritairement explorées et que la notation est stabilisée, les compositeurs se préoccuperont davantage des questions poïétiques de perception. Les premières restrictions perceptives émaneront surtout d'un clergé catholique en lutte avec la réforme. Toutefois, malgré leur influence sur l'écriture de Palestrina (env.1525-1594), les recommandations musicales du concile de Trente (1545 à 1563) n'auront que des conséquences limitées à la musique d'église, divisant également les compositeurs protestants des compositeurs catholiques.

Il faut attendre l'œuvre de Monteverdi (1567-1643) et les travaux de la loge Bardi pour assister, notamment dans la zone catholique, au déclin de l'ancien style polyphonique complexe en parallèle à l'émergence de l'opéra et de la monodie. Monteverdi a en effet la conviction que la musique doit s'adapter au texte qu'elle illustre, en particulier les madrigaux. Il cherche à émouvoir et à exprimer des états d'âme, et applique des règles moins strictes d'écriture, moins axées sur le signe, afin que la dissonance devienne un paramètre perceptif de tension. À partir du XVII[e] siècle, les techniques d'écriture se simplifient et deviennent secondaires par rapport au message émotionnel à exprimer. Dans le même temps, la musique se rapproche du théâtre en s'éloignant de la science, de l'architecture et de l'astronomie. Alors que du XIV[e] au XVI[e] siècle, la musique devait être réglée telle *l'Horloge Suprême* fabriquée au XIV[e] siècle par les De Dondi père et fils, qui impressionera les intellectuels jusqu'à la fin du XVI[e] siècle, la crise religieuse va semble-t-il modifier au XVII[e] siècle le rapport de la réalité de l'homme à l'harmonie céleste : la religion ne décrit plus une logique providentielle mais dirige le choix responsable de l'individu. L'apparition de la « théologie de la liberté » provoque une séparation définitive entre science et art (Fubini [1983]). Ainsi, en s'appuyant sur les philosophies platoniciennes plutôt que pythagoriciennes, les théoriciens de la Camerata Bardi vont mettre les concepts d'*ethos* et d'*affetti* au centre de leurs préoccupations. De la même façon, les scientifiques de la musique (Zarlino, Galilée) imaginent des systèmes qui cautionnent l'harmonie du monde et la place de l'homme au centre de ce système d'émotion. Ces positions seront vivement attaquées par les partisans de l'ancienne polyphonie et opposants à cette musique « d'émotion », par exemple Artusi.

Le XVIII[e] et le XIX[e] siècles héritent à la fois de Palestrina et de Monteverdi, de Pythagore et de Platon. Le compositeur démultiplie son activité entre celle d'un artisan faisant preuve de maîtrise et d'invention dans l'art de son écriture (Johann-Sebastian Bach en reste le symbole inégalé), et celle d'un artiste personnellement impliqué dans son oeuvre, engagé socialement, et influencé par les *théories des passions* de Caccini puis de Quantz et de Mattheson. Fubini écrit, à propos de la position de Leibniz sur la musique, que « *toute opposition s'efface ainsi entre la sensibilité et l'intellect, entre la beauté sensible du monde et l'ordre mathématique de l'univers, entre la fantaisie (calcul inconscient) et la raison »* (Fubini [1983], p.80). En caricaturant, les débats seront donc relativement clos pendant deux siècles sur le le rapport entre complexité analytique et complexité perceptive, à peine perceptibles dans la querelle des Anciens et des Modernes ou dans l'opposition Schumann-Brahms/Liszt-Wagner. Il semble néanmoins clair, dans une société que ses évolutions techniques ne remettent pas en cause mais au contraire renforcent, que l'artiste cherche peut-être à moins marginaliser ses recherches d'un public dont, en des époques aux progrès plus conflictuels, il se serait davantage méfié (crises sociales, politiques, et existentielles à la fin du XIX[e] siècle, deuxième guerre mondiale, etc..). Cependant cette pensée esthétique rebelle intervient tantôt par le renouvellement des techniques d'écriture, tantôt par les motivations esthésiques d'une musique, selon les paradigmes en valeur à son époque, c'est-à-dire bien souvent par affranchissement avec les valeurs de la génération précédente.

4) Composer le signe, composer le sens

a) Du signe au sens

Quelle est l'utilité d'une grammatologie sur la notation musicale ? En quoi la pensée analytique de la musique est-elle nécessaire ? La musique est, selon sa définition poïétique, l'organisation de sons dans le temps[58]. Le compositeur, qu'il appartienne à une tradition de musique écrite ou non, emploie, consciemment ou inconsciemment, une archi-écriture, c'est-à-dire un système de signes symboliques permettant d'oublier le sujet et de construire sa grammatologie du sonore et entamer son processus de création. Il faut comprendre ici le terme de *signe* dans sa conception large d'abstraction, de représentation, c'est-à-dire dans le sens que lui attribuent les scolastiques, repris par Saint-Augustin : « *le signe est quelque chose qui est*

mis à la place de quelque chose d'autres » (*aliquid stat pro aliquo*). Cette définition est à peu près celle reprise par la linguistique moderne, notamment Charles Peirce : « *un signe, ou representamen, est quelque chose qui tient lieu pour quelqu'un de quelque chose à quelque égard ou en quelque qualité* »[59].

Penser un objet nécessite en effet une représentation abstraite préalable de cet objet. La sémiologie différencie plus précisément le signifiant, c'est-à-dire « *l'image d'une chose qu'on ne peut observer directement* », du signifié, c'est-à-dire « *l'image mentale suscitée par le signifiant correspondant à un référent* » (Klinkenberg [1996], p.96). le signifié est, en première approximation, une représentation d'une classe de chose, et le signifiant son modèle. Le sens naît du rapport entre *signifiant* et *signifié*. La difficulté, particulièrement en ce qui concerne la musique, réside dans le fait que le signe est un modèle selon une représentation particulière de son objet, une interprétation référencée de l'objet. Ainsi, chez Peirce, chaque signe, ou *representanem*, est un Premier qui entretient avec son Second, son *Objet*, une relation triadique qui lui permet de déterminer un Troisième, son *Interprétant*. Le rapport signifiant, signifié et référent est déterminé par une relation tripartite que schématise le « triangle d'Ogden-Richards »

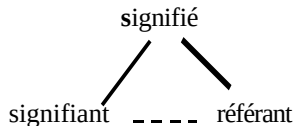


Schéma I.6 : le triangle sémiotique (dit triangle d'Odgen-Richards)

On désigne, par exemple, la hauteur d'un son harmonique de fondamentale de fréquence 440 Hz par le signe /LA/. Cependant, certaines musiques baroques désigneront le 415 Hz par /LA/ alors qu'il est nommé /SOL/ dans d'autres. Le signe est un choix lié à un contexte.

Klinkenberg attribue trois caractéristiques au signe (Klinkenberg, [1996], p. 33 à 38) :

i) ***Le signe est un substitut à quelque chose d'autre***.

[58] La définition esthésique de la musique, donnée par Berio, est cependant préférable : la musique est ce qui s'entend comme tel.

[59] D'autres linguistes, comme Saussure ou Hjelmslev, intègrent à la définition du signe son expression comme son contenu, c'est-à-dire, selon Saussure, le concept et l'image acoustique qui lui sont liés.

ii) ***Le signe est la trace d'un code***. Il doit être partagé par plusieurs récepteurs. Ainsi, le signe # signifie dans le code des musiciens occidentaux que la note doit être jouée un demi-ton au dessus de sa hauteur écrite. Le terme *modulation* porte une signification partagée dans le contexte de la musique tonale

iii) ***Le signe est un instrument de structuration de l'univers.*** Il établit l'existence des choses. Pour les penseurs dits « idéalistes », le signe donne même existence aux choses[60]. Freud écrit de façon plus nuancée dans *Le moi et le ça (1922/1923)* : « *Comment une chose devient-elle consciente ? Ou bien, comment une chose devient-elle préconsciente ? La réponse serait 'en rentrant en interconnexion avec les images verbales qui lui correspondent'* ».

La direction du rapport *signifiant* / *signifié* est donc ambiguë, et nos catégories musicales sont certainement liées à la façon dont nous les désignons. Nous nommons identiquement, par exemple, deux sons de tonie de fréquence double (en relation d'octave), ou deux notes de même fondamentale mais de timbre différent. Ceci est vraisemblablement dû au statut privilégié que la culture occidentale accorde aux rapports harmoniques, en particulier aux rapports d'octave et à la fondamentale du spectre harmonique par rapport aux autres partiels. Lors d'un voyage d'étude ethnomusicologique que nous avons effectué en juillet 2000 dans la plaine Tikar du Cameroun, un musicien de xylophone avait désigné deux lames accordées à l'octave comme étant en rapport traditionnel de « mère-fille ». Cependant, une autre lame était accordée à l'identique, pour nos oreilles occidentales, avec la lame-mère, c'est-à-dire de même fondamentale et de timbre apparemment similaire, mais ne portait pas le même nom. Ce musicien classait donc les lames selon des catégories de timbre qui ne nous étaient pas perceptibles[61], et on peut avancer que la catégorisation / différenciation perceptive de deux sons est fortement influencée par la culture[62]. Les catégorisations et les structurations de l'univers matériel (le signifiant) et de l'univers conceptuel (le signifié) sont donc intimement liées (pour Peirce, d'ailleurs, le signifiant est lui-même un signe, et le signe est un interprétant d'un autre signe) : nous percevons également comme nous représentons.

---

[60] Cette vision selon laquelle le monde est construit conformément au modèle de la langue est nommée *hypothèse de Sapir-Whorf*, du nom du linguiste et anthropologue américain Edward Sapir (1884-1936) et de son élève Benjamin Lee Whorf (1897-1941).

[61] Nous avons alors demandé à échanger les lames sans que le musicien ne regarde : la désignation restait la même.

[62] Un autre exemple est donné en B-II-2-c-iii avec un morceau pour arc musical Mbéla de Centrafrique

Note sémiologique : différents types de signe

Il existe plusieurs types de signe. Umberto Eco, dans *Le signe*, en distingue neuf. La sémiotique peircienne en distingue généralement trois, l'*indice,* le *symbole* et l'*icône* : Un *indice* est un signe qui renvoie; une *icône* est un signe qui représente; un *symbole* est un signe purement conventionnel. Klinkenberg ajoute une quatrième catégorie, le *signe au sens strict*, qu'il justifie par le tableau suivant (Klinkenberg [1996], p.189) :

	Motivé	**Arbitraire**
Découpage correspondant	**Indices**	**Symboles**
Découpage non correspondant	**Icônes**	**Signes au sens strict**

Schéma I-7 : les quatre types de signe

La notion de *découpage correspondant/non correspondant* qualifie un groupe de signes indécomposable, lié à son contenu. Une tête de mort pour désigner le danger ou une clef de sol pour désigner l'objet musique sont des découpages non-correspondants. Un rond rouge barré d'un rectangle blanc est un découpage correspondant à « sens interdit » et une clef de sol est un découpage correspondant à la désignation d'un registre. Dans le *signe arbitraire*, la forme du signifiant est indépendante de celle du référent, le rapport du signe à son objet ayant été établi par pure convention. Par exemple, les formes du bémol et du bécarre étaient motivées par la forme de la note b, -si bémol-, selon les cas ronde ou carrée. La tête de mort motive l'idée de danger. La forme du point d'orgue est, à notre connaissance, arbitraire, tout comme celle du panneau « sens interdit ». Le principe de *modulation* est motivé, mais non correspondant.

Pour résumer, le signe « fumée » est un *indice* de feu, le signe bémol à l'origine un *indice* de l'altération, qui est devenu un *symbole*, car on ne reconnaît plus sa motivation. Un signe de violon pour désigner « musique », une allumette pour désigner « le feu » sont des *icônes.* Le noir est *symbole* de deuil, la double barre celui de la fin d'un morceau. Les numéros de téléphone et les lettres ***p***, ***f***, servant à indiquer des nuances sont des signes au sens strict (mais redeviennent des symboles dans le contexte d'une partition ou d'un annuaire téléphonique).

Ces catégories gardent des frontières fragiles, dépendantes du contexte. En particulier, tout signe renferme une part d'arbitraire et une part de motivation. De plus, la notion de *découpage correspondant* reste contestée, et la sémiologie classique ne reconnaît généralement que les trois niveaux de signes : indiciel, iconique et symbolique :

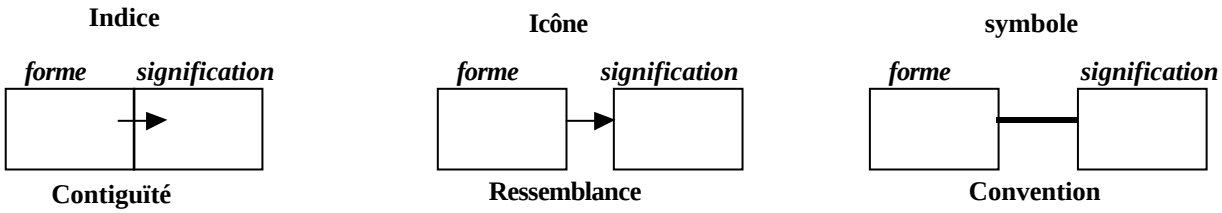


Schéma I-8 : Indice, icône et symbole

b) Les clôtures de la pensée analytique

La dynamique du signe et du sens ouvre une problématique particulière pour la musique. La pensée analytique est poïétiquement essentielle car elle offre les opérateurs d'une grammatologie à travers une archi-écriture. La pensée analytique est également esthésiquement

présente car l'audition est de nature cognitive, c'est-à-dire que l'écoute compresse inconsciemment les informations sonores en schèmes[63] analytiques référents à la connaissance. La pensée analytique sur le plan grammatologique et la partition sur le plan graphémologique proposent ainsi des *modèles* de l'œuvre. Or, lorsqu'elle cherche à être verbalisée, cette pensée analytique s'exprime par un langage différent du « langage »[64] musical. Le langage de l'explicitation de la pensée analytique sera appelé **logico-textuel,** car il s'exprime sous forme de graphiques, de schémas, de notations musicales et sémantiques, de raisonnements logiques, etc. En effet, dans la fonction graphémologique de l'écriture musicale, la musique et sa grammaire sont transcrites en signes discrets visuels. Dans sa fonction grammatologique, l'écriture qu'utilise l'analyse consiste à schématiser et à traduire dans deux autres langages suffisants, la logique et la langue textuelle, les règles et les éléments constitutifs du langage musical. Il s'agit, dans la fonction grammatologique de l'écriture musicale, de construire des modèles du modèle d'œuvre, puis des théories. Ce langage logico-textuel est de plus un **méta-langage[65]** non clos, c'est-à-dire non *suffisant.* Le « langage » de la musique est au contraire un langage *suffisant[66]*. Cette « langue » peut en effet s'assimiler sans le recours à un autre langage (de nombreux musiciens accomplis n'ont jamais profité d'un enseignement théorique verbalisé).

La pensée logico-textuelle du musical a acquis une place importante dans la musique occidentale écrite, sous forme d'analyse, de modèles et de formalisations d'écriture (les formes classiques, les fonctions tonales, les règles d'écriture, l'invention de nouvelles grammaires, la

---

[63] Ce terme sera défini plus précisément au chapitre C.-I-2. Le schème représente le schéma cognitif orientant la perception.

[64] Nous plaçons entre guillemets le mot *langage* pour préciser que nous désignons au sens large seulement la musique comme un langage. La musique n'est ni un langage sémantique, ni un langage formel. Elle offre cependant une faculté de « communiquer quelque chose » qui peut être comprimé (l'hypothèse cognitiviste et les règles transformationnelles de Chomsky s'appliquent), permettant dans le cadre d'une étude sur les règles, les signes et les grammaires certains rapprochements avec de vrais langages.

[65] Un **métalangage** est un langage qui prend pour objet un autre langage et le formalise. La plupart des métalangages n'existent que par leur(s) langage(s) correspondant(s). Les langages informatiques sont par exemple des métalangages associant une langue parlée (l'anglais généralement) et un langage logique (booléen et fonctionnel). Le langage informatique ne peut être compris qu'à condition de connaître les deux langages qui le génèrent.

[66] La plupart des langages, plus rarement les métalangages, sont dits **suffisants :** le dictionnaire, qui définit théoriquement tous les éléments d'une langue, fonctionne en système clos puisqu'il n'emprunte à aucune autre langue les éléments qui constituent les définitions. Autre exemple, un enfant est capable d'acquérir une langue parlée sans recourir à une autre langue. Certes, l'assimilation d'une langue, de son vocabulaire et de sa grammaire, peut être faite à l'aide du métalangage qu'est la grammaire formalisée (représentation logique de la langue), ou à l'aide d'un dictionnaire de traduction à partir d'une autre langue. Cependant, cette démarche, plus rapide pour un adulte déjà rompu à la langue logique, est non obligatoire pour l'enfant. Celui-ci acquiert sa langue maternelle sans recours à un autre langage. La musique est aussi un « langage » suffisant avec ses règles et son vocabulaire.

musicologie au sens large, etc.). Deux raisons motivent en première approche cette importance :

La première motivation, positive, est **la capacité d'auto-génération de modèles et de théories du métalangage logico-textuel.** Sans sortir de ce métalangage, l'aller-retour entre théorie et modèle permet en effet la création de nouvelles catégories, qui peuvent ensuite être appliquées à une œuvre.

Note épistémologique : émergence d'une théorie logico-textuelle

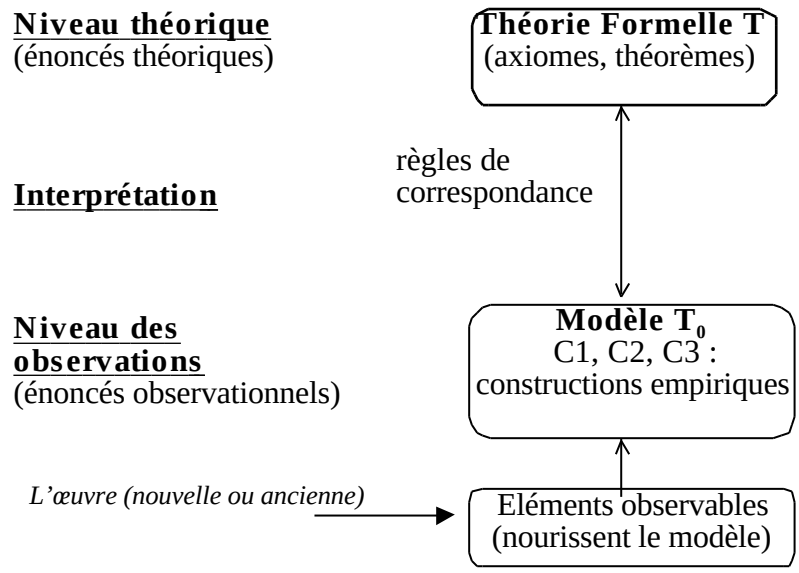
L'épistémologie moderne définit avec précision ce que signifie le principe de créer une théorie. Pour l'école de l'empirisme logique, une théorie comporte deux aspects : un langage **scientifique**, et un vocabulaire **descriptif**.

* Le **langage scientifique,** non propre à la discipline, utilise des termes théoriques désignant des entités non observables, ainsi qu'un langage construit et hautement formalisé, formé d'expressions logiques constituées de connecteurs propositionnels et de quantificateurs communs à l'ensemble des sciences.

* Le **vocabulaire descriptif** est plus particulier à la discipline. Les termes qui le composent désignent soit des entités observables (**termes observationnels**), soit des entités non observables (**termes théoriques**). Ce vocabulaire reste propre au métalangage logico-textuel.

Le philosophe Gardner sépare les deux mondes auxquels se consacre une discipline théorique : il y a d'une part le monde des observations et de l'expérience sensible, d'autre part celui de la formalisation. (Gineste [1997], p. 14). Lorsque un énoncé théorique (T) a été complètement traduit en énoncé observationnel (T_0), la théorie est dite *interprétée.* L'énoncé T_0 est alors un modèle de la théorie formelle T. Cette conception épistémologique de la théorie distingue donc fortement la théorie, qui ne peut être mise directement à l'épreuve des faits, ses énoncés n'étant ni faux ni vrais relativement aux faits, des modèles. L'œuvre sert ensuite de laboratoire d'observation ou d'application du modèle.

L'écriture, en tant que modèle d'une théorie ou d'une œuvre, se situe entre ces deux entités. Voilà pourquoi, selon qu'on s'intéresse à la proximité du modèle à l'œuvre ou à la théorie, l'épistémologue Amy Dahan-Dalmedico définit la notion de modèle de cinq façons : « i) *le modèle comme référent ou prototype à reproduire ; ii) le modèle comme type idéal dégagé d'une population homogène, iii) le modèle comme maquette d'un dispositif réel, iv) le modèle comme icône représentant une idée abstraite, enfin v) le formalisme logico-mathématique qui représente un système* » (Dahan, in Chouvel&Lévy[2002], p.112). Les exemples musicaux correspondant respectivement à ces cinq types de modèles seraient i) la partition ii) une grille d'accords, iii) le modèle-maquette d'un dispositif réel « fugue », iv) le modèle idée-abstraite « tonalités-affects », la notion de forme musicale, v) le formalisme logico-mathématique « Grundsatz schenkerienne », le modèle de communication de Shannon.



(d'après Gineste [1997])

Schéma I.9 : Théories et modèles

La seconde motivation, moins positive, est **la valeur donnée dans la culture occidentale au paradigme logico-textuel.** Il y a tout d'abord l'importance du quantifiable sur le non exprimable. Il y a en conséquence cette appréhension et cette difficulté de l'écriture à appréhender des phénomènes qui échappent à une possible traduction dans le langage logique-textuel : C'est le cas, par exemple, pour l'orchestration (les analyses de l'orchestration dépassent rarement le niveau de la description littérale, et ne sont pas considérées comme « scientifiques », académiques), ou pour les musiques non écrites (difficulté d'analyser des œuvres électroacoustiques, pour lequel le sonagramme est trop synthétique et ne contient pas de dimension symbolique, c'est-à-dire aucune première traduction formelle, contrairement à la partition ; difficultés d'analyser exhaustivement des musiques de tradition orale). La démarche du bon analyste consisterait justement à se pencher à la fois sur les procédures qu'emploie le compositeur, mais aussi sur le non-explicité, les choix et stratégies du créateur, sur les validités sonores, les catégories non encore verbalisées, et à chercher à les expliciter. Cependant, le musicologue, au sens étymologique du « scientifique de la musique », se concentre plus souvent, par « confort scientifique », sur le processus générateur ou la règle, mécanismes plus facilement schématisables, déjà explicités, réfutables au sens de Popper, réassimilables et transmissibles, alors que le résultat sonore n'a que la prétention « d'être ». Une règle s'additionne en effet à une autre règle, en réfute une troisième. Un ensemble de règles peut

engendrer un langage cohérent alors que le résultat musical ne se combine ni ne s'oppose à aucun autre : il *est.*

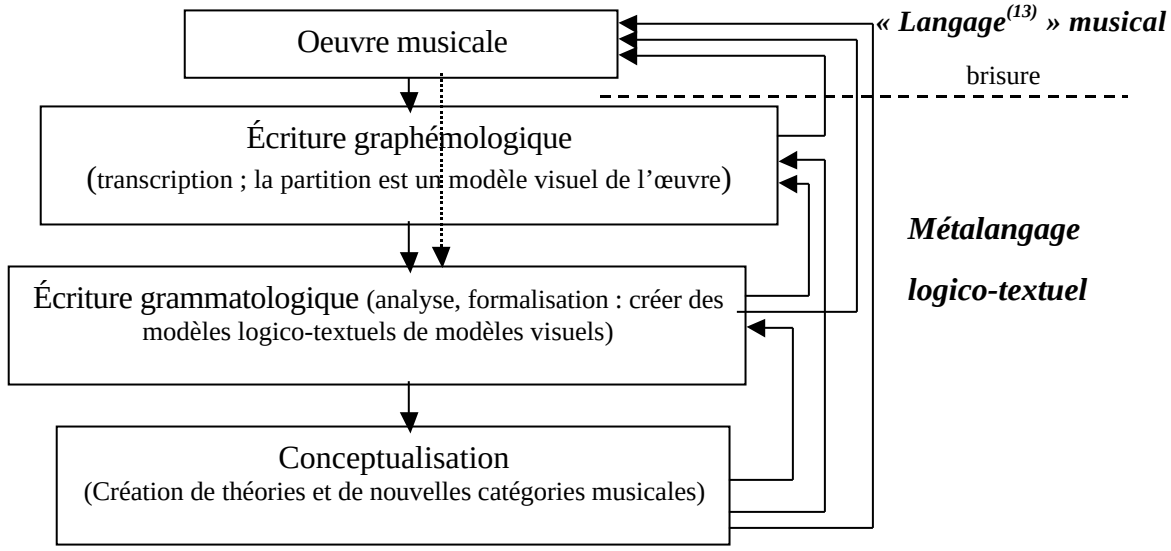


Schéma I.10 : écriture et musique - des modèles à l'œuvre

Ce paradigme logocentrique inconscient propre à la musique classique occidentale trouve une illustration assez fidèle dans le *Discours sur la Méthode* de Descartes, qui a impregné l'ensemble de la pensée analytique occidentale : étendre la certitude mathématique à l'ensemble du savoir (Descartes [1637], p.53 & p.75), en particulier à l'art (Descartes a rédigé en 1618 un traité de musique) et se débarrasser de ses conventions pour rechercher la vérité (p.66). Descartes a proposé quatre règles pour réaliser cet objectif : i) « *ne recevoir jamais aucune chose pour vraie, que je ne la connusse évidemment être telle* » (...) ; ii) « *diviser chacune des difficultés que j'examinerais en autant de parcelles qu'il se pourrait, et qu'il serait requis pour mieux les résoudre* » ; iii) « *conduire par ordre mes pensées, en commençant par les objets les plus simples et les plus aisés à connaître, pour remonter peu à peu, comme par degrés, jusqu'à la connaissance des plus composés ; et supposant même de l'ordre entre ceux qui ne se précèdent point naturellement les uns des autres.* » ; iv) « *faire partout des dénombrements si entiers, et des revues si générales, que je fusse assuré de ne rien omettre* » (Descartes [1637], deuxième partie, p.69 à 71). La première règle est celle qui, en particulier, justifie le logico-textuel et le rationnel dans la connaissance du musical : expliciter, objectiver, abstraire, formaliser. La deuxième règle conduit la recherche musicologique, mais illustre aussi l'invention d'une notation (discrétisation des alphabets, séparation en paramètres indépendants). La troisième règle ouvre la possibilité de fonctionnaliser la musique en créant des abstractions.

Enfin, la dernière règle définit peut-être le compositeur de musique savante, propre à penser consciemment et abstraitement l'objet musical et à le développer. Ces associations restent métaphoriques, sans identité épistémologique. Elles illustrent plutôt en quoi la musique occidentale s'est développée sur une pensée rationaliste (mais pas toujours rationnelle) propre à l'occident.

La présence de cette rationalité singulière était déjà une des thèses de Max Weber (Weber [1972, trad.1998], p.49-51). Max Weber caractérisait la musique occidentale par la rationalisation de son harmonie. Certes, ses arguments sont parfois contestables, notamment lorsqu'il oppose la rationalisation de l'harmonisation occidentale, à travers Pythagore et Zarlino, aux autres systèmes « irrationnels » extra-occidentaux « basés sur des distances » (p.66), en particuliers les systèmes turco-perse (p.58), dont nous verrons dans la partie B qu'ils ont en partie une même origine pythagoricienne. Malgré ces nuances, liées aux connaissances ethnomusicologiques précaires de l'époque, Max Weber avance une autre hypothèse essentielle, que nous reprenons : la musique occidentale rationnelle engendre sa propre irrationalité. Max Weber tire cette irrationalité du système harmonique (cette analyse est partagée par des spécialistes de l'harmonie grecque tels M. Caveing, H. Dufourt ou A.-G. Wersinger, relativement au problème de la dimidiation et de l'incommensurabilité des intervalles[67] -cf. Wersinger [1998], p75 ou Dufourt [1998]-). Nous rechercherons cette irrationalité davantage dans les limites de l'écriture, le système harmonique n'étant qu'une conséquence, selon nous, de la représentation de catégories du phénomène sonore biaisées par l'écriture et les modèles de description[68]. Comme Jack Goody le montre, l'écriture est en effet la condition de la scientificité de la grammatologie, en particulier en musique, mais aussi sa clôture. Derrida, reprenant Husserl, écrit « *L'écriture n'est pas seulement un moyen auxiliaire*

[67] Les grecs ne connaissant pas la notion de racine carrée, il leur était impossible de partager un intervalle en deux parties égales –la dimidiation- par la moyenne géométrique. Ils appliquaient par contre la moyenne harmonique et la moyenne arithmétique qui donnaient alors deux moitiés inégales, une plus petite, l'autre plus grande, chacune conservant de plus des propriétés épimores. Ainsi, l'octave 2:1 était partagée en une quinte 3:2 et une quarte 4:3 ; la quinte 3:2 était partagée en une tièrece majeure 5:4 et une tièrce mineure 6:5 ; plus généralement, tout intervalle épimore (n+1)/n était partagé en deux intervalles épimores légèrement différents [(2n+2)/(2n+1)] et [(2n+1)/(2n)]. Cette incommensurabilité, ou *asymetria*, propre à la musique (la *symetria* est le critère qui prévaut dans l'architecture) explique par exemple chez Heraclite la « liberté dissonantique et polémique » de l'harmonie musicale (Wersinger [1998], p.75). Max Weber reprend aussi l'argument du partage de l'octave à travers la présence de la quinte diminuée dans l'accord de septième de dominante (Weber [1972], p.52)

[68] La racine carrée et les nombres irrationnels, par exemple, que les grecs antiques ne connaissaient pas, sont des formalisations, des écritures, c'est-à-dire des représentations du monde, tout comme les moyennes arithmétiques, géométriques, ou harmoniques.

*au service de la science – et éventuellement son objet – mais d'abord (…) la condition de possibilité des objets idéaux et donc de l'objectivité scientifique. Avant d'être son objet, l'écriture est la condition de l'*epistemé *»* (Derrida [1967], p.43). Pour ce philosophe, la grammatologie de l'écriture sémantique agence pratiquement et théoriquement les rapports instables mais systématiques entre l'ethnocentrisme, le logocentrisme, et la thèse de la supériorité de l'écriture alphabétique. L'aventure de l'écriture « *se confondrait avec l'histoire qui associe la technique et la métaphysique depuis près de trois millénaires. Et elle s'approcherait maintenant de ce qui est proprement son essoufflement »* (p.18). La critique de ce logocentrisme de l'écriture est chez Derrida une critique des méthodes structurales (Saussure puis Lévi-Strauss), puis, dans *écriture et différance,* celle de toute la métaphysique rationaliste occidentale. En effet, c'est par l'écriture, par sa *trace,* qu'un signifiant se constitue à l'intérieur d'un système, dans un réseau structural avec d'autres éléments, en opposition ou en similitude avec eux, bref par un jeu de *différance.* L'écriture est condition de la méthode structurale, et peut-être même de toute la métaphysique occidentale. Derrida prône alors une déconstruction de l'écriture, c'est-à-dire de renverser les oppositions traditionnelles, d'aller à la *« clôture du logocentrisme »*, d'échapper aux catégories classiques. L'œuvre ~~est~~. Nous observerons sur le plan musical une brisure similaire, avec l'essoufflement de la méthode structurale en musique, en partie liée à la crise de la notation et de la grammatologie musicales traditionnelles (chap. A.-III). Les musiques concrètes et électroacoustiques ont en effet permis l'apparition de grammatologies du sonore appréhendant des catégories plus complètes du musical, qui se sont ensuite répercutées aux musiques écrites et symboliques. Cette crise du signe a en effet impliqué une crise du sens musical.

c) Peut-on parler d'ineffable en musique ?

Avant d'aborder frontalement les relations entre l'analytique et le perceptif sous l'angle de la complexité, évoquons rapidement un écueil particulier de la traduction entre « langage » musical et métalangage logico-textuel, à savoir ce qui ne peut être traduit.

L'ouvrage du philosophe Jankélevitch, *la musique et l'ineffable* (Jankélévitch [1961]), qui s'attèle à cette question, est sur ce point révélateur. En un peu moins de deux-cents pages où Jankélevitch cherche, par l'exemple et la rhétorique, à parler dans un métalangage logico-textuel de répétition, d'impression, de violence, de narration, de frivolité ou de charme en

musique, le philosophe constate que « *directement et en elle-même, la musique ne signifie rien, sinon par association ou convention ; la musique ne signifie rien, donc elle signifie tout…* » (p.19). Certes, « *la musique n'est ni un 'langage', ni un instrument pour communiquer des concepts* » (p.81), mais « *il y a une 'langue musicale' dans le sens où il y a un langage des fleurs et cent autres langages chiffrés ou systèmes de signes.* » (p.36), c'est-à-dire que « *la musique est un langage général, et la généralité se particularise ici par ce que déjà l'on sait du sujet et de l'auteur* » (p.82). À partir de cette suffisance du langage musical, Jankélevitch définit deux concepts-clefs, **l'indicible** et **l'ineffable**. « *Est indicible(…) ce dont il n'y a rien à dire (…) et l'ineffable, tout à l'inverse, est inexprimable parce qu'il y a sur lui infiniment, interminablement à dire* » (p.93). En d'autres termes, l'ineffable est ce qui reste quand on a tout dit. L'ineffable « *est donc porteur d'un 'message' ambigu, et il ressemble au je-ne-sais-quoi d'Henri Bremond en cela.* ». Certains musicologues s'impatientent avec raison d'une discussion sur l'ineffable puisqu'on ne peut en parler sans ambiguïté, c'est-à-dire l'objectiver et en produire une argumentation réfutable. D'autres reconnaissent pourtant que le « langage » musical, parce qu'il est un « langage » suffisant, ne peut être entièrement traduit dans un autre langage suffisant aux fonctionnalités propres (sens pour le langage commun, implications pour la logique, [émotion pour la musique ?]), ou parfois infiniment traduisible, et qu'il faut en tenir compte. L'expérience du sens musical est certes un acte solitaire, et la communication de ce sens passe par sa traduction en langage sémantique. Ricoeur, cité par Imberty écrit : « *Tout mythos comporte un logos qui demande à être exhibé... Là où un homme rêve, prophétise ou poétise, un autre se lève pour interpréter* » (in Imberty [1976], p.17). Mais cet apport de signification dans du sens est une interprétation. « *Le commentaire le plus fructueux d'une symphonie, d'un opéra, a toujours été une symphonie ou un opéra* » (Berio [1983]).

Une recherche similaire et récente sur cet inexprimable est le programme *transsémiotique* que développent de jeunes chercheurs, Lia Kurts, Anne Masson, Mathilde Vallespir et Marie-Albane Watine-Rioux, au sein du « *groupe trans-, recherche en transsémiotique des arts* ». Partant du constat que la sémiologie fait partie de la linguistique, parce que même avec d'autres systèmes de signe, cette discipline a rapporté la question des sémioses à celle du binôme signifiant/signifié, et que ceci ne permet pas d'apprécier scientifiquement ce qui fait « l'effet d'art », le programme transsémiotique pose trois hypothèses : i) L'art n'est pas un objet en soi, mais une activité, une décision du récepteur qui

fait d'un objet un « objet d'art », une *artistisation* pour reprendre l'expression de Georges Molinié, *artistisation* qui est instable et potentielle. ii) Le récepteur est en conséquence un « actant ». iii) L'art doit être étudié en dehors des nuances sociales classiques (art mineur/art majeur, etc). À partir de là, ce groupe de recherche s'intéresse à des concepts nouveaux comme celui de déréférentiation, et non celui plus traditionnel de référence (en considérant par exemple que l'œuvre est son propre référent, ou bien ne réfère à rien), le concept de décatégorisation et de transcatégories (par exemple les notions de métaphore en littérature, ou celles de brouillage ou d'exorcisme en musique), ou celui de désubjectivisation. « *Nous tentons de maintenir le* 'je ne sais quoi' *mais sans son mysticisme : un des outils les plus opératoires pour ce type de modélisation est la pensée graduelle, non thétique, non oppositionnelle* » (Vallespir, Kurts, Masson, Watine [2002], p.7). Ce refus de la pensée oppositionnelle est directement influencé par la pensée Derridienne de la déconstruction. La difficulté reste alors, comme pour Jankelevitch, de scientifiser par le verbe cet ineffable. « *Le locuteur n'a jamais accès qu'à du mondain* (à de la médiatisation du monde), *c'est-à-dire à de l'ordonné* » (p.12).

Yizhak Sadaï explicite un contre-exemple analytique de ce « presque rien » que ne peut totalement appréhender la méthode analytique préconisée par *la* deuxième méthode de Descartes. Sadaï a demandé à des étudiants en musicologie d'une université américaine d'évaluer, avec des notes allant de 1 à 10, les composantes rythmiques, mélodiques, et harmoniques, -séparément- d'une oeuvre musicale (Sadaï [1992]) :

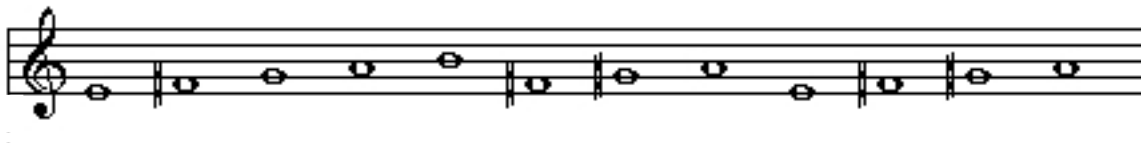
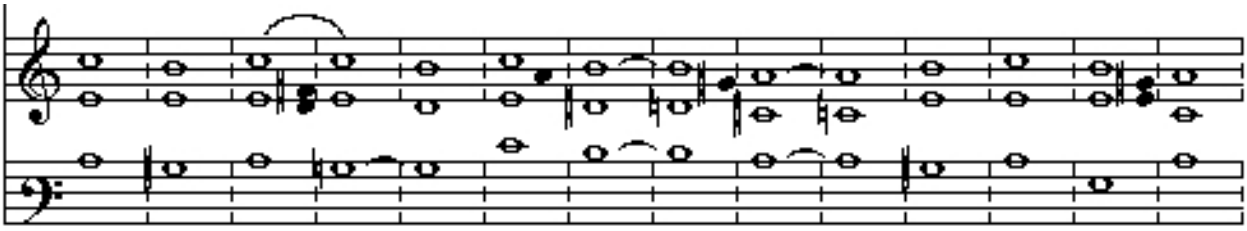
Ce rythme reçut la note moyenne de 1,6/10.

Cette mélodie fut évaluée à 2,4/10 par les étudiants.

Les étudiants ont attribué une note de 3,5/10 à cette séquence harmonique.

Schéma I.11 : paradoxe de Sadaï

Le passage était donc évalué par les étudiants, si l'on considère que l'œuvre peut se réduire à l'addition de ses différents paramètres, à une moyenne de 2,5/10, pour un morceau qui n'est autre que le second mouvement de la *Septième Symphonie* de Beethoven. Cet exemple simple, peut-être naïf, met en avant certaines limites de l'analyse paramétrique comme moyen de synthèse. Il est des réalités qui sont sans explication, c'est-à-dire sans décomposition logique (sans traduction dans un langage logique), sans opposition. La méthode cartésienne de séparation des paramètres dans l'analyse ne s'applique pas toujours comme critère de validation d'une œuvre.

II.- CALCUL DE LA COMPLEXITÉ ANALYTIQUE D'UN PROCESSUS MUSICAL

1) Les principes de la pensée fonctionnelle de la musique : variables, grammaires, procédures et automates

La pensée analytique du musical et la rationalisation de la musique ont induit une propriété importante : la pensée fonctionnelle de la musique. La pensée fonctionnelle signifie la séparation de l'input et de la transformation d'un phénomène sonore, ainsi que « l'abstraisation » de cette transformation. La pensée fonctionnelle est une pensée cartésienne puisqu'elle réduit une problématique en plusieurs opérateurs plus simples, l'input et sa fonction de transformation. C'est une pensée de la modélisation (donc fortement liée à l'écriture et à la représentation analytique qu'une culture se fait de ses opérateurs) et de l'induction (du fait de l'abstraction). Les fonctions de modulation, de marche harmonique, d'augmentation, de valeur rythmique pointée, de fugue, ou de rétrogradation sont quelques exemples d'abstractions fonctionnelles. Les rythmes, les notes, les accords, les mélodies, les sujets de fugue, les degrés, les vecteurs de la Set Theory d'Alan Forte ou les séries sont quelques variables usuelles de cette pensée fonctionnelle. Des logiciels de composition musicale assistée par ordinateur comme *Open Music* ou *Patchwork*[69] fonctionnent en séparant les input (une note, un accord, une voix, un motif rythmique, un son) de leur transformation, que l'on peut ensuite abstraire sous forme de patch. L'ensemble des logiciels de traitement du son opèrent également avec cette logique, où une chaîne d'information sonore sert d'input modifié par différentes procédures (filtrage, transposition, etc.). Le compositeur de musique écrite pratique également, consciemment ou inconsciemment, cette pensée fonctionnelle.

Nous donnons ci-dessous un certain nombre de définitions propres à la pensée fonctionnelle de la musique, et utilisées dans la suite de cette étude, notamment pour le calcul des complexités analytiques d'un processus musical.

[69] Logiciels conçus à l'Ircam sous la direction de Gérard Assayag

a) Propriétés mathématiques de l'espace des inputs et des structures de transformation

i) L'espace musical des inputs

Que ce soient des notes, des rythmes ou des timbres, les compositeurs utilisent des transformations ayant certaines caractéristiques mathématiques communes, quel que soit le paramètre utilisé. D'une façon générale, l'espace mathématique des inputs dans lequel opèrent ces transformations répond aux paradigmes de la pensée analytique (discrétisation, alphabets finis, paramétrisation, fonctionalisation), et présente plus precisément les propriétés suivantes:

- Il est discret et dénombrable (ou rendu tel lors du travail de composition).
- Il est souvent considéré de cardinal fini (12 notes ou une centaine de hauteurs selon l'échelle choisie, une quarantaine de valeurs rythmiques élémentaires, etc...)
- L'espace est souvent muni d'une structure ordinale.
- L'espace est plus rarement muni d'une distance au sens mathématique[70].

ii) Structures de composition des transformations

Les inputs (notes, rythmes, etc.) sont associés au moins de deux façons en musique, verticalement et horizontalement, contrairement au langage sémantique qui ne connaît que l'opération d'association horizontale (Chemillier [1990]).

*** L'opération d'association horizontale,**

Appelée aussi **succession** ou **opération de concaténation**, cette opération n'est pas propre au langage musical, mais constitue le centre de la théorie des langages formels. L'opération de concaténation est associative et possède comme élément neutre la suite de longueur vide. Elle sera notée ici +.

*** L'opération d'association verticale,**

Appelée aussi **simultanéité** ou **superposition**, elle est plus particulière à la musique. Elle sera notée ici / . Elle est associative et idempotente (c'est-à-dire que u/u=u)[71].

*** L'opération d'intersection**

[70] Rappel math.: on définit une distance au sens mathématique sur un espace E si, pour tous éléments x, y et z de E, on a : $d((x,y)\geq 0$; $d(x,x)=0$; $d(x,y)=d(y,x)$; $d(x,z)+d(z,y)\geq d(x,y)$

[71] Nous restons ici au niveau du signe. La superposition de deux sons identiques, par exemple sur deux claviers d'orgue, peut parfois engendrer des phénomènes annexes.

Marc Chemillier présente une troisième opération, utile sur le plan théorique, l'opération d'**interposition (ou opération d'intersection)**. Elle correspond à l'intersection de deux cellules (alors que les deux précédentes opérations sont des opérations de réunion).

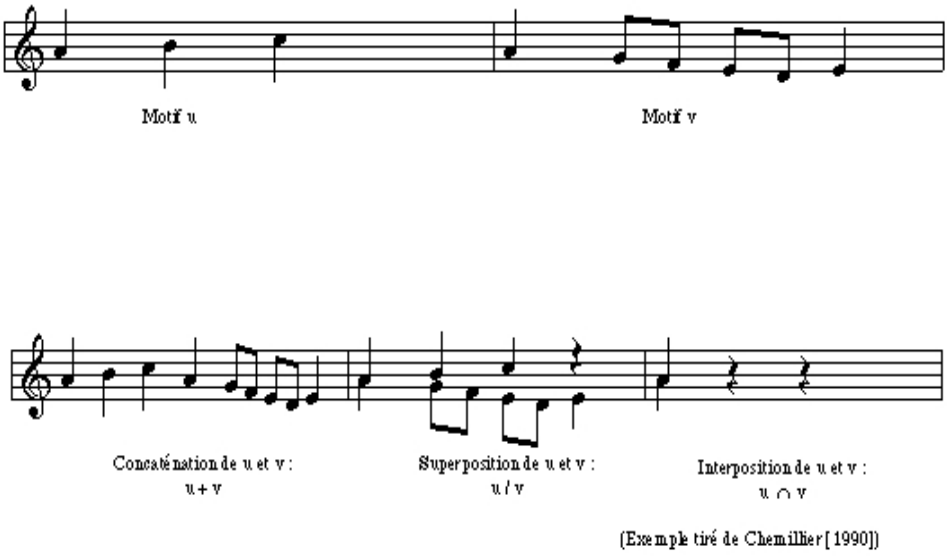


Schéma II.1 : Trois opérations mathématiques de combinaison des notes

Propriétés mathématiques *(Chemillier [1990]) :*
Soient quatre chaînes u,v,w et z, telles que u et w soient de longueur égale. Alors :
(u+v)/(w+z)=(u/w)+(v/z)

u v
I----------I-----I
w z
I----------I----------I

b) L'écriture des inputs : chaîne d'information et alphabet

Sans se préoccuper ici du problème de sa signification, la musique peut être transcrite sous forme de symboles. Il est donc possible de définir une linguistique de la musique, et de lui appliquer certains concepts issus des théories des langages formels. La linguistique générale (Benveniste, Martinet) différencie l'unité sémantique la plus petite procurant du sens (le mot), d'un deuxième niveau d'articulation organisé autour d'unités de base ne procurant pas de sens (la lettre, le signe). Formellement, la variable d'une procédure, ou *input*, ou *chaîne d'information sonore* dans le cas d'une approche informationnelle de la musique, peut se représenter de la façon suivante :

i) Alphabet musical

Les symboles musicaux forment un alphabet. En musique occidentale savante, on peut regrouper ces symboles en catégories indépendantes (symboles de rythme, de nuance, de hauteurs..) formant plusieurs alphabets distincts, du fait de la séparation des paramètres.

ii) Chaîne d'information

Toute suite finie d'éléments d'un alphabet A est une **chaîne** (ou combinaison) sur A. Une chaîne musicale peut être, par exemple, un motif rythmique, mélodique, une suite d'accords, etc.

Note math. : Notons A° l'ensemble de toutes les chaînes possibles constituées d'éléments de A.

iii) Langage musical formel

Mathématiquement, un langage musical formel sur l'alphabet A est une partie de A° (une définition plus complète sera donnée ultérieurement).

c) Règles, procédures, algorithmes

Le linguiste R. Jakobson définit les **règles du langage** par le choix régulier que fait une personne en sélectionnant tel mot et en le combinant avec tel autre (Jakobson [1963]). La sélection et la combinaison sont, pour ce linguiste, les deux principes fondant la règle du langage. Un langage sémantique est constitué d'une infinité de mots (avec 26 lettres, on forme une infinité de mots dans le langage verbal). Une communication entre deux interlocuteurs ne peut se faire que si le vocabulaire est commun, mais également si ceux-ci possèdent un certain nombre de règles de sélection et de combinaison communes. En musique, il y a une infinité de combinaisons possibles de lettres des alphabets musicaux. Selon la culture de l'auditeur, selon l'œuvre du compositeur, le vocabulaire et les règles de sélection et de combinaison seront plus ou moins communes. Enfin, le compositeur met en place une grammatologie avant le stade de l'échange dans un but de production, et non de communication. « *Plus l'art est contrôlé, limité, travaillé, plus il est libre (...). Si tout m'est permis, le meilleur et le pire, si rien ne m'offre de résistance, tout effort est inconcevable, je ne puis rien fonder sur rien et toute entreprise, dès lors, est vaine (...). Ce qui m'ôte une gêne m'ôte une force (...).'La force, dit Léonard de Vinci, naît par la contrainte et meurt par liberté'* » (Stravinsky [1952]). Ce choix de règles reste plus ou moins personnel, opportun, conscient. Un compositeur amateur ne connaissant par exemple pas consciemment les règles d'un langage passé, comme le langage tonal, pourra cependant le pasticher par instinct culturel.

Une règle est donc un mécanisme admis, imposé, ou imaginé, pour passer d'un état à un autre. La pensée fonctionnelle de la musique occidentale distingue l'input de sa transformation, dont la règle, ou procédure, est une abstraction. Notons que le mot *règle* est préféré à *procédure* dans le langage courant lorsque la procédure est imposée par une convention externe. On distingue ensuite :

i) les procédures (règles) déterministes

Le compositeur arrivant à l'état Q1 est obligé par sa procédure (s'il la respecte) de continuer vers l'état Q2.

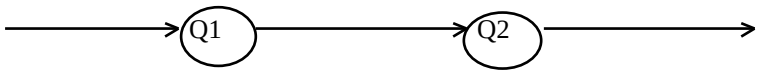


Schéma II.2 : procédures déterministes

Par exemple, dans les règles d'harmonie d'école, la septième descend, la sensible monte, etc...

ii) les procédures non-déterministes

Le compositeur arrivant à l'état Q1 a le choix entre un ensemble fini ou infini d'états non réduits à un seul. Ces règles musicales sont alors dites non-déterministes, c'est-à-dire non contraignantes.

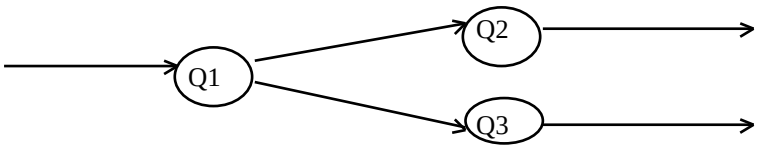
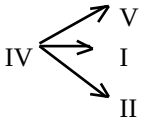


Schéma II.3 : règles non déterministes

Par exemple 

Le degré de liberté d'une règle correspond au nombre de choix permis au compositeur.

Certains processus sont dits **ultra déterministes**, lorsque le choix du premier élément contraint l'ensemble de la chaîne : la suite de Fibonacci, les marches harmoniques rigoureuses, etc.

Lorsqu'elles sont proprement formalisées, les procédures peuvent être modélisées sous la forme d'algorithme et d'automate.

iii) Algorithme

Un **algorithme** désigne l'ensemble des règles opératoires nécessaires à un calcul, et plus généralement l'enchaînement des actions nécessaires à l'accomplissement d'une tache. En musique, on peut représenter assez fidèlement, par exemple, la volonté du compositeur par un algorithme (par la partition, par des schémas ou graphes de taille plus petite, etc..).

iv) Automate, états d'un automate

En informatique, on désigne par **automate** le dispositif réalisant ces opérations. Un automate est une machine pouvant se trouver dans un nombre fini de configurations internes appelés **états**. On peut, par exemple, schématiser l'oreille (et le cerveau) de l'auditeur, le haut-parleur ou l'instrument de musique par des automates changeant d'état interne au cours du temps et des informations qu'ils reçoivent ou qu'ils émettent.

En théorie informatique, les changements d'état sont généralement étudiés sur une échelle temporelle. En ce qui concerne l'algorithme établi par le compositeur, les changements d'état ne sont pas toujours temporels (le processus utilisé ne se " déroule " pas obligatoirement pendant le temps de l'écoute). Néanmoins, les résultats scientifiques concernant les automates restent valides sur toute échelle, celle du temps pouvant être substituée par une autre (avancement du travail, degré de transformation de la cellule, etc...).

v) Transition

Au temps t, un automate se trouve dans un certain état Q(t). Il reçoit une suite discrète d'ordres ou de signaux, énoncés dans l'alphabet A, qui provoquent un changement d'état ou **transition**. Accessoirement, l'automate, en plus de prendre une décision à chaque état, peut émettre un message (ordre ou signal). Un automate est donc la donnée :

i) d'un alphabet fini A (l'automate doit connaître a priori l'alphabet des signaux sur la bande pour les lire)

ii) d'un ensemble fini non vide d'états Q

iii) d'un état de départ (ou état initial) noté Q_0

iv) d'une fonction de transition f : Q x A -> Q, telle que l'état Q_i devient Q_j sous l'effet de l'information a : f : Q_i, a --> Q_j

Note mathématique annexe :

i) Un automate est **déterministe** s'il n'a qu'un état initial et si deux flèches ne peuvent partir d'un même état.

ii) Un automate est **accessible** si tout état est le point d'arrivée d'un chemin partant d'un état initial.

iii) Un automate est **co-accessible** si tout état est le point de départ d'un chemin menant à un état final.

Soit Q un état de l'automate. On note $Q^{-1}T$ l'ensemble des chemins menant de Q à un état terminal T

iv) Un automate est **réduit** si, pour deux états distincts Q_1 et Q_2, on a . $Q_1^{-1}T \neq Q_2^{-1}T$

v) Un automate est **minimal** s'il est déterministe, accessible, co-accessible et réduit

(Chemillier [1990])

vi) Grammaires

L'ensemble des règles d'un langage est appelé **grammaire.** La notion de grammaire a en fait deux sens : un sens *prescriptif* désignant une liste de prescriptions normatives ou une série d'indications pratiques, et un sens *non prescriptif* désignant la machine à générer tous les énoncés d'une sémiotique et ceux-là seulement, ou désignant le modèle que le théoricien construit pour rendre compte de ces énoncés (Klinkenberg [1996], p.117). La grammaire d'un « langage » désigne donc un ensemble d'énoncés de règles, règles qui peuvent déterminer la constitution d'unités de signes, leur combinaison, et leur usage pragmatique

Selon la théorie de la **grammaire générative et transformationnelle** de Chomsky, un ensemble fini de règles engendre un système grammatical, à l'image d'un ensemble fini de vecteurs, en mathématiques, engendre un espace vectoriel (Chomsky [1979]). Le langage est, pour Chomsky, un ensemble fini ou infini de phrases de longueurs finies, composées d'un ensemble fini d'éléments (les mots, les unités rythmiques, les notes,...). « *Le langage est un système qui propose une infinité d'utilisation à partir d'un nombre fini d'éléments. Une grammaire générative du langage, en fait, est un système formel qui montre explicitement que le cerveau propose un nombre fini de moyens qui peuvent engendrer une infinité d'utilisation* » (Chomsky [1987], p.7) La grammaire générative du langage s'identifie à la cohérence de certaines règles finies pour engendrer un nombre infini de combinaisons. Pour Chomsky, la grammaire n'est donc ni une énumération de cohérences statistiques, ni une analyse du sens donné aux mots. Elle est plutôt schématisable, pour Chomsky, par un *graphe de combinaison.*

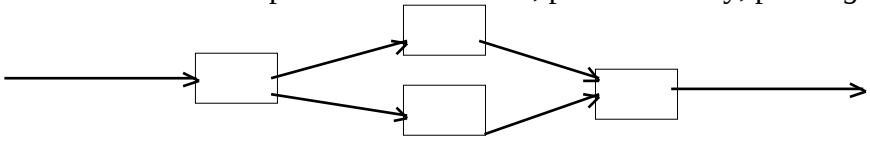


Schéma II.4 : graphe de combinaison grammaticale

Dans une première approche, un graphe grammatical fonctionne comme un processus automatique de Markov : un mot engendre l'autre. Chomsky intitule cette approche **le modèle théorique de communication**. Toutefois, Chomsky réfute cette « théorie linguistique minimale » qui n'engendre qu'un nombre fini d'états et impliquerait une construction de gauche à droite de la langue (ce qui est faux en musique comme dans les langues). Chomsky préfère à cette théorie réductrice le **modèle syntagmatique** fondé sur « l'analyse en constituants immédiats », où « l'apprentissage » de la langue (sa connaissance) est rendue explicite par une série de déductions (une phrase appelle une structure : [structure nominale]+ [phrase-verbe], par exemple ; la [phrase-verbe] appelle ensuite un verbe et un nom, etc ...) :

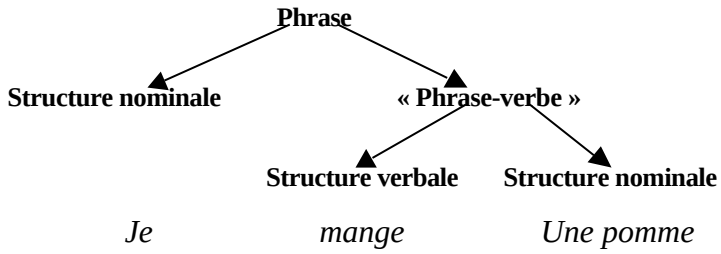


Schéma II.5 : graphe syntagmatique de combinaison grammaticale

L'analyse en constituants immédiats correspondrait au décryptage du processus d'engendrement de la phrase, c'est-à-dire de l'automate compositionnel en musique, au-delà de la simple juxtaposition de mots ou de notes. Les règles régissant les structures grammaticales sont alors de deux sortes : « ***les règles de la base*** *qui déterminent des représentations abstraites de structures syntagmatiques ;* ***les règles transformationnelles*** *qui déplacent des éléments et, de façon générale, réarrangent les structures pour produire des structures de surface* » (Chomsky [1985], p.138).

Chomsky distingue assez peu, dans sa théorie, l'acte poïétique de l'acte esthésique, puisque les règles grammaticales sont partagées entre le producteur et le récepteur dans une langue sémantique. On retrouve, dans la théorie de Chomsky, le fait que la réception d'une chaîne d'information dépasse l'écoute linéaire de premier niveau, et que la production n'est pas unidirectionnelle, linéaire. Les deux mécanismes impliquent une analyse consciente ou inconsciente du processus qui l'engendre, par groupement. Chomsky écrit : « *La grammaire engendre des représentations mentales de leur forme et de leur représentation* » qu'il nomme respectivement « *forme phonétique* » et « *forme logique* » (Chomsky [1985], p.137). La

« forme logique » est liée aux structures profondes qui seront interprétées phonétiquement en structures de surface. Les travaux de Chomsky ont stimulé de nombreuses études de grammaire générative, notamment en musique (Lerdahl et Jackendoff), qui ont maintenu l'hypothèse que les structures de surface sont transformées (Chomsky parle de transformation, nous préférerons le terme de compression) en structures profondes. C'est *l'hypothèse cognitiviste* que nous développerons au chap. B-I : la perception est cognitive, et compresse l'information pour en faire émerger des schèmes inconscients.

d) Quelques notions de théorie des graphes

La grammaire est une formalisation, c'est-à-dire un modèle symbolique hors temps d'un ensemble de règles. Lorsque le processus est formalisé, la description sous forme d'automate permet un certain nombre d'opérations, en particulier le calcul de la complexité analytique d'une procédure. La cybernétique, apparue au lendemain de la deuxième guerre mondiale, a précisé certains outils de formalisation des règles et des grammaires dont nous donnons ci-dessous quelques principes opératoires basiques qui seront utilisés par la suite.

i) Diagramme d'un automate

Un diagramme d'automate est une représentation quelconque de tous les états possibles, ou d'une partie, que rencontre l'automate.

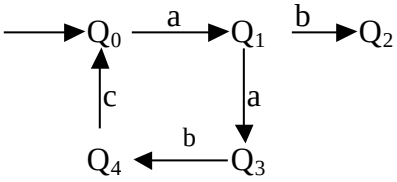


Schéma II.6 : exemple de diagramme d'un automate

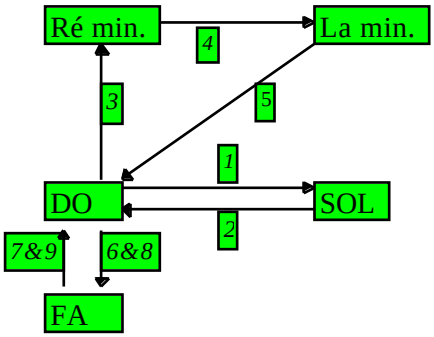


Schéma II.7 : Exemple musical de modélisation par automate d'un parcours harmonique (Invention n°1 BWV 772 de J.S. Bach)

L'exemple II.8 ci-dessus, extrait de Riotte[1994], est un exemple de modélisation par automate du parcours harmonique de l'*Invention n°1* à 2 voix (BWV 772) de J.S. Bach.

Le parcours des tonalités peut également s'écrire sous une forme plus classique, qui est aussi une écriture en automate :

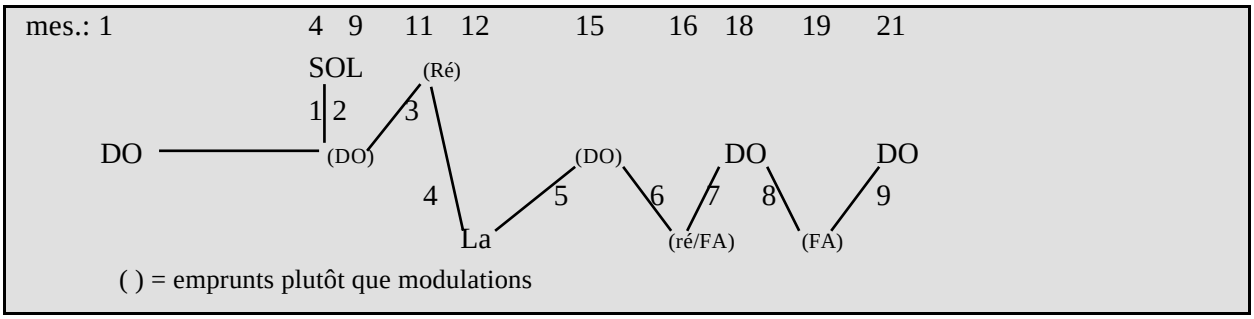


Schéma II.8 : Diagramme d'automate : Notation classique (J.Chailley) d'un parcours harmonique

On peut bien-entendu trouver une représentation sous forme d'automate sur de nombreux paramètres régissant l'œuvre, et non pas seulement pour le parcours harmonique. Ainsi, l'automate de transformation des motifs de cette invention serait :

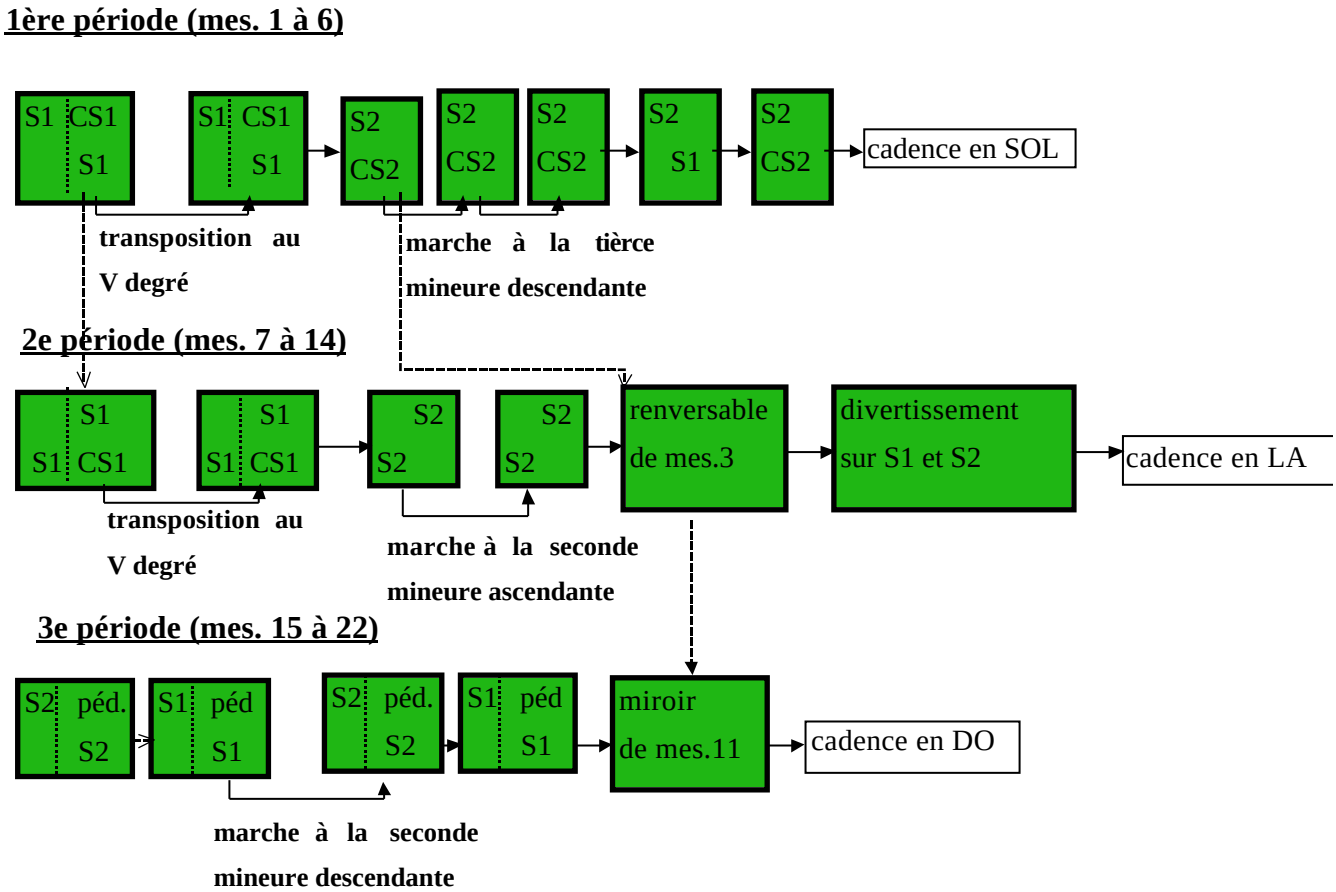


Schéma II.9 : Exemple musical de modélisation par automate du parcours formel

(Invention n°1 BWV 772 de J.S. Bach): S1 : sujet 1; CS1 : contre-sujet 1

On peut également schématiser par automate la construction des motifs (des sujets et des contre-sujets) :

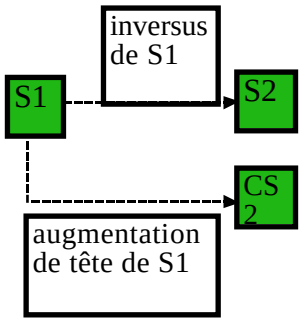


Schéma II.10 : Exemple musical de modélisation par automate des motifs

(Invention n°1 à 2 voix BWV 772 de J.S. Bach)

La schématisation par automate d'un processus peut donc se présenter sous différents aspects, selon le choix de la variable, c'est-à-dire de l'input. Cette représentation est intéressante dès que l'on a un déroulement linéaire d'états (ce qui est le cas de la musique, par son déroulement temporel), et une réapparition d'états similaires à des instances différentes. Elle ne signifie pas que le compositeur a procédé ainsi pour engendrer l'œuvre. La description analytique en automate est déjà une interprétation analytique, dans le sens où l'on impose un choix de description parmi les éléments endogènes qui traverseront plusieurs états (par exemple : les tonalités dans les schémas I.11 et I.12), et les variables et constantes exogènes (paramètres musicaux auxquels on ne s'intéresse pas même s'ils changent d'état). Les états peuvent être des tonalités, mais également des rythmes, des modes, etc... Dans les faits, toute science analytique, comme l'analyse musicale, utilise inconsciemment une représentation mentale ou écrite sous forme d'automates, issue de la pensée fonctionnelle.

ii) Graphe

Un graphe est une représentation particulière du diagramme d'un automate. Un graphe est représenté par des arrêtes et des sommets (ou nœuds). De chaque sommet qualifiant un état Q_i, partent plusieurs arrêtes suivant le message a_i transmis (ou la probabilité p_i dans le cas des chaînes de Markov), qui débouchent sur un état Q_j.

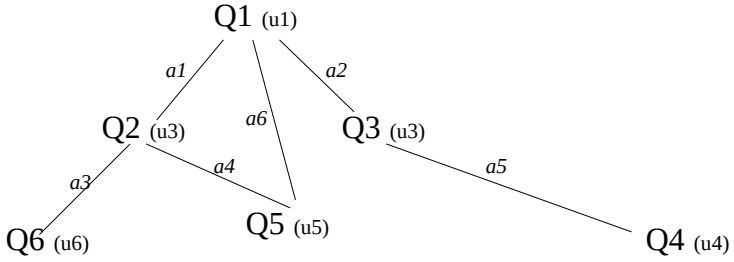


Schéma II.11 : Exemple de graphe

iii) Matrice d'adjacence d'un graphe

Si on nomme les différents sommets du graphe u_1, u_2, ...,u_n, on peut définir une matrice M = (m_{ij}), (i et j compris entre 1 et n) de dimension n appelée matrice **d'adjacence**, avec :

m_{ij} = 1 si u_i et u_j forment une arrête; m_{ij} = 0 sinon.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
Q1	0	1	1	0	1	0
Q2	0	0	0	0	1	1
Q3	0	0	0	1	0	0
Q4	0	0	0	0	0	0
Q5	0	0	0	0	0	0
Q6	0	0	0	0	0	0

Schéma II.12 : matrice d'adjacence correspondante au graphe du schéma II.12

iv) Arbre binaire

Un **arbre binaire** est un graphe hiérarchisé dont chaque sommet, appelé **nœud**, est relié de son maximum à des sommets inférieurs appelés **nœuds fils**. Un nœud situé au-dessous (respectivement au dessus) d'un autre nœud par une arête est appelé **nœud fils** (respectivement **nœud père**). Les **nœuds externes** sont des nœuds sans fils. La **racine** est le nœud " le plus haut " défini comme celui qui n'a pas de père. Un **arbre binaire** est donc soit un nœud externe (sans fils), soit un nœud interne, soit un nœud interne auquel on attache une paire ordonnée d'arbres binaires appelés **sous-arbre gauche** et **sous-arbre droit** de ce nœud.

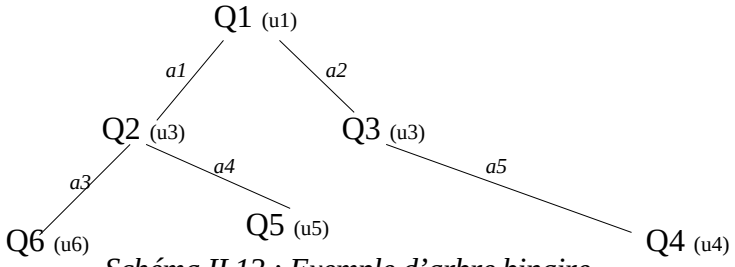


Schéma II.13 : Exemple d'arbre binaire

Note math. :

Pour ce cas particulier de graphe que représente l'arbre binaire, on a les propriétés suivantes :

i) Le nombre de nœuds externes est égal au nombre de nœuds internes plus 1

ii) Le nombre d'arbres binaires possible à N nœuds internes (i.e. N+1 nœuds externes) est donné par la formule suivante appelée Nombre de Catalan :

$$T_N = \frac{1}{N+1} C_N^{2N} = \frac{4^N}{\sqrt{\pi N^3}} [1 + o(\frac{1}{N})]$$ (Sedgewick, Flagolet [1996] chap.5)

2) Complexité statique d'un graphe

Le paragraphe précédent présentait quelques notions scientifiques liées à la définition du processus musical, afin d'en calculer leur complexité analytique. G. Guerin (Guerin [1995]) différencie deux types de complexité analytique d'un processus : la *complexité statique* et la *complexité dynamique.* Ce paragraphe offre plusieurs formules pour calculer la complexité statique, tandis que le paragraphe suivant propose des méthodes de calcul de la complexité dynamique.

La complexité statique est par définition la complexité intrinsèque à une structure, un graphe ou un automate représentant la procédure. Elle est liée à la taille ou à la représentation sous forme d'algorithme de la structure (complexité de longueur), et calculée de façon satisfaisante par la théorie des graphes. Par contre, la complexité statique n'offre aucune information sur le fonctionnement du processus, et ne présente donc qu'un intérêt relatif pour les informaticiens, les biologistes, ou toute discipline concernée par le fonctionnement interne de ses algorithmes.

Plusieurs mesures de la complexité statique ont été élaborées, dont la *complexité cyclomatique de McCabe,* la *complexité textuelle de Holstead,* et la *complexité des flux d'information de Henry et Kafura* :

a) La complexité statique cyclomatique de McCabe

C'est la première méthode qui fut trouvée pour calculer la complexité statique. Elle se base sur l'idée qu'une structure organisée peut être représentée sous la forme d'un graphe de représentation, et donc étudiée à partir de la théorie des graphes. Elle calcule le nombre de « trajets » entre les états du graphe.

Note math. :

La complexité cyclomatique *K(G) d'un graphe G est calculée par la formule :*

$K(G)=e-n+2p$

où e est le nombre d'arcs dans le graphe, n le nombre de sommets, et p le nombre de composantes connexes (la plupart des graphes étant connexes, généralement p=1).

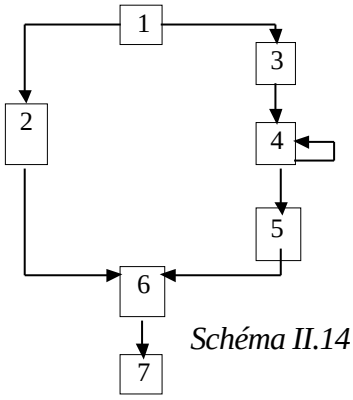
b) La complexité statique géographique

La complexité géographique fut élaborée après la complexité cyclomatique. Elle ne calcule pas, contrairement à la complexité cyclomatique, le nombre de trajets globaux du graphe, mais le nombre d'étapes figurant dans le graphe.

Note math. : **calcul de la complexité statique géographique.**

La matrice d'adjacence associée à un graphe a été vue dans le paragraphe I.1), qui s'obtient en mettant 1 à l'intersection de la ligne p et de la colonne q, lorsque l'instruction p est reliée à l'instruction q, 0 sinon.

matrice d'adjacence correspondante à l'algorithme ci-contre:



	1	2	3	4	5	6	7
1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1	0
3	0	0	0	1	0	0	0
4	0	0	0	1	1	0	0
5	0	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	0

*(e=8, n=6, p=1, **K(G)=4, Cg=8**)*

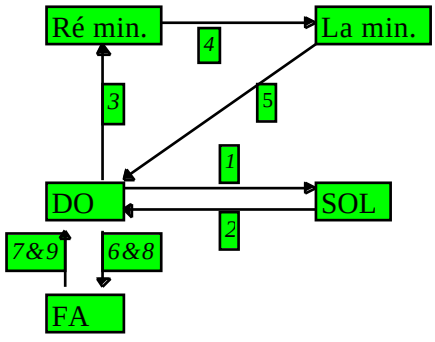
Schéma II.14 : algorithme et matrice d'adjacence correspondante.

La complexité géographique Cg correspond au nombre de liaisons dans le graphe. Elle s'obtient en additionnant tout simplement le nombre de 1 et de 0 dans la matrice.

On obtient pout l'exemple ci-dessus une complexité cyclomatique K(G)=4 et une complexité géographique Cg=8

Pour la représentation en diagramme d'automate du parcours harmonique de l'invention n°1 à 2 voix BWV 772 de J.S. Bach, on obtient la matrice d'adjacence et les indices de complexité statique suivants :

	DO	SOL	FA	Ré min.	La min.
DO	0	1	2	1	0
SOL	1	0	0	0	0
FA	2	0	0	0	0
Ré min.	0	0	0	0	1
La min.	1	0	0	0	0



(e = 9, n = 5, p = 1, **K(G) = 6, Cg** = e **= 9**)

On obtient dans l'exemple du parcours harmonique de l'invention n°1 de Bach ci-dessus une **complexité cyclomatique K(G) = 6** et une **complexité géographique Cg = 9.**

c) La complexité statique globale

G. Guerin insiste sur le fait que le calcul de la complexité statique dépend de la méthode employée (complexité géographique, cyclomatique), qui ne donne pas le même ordre hiérarchique de complexité. Il propose donc une complexité statique globale qui n'est pas un nombre unique, mais un ensemble de nombres reflétant la réalité des différentes complexités statiques de l'algorithme.

Note math . *Complexité globale de Guerin = (Cg,n,N,v,V)*
où v est le nombre de variables du programme, V la somme de leurs occurrences, Cg la complexité géographique, n le nombre d'instructions distinctes et N le nombre d'instructions globales du programme.

Ce genre de définition convient bien à l'informatique, et, en musique, à un graphe proprement explicité. Cette définition est par exemple aisément implémentable sur les programmes de composition assistée par ordinateur (*Patchwork, Open Music, Common Music)* qui représentent les processus sous forme de graphe imbriqué. Toutefois, la mise en place algorithmique d'une structure signifie un choix fait par l'auteur de ce qui est une variable (valeur exogène), et de ce qui est une donnée (variable endogène). Ainsi, le schéma harmonique d'André Riotte sur la première invention de J.-S. Bach signifie que les relations entre les degrés sont des données fixes, et que l'on rentre comme variable un motif mélodique et rythmique qui sera ensuite transposé au gré de l'algorithme de transposition.

De plus, la complexité statique ne donne des informations que sur la longueur du graphe et la complexité d'enchevêtrement de ses arêtes. Elle ne précise rien sur la complexité de la transformation elle-même, et présente donc très peu d'intérêt pour calculer la complexité de la transformation. Elle n'est d'ailleurs pratiquement pas utilisée par les informaticiens, qui recherchent plus souvent des indications sur la complexité de l'algorithme (durée du calcul, taille mémoire, probabilité de risque d'erreur, etc...) et utilisent plutôt le concept, beaucoup moins rigoureux, de complexité analytique dynamique.

3) Complexité dynamique d'un algorithme

La complexité statique d'un algorithme s'intéresse à la complexité du graphe qui le représente. La **complexité dynamique** s'intéresse plutôt au fonctionnement de l'algorithme (temps de calcul, taille mémoire, taille du plus petit algorithme d'engendrement du processus, etc...). La méthode consiste à le décomposer en combinatoires de transformations élémentaires

et à en calculer les complexités relatives. La théorie de l'informatique et les théories algorithmiques s'intéressent plus à cette conception, nécessaire pour optimiser les programmes informatiques (accroître leur rapidité, réduire leur probabilité d'erreurs, etc...). Avec la complexité dynamique, les théoriciens recherchent une mesure de la complexité intrinsèque de l'algorithme et non de sa représentation sous forme de graphe, ce qui permet en particulier de comparer les algorithmes entre eux. Toutefois, aucune théorie générale de la complexité dynamique n'a pu être établie quelle que soit la discipline. On peut faire les remarques suivantes :

a) Décomposition en processus musicaux élémentaires.

Il n'existe aucune méthode générale de décomposition d'un algorithme en algorithmes élémentaires. Décomposer le processus en processus élémentaires dont on connaîtrait la complexité est en effet propre à la discipline que l'on étudie, du fait que la notion « d'élémentaire » lui est également propre. En musique, on peut décomposer un processus complexe en processus plus simples en suivant le cheminement suivi par le compositeur, ou selon une grille partagée de processus analytiques élémentaires.

Cette décomposition soulève des problèmes de définition du processus élémentaire.

D'une part, la décomposition d'un processus musical en combinaison de procédures élémentaires n'est pas unique, mais liée à des constantes culturelles propres à celui qui l'entreprend. Simha Arom est ainsi obligé d'analyser (c'est-à-dire de décomposer) certaines polyrythmies des Pygmées Aka en les transcrivant dans une notation musicale occidentale à base d'unité métrique et de sous-divisions de cette unité, tout en admettant que « *le musicien africain ne procède ni de façon divisive, comme le fait le solfège occidental, ni de façon additive, selon le modèle de la métrique des Grecs anciens* » (Arom [1985] p. 337, tome I). Décomposer en éléments simples consiste dans un domaine de sciences humaines tel que la musique à décomposer en éléments qui paraissent plus simples ou plus connus à celui qui décompose. La décomposition est donc un phénomène de réception, qu'il soit un phénomène de réception perceptive (par exemple le principe d'aperception riemanien permettant d'interpréter la perception d'un intervalle en intervalles élémentaires le long du diagramme d'Euler, Noll [2002]), ou de réception analytique (on transcrit, puis on décompose le mécanisme en formalisations élémentaires).

D’autre part, la mesure de la complexité d’un processus élémentaire n’existe pas de façon objective et se heurte au problème général du calcul de la complexité analytique : s’agit-il de la complexité statique du graphe de représentation de ce processus élémentaire ? S’agit-il de sa complexité aperceptive et culturelle, ce qui induit une hiérarchisation intersubjective des processus (banalité, subtilité, etc..) ?

Enfin, il n’est pas évident que la complexité perceptive d’un processus soit la somme de ses décompositions simples.

Note math. : Algorithmes conditionnels

La théorie informatique bute également sur le problème des branchements conditionnels, c’est-à-dire des algorithmes comportant des conditions (si fait x, alors action y; tant que x...;). On ne peut dans ce cas calculer la complexité de l’algorithme puisque celle-ci dépend de la variable sur laquelle s’applique le processus. On ne peut alors que rapporter une loi générale concernant le nombre d’opérations qu’effectue l’algorithme (la complexité computationnelle d’un algorithme est en effet liée au nombre et à la nature des opérations élémentaires que celui-ci entreprend). Si N(X) est le nombre d’opérations fondamentales effectuées pour un algorithme X, on a :

$$N\ (\text{ si } C \text{ alors } I_1 \text{ sinon } I_2) \leq N(C) + \max\ (N(I_1), N(I_2))$$

(Froidevaux, Gaudel, Soria [1990], p. 15).

On peut seulement obtenir, dans ce cas, un encadrement de la mesure de la complexité.

b) Complexité de Kolmogorov d’une chaîne d’information

La complexité dynamique d’un algorithme est donc une notion floue qui dépend de la façon dont on conçoit l’algorithme. En musique, cette notion ne peut être utilisée que dans un contexte musical préformalisé, et soulève les questions esthétiques, psychoacoustiques et culturelles qui s’y rattachent. Un concept assez intéressant de complexité dérivée de la complexité dynamique a été développé dans les années 60 par les mathématiciens russes Kolmogorov et Chaitin. Cette complexité, que nous appellerons par la suite complexité de Kolmogorov-Chaitin (ou *KC-complexité*) est basée sur une notion abstraite qui rend son calcul impossible. Néanmoins, son utilisation conceptuelle est très efficace. La complexité de Kolmogorov-Chaitin correspond à la longueur du plus court programme permettant de réengendrer cette chaîne. Elle mesure la complexité d’une chaîne d’information et non d’un graphe ou d’un algorithme. Pour cette raison, c’est ce concept que nous utiliserons dans les recherches ultérieures.

4) Complexité analytique des processus musicaux élémentaires

Lorsque le compositeur crée, il utilise un matériau de départ qu'il modifie au gré de son inspiration. Ces transformations sont parfois basées sur des instincts musicaux que systématise mal l'analyse logique. Cependant, l'analyse musicale a pu recenser et classer un certain nombre de transformations élémentaires assez systématiques (transposition, augmentation, rétrogradation, imitation, symétrie, criblage, diminution, extraction, etc...). Ces processus peuvent être décrits par une suite d'opérations logiques représentables par des algorithmes dont on peut calculer la complexité analytique.

Note math. : Nous utiliserons, dans l'étude qui suit, un double espace métrique ExE° pour chacun des paramètres, munis chacun d'une distance et d'une unité de mesure de cette distance, sur l'espace E des valeurs et sur l'espace dual E° de la position temporelle. Par exemple, la distance que l'on peut construire sur un espace E de valeurs fréquentielles peut-être la différence de fréquences en Hz, en cents, en demi-tons dans une échelle de 12 demi-tons, ou l'intervalle dans une échelle diatonique. On peut prendre un espace E des intensités mesurées en décibel ou dans une autre unité. Chacun de ces espaces ainsi muni d'une distance peut être affecté d'une opération de groupe que nous noterons dans les deux cas + : addition de durées ou d'intervalles de hauteurs, d'amplitudes, de position temporelle, etc...

a) Propriétés d'une transformation musicale élémentaire

Dans la majorité des cas, les processus de transformation utilisés par les compositeurs sont décomposables en transformations mathématiques assez simples, appelées transformations linéaires (éventuellement linéaires par morceau, affines, affines par morceau).

Rappel mathématique : *une fonction linéaire est une fonction qui, grosso modo, respecte les proportions et les propriétés d'une structure. On en trouve de très nombreuses exemples dans la vie courante. Prenons un four à pain : Si nous y passons un pain, celui-ci sera transformé en un pain cuit. Si nous cuisons (transformons) un pain et une brioche, nous obtenons un pain cuit et une brioche cuite =[(un pain et une brioche) cuits]. Si nous cuisons 10 pains, nous obtenons 10 pains cuits =10x(1 pain cuit)=(10 pains) cuits.*

Mathématiquement, une fonction est dite linéaire si, quel que soit x et quel que soit y de l'espace de départ, on a: $f(x+y)=f(x)+f(y)$, et si quel que soit x de l'ensemble de départ et λ un nombre quelconque, on a $f(\lambda.x)=\lambda.f(x)$.

Toutes (et seulement) les fonctions linéaires sont représentables par des matrices.

Nous utiliserons ici une notation à deux lignes, la première étant celle des valeurs du paramètre considéré, et la seconde la position (temporelle). Ainsi une transformation T sur le bipoint $<a_i,i>$ (valeur a_i à la position i) transforme la valeur du paramètre (transformation t_v) et la position (transformation t_c) de cet élément dans la chaîne initiale. Elle peut donc se décomposer en deux transformations :

$$T<a_i,i>=<t_v(a_i),t_c(i)>=<b_i,k>$$

i) Une transformation en valeur Tv : elle modifie uniquement la valeur du paramètre a_i (fréquence, timbre, amplitude)

ii) Une transformation combinatoire Tc : elle affecte la deuxième ligne (temps discrétisé), c'est-à-dire qu'elle réordonne l'ordre des a_i. C'est donc une transformation de mathématique combinatoire, que l'on appelle plus communément permutation. Toute permutation peut se représenter sous la forme de matrices de permutation, matrices particulières sur **l'espace E** composées uniquement de 0 et de 1.

$$\begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Schéma II.15 : exemple de matrice de permutation

***Rappel mathématique** : initiation aux techniques combinatoires (utile pour les processus sériels)*

Si E est un ensemble, on note S(E) l'ensemble des permutations de E sur E, c'est à dire l'ensemble des transformations ne modifiant que la place des éléments en les interchangeant. On peut caractériser une permutation par quatre éléments particuliers :

*i) **la matrice de permutation**, que nous avons vue ci-dessus, caractérise entièrement la transformation.*

*ii) **la signature**. Si p est une permutation, on définit la signature s par*

$s(p) = \Pi_{1<=i<j<=n}\ [s(j)-s(i)/(j-i)]$. *La signature vaut toujours 1 ou -1*

exemple $s : \begin{bmatrix} 1 \to 2 \\ 2 \to 3 \\ 3 \to 1 \end{bmatrix}$ $s' : \begin{bmatrix} 1 \to 3 \\ 2 \to 2 \\ 3 \to 1 \end{bmatrix}$

la signature de s vaut [(3-2)/(2-1)].[(1-2)/(3-1)].[(1-3)/(3-2)] = *+1,*

et celle de s' vaut [(2-3)/(2-1)].[(1-3)/(3-1)].[(1-2)/(3-2)] = *-1*

*iii) **cycle d'une permutation** : lorsqu'on itère plusieurs fois une permutation sur une séquence, on atteint toujours une itération retrouvant la séquence de départ, quelle que soit cette séquence. Si p est le nombre d'itérations nécessaires pour revenir à la séquence initiale, la permutation est dite de cycle de longueur p.*

*iv) **Décomposition en éléments simples** : toute permutation combinatoire complexe peut être décomposée, d'après le théorème de Cayley, en une combinaison de permutations plus simples formant une base. Exemple de base de permutations simples : permutation laissant tous les éléments inchangés, sauf deux seulement qu'elle échange. Toute permutation complexe peut ainsi s'écrire comme composition de permutations n'échangeant que deux éléments.*

(a1,.....,ai,.....,aj,.....,an)

Note math. :

On trouvera des informations intéressantes sur les techniques combinatoires et les décompositions en éléments simples dans Bouvier & Richard [1974] pour les monoïdes et la décomposition de Cayley, et dans Bourbaki [1968], chapitre IV, pour les groupes de Coxeter et les décompositions réduites.

Chacune de ces transformations est étudiée ci-dessous par hiérarchie de complexité perceptive.

b) Transformations simples en valeur

Ce sont les transformations agissant sur la valeur des a_i (première ligne)

i) La transformation en valeur de complexité analytique nulle

Elle est, bien entendu, la transformation qui laisse la chaîne Sn=(a_1,....., a_n) inchangée.

ii) Transformations conservant les distances et l'orientation de l'espace E

Les transformations conservant les distances sont la translation par rapport au degré x dans E : $a_i \dashrightarrow a_i + x$ *pour tout i.*

que l'on peut écrire également en prenant le vecteur S_n :

$$S_n \dashrightarrow S_n + X_n \text{ avec } X_n = \underbrace{(x,x,x,.....,x)}_{n \text{ fois}}$$

Musicalement, la translation correspond à une **transposition** pour ce qui concerne le domaine des hauteurs et une **augmentation en valeur ajoutée** pour ce qui concerne celui du rythme (i ->i+t).

iii) Augmentations, diminutions

Cette transformation modifie de façon homogène la distance. Au sens mathématique, c'est une homothétie : $S_n \dashrightarrow k.S_n$ *(S_n est un vecteur)*

Musicalement, cette transformation est souvent utilisée sur le paramètre des rythmes (Brahms) ou des hauteurs (Bach pour créer un sujet à partir d'un autre sujet, dans ses *inventions* par exemple).

iv) Transformations locales

Il s'agit de modifier, couper, ou rajouter quelques composantes du vecteur (ces deux dernières opérations faisant également intervenir des modifications similaires sur l'espace dual E° du temps). Ces transformations peuvent se ramener à une décomposition en

transformations élémentaires auxquelles il faut adjoindre l'opération de segmentation du vecteur en plusieurs vecteurs.

v) Inversion de l'orientation du vecteur

Cette opération simple sur le plan de l'écriture, mais de complexité perceptive assez forte (suivant la structure du vecteur), consiste à inverser l'orientation de l'échelle verticale. Pour les hauteurs, cette transformation est appelée **Symétrie** ou **Inversus** par rapport au degré x de E :

$$a_i \text{ ---> } x - a_i \text{ pour tout } i$$

c'est à dire :

$$S_n \text{ ---> } X_n - S_n \text{ avec } X_n = (\underbrace{x,x,x,.....,x}_{\text{n fois}})$$

Pour les durées, cette transformation correspond à un rétrograde.

c) Transformations combinatoires simples

Elles transforment la position des a_i, c'est-à-dire la deuxième ligne du bipoint (temps discrétisé).

i) La transformation combinatoire de complexité nulle

C'est l'identité, qui laisse la position des notes $S_n°=(1,.....,n)$ inchangée.

ii) Transformations conservant les distances et l'orientation de l'espace E

Les transformations conservant les distances, c'est-à-dire ici les positions relatives, sont le décalage temporel par rapport à la position t (pour t multiple de i): i --> i + t

iii) Le décalage de deux blocs

C'est une permutation globale de deux blocs de la chaîne :

$$(a_1,.....,a_i,.....a_n) \text{ -> } (a_i,.....a_n,a_1,.....a_{i-1})$$

iv) Transformations locales

Il s'agit de modifier, couper, ou rajouter quelques composantes du vecteur (ces deux dernières opérations faisant également intervenir des modifications similaires sur l'espace E des valeurs). La modification purement combinatoire signifie l'échange, l'élimination, ou la superposition d'éléments existants.

v) Inversion de l'orientation du vecteur

Cette opération, de complexité analytique simple mais de complexité perceptive assez élevée (suivant la structure du vecteur), consiste à inverser l'orientation de l'échelle horizontale. Cette opération est appelée **rétrograde** (ou récurrence)

$$i \text{ ----> } n-i$$

c'est-à-dire : $a_i \text{ ---> } a_{n-i}$ pour tout i

d) Récapitulation

L'énumération précédente permet de construire une grammaire des transformations élémentaires qui permettent de décomposer un processus musical en plusieurs processus élémentaires, et d'en calculer ainsi sa complexité dynamique. Nous récapitulons ci-dessous cette grammaire :

Nom de l'opération	Opérations en valeur (valeurs a_i)	Opérations combinatoires (positions i)
Addition (u+v)	**Concaténation (u+v)**	**Superposition (u/v)**
Intersection (u ∩ v)	**Notes communes à deux agrégats**	**Notes communes à deux séquences**
Segmentation	**Filtrage**	**Segmentation**
Translation (u -> u+i)	**Transposition**	**Valeurs ajoutées**
homothétie (u -> k.u)	**Augmentation en fréquence**	**Augmentation rythmique**
inversion (u -> x-u)	**Symétrie (=Inversus)**	**Rétrograde**

Tableau II.1 : opérations élémentaires de la musique (pour les processus les plus courants)

On nous objectera peut-être que ces transformations, sur un plan informatique, peuvent être décomposées en opérations encore plus élémentaires, comme itérations d'opérations élémentaires sur chacune des notes. Cependant, la complexité analytique des opérations musicales ci-dessus est plus faible sous cette écriture que lors d'opérations en boucle sur les notes. En effet, l'oreille (contrairement à l'ordinateur) travaille sur regroupements en chaînes de notes et d'événements. Il a par exemple été montré pour différents langages que l'oreille détecte la signification des mots en les décomposant non pas lettre à lettre mais par " paquet " (syllabes pour les français, pieds pour les anglais, " Mora " - unité un peu plus petite que la syllabe- pour les japonais,…) (E. Dupoux et J. Mehler in CNRS [1992] p.10). Certes, la décomposition en l'absence de flux perceptif, par exemple lors de la lecture de signe, est différente, se faisant parfois lettre à lettre, ou note à note. Cependant, nous avons insisté que la décomposition d'un processus en processus élémentaires est un choix subjectif propre à la discipline. C'est pourquoi, pour une culture donnée, par exemple le

musicien, le décalage de deux groupes sera plus élémentaire que celui de chacune de ses notes prises une à une.

La distinction que nous faisons entre transformations en valeurs et transformations combinatoires permet en fait de différencier **les processus agissant sur la signification du signe** (opérations en valeur), de **ceux opérant directement sur le signe** (opérations combinatoires, cette combinatoire pouvant opérer sur une échelle ordonnée autre que la flèche du temps). Celà ne signifie pas que les opérations combinatoires n'ont pas a posteriori de signification dans leur langage de destination (signification sur les nombres, significations musicales), mais que leur grammatologie opère d'abord visuellement, sur les icônes et les emplacements de ces signes.

Note math. : Propriétés mathématiques des transformations élémentaires

Combinées entre elles, les transformations élémentaires exposées ci-dessus possèdent des propriétés mathématiques singulières (Amiot[1994]) :

i) Deux transpositions Tx et Ty combinées donnent une transposition :

$$T_x.T_y = T_{x+y}$$

ii) Deux Symétries Sx et Sy combinées donnent une transposition :

$$S_x.S_y = T_{x-y}$$

iii) Une transposition Tx combinée à une symétrie Sy donne une symétrie (attention l'opération n'est pas commutative) :

$$T_x.S_y = S_{x+y}$$

$$S_y.T_x = S_{y-x}$$

iv) Le rétrograde commute avec toutes les transpositions mais pas avec les décalages :

$$R.D_k = D_{-k}.R$$

v) Les décalages commutent avec toutes les transpositions

5) Complexité dynamique de processus singuliers

La complexité analytique d'une transformation peut se calculer soit par la complexité du graphe qui la représente (complexité statique), soit par la complexité de la décomposition en transformations élémentaires de cette transformation (complexité dynamique). Si cette décomposition n'est pas unique et dépend de l'interprétation musicale qu'on lui donne, on peut néanmoins décomposer une transformation musicale complexe en combinaison de transformations élémentaires avec les outils exprimés ci-dessus, et tenter d'en définir plus précisément sa complexité analytique dynamique. Nous allons étudier ci-après quelques

processus connus, sans prétendre à l'exhaustivité, afin de mieux cerner les possibilités et les limites de cette méthode.

a) Marche harmonique, technique de prolifération de Barraqué, et autres processus itératifs

Exemple (technique de prolifération de Barraqué) :

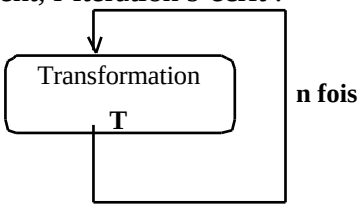
[1	**5**	**3**	**9**	**12**	**10**	**4**	**2**	**6**	**11**	**8**	**7]**	*(1)*
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
[4	11	7	9	2	6	12	3	1	5	10	8]	*(2)*
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
[12	5	8	9	3	1	2	7	4	11	6	10]	*(3)*
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
[2	11	10	9	7	4	3	8	12	5	1	6]	*(4)*
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
[3	5	6	9	8	12	7	10	2	11	4	1]	*(5)*
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
[7	11	1	9	10	2	8	6	3	5	12	4]	*(6)*
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
[8	5	4	9	6	3	10	1	7	11	2	12]	*(7)*
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
[10	11	12	9	1	7	6	4	8	5	3	2]	*(8)*
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
[6	5	2	9	4	8	1	12	10	11	7	3]	*(9)*
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
[1	11	3	9	12	10	4	2	6	5	8	7]	*(10)*
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
[4	5	7	9	2	6	12	3	1	11	10	8]	*(11)*
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
[12	11	8	9	3	1	2	7	4	5	6	10]	*(12)*
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
[2	5	10	9	7	4	3	8	12	11	1	6]	*(13)*
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
[3	11	6	9	8	12	7	10	2	5	4	1]	*(14)*
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
[7	5	1	9	10	2	8	6	3	11	12	4]	*(15)*
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
[8	11	4	9	6	3	10	1	7	5	2	12]	*(16)*
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
[10	5	12	9	1	7	6	4	8	11	3	2]	*(17)*
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
[6	11	2	9	4	8	1	12	10	5	7	3]	*(18)*
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
[1	**5**	**3**	**9**	**12**	**10**	**4**	**2**	**6**	**11**	**8**	**7]**	***(19)***

Le cycle ci-dessus est de longueur 19.

Un processus musical itératif consiste, de manière générale, à itérer plusieurs fois une opération élémentaire. Un exemple classique reste la **marche harmonique**, qui transpose

plusieurs fois une séquence (transformation en valeur). Barraqué utilise également une transformation itérative dans sa technique sérielle, sur l'espace dual E° des positions (permutations successives), la **technique de prolifération des séries** (voir ci-dessus). Il applique à une série numérique une permutation particulière, qu'il réitère plusieurs fois. On retrouve alors la série initiale après un nombre d'itérations égales à la longueur du cycle de la permutation (lorsque la permutation n'a qu'un cycle). On retrouve un type assez similaire de transformation dans l'œuvre d'Olivier Messiaen, qui l'applique par exemple dans *Chronochromie* sur une série de durées de 31 valeurs pour gérer la forme de l'ensemble de l'œuvre.

Informatiquement, l'itération s'écrit :

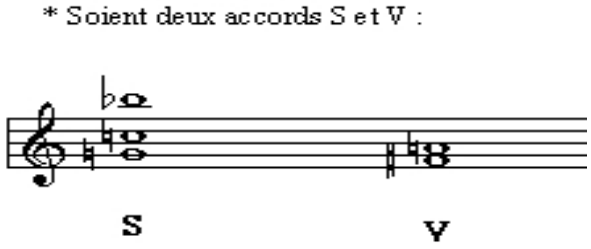


ou encore : S --> T(S) --> T(T(S)) -->....--> T(T(...T(s))..))

Sa complexité analytique dynamique est égale à n fois la complexité de la transformation T (n est le nombre d'itération).

b) La multiplication d'accords

Cette technique est employée par Pierre Boulez (Boulez[1963], Boulez [1966]). Elle consiste en une sorte de généralisation de la transposition à deux accords (et non un accord et un intervalle). Il s'agit de prendre deux accords S_n et V_m, et de transposer l'accord V_m en faisant coïncider la note v_1 la plus grave de l'accord V_m successivement sur chaque note de l'accord S_n, puis en concaténant chacun des accords transposés obtenus.



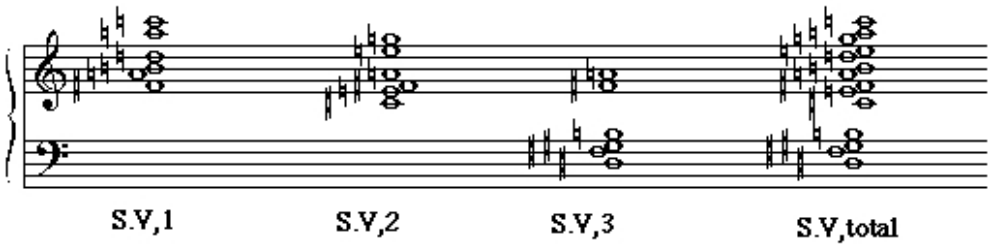


Figure II.16 : multiplication de l'accord S par V

Mathématiquement, ceci s'écrit :

$$(S_n)x(V_m) \text{ -----> } \{ [s_i + (s_j - v_1)_{j \in Nm}]_{i \in Nn} \}$$

(v_1 est la note la plus grave de V_m)

Cette opération amène plusieurs remarques :

Remarque 1 : dans (Boulez [1966]), seule la première note d'un des deux accords est transposée sur les notes de l'autre accord. Dans (Boulez [1963]), en fait écrit postérieurement à (Boulez [1966]), P. Boulez montre que plusieurs résultats sont possibles suivant la note de l'accord 1 choisie pour être transposée sur chacune des notes de l'accord 2. Il précise alors la note choisie dans la multiplication: a.e,**1** ou a.e,**2** ou a.e,**3** etc.. La formule ci-dessus et les remarques ci-dessous restent valides en remplaçant v_1 par le v_i désiré.

Remarque 2 : Malgré son nom de *multiplication*, cette opération n'est pas commutative : S_n x V_m est différent de V_m x S_n. Cette opération est en fait commutative à une transposition près (intervalle (s_1- v_1), resp. intervalle (s_i- v_i)), c'est-à-dire que les accords S_n x V_m et V_m x S_n ont les mêmes intervalles et sont identiques par transposition. Cette opération est commutative si elle itérée non pas seulement avec le degré v_1, (resp. v_i), de l'agrégat V_m, mais avec tous les degrés (ce qui donne par contre un agrégat de taille élevée m^2xn contre mxn dans la version initiale). Le terme *multiplication* se comprend donc plutôt par la taille de l'accord : mxn, multiplication de la taille de chacun des accords.

Remarque 3 : la multiplication d'accords privilégie la première note (resp. une note) de V_m. On observe également les propriétés suivantes : S_n est toujours dans l'accord résultat. V_m ne l'est jamais, sauf si v_1 (resp. v_i), appartient aussi à S_n.

Remarque 4 : on a ici une opération sur l'espace E muni de l'opération / de superposition (la plupart des transformations privilégient plutôt l'opération de concaténation +)**.**

Remarque 5 : Pour une généralisation et une catégorisation de ce processus, le chapitre B-IV établit un paradoxe amusant concernant la complexité perceptive de la procédure (nous montrons que la multiplication d'accords est une modulation d'intervalles, similaire par le principe à la modulation en anneau).

Sur un plan mathématique, si S possède n notes et V possède m notes, **la complexité dynamique de la multiplication d'accords est n fois la complexité de la transposition**. On peut toutefois s'interroger si, sur le plan perceptif, la multiplication d'accords est perçue n fois plus complexe que la transposition. On comprend ici qu'une dichotomie entre la représentation algorithmique du processus et son résultat musical ainsi que **des facteurs culturels de perception interviennent fortement dans la problématique de la complexité musicale**. La partie B et la partie C se pencheront sur ces problèmes de perception.

c) Autres processus particuliers

i) La rotation, la symétrie.

Il s'agit d'appliquer à une séquence musicale une matrice de symétrie par rapport à un axe ou à un point, en considérant les différents paramètres de cette séquence (rythme, fréquences, nuances, etc..) comme les coordonnées sur plusieurs axes de cette séquence. Certains compositeurs utilisent cette transformation en parlant de processus "exponentiel". La rotation est explicitement utilisée en deux dimensions (temps-fréquences) dans les œuvres du compositeur polonais contemporain Pavel Szymanski, et en trois dimensions par le compositeur allemand Hans Tuschku. On trouvera une description analytique détaillée de cette transformation dans (Hautbois [1998]). Cette transformation est complexe à l'oreille, du fait que les axes sont de nature hétérogène (temps, fréquence). La rotation n'a donc pas vraiment de réalité perceptive puisque l'opération dépend de l'unité choisie (une rotation sur deux axes [secondes, hertz] ne sera plus une rotation si on l'exprime sur des axes [minute, cents]). Son expression mathématique est pourtant relativement simple, et peut apparaître comme une

opération élémentaire, et comme un outil grammatologique « économique » (complexité analytique simple, complexité perceptive forte).

ii) Transformations stochastiques

Depuis 1945 et l'avènement des probabilités modernes sont apparues chez les compositeurs (Xenakis, Malt, Manoury, etc.) de nombreuses transformations et générations de matériau musical à fondement stochastique (chaînes de Markov, lois de densités musicales probabilistes telles que Gauss ou Poisson, aléatoire). Ces transformations, non linéaires, ne peuvent être décomposées en transformations linéaires simples, et font intervenir souvent des processus indéterministes et des boucles conditionnelles. Un encadrement de la complexité analytique serait à la rigueur possible avec des algorithmes conditionnels.

d) Un exemple naïf et pédagogique : complexité dynamique des incises de la Cinquième Symphonie de Beethoven

Les outils précédents peuvent être appliqués à différents exemples musicaux. Prenons, à titre « pédagogique », l'exemple « naïf » du début de la cinquième symphonie de Beethoven avec son célèbre motif du " destin ", emprunté à la rythmique grecque (3 brèves et une longue) :

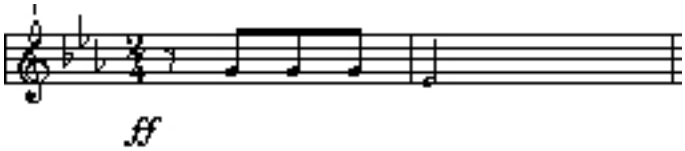



Figure II.17 : motif « du destin » dans le premier thème

Dans son *traité de rythme, de couleur et d'ornithologie*, O. Messiaen a insisté sur le traitement rigoureux de ce motif, notamment dans la deuxième section du développement central (Messiaen [1995] TII p.402). Messiaen montre comment ce thème, auquel Beethoven a ajouté deux valeurs longues **(sol sol sol -do -ré -sol,** mes. 59**)**, est graduellement réduit pour revenir au rythme initial (trois brèves une longue). Messiaen appelle ce principe un *développement par élimination.*

On peut montrer, grâce aux outils ci-dessus, que la première exposition du motif est également rigoureusement construite par des transformations de complexité dynamique de plus en plus accrue.

Considérons la première partie de l'exposition du premier thème :

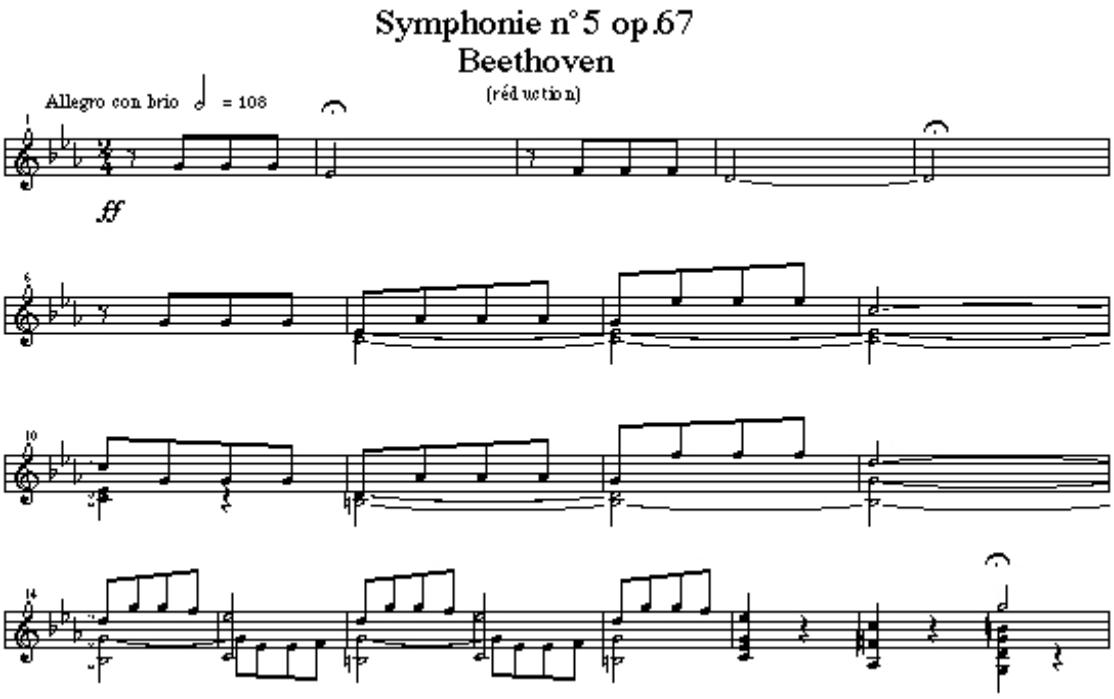
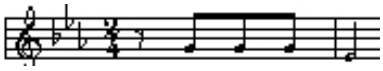


Figure II.18 : 5e symphonie de Beethoven, réduction des premières mesures

Segmentons cette phrase en sections :

Sections	Section I-1	Section I-2	Section II-1	Section II-2	Section III
Mesures	mes. 1 à 2	mes. 3 à 5	mes. 6 à 9	mes. 10 à 13	mes. 14 à 21
Parcours harmonique	I	V	I	V	I-V-I-V-I-II -V

Evaluons maintenant les différentes transformations appliquées au thème A « du destin » (sur un axe des fréquences diatoniques de do mineur) :

A=

Section I-1

Motif A -> Motif A

Complexité : nulle (élément neutre).

Section I-2

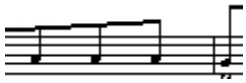
Motif A transposé un degré en dessous sur la gamme de do mineur (la tierce majeure devient mineure: $T_{-1}[A]$

Complexité : celle d'une transposition sur une échelle.

Section II-1

Motif A, puis mutation M(A) du motif A, et enfin transposition à la sixte supérieure de A :

$$A\ M(A)\ T_{+6}[A]$$

avec M(A) =

Complexité : somme de la complexité analytique d'une transposition et de la complexité analytique d'une mutation locale.

Section II-2

Motif A, puis mutation M(A) du motif A, et enfin transposition à la septième supérieure de A :

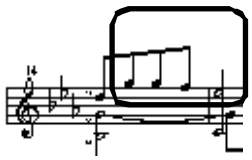
$$A\ M(A)\ T_{+7}[A]$$

Complexité : somme de la complexité analytique d'une transposition et de la complexité analytique d'une mutation locale.

Section III

Répétition deux fois d'un motif N(A) dérivé de A (mutation par note de passage) et de son rétrograde R(N(A)), puis N(A) suivi de deux notes à la blanche (do sol) :

N(A) (*R(N(A))*) N(A) (*R(N(A))*) N(A) (do sol)

avec N(A) = 

et R = rétrograde de A

Complexité : somme de la complexité analytique d'une transposition, de celle d'une répétition, de celle d'une mutation locale, et de celle du rétrograde.

Cette exposition du premier thème est caractérisée par un ralentissement harmonique des demi-cadences (demi-cadence sur cinq mesures dans la première section puis demi-cadence

sur huit mesures dans la deuxième section), que casse une accélération dans la troisième section (une demi-cadence toutes les deux mesures sur huit mesures). On constate également que Beethoven fait appel à des transformations de plus en plus nombreuses du motif A, ce qui accroît régulièrement la complexité analytique de chaque section (l'algorithme des transformations devient de plus en plus complexe). De plus, les transformations sont de complexités perceptives de plus en plus fortes (cf. section B pour une définition de cette complexité) : La section I n'utilise que le thème A et sa transposition, opération à complexité perceptive faible. La deuxième section utilise également des mutations locales du motif, assez proches de l'original (complexité perceptive moyenne). Enfin, la troisième section, outre les opérations précédentes (répétition, transpositions, mutations locales du motif), utilise le rétrograde, opération de complexité perceptive très élevée (cf. sections B et C).

Sections	Section I-1	Section I-2	Section II-1	Section II-2	Section III
Transformations	A	T_{-1}[A]	A M(A) T_{+6}[A]	A M(A) T_{+7}[A]	N(A) (*R(N(A))*) N(A) (*R(N(A))*) N(A) (do sol)
Complexité des transformations	$C_{répétition}$	$C_{transposition}$	$C_{répétition}$ + $C_{transposition}$ + $C_{mutation\ du\ motif}$	$C_{répétition}$ + $C_{transposition}$ + $C_{mutation\ du\ motif}$	$C_{répétition}$ + 3.$C_{mutation}$ + (2.$C_{mutation\ du\ motif}$.$C_{Rétrograde}$)
Complexité harmonique	Stabilité sur deux mesures	Stabilité sur trois mesures	Stabilité sur quatre mesures	Stabilité sur quatre mesures	changement chaque mesure

Schéma II-19 :Complexité dynamique des changements harmoniques et des transformations du motif dans l'exposition du premier thème de la V^{ème} Symphonie de Beethoven

e) La complexité analytique est une complexité perceptive

S'il est clair, avec ce genre « d'analyse » de la complexité dynamique, que Beethoven a réellement cherché à accroître la tension entre la première et la troisième section de cette exposition, on s'aperçoit que les transformations que l'on a choisies pour exprimer l'algorithme (M(A), N(A), rétrograde) ne peuvent être choisies de façon unique. En effet, l'analyse d'un graphe de transformation dépend essentiellement de la manière dont on décompose la transformation en transformations élémentaires, dont les choix sont subjectifs. Cette opération, déjà délicate en informatique, l'est plus encore en musique puisque

inconsciemment, l'analyste va se fier à sa perception interprétative ou à son intuition pour opérer cette décomposition.

Que ce soit le calcul de la complexité statique (du graphe), dont les définitions sont multiples, non hiérarchiques, et contradictoires, ou celui de la complexité dynamique dont le principe de décomposition en complexités de processus élémentaires s'expose au problème de la méthode de la décomposition comme celui du calcul des complexités élémentaires, l'explicitation d'une complexité purement analytique est confrontée à des problèmes d'analyse et d'interprétation du processus. Il y a en effet plusieurs définitions possibles de la complexité analytique dynamique, selon que l'on s'intéresse à l'accumulation d'éléments simples ou à la densité intrisèque de ces éléments, et selon la décomposition en transformations élémentaires effectuées. Il y a également plusieurs définitions possibles de la complexité analytique statique, selon le graphe choisi, c'est-à-dire selon les choix des inputs et des fonctions, mais également des paramètres de représentation et des unités utilisées pour quantifier les variables selon ces paramètres.

Le problème du calcul d'une complexité analytique, statique ou dynamique, reste donc un problème de représentation : choix des paramètres, choix de la discrétisation et des unités de valeurs, choix des inputs et des fonctions de transformation, choix des transformations élémentaires et des modalités de décomposition d'une transformation complexe, etc. En amont d'opérations logiques et computationnelles tels que le calcul de la complexité analytique d'un objet musical représenté en signes, se posent donc les choix des signes de représentation et des opérateurs de traduction et d'interprétation de ce phénomène musical en catégories analytiques, c'est-à-dire dans un métalangage logico-textuel. Calculer une complexité analytique, c'est avant tout calculer la complexité de la perception analytique que l'observateur a de l'objet. La complexité analytique est donc une complexité perceptive.

III.- LA CRISE DE LA GRAMMATOLOGIE MUSICALE TRADITIONNELLE

On a vu que l'écriture a deux fonctions : une fonction graphémologique, (c'est-à-dire une fonction de transcription incomplète et interprétative des sons, des catégories musicales, ou de phonèmes), et une fonction grammatologique (c'est-à-dire une fonction de pensée de la notation du matériau). Le premier chapitre a montré qu'avec des catégories de l'écriture musicale occidentale assez strictes et bien établies pour les paramètres de rythme, de durées, de nuances et de hauteurs, la notation musicale n'avait que peu évolué dans ses principes graphémologiques du XIV^{e} siècle au XX^{e} siècle, car elle est a priori optimale, c'est-à-dire complète, globalement stable, échangeable, implicitement assimilable, grammatologiquement efficace, et évolutive. On assiste cependant à partir de la deuxième moitié du XX^{e} siècle à un tournant dans l'utilisation de l'écriture en tant que système de notation et en tant que système d'élaboration de nouvelles procédures. Le changement provient surtout du signe de l'objet sonore échangeable sur lequel le compositeur travaille. Avec l'apparition du phonographe, ce signifiant de l'objet sonore n'est plus, seulement réductible au representanem graphique d'un son fixe entretenu et harmonique, d'une dynamique et d'une durée. La musique électroacoustique ouvre, dès après la seconde guerre mondiale, de nouvelles perspectives. Il faudra cependant attendre la fin des années 60 pour que de nouvelles grammatologies du sonore émergent à un niveau plus abstrait, notamment par le biais de la musique écrite sur partition traditionnelle et de la musique numérique, qui chacune préservent une pensée du symbolique. Ce chapitre met en regard certains acteurs de cette mutation de l'écriture et de l'analytique : la crise de la pensée structuraliste sur le signe, Pierre Schaeffer, Jean-Claude Risset, Helmut Lachenmann, Gérard Grisey et Brian Ferneyhough.

1) La deuxième moitié du XX^{e} siècle en France : De l'apogée du structuralisme musical aux grammatologies du sonore

Au lendemain de la deuxième guerre mondiale, un espoir commun traverse de nombreuses disciplines : mettre l'intelligence humaine au service de l'humanité. On tente ainsi de rationaliser la diplomatie afin d'éviter les guerres (création de l'ONU et des organismes internationaux). On met la science au service des hommes pour maîtriser les flux de populations (planification démographique), accroître les volumes de nourritures disponibles

(programmes agronomiques), prévoir et éviter les crises économiques (modélisation économétrique). Là où la science et la rationalisation interfèrent, l'homme peut vaincre la nature et s'améliorer. En musique, on prétend qu'une oeuvre bien construite, qui ne se « laisse pas aller à des sentiments peu rationnels », « sonne » mieux. Ce principe est présent en musique dans les années 50, 60 et 70, à l'époque où les autres disciplines s'inspirent pleinement de l'esprit positiviste du « Club de Rome »

Nous tenterons de montrer qu'entre 1948 et 1966 a émergé un véritable « structuralisme musical », parallèle à l'apogée des méthodes structurales qui ont influencé les disciplines philosophiques et scientifiques. Il s'agit en quelque sorte d'une deuxième apogée d'une grammatologie concentrée sur le signe, après celle de l'Ars Nova. Puis nous esquisserons, sans prétendre à l'exhaustivité, les doutes et les premières solutions qu'a connus ce courant esthétique de 1966 à 1975, période correspondant également à une crise de la pensée structuraliste. Il semble en effet que l'on soit passé d'un structuralisme musical (terme que nous définirons plus précisément ultérieurement) à un « physicalisme musical », qui se traduit en particulier par le fait que les algorithmes et les structures compositionnels sont de plus en plus déduits de phénomènes perceptifs.

Certes, il serait réducteur de rattacher des mouvements de création artistique à un courant de pensée collectif. Durkheim a mis en évidence la dialectique proprement artistique de l'individualisme du créateur confronté au jugement collectif du public, notamment pour ceux que le sociologue de l'art H. Becker nomme les « francs-tireurs » (Becker [1988], p.242). La démarche « réductionniste » d'exprimer l'art en termes de courants esthétiques a au contraire tendance à estomper la diversité des comportements artistiques à une période donnée, et nie par là-même une partie de l'acte créateur. Conscient de ces limites, nous tenterons néanmoins de faire apparaître, sous la problématique particulière de la perception des processus compositionnels, quelques marques esthétiques communes partagées par les principales écoles de composition de cette époque, et nous observerons leur évolution avec celle des sciences, notamment des sciences humaines formalisées.

a) L'après-guerre, terreau fertile pour une pratique d'ordre structural

Le structuralisme, une nouvelle méthode d'analyse.

Les années 50 et 60 ont souvent été qualifiées de " structuralistes ". Certes, cette interprétation philosophique d'un objet organisé ou d'une discipline est apparue dès la fin du XIX^{e} siècle dans les travaux de certains scientifiques, notamment des chercheurs en sciences humaines qui se sont référés à l'image biologique de l'organisation articulée d'un tout pour l'appliquer à leur discipline. La méthode structurale apparaît principalement en linguistique chez Saussure, qui définit la langue comme une structure-système. Son analyse du langage se donne pour objectif non le recensement, la taxonomie d'éléments empiriques, mais la détermination de relations entre ces éléments. Il s'agit pour la première fois d'une théorie de linguistique générale. Hjelmslev définira par la suite la linguistique comme une " *algèbre du langage* ". En musique, l'analyse de l'harmonie proposée par H. Riemann (1849-1919) et l'analyse shenkerienne vont dans ce sens.

Selon Jean Piaget, deux aspects au moins caractérisent le structuralisme : « *D'une part, un idéal ou des espoirs d'intelligibilité intrinsèque, fondés sur le postulat qu'une structure se suffit à elle-même et ne requiert pas, pour être saisie, le recours à toutes sortes d'éléments étrangers à sa nature ; d'autre part, des réalisations, dans la mesure où l'on est parvenu à atteindre effectivement certaines structures et où leur utilisation met en évidence quelques caractères généraux et apparemment nécessaires qu'elles présentent malgré leurs variétés* » (Piaget [1987]). La méthode structurale consiste donc à analyser ou créer un objet selon les seules lois internes qui le structurent, et éventuellement le modifient dans le temps, en s'abstrayant des paramètres externes. La notion de structure possède un caractère de **totalité** (elle permet à elle seule d'expliquer ou de gérer l'ensemble du fonctionnement de l'objet) et de **transformation** (elle explique ou gère à elle seule l'évolution de l'objet). Elle est **auto-réglée** (des lois internes, indépendantes de facteurs exogènes, règlent la structure) et **formalisable**: « *la formalisation est l'œuvre du théoricien, tandis que la structure est indépendante de lui* » (Piaget [1987]).

Le structuralisme, une nouvelle pratique scientifique

Si les origines remontent au début du siècle, les décennies qui suivent la deuxième guerre mondiale sont marquées par l'apogée de la pensée et de la pratique structurales dans les

sciences : les progrès scientifiques considérables effectués pendant la guerre permettent de nouveaux modes d'organisation de la société. L'industrie s'automatise. Les premières machines informatiques, calculateurs, et autres automates transforment les modes de production et de recherche. Les modèles tayloristes du travail (travail à la chaîne, optimisation et spécialisation des tâches) se généralisent et modifient les modes de régulation de la société (Aglietta [1976]). Les disciplines intellectuelles accompagnent ce mouvement : les laboratoires se modernisent et se spécialisent. Les mathématiques pénètrent des domaines connexes. En 1949, C. Lévi-Strauss publie *les Structures élémentaires de la parenté* qui mettent en lumière certaines lois combinatoires régissant les mariages et les unions familiales, notamment chez des populations de petite taille démographique (Lévi-Strauss [1967], appendice à la 1ère partie). Cet anthropologue montre en particulier que ces lois d'apparence culturelle répondent à une logique mathématique universelle qui permet d'éviter la consanguinité. En 1958, il publie son *Anthropologie Structurale* qui généralise la méthode structurale aux sciences humaines. Cette recherche de structures invariantes va ensuite se propager dans les autres sciences sociales : en sciences économiques, suite aux travaux de Tinbergen et de Frisch, apparaît dans les années 60 la modélisation économétrique (Les premiers modèles concernent, avec quelques équations, l'économie des Pays-Bas, puis celle des Etats-Unis). La linguistique approfondit l'approche Saussuriene avec les travaux de Hjelmslev sur la glossématique et ceux de l'École de Prague (Jakobson, Troubetskoy). La psychanalyse et la philosophie ne sont pas non plus insensibles à l'influence du structuralisme (Lacan).

b) Le structuralisme, une nouvelle démarche artistique

La méthode structurale, qui favorise l'analyse, la formalisation ou la création de structures en s'abstrayant de la conscience contextuelle du sujet (car l'idée prévaut à cette époque que seule cette méthode peut être objective et scientifique), n'épargne pas non plus l'art. « *Le structuralisme sert de nouvelle esthétique : Mondrian sur le plan pictural, Pierre Boulez dans le domaine musical, Michel Butor en littérature... La structure s'érige en méthode créative, en levain de la modernité.*(...) *Les tenants de la nouvelle critique structurale vont d'ailleurs se référer à cette nouvelle esthétique, et trouver chez Mallarmé et Valéry les antécédents à leurs recherches contemporaines* » (Dosse [1992], T.II, p. 256).

La technique dodécaphonique de Schönberg n'affectait que le paramètre des hauteurs, délaissant les autres paramètres. En 1949, O. Messiaen compose les *Modes de valeur et d'intensité*, généralisant à tous les paramètres traditionnels (timbre, nuances, rythme) le principe de la série. Suivent immédiatement *Polyphonie X* (1950-51) et les *Structures I pour deux pianos* (1952) de P. Boulez, *Kreuzspiel, Formel, Spiel, Punkte-Kontrapunkte* et les *Klavierstücke I* à *IV* de K. Stockhausen, la *Sonate pour piano* (1950-1952) de J. Barraqué, et les *Trois Chants Sacrés* de H. Pousseur. Dans les années 50, le système sériel généralisé et les méthodes mathématiques (I Xenakis, M. Philippot, P. Barbaud) représentent les réponses les plus adéquates à l'influence de la pensée structurale sur la musique. Ces techniques de composition se révèlent en effet formalisables, autonomes par rapport à leur objet de réalisation (l'œuvre), auto-réglées, et présentent un caractère de transformation et de quasi-totalité (gestion de tous les paramètres sonores).

Les influences structuralistes sur les pratiques compositionnelles ne se résument pas uniquement à l'utilisation de techniques impliquant l'homogénéité et l'auto-organisation de la structure pour tous les paramètres sonores. Elles engendrent également un paradigme esthétique et épistémologique qui perdurera parfois dans les musiques des années 60 et 70 :

Il s'agit tout d'abord d'une **croyance dans la pensée**. *« Le son beau ou laid n'a pas de sens, ni la musique qui en découle ; la quantité d'intelligence portée par les sonorités doit être le vrai critère de validité de telle ou telle musique* » écrit ainsi Xenakis (Xenakis [1963], p.10). « *Disciplinons notre univers mental de telle façon que nous n'ayons pas devant nous des reniements à affronter, des désillusions à subir. (...) Organisons strictement notre pensée musicale* » écrit également Boulez (Boulez [1963] p.33), qui ajoute, dans le même ouvrage : « *La musique n'est pas seulement destinée à exprimer, elle doit devenir le propre objet de sa réflexion* ».

La primauté de la théorie sur la pratique implique également la notion de " **recherche musicale** ", liée à celle de **progrès**. Cette situation n'est pas nouvelle (cf. XIIIe et XIVe siècle). La musique contribue à un progrès technique (ou progrès de ses propres techniques), accepte de subir les contingences techniques de son époque, et s'abstrait parfois du résultat perceptif, de l'objet, dans la mesure où la technique et la structure restent valides.

Outre la subordination aux techniques les plus modernes, la place de la science dans la musique est symbolisée par les termes utilisés dans les titres de certaines oeuvres et théories musicales des années 50 et 60 : 'valeur ajoutée', 'multiplication', 'densité', 'figures isomorphes', 'modulo-fixe', 'structures de groupe'. On utilise l'ordinateur, les théories stochastiques ou algébriques, que l'on valide par des démonstrations mathématiques. Cette place accordée aux analogies scientifiques est historiquement et esthétiquement assumée, voire voulue par les compositeurs : « *Nous n'ignorons pas que nous ne sommes pas encore arrivés à une cohérence inattaquable, à une évidence indiscutable.* (...) *Mais il est impossible de ne pas constater que les exigences de la musique actuelle vont de pair avec certains courants de la mathématique ou de la philosophie contemporaine.* » (article *Au près et au loin* publié en 1954, in Boulez[1966] p. 186). Souci que P. Boulez reformule dix ans plus tard : « *Lorsqu'on étudie, sur les nouvelles structures,* (...) *la pensée des mathématiciens ou des physiciens de notre époque, on mesure, assurément, quel immense chemin les musiciens doivent parcourir avant d'arriver à la cohésion d'une synthèse générale* » (Boulez [1963] p.28).

Cette attitude positiviste, répandue surtout en France, résulte d'un autre comportement mis en exergue par le structuralisme social, dans la tradition du déterminisme historique : la **place de l'homme dans l'histoire** et son adéquation à son époque. « *Le structuralisme donne un bain froid à la mythologie existentialiste. Il nous rappelle que l'impersonnel est un élément structurant de l'univers personnel et que toute richesse ne vient pas de l'homme, et que ce n'est pas moi tout seul qui, à chaque instant, invente la vie »* écrit J.-M. Domenach dans le numéro de mai 1967 de la revue *Esprit.* À l'inverse de l'artiste individualiste du XIX^{e} siècle, les compositeurs du XX^{e} siècle se définissent par rapport à leur époque et à la pensée scientifique de leur temps. Cela incite par exemple P. Boulez à refuser l'unité thématique chère à Schönberg, Brahms, ou Haydn, du fait que ce principe est un « *recours aux 'modèles' newtoniens, qui est en contradiction avec les développements de la pensée actuelle* [la théorie de la relativité de A. Einstein] » (Boulez[1963] p.114). Comme le note H. Dufourt à propos de P. Boulez, la plupart des compositeurs de cette époque sont des **technologues**, dans le sens où ils appliquent à tous les aspects du métier musical des « *normes de réflexion et d'élucidation* » propres à l'ère industrielle (Dufourt [1986]).

L'ultime paradigme partagé inconsciemment par cette époque est sa préférence pour **une grammatologie du signe**. S'abstraire de l'objet sonore pour atteindre sa structure signifie en effet presque obligatoirement considérer et représenter l'objet sonore ou les sous-dimensions de sa signification par des abstractions, par des signes. Que ce soient ceux de la partition ou des signes plus complexes (chiffres, vecteurs, séries, masses statistiques), l'objet n'est perçu, puis combiné que par son representanem. La carte supplante le territoire.

c) Structuralisme et musique : un débat ancien

La musique sérielle des années 50 et 60 est-elle réellement conforme à la méthode structurale ? Ce débat est apparu lorsque l'un des fondateurs de ce mouvement, C. Lévi-Strauss, a rédigé dans l'introduction de son ouvrage *Le Cru et le Cuit* une réfutation des méthodes de l'art moderne, et notamment de la musique sérielle et de la musique concrète (Lévi-Strauss [1964]). Sans prétendre apporter une nouvelle pierre à ce débat, déjà très enrichi par les travaux de J.-J. Nattiez, N. Ruwet, C. Deliège et U. Eco, on peut le résumer en trois points :

*** L'abstraction :** Dans ce texte, C. Lévi-Strauss reproche en particulier à la pensée sérielle son intellectualisme (p.35) et y oppose " *les couleurs du matérialisme* " de la méthode structurale. U. Eco réplique que la pensée sérielle cherche par essence à produire des réalités " *structurelles savantes* " alors que la pensée structuraliste étudie des " *réalités structurales* " (Eco [1971]). La seconde est une méthode d'analyse alors que la première est une méthode de création, ce qui la rend plus abrupte, plus monolithique et plus abstraite.

*** Les invariants naturels :** Lévi-Strauss met en avant l'absence de recours, dans la musique sérielle, à des structures générales et universelles. U. Eco montre que les pensées sérielle et structurale ont connu des cheminements opposés : la linguistique ou l'anthropologie ont tenté de déterminer à partir des années 50 des structures invariantes après avoir étudié pendant des décennies les différences entre les peuples ou les langages. Au contraire, la musique sérielle s'est construite sur la conviction que la tonalité n'était pas un invariant universel, conviction en particulier étayée par les recherches historiques, scientifiques, et ethnologiques qui ont réfuté ce dogme circulant depuis plus de deux siècles. La pensée sérielle cherche donc à faire l'histoire alors que les méthodes structurales cherchent à étudier l'objet et à en tirer des constantes universelles.

*** La relation au langage :** Ruwet et Deliège (Deliège [1995]) prétendent chacun que le sérialisme crée un langage avant même de se poser les conditions qui déterminent la possibilité de tout langage musical. Lévi-Strauss montre dans ce sens que les techniques concrètes ou sérielles ne possèdent pas les trois niveaux propres à tout langage : un niveau sémantique, c'est-à-dire un vocabulaire ; un niveau articulé, c'est-à-dire une grammaire ; un niveau de sens. La musique concrète possède une sémantique et du sens, par l'utilisation d'objets sonores, mais n'a pas, selon Lévi-Strauss, de règle d'articulation. La musique sérielle dispose d'une sémantique et d'une grammaire, par les techniques de dérivation, mais son vocabulaire n'a pas, selon ce philosophe, de sens. U. Eco nuance cette critique en montrant que si la pensée structurale est issue des concepts de linguistique (le code est commun au destinataire et à l'émetteur), le message de la pensée sérielle cherche, au contraire d'un langage de communication, à déstabiliser le code existant : l'œuvre est une remise en cause des fondements de son langage, et la pensée sérielle est plus contestataire de ses origines que ne l'est la pensée structuraliste. On peut ajouter que le sens issu de l'agencement des notes, dans la musique sérielle, et les règles d'articulation reliant les objets sonores, dans la musique concrète, sont certes absents des principes théoriques régissant ces deux systèmes esthétiques, mais qu'ils font évidemment partie des préoccupations des compositeurs (la musique est un langage non clos, au contraire des langages de communication ; l'un des trois niveaux peut donc être géré par le compositeur lors de l'acte créatif).

Ces trois points différencient le structuralisme, tel que l'a défini C. Lévi-Strauss, de la pensée musicale des années 50 et 60. Néanmoins, ces nuances soulignées, on peut encore parler d'un structuralisme musical dans les années 60 dans le sens large donné par Piaget de rapporter tout objet à une structure plus générale, et de donner priorité à l'ordre signifiant en refusant l'atomisation des systèmes.

d) Perception des structures et premiers doutes structuralistes

Dans son ouvrage consacré à l'histoire du structuralisme, François Dosse place le point de rupture de l'évolution du paradigme structural entre 1966 et 1970 environ (Dosse [1992]). Pour cet historien de la philosophie, si les années antérieures à 1966 représentent une période de construction du " tout-structure ", les années qui suivent marquent une diversification et une ouverture du mouvement qui aboutissent à son déclin au début des années 1970.

Si on peut évidemment contester qu'une date si nette puisse symboliser la rupture d'un mouvement aussi complexe et diversifié, il est par contre étonnant de voir à quel point la musique a suivi une évolution semblable à celle des disciplines scientifiques. Est-ce le fait des influences réciproques au XX^{e} siècle entre sciences et musique, ou est-ce le fait, ce qui semble plus probable, que l'art représente à toute époque un certain reflet de la société dans laquelle il évolue ?

« L'Effet Goulag » dans les autres sciences humaines

La fin des années 60 est marquée par une effervescence croissante dans la remise en cause des systèmes. En musique comme dans les autres disciplines, le déclin des méthodes structurales qui se manifeste après 1966 résulte avant tout d'un essoufflement de ce mouvement à travers une volonté de renouvellement et de diversification.

L'origine est conjoncturelle : dans un dernier sursaut historique, l'idéalisme se révolte en Mai 1968. « *Ce sont les structures qui sont descendues dans la rue* » dira Lacan. On assiste à une explosion de ces structures, et les divergences entre les étudiants et les partis politiques symbolisent à leur façon la méfiance naissante envers les systèmes. Dans un climat de guerre du Vietnam, l'économie des pays industrialisés se détériore à partir de 1967 (début d'inflation, fin de l'étalon-or et politiques de changes flexibles), jusqu'à la crise pétrolière de 1973, qu'aucun modèle économétrique n'avait évidemment prévue. Les années 1966 à 1975 deviennent une période de déconvenue des systèmes, de révolutions avortées et de philosophie empreinte de pragmatisme et de volonté.

Cette période perturbée se traduit par une contestation du structuralisme dans de nombreuses disciplines scientifiques, dans la mesure où le structuralisme abolit l'objet, le résultat, ou l'individu au profit de la structure et des règles sous-jacentes du système. François Dosse, dans son histoire du structuralisme, met en parallèle les premières brèches de ce mouvement philosophique et les révélations de la réalité quotidienne en U.R.S.S. après la mort de Staline, qu'il nomme " l'effet Goulag ", c'est-à-dire une réalité irréfutable ébréchant les utopies d'un système sans contradiction théorique apparente (*Le Premier Cercle* de Soljenitsyne est publié en 1968, et *l'Archipel du Goulag* en 1973, et traduit en français en février 1974). « [Le structuralisme] *avait depuis longtemps récusé la validité scientifique de*

l'observation du visible, de l'explicite, pour mieux percevoir les logiques cachées, occultes et globales. Or, ce que révèle l'effet Goulag, c'est qu'il suffit d'entendre, de lire, de voir pour comprendre, à l'inverse d'une certaine spéculation conceptuelle à prétention scientifique » (Dosse [1992]).

Ces parallèles peuvent paraître excessifs et réducteurs. Néanmoins, il est certain qu'entre 1966 et 1975, de nombreuses disciplines qui s'étaient inspirées des méthodes structurales ont progressivement réintroduit le sujet et ses limites dans leur champ de recherches et ont remis partiellement en cause l'efficacité implicite de la structure ou du modèle extirpés de leur objet d'étude : Les sciences humaines connaissent des querelles d'écoles. La linguistique saussurienne se voit opposer la théorie générative de N. Chomsky basée sur des hypothèses plus cognitivistes. Les mathématiques des années 70 abandonnent l'utopie constructiviste de Bourbaki et s'ouvrent sur l'incertain, le chaos (la théorie du chaos est élaborée à partir de 1963 par E. Lorenz), sur le complexe (théories de la complexité de Chaitin et de Kolmogorov), et sur les limites des structures construites par le langage mathématique (applications du théorème de Gödel, réseaux de neurones en Intelligence Artificielle). En économétrie apparaissent en réaction aux modèles déterministes aux variables entièrement endogènes des modèles de prévisions issus des statistiques, sans équations sous-jacentes interprétatives du passé (modèles *ARIMA*). La science économique se penche sur les limites et la non-objectivité de ses théories (critiques de Lucas, 1976), et réintroduit la notion d'acteur exogène dans les modèles par la prise en compte de la micro-économie dans la macro-économie (Malinvaud, Solow) (Lévy [1994], p.288). De même, en théorie musicale est introduite la sémiologie musicale (Ruwet, Stefani, Nattiez, etc.), réintégrant dans ses schémas d'analyse le point de vue du récepteur et le signifié caché derrière le signe. Contestant les diverses analyses structuralistes appliquées aux pays centralement planifiés, l'économiste hongrois Janos Kornaï propose une analyse célèbre de la pénurie et des déséquilibres structurels touchant ces pays (Kornaï [1980]), selon une méthode nouvelle totalement issue d'intuitions pragmatiques sur la réalité (files d'attente, pénuries), et qui débouche sur une logique scientifique et conceptuelle forte. On le comprend, cette méthode est très proche de celle, dans un autre domaine, utilisée par les compositeurs de "l'école spectrale ", qui, partant de constats psychoacoustiques et acoustiques, vont déduire des modèles théoriques et prescriptifs de composition.

Les premières remises en cause internes en musique

Sur le modèle des sciences humaines, la musique va remettre en cause certaines pratiques structurales. Certes, la volonté de renouvellement des règles sérielles généralisées ne date pas de 1966. Dès le milieu des années 50, c'est-à-dire dès ces règles maîtrisées, quelques compositeurs avaient imaginé des solutions plus personnelles pour généraliser les techniques sérielles, restant en cela fidèles à l'axiome de " progrès " propre au structuralisme. P. Boulez développe dans *Le Marteau sans maître* (1954) et dans *Pli selon pli* (1957-62) la technique de " multiplication d'accords ", technique de généralisation de la transposition d'un agrégat de hauteurs. J. Barraqué travaille sur des généralisations " horizontales " de techniques sérielles par sa méthode de " prolifération " des séries. Le milieu des années 50 est une période intense de remise en cause pour ceux qui avaient été les précurseurs du sérialisme généralisé. Boulez, visionnaire, écrit dès 1954 dans l'article *Recherches maintenant* : « *Webern n'avait organisé que la hauteur ; on organise le rythme, la dynamique ; tout est pâture à cette monstrueuse organisation polyvalente dont il faudra rapidement déchanter si l'on ne se condamne pas à la surdité. On s'apercevra bientôt que compositions et organisation ne peuvent être confondues sous peine d'inacuité maniaque. Ce que Webern n'avait d'ailleurs jamais songé, lui. Néanmoins ...* » ; et de conclure : « *le grand effort, dans le domaine qui nous est propre, est de rechercher actuellement une dialectique* (...) *entre une organisation globale rigoureuse et une structure momentanée soumise au libre arbitre* » (Boulez[1966], p.29-30). Cette citation reflète une nécessité, à la fin des années 50, d'introduire plus d'humanité dans le systématisme du sérialisme, et se traduit par des modifications locales dans la rigidité de l'écriture à travers la technique des inserts (tropes) et des parenthèses chez Boulez, et par l'introduction de libertés dans l'interprétation et de l'aléatoire inspirés des concepts de Cage, les « formes ouvertes » (*troisième Sonate* [1957] de Boulez, *Zeitmasse* [1955] et *Klavierstück XI* de Stockhausen).

Des critiques vives et constructives proviennent surtout des " *outsiders* ", qui restent les plus aptes à cerner les limites d'une esthétique. En 1954, Nono commence à se démarquer de Boulez et de Stockhausen lors des cours d'été de Darmstadt. Xenakis publie en 1955 *La Crise de la musique sérielle*, et développe sur des idées de masses sonores des techniques stochastiques d'écriture. Il faut également noter les compositeurs et critiques conservateurs Jean-Yves Daniel-Lesur et Bernard Gavoty qui publient en 1957 le pamphlet *Pour ou contre la musique moderne.* À l'étranger, Scelsi compose en 1959 *Pièces sur une note*, et entre 1961

et 1964, sur le même principe, ses *Deuxièmes, Troisièmes et Quatrièmes Quatuors à cordes*. En 1960, La Monte Young écrit *Composition 1960 n°7*, basée sur deux notes. Mais ces deux compositeurs, sans système total et auto-réglé, ne seront découverts et acceptés qu'ultérieurement en France, dans les années 1970.

La fin des années 60 marquera une accélération de ces mises en doute successives. Après quinze ans de recherches actives, les méthodes sérielles généralisées et les autres méthodes formelles s'essoufflent. D'une part, l'acception définitive de règles aurait contredit l'axiome structuraliste d'évolution en art, qui implique un renouvellement des grammaires. D'autre part, certaines interrogations sur la perception des structures utilisées émergent. « *En 1966, tout compositeur qui n'avait pas compris la nécessité de sortir de l'impasse où nous avait engagés le sérialisme était en deçà des problèmes de la composition à cette époque* » écrit Michel Decoust (cité par Castanet[1990]). Entre 1968 et 1975, la musique va progressivement réintroduire l'auditeur et la notion de perception dans ses schémas théoriques. « [Auparavant, le compositeur] *n'avait plus à s'embarrasser des problèmes de perception auxquels, à vrai dire, il n'avait guère prêté attention, les trouvant secondaires par rapport au bon fonctionnement de ses systèmes. Du moment que la mécanique fonctionnait, la perception devait aussi fonctionner* » (Boulez[1986], p.87). Dans les années 70, ce retour du sujet (l'auditeur) dans la structure (règles de composition) est visible en France au sein de trois catégories de compositeurs : d'abord, un changement d'attitude de la part de la génération qui avait développé des méthodes structurales rigoureuses en musique. Ensuite, l'essor considérable de la psychoacoustique et son influence sur le travail des compositeurs. Enfin, l'attitude de certains compositeurs arrivant à maturité dans les années 75 (nés autour de 1945), dont l'écriture prend comme grammaire principale l'acoustique ou la perception, que ce soit ceux qui formalisent cette attitude (école " spectrale "), les musiciens " acousmatiques ", ou les " répétitifs ".

Le revirement des aînés

Les années 1968-74 marquent un changement net de style chez la plupart des compositeurs à l'origine du sérialisme généralisé. Parti à l'étranger et préparant son retour en France en 1974, à l'apogée de sa célébrité de chef d'orchestre, Boulez opère un revirement dans son écriture. Certes, ainsi qu'il l'écrit dans l'article fondateur de l'IRCAM au titre évocateur *Donc on remet en question*, il refuse les solutions faciles, " *caricaturant l'Histoire* "

(le postmodernisme), ou les emplois injustifiés de techniques ethnomusicologiques ou de " *science comme excuse* ", solutions qui, pour lui, « *correspondent à une angoisse, à un doute bien réels* » (Boulez [1973], p.15). Mais il se concentre dorénavant plus sur le son, les timbres et les modes de jeu (*Domaines*, 1968, *Eclat-Multiple*, 1965 et 1970, bien que *Domaines* et *Éclat* gardent encore une gestion sérielle des hauteurs), l'électroacoustique et les polarisations de notes ou d'agrégats (*Explosante fixe*, 1972, *Rituel*, 1974, *Messagesquisse*, 1976). En 1986, Boulez écrit : « *Nous sommes désormais bien loin du centralisme bureaucratique, de la hiérarchie théocratique qu'une génération avait considérés comme l'idéal absolu.* (...) *On peut bien se dire qu'un dogmatisme rigide est quelquefois un mal nécessaire, surtout dans les temps de 'perdition' ; mais, en peinture comme en musique, cela a certainement donné des oeuvres à la respiration restreinte.* (...) *Rien n'aurait pu aboutir si l'approche n'avait pas été radicale. Mais le dogmatisme a ses limites dont l'invention est la première à s'apercevoir* » (Boulez[1986], p.104).

Ce renouvellement est également présent chez I. Xenakis, qui intègre à ses oeuvres les outils mathématiques (fractales, stochastique, mouvement brownien) de façon plus organique (*Mikka*, 1971; *Noomena*, 1974; *Erikthon*, 1974). À l'étranger, des auteurs comme Penderecki, Stockhausen ou Berio modifient leur esthétique (*Sinfonia* –1969-, *Coro* –1975- de Berio ; *Stimmung* –1968- de Stockhausen). C'est aussi la reconnaissance tardive en France d'auteurs légèrement plus âgés que la génération des " 1925 ", d'une redoutable et incontestable innovation perceptive sans l'utilisation stricte d'un " système " prescriptif et auto-réglé d'écriture (*Lontano* - 1967 de Ligeti, *Tout un Monde lointain* - 1968/70 de Dutilleux, *Anahit* - 1965 de Scelsi).

Des considérations nouvelles perception / structure

Alors que, dans de nombreuses disciplines scientifiques, la réalité et ses imperfections non prévisibles réintègrent peu à peu le champ de recherche dans la déduction des modèles, la musique n'est pas exempte de ce phénomène. Les compositeurs commencent à s'intéresser de près aux travaux scientifiques sur la perception musicale et l'acoustique. On découvre les travaux de R. Francès et de Terhardt. En 1969, J.-C. Risset montre dans *Mutations* qu'on ne peut dissocier trop fortement agrégat de notes et timbre : il s'agit d'une certaine façon d'une remise en cause de la méthode analytique cartésienne qui incitait les compositeurs à travailler à partir d'" atomes " de hauteurs, de signes. De plus, grâce à la mise en évidence de paradoxes

musicaux issus des travaux de Shepard, J.C. Risset dévoile des possibilités acoustiques du son qu'une recherche symbolique " sur le papier " n'aurait pu prédire. Là encore, la méthode est nouvelle, en osmose avec la nouvelle pensée scientifique qui émerge : le paradoxe est en effet un défi de la réalité (ici sonore) contre l'analyse et la raison, principalement celles du signe. Ces changements sont évidemment appréciés chez les compositeurs électroacoustiques du Groupe de Recherches Musicales (GRM), qui abandonnent de leur côté l'utopie schaefferienne de la construction d'une grammaire formelle du sonore. B. Parmegiani écrit en exergue de son oeuvre *De Natura Sonorum* (1975) : « *C'est à l'écriture des sons que je m'attache, ces sons dont l'encre, pourrait-on dire, est extraite de toutes matières que je tente de conjuguer, de confronter afin d'en observer la nature* ». En 1974 est créé l'Institut de Recherche et de Coordination Acoustique/Musique (IRCAM).

Tout naturellement habité par ces remises en cause, le début des années 70 voit l'arrivée d'une nouvelle génération de compositeurs, issus pour la plupart de l'enseignement d'Olivier Messiaen, ayant eu 20 ans dans ces années de changement de paradigme. Leur démarche, que l'on regroupe généralement sous l'appellation de " musique spectrale " (Dufourt [1979, réed. 1991]) s'intéresse de très près, à cette époque, aux résultats scientifiques sur le son et la perception du temps. Certes, la science fournit, comme pour la génération précédente, une validité objective à leurs oeuvres, mais ici perceptive et non plus structurale, en leur offrant le matériau acoustique de base, et en leur permettant de contrôler perceptivement, et non plus structurellement, les différents paramètres sonores. Enfin, à l'étranger s'étend l'influence de Steve Reich et de son aîné Terry Riley autour de deux pôles aux considérations explicitement perceptives : une écriture bâtie sur des modifications minimales de différents paramètres dans le temps (rythme, instrumentation, harmonie,...) et l'utilisation d'une harmonie connue de tous (modes classés mineurs, majeurs, ou doriens), afin que toute nouvelle information soit perceptible dès la première écoute. De l'autre côté du Rhin, Helmut Lachenmann réinterprète dans un geste politique les principes de la musique concrète et les applique à la musique instrumentale. Enfin, en Angleterre, Brian Ferneyhough sature les jeux formalistes sur le signe pour faire émerger un sens qui échappe à toute analyse.

Plus que des contestations épistémologiques, ces différents mouvements représentent les prémisses de nouvelles grammatologies du sonore et de nouvelles relations entre

l'analytique et le perceptif. Afin d'en mesurer l'importance, il est donc nécessaire d'étudier en détail les principes d'écriture de ces différentes approches, et leur rapport à l'aperception.

2) Pierre Schaeffer et Herbert Eimert, précurseurs de nouvelles écritures

En 1948, lorsque Pierre Schaeffer (1910-1995) s'approprie les moyens de reproduction sonore (phonographe, radio, ultérieurement la bande magnétique) pour en faire un outil de composition, il redéfinit le champ du musical au-delà des sons harmoniques, discrétisés et abstraits utilisés dans la musique occidentale jusqu'alors. Trois ans après, en 1951, Werner Meyer-Eppler et Herbert Eimert créent avec Karlheinz Stockhausen le studio de musique électronique de la radio de Cologne, afin de synthétiser, dans une approche toutefois plus analytique que celle de Schaeffer, de nouvelles sonorités.

a) Génèse d'un style

Trente-six ans après Braque et Picasso en peinture, Pierre Schaeffer adapte en musique, grâce aux techniques de reproduction analogique du son, la technique du collage qui détourne des objets trouvés de leur contexte, les transforme et les recompose. L'idée première était issue, chez Schaeffer, d'une erreur de manipulation : en coupant par méprise en 1948 l'attaque d'un son de cloche sur un enregistrement, Schaeffer comprend que cette transformation analytiquement et techniquement simple modifie considérablement la perception du son, en créant une sonorité proche du hautbois. « *J'ai obtenu, autre trouvaille, en faisant tourner à 33 tours un disque enregistré à 78 tours, des passages tout à fait intéressants. En passant le disque un peu plus de deux fois moins vite, on descend le tout d'un peu plus d'une octave, et le temps se ralentit d'autant. Or l'opération quantitative s'accompagne d'un phénomène qualitatif. L'élément Chemin de Fer deux fois plus lent n'est plus du tout chemin de fer, il devient fonderie et haut fourneau* » (notice de *l'Étude aux Chemins de fer*, issue des *cinq études de bruits*, 1948).

Pour Pierre Schaeffer, la totalité du monde sonore est susceptible de devenir matériau musical. Le mot «musique concrète » signifie aujourd'hui que les bruits sont la nouvelle source de la musique. Le terme n'a cependant pas cette origine graphémologique : Pierre Schaeffer voulait en effet par ce terme se différencier de la « musique abstraite », dont le son émerge de la structure, alors que dans la « musique concrète », la structure émerge du son. « *Lorsqu'en 1948, j'ai proposé le terme de 'musique concrète', j'entendais, par cet adjectif, marquer une*

inversion dans le sens du travail musical. Au lieu de noter des idées musicales par les symboles du solfège, et de confier leur réalisation concrète à des instruments connus, il s'agissait de recueillir le concret sonore, d'où qu'il vienne, et d'en abstraire les valeurs musicales qu'il contenait en puissance » (Schaeffer [1966], p.23). La musique concrète est à l'origine un principe grammatologique autant qu'un principe de matériau utilisé[72]. Pierre Schaeffer se démarque ainsi de ses confrères des studios de la radio de Cologne qui élaborent les principes de la musique électronique à partir, eux, de générateurs sinusoïdaux et de grammaires sérielles. « *À deux années de distance devaient se produire deux événements révolutionnaires qu'on pourrait qualifier d'égaux et de signes contraires, et tous deux dans des studios de radio-diffusion : l'un à Paris, à la R.T.F.en 1948, c'était* la musique concrète ; *l'autre à Cologne, à la Nordwestdeutsche Rundfunk, en 1950, c'était la* musique électronique » (Schaeffer [1973]). En 1949, Pierre Schaeffer rencontre Pierre Henry, de dix-sept ans son cadet, fraîchement sorti de la classe d'Olivier Messiaen au Conservatoire de Paris. Après beaucoup d'études et d'essais[73] commence une collaboration faste entre le créateur et le théoricien. « *Bientôt, la vitre séparant studio et cabine sera aussi la ligne de partage des responsabilités des deux premiers chercheurs : en 1949, Pierre Henry me rejoint au Club d'essais… Comme deux explorateurs surpris par une crue, terrifiés par les éléments déchaînés, c'est 'par la force des choses' que nous fûmes, Pierre Henry et moi, solidaires des années durant. Tout commença par une nouvelle série d'exercices, dont le plus fameux reste le* Bidule en ut- *sorte de 'fugue' obtenue par superposition d'une fausse gamme de piano préparé avec ses propres variantes accélérées ou ralenties. »* (Schaeffer [1973]). A partir de 1950 commence ce que Pierre Schaeffer appelle la « période poétique », de la *Symphonie pour un homme seul* (1950), jusqu'à la *Messe pour le temps présent* (1967). « *Si ces œuvres demeurent vivantes après bientôt vingt années, malgré le caractère frustre de leur technique, c'est bien parce qu'elles bénéficient encore de l'élan spontané de la trouvaille »* (Schaeffer [1973]).

---

[72] Paradoxalement, sous cette optique, la musique instrumentale dite spectrale est « concrète », alors que la musique concrète instrumentale de Lachenmann ne l'est pas. Par contre, sous l'aspect de l'utilisation de sons bruités 'concrets', la musique spectrale hérite plus de la musique électronique de Cologne, et celle de Lachenmann de Pierre Schaeffer.

[73] « *j'ai commencé mon œuvre avec* Haut-Voltage (1956). *Avant, c'étaient des études pour faire plaisir à Pierre Schaeffer »,* Pierre Henry cité par (Bouckaert [1998], p.13)

b) Outils et grammaires de la musique concrète

Tout comme l'Ars Nova s'était appropriée la nouvelle graphémologie de signes musicaux proposée par Guido d'Arezzo et Franco de Cologne pour construire une nouvelle grammatologie en combinant ces signes et en séparant les paramètres, la musique concrète va rapidement créer des grammaires à partir de ces moyens nouveaux de reproduction et de transcription du sonore. L'objectif est en effet, avec une complexité technique (analytique) relativement faible, de pouvoir transformer perceptivement fortement la reproduction de ces sons (forte complexité perceptive), selon le principe *d'économie poïétique.*

Si l'input est le son enregistré, les principaux outils de cette écriture sont, à l'époque de Pierre Schaeffer :

- **Le microphone :** Il permet de capter puis de grossir le son, et ainsi de modifier les plans acoustiques.
- **La réverbération :** C'était initialement une simple salle ou boîte carrelée avec haut-parleur et microphone. La boîte fut ensuite miniaturisée et munie de plaques à ressort.
- **La bande :** Le premier magnétophone à bande arrive à Paris le 6 novembre 1950. De 1948 à 1951, Pierre Schaeffer utilise des disques souples.
- **Le Phonogène** : Appareil permettant de varier, grâce à un clavier agissant sur les vitesses de lecture de la bande magnétique, la hauteur perçue selon douze demi-tons. Il est l'ancêtre de l'échantillonneur.

L'ordinateur et le numérique permettront ensuite de transcrire digitalement, d'analyser et de re-synthétiser les sons, et ainsi de simuler ces moyens de reproduction du sonore (sauf le micro, interface acoustique /analogique toujours nécessaire).

De la même façon, en tentant (avec subjectivité et sans méthode éprouvée) de les classer par complexité perceptive croissante, les principales transformations de la grammaire schaefferienne sont :

- **La citation**. Enregistrement sans modification autre que celle du volume sonore.
- **La spatialisation**. Écriture sur le seul paramètre « espace »

- **Le coupage/montage.** La transformation perceptive peut être plus ou moins complexe. La psychoacoustique a en effet montré que la suppression d'une attaque peut modifier la perception du son. Le montage permet l'association temporelle de sons différents, le morphing, jusqu'à la synthèse granulaire (*Étude aux mille collants*, Stockhausen, 1952). Cependant, le niveau de complexité perceptive est fortement lié à celui de la complexité analytique.
- **Le mixage**. Monophonique à l'origine, le premier mixage stéréophonique concerne *Déserts* d'Edgar Varèse.
- **Le bouclage**. Grâce au sillon fermé, il permet la répétition d'un élément. Le bouclage peut être sans ou avec altération, (dans la *boucle de réinjection* analogique, l'élément répété n'est pas l'original mais l'enregistrement de l'original, et la reproduction successive du processus entraîne son altération). Sans réorienter l'axe temporel, le bouclage modifie la perception temporelle, et peut être de complexité perceptive relativement forte pour une complexité analytique relativement moyenne.
- **L'écho et la réverbération**
- **Le filtrage**. Il était initialement succinct, puis élaboré (passe-haut, passe-bande, passe-bas, filtre résonnant, harpe éolienne, etc..). Il peut considérablement modifier un son, mais sa complexité analytique n'est pas non plus faible.
- **La modulation d'un paramètre.** Il s'agit de moduler un paramètre sonore d'un son par une donnée extérieure à ce son (provenant éventuellement d'un autre son) : modulation en anneau, modulation d'un son par l'enveloppe d'un autre, modulation de phase, etc.
- **La variation de la vitesse de lecture**. Elle permet la transposition. Avec les moyens analogiques, il n'était pas possible de séparer la transposition de l'allongement temporel du son. Aujourd'hui, on distingue le **Time stretching** et **la transposition**, l'un intervenant sur l'échelle de temps, l'autre sur l'échelle des fréquences**.** De faible coût analytique, la complexité perceptive de la transformation peut être grande.
- **La lecture du son à l'envers**. Comme pour le rétrograde de la musique écrite, la lecture à l'envers inverse la flèche du temps, et modifie considérablement la perception du son initial, alors que la transformation reste analytiquement simple.

Il est étonnant de voir combien les techniques sont restées à peu près les mêmes aujourd'hui, même avec le numérique et la technique de l'échantillonnage. Il faut d'ailleurs noter que les techniques du numérique ont paradoxalement été des techniques retournant, dans leur ensemble, aux principes analytiques traditionnelles de la musique occidentale : le numérique permet d'agir indépendamment sur les paramètres « traditionnels » du son (time stretching séparé de la transposition) ; la représentation classique du phénomène sonore, comme les catégories d'harmonicité, devient plus facilement accessible (la technique d'analyse/resynthèse, par exemple, permet de séparer les parties harmoniques des parties transitoires et inharmoniques d'un son) ; la méthode analytique de Descartes de séparation des problèmes en problèmes plus simple est applicable (synthèse par ondelettes, fenêtrage, etc).

On remarque aussi que, comme pour les grammatologies de la musique occidentale écrite, la complexité technique de certaines procédures de la musiques concrète n'est pas proportionnelle à la complexité perceptive de la transformation. Une lecture à l'envers (comme un rétrograde en musique instrumentale), ou une modulation en anneau sont de complexité technique beaucoup plus simple qu'une harpe éolienne ou qu'un écho, mais de complexité perceptive plus élevée. *Ce principe de non bijection entre les complexités* (c'est ainsi qu'il sera nommé et théorisé dans la partie B) n'est en effet pas propre à l'écriture, mais symptomatique du décalage entre la pensée analytique et l'aperception cognitive.

c) La musique électronique

La création du studio de musique électronique de Cologne avait des objectifs assez similares à ceux de Pierre Schaeffer, exprimés cependant en des termes plus analytiques : créer, en additionnant des sons périodiques simples issus de générateurs d'onde, ou en filtrant des générateurs de bruit, des sons inouïs dépassant les catégories classiques. Avec Robert Beyer et Werner Meyer-Eppler, Herbert Eimert crée en 1951 le studio pour la musique électronique de la NDWR (qui deviendra WDR en 1956). En 1953, Karlheinz Stockhausen quitte le studio d'Essai de Pierre Schaeffer pour rejoindre ce studio, plus fidèle à un travail de type sériel. Eimert précise en 1954 le concept de « *Musique électronique, qui n'est pas 'aussi' de la*

musique, mais de la musique sérielle »[74]. Il ajoute : « *La 'musique concrète' de Paris n'a absolument rien à voir avec la musique électronique, car elle enregistre les sons et les bruits à partir d'un microphone* »[75]. Comme la musique concrète, il ne s'agit pas seulement de moyens, mais d'un genre et d'une esthétique. Les *vier Stücke* (1952-53) de Eimert et les *deux études* (1950) de Stockhausen sont les premiers exemples. Citons également, à la fin des années 50, le *Gesang der Jünglige* (1956) et *Kontakte* (1959-1960) de Stockhausen, pièces qui mixent sons de synthèses électroniques et sons concrets, (tout comme *Haut-voltage* (1956) de Pierre Henry, composé à Paris).

Le studio de Cologne comme celui de Paris auront une influence déterminante sur la musique instrumentale, pas seulement par le biais de la musique mixte (dans *Désert* –1954- de Varèse, sont « interpolés », c'est-à-dire alternés des enregistrements de fonderies et de scieries de Philadelphie sur bande magnétique, et des harmonies stridentes à l'orchestre ; dans *Mantra* (1969) de Stockhausen, deux pianos sont transformés en temps-réel par des modulateurs en anneau pour « inharmoniser » leur sonorité). De nombreux compositeurs instrumentaux travaillent dans ces studios pour réfléchir plus avant sur le son : Boulez composera deux études au Studio d'Essai de Paris en 1951 ; Messiaen, Barraqué, Milhaud, Sauguet, Xenakis et Berio y travailleront également. Ligeti compose *Artikulation* (1958) et *Glissandi* (1957) à Cologne, qui influenceront définitivement son style instrumental ultérieur (travail sur les glissandi et les micropolyphonies). Le studio de Cologne accueillera également des compositeurs comme Goeyvaerts, Boulez, Pousseur et Fano en 1953, Koenig en 1954 (qui y travaillera dix ans, dans une orientation de composition algorithmique assistée par la technologie, et créera ensuite le studio de phonologie d'Utrecht), Krenek (1955), Kagel (1958). À partir de 1968 est créée au Conservatoire de Paris une classe d'électroacoustique, avec pour premier professeur Pierre Schaeffer.

Malgré la création d'œuvres fascinantes et inouïes, les technologies de transcription et de synthèse analogique de la musique concrète et de la musique électronique n'offrent pas à cette époque d'outils symboliques et visuels efficaces permettant de dépasser une recherche grammatologique purement intuitive. Avec l'apparition du numérique et de l'informatique, au

[74] Encyclopédie MGG, p.1756, article musique électroacoustique.

milieu des années 60, des précurseurs comme Risset ou Chowning conçoivent des œuvres de synthèse où une grammatologie plus contrôlée permet d'imaginer, d'expliciter et de travailler analytiquement de nouvelles catégories cognitives du sonore à l'intérieur du son (les transitoires des sons, mais aussi des catégories qu'on appelle des « paradoxes », bien que de telles réalités, où par exemple l'évolution spectrale d'un son diffère de celle du fondamental, existent déjà dans certains répertoires d'Afrique et d'Asie). Peu après, avec la crise du structuralisme musical et le retour à des considérations sur le phénomène acoustique, des compositeurs de musique écrite comme Sciarrino, Lachenmann, Ferneyhough, Grisey ou Murail tenteront à leur tour, mais sur un plan instrumental, de détourner la graphémologie traditionnelle et de transcrire sur une partition classique, parfois après calcul sur ordinateur, la nature complexe et transitoire des sons à la manière des musiques électroniques et concrètes, soit en utilisant les instruments classiques comme générateurs de sons bruités, soit en complexifiant l'interprétation pour que le geste produise des inharmonicités perceptives, soit en considérant la note comme une composante partielle d'un tout fusionné et inharmonique.

3) Mutations de Risset : Une écriture déjouée par des paradoxes

Écrite en 1969, *Mutations* est une oeuvre électroacoustique qui devint célèbre par les paradoxes de l'audition qu'elle contient : des sons dont on ne peut déterminer l'octave, un glissando montant sans fin, un agrégat dont on ne peut distinguer s'il s'agit d'un accord ou d'un timbre, un son qui descend mais dont la fin est plus aiguë, etc. Outil le plus propice, à la fin des années 60, pour réaliser ce genre de paradoxes, *Mutations* a été entièrement synthétisée sur ordinateur, sur le logiciel *Music V* développé par Max Mathews aux Bell Laboratories, où Risset travaillait au côté de compositeurs et de chercheurs tels que le scientifique John Pierce. Outre l'aspect ludique, ces différents paradoxes représentent un enjeu pour l'analytique, car, en jouant sur l'intérieur du son (les partiels) et sur des évolutions spectrales du timbre continues dans le temps, ils remettent en cause la syntaxe idiomatique de la musique occidentale traditionnelle en note. En effet, la note, à la base de l'écriture comme de l'analyse de la musique occidentale du XIV^{e} au XX^{e} siècle, tend à réduire spectralement un timbre à son seul fondamental, et l'évolution temporelle du timbre à une durée finie et statique (noire, croche, etc.).

---

[75] Conférence à la radio de la WDR le 9 déc. 1954 (cité par le MGG).

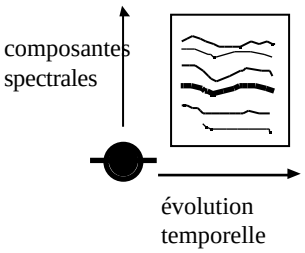


Figure III-1 : réduction du timbre à une tonie fixe et à une durée

L'étude des pièces non écrites, électroacoustiques ou de tradition orale, pose encore des questions épistémologiques en analyse musicale : en effet, les méthodes de traduction a posteriori de certaines catégories du son dans un meta-langage logico-textuelle n'ont pas encore été totalement identifiées (cf.chap.B-V). Quelle syntaxe d'analyse faut-il adopter pour parler de ces phénomènes paradoxaux ? Comment mettre en relation cette syntaxe (quelle analyse paradigmatique pratiquer) afin d'expliciter les traits pertinents de l'œuvre et de son style ? Le *Traité des objets musicaux* de Pierre Schaeffer distingue les objets sonores « trop élémentaires » des objets « trop originaux » (Schaeffer [1966], p. 436). Cette distinction induit, dans le cas des oeuvres sur support, la nécessité, pour les objets « trop originaux », d'une analyse préliminaire de leur morphologie. Dans *Mutations,* les objets restent cependant assez élémentaires (sinusoïdes, synthèse additive), et c'est ici la construction musicale, la composition de ces éléments rudimentaires, qui donnent sens, et non l'objet. *Mutations* n'est d'ailleurs pas une oeuvre de musique concrète (dans le sens d'un montage et d'une transformation sur un support d'éléments sonores concrets comme dans le sens de l'absence de grammaire abstraite précédent le matériau). Nous n'emploierons donc pas les méthodes d'analyse spécifiques à ce genre : acousmographe, unités sémiotiques temporelles, taxinomies issues du *Solfège des objets musicaux* de Pierre Schaeffer. L'œuvre, conçue sur ordinateur, a été composée en assemblant des symboles, des " notes " comme dans les musiques écrites. Simplement, les procédures compositionnelles utilisent ici à la fois des timbres harmoniques réduits à leur fondamentale et des constructions à l'intérieur du son, sur les partiels. Pour parler analytiquement de ces paradoxes, il convient donc d'adopter deux syntaxes : une transcription classique en notes, et une transcription en sonagramme.

Mutations est certainement une oeuvre de rupture dans le répertoire des oeuvres composées sur ordinateur dont on peut situer la naissance du genre vers 1957. Jusqu'à *Little Boy* (1968, pièce de Risset précédant *Mutations*), l'ordinateur était utilisé comme un calculateur de notes (Babbitt, Phillipot, Xenakis), dont on réalisait le résultat sonore soit avec des instruments acoustiques (*Illiac Suite* pour Quatuor à cordes de Hiller et Isaacson, -1957-),

soit à l'aide de générateurs de fréquences assez simples, quasi sinusoïdaux (N. Guttman, D. Lewin, etc.) ou engendrant des bandes de bruit à partir du calcul de nombres aléatoires (J. Tenney). Sous l'idée de Max Mathews, Risset et Chowning vont utiliser l'ordinateur pour engendrer non plus des procédures combinatoires complexes et mathématisées de transformations de notes, mais des timbres. *Mutations,* de par cette qualité timbrale que l'on ne connaissait que dans les musiques instrumentales et en musique concrète sur bande, est donc aussi une œuvre-clef sur le plan électroacoustique.

a) Genèse d'une pensée oblique sur le son

Jean-Claude Risset est né le 13 mars 1938 au Puy (Haute Loire). Il se situe donc entre deux générations, celle des « 1925 » (Stockhausen, Boulez, Berio), et celle née autour de 1945, que l'on a appelée en France l'école spectrale (Grisey, Levinas, Murail). Ces derniers avaient d'ailleurs entre 20 et 25 ans en 1968-1969, date de composition de Mutations, et époque de transition et de révolte. On rappelle souvent la double formation musicale et scientifique de Jean-Claude Risset. Il semble plus judicieux d'évoquer sa triple formation de physicien (à l'école Normale Supérieure), de pianiste (auprès de Robert Trimaille et de Huguette Goullon, deux élèves de Cortot), et de compositeur (avec André Jolivet). J.-C. Risset écrit en effet : « *Cette formation* [de pianiste] *a beaucoup compté pour moi : il faut apprendre au piano à conduire un phrasé et doser les notes composant un accord pour atteindre à une certaine qualité de sonorité (un exercice de synthèse additive) »* (lettre du 18/02/98*).* Son professeur de composition, André Jolivet, va également l'influencer sur cette façon d'aborder l'écriture des sons. Jolivet a lui-même écrit : « *Avant* [mon apprentissage chez] *Varèse, j'écrivais avec des notes, après Varèse, je composais avec des sons »* (Notes pour une conférence, dix pages manuscrites, citées dans Baillet [1993], p.5). Lors de son premier séjour aux Etats-Unis entre 1964 et 1965, Risset rencontre Varèse qui va fortement l'influencer sur cette façon « *d'élaborer, organiser et composer le son lui-même* » (Risset [1998], p.6). Enfin, Risset est un physicien, intéressé par la matière elle-même, et non un mathématicien intéressé par les structures et les combinatoires. C'est seulement lors de sa thèse de doctorat que Jean-Claude Risset tentera de concilier sa vocation musicale et sa formation scientifique. Il rencontre d'abord Pierre Schaeffer au GRM. Cependant, l'art du collage des sons ne semble pas assez rigoureux pour susciter des recherches scientifiques. Ses rencontres avec Abraham Moles au CNRS, qui travaille sur la théorie de l'information appliquée à la musique, et avec Pierre

Barbaud qui travaille sur la composition algorithmique ne l'attirent pas plus (A. Veitl[1997] p. 55). C'est le son qui l'intéresse. Sur les conseils de son directeur de thèse, Pierre Grivet, il part en septembre 1964 rejoindre l'équipe de Max Mathews aux Bell Laboratories[76]. Ses premières recherches (1964-65) vont porter sur la synthèse de textures sonores dont le spectre évolue dans le temps, difficilement synthétisables à l'époque, notamment les sons cuivrés à fort transitoire d'attaque. On trouve une trace de ces recherches dans *Mutations*, d'une part par la présence de nombreux sons pseudo-instrumentaux (trompettes, percussions, hautbois, orgue, cloches), d'autre part à travers les procédures qui considèrent les timbres non plus comme une entité fixe dont on définit seulement sa fondamentale et sa durée, mais comme une entité dont le spectre évolue avec le temps. Ces recherches s'inscrivent toutefois encore dans une démarche de physicien : le chercheur s'intéresse à des sons vivants et existants comme terrain d'expérience. La pertinence de l'analyse du son se vérifie à sa resynthèse sur ordinateur. (P. Schaeffer, lui, s'intéresse au son en soi, comme " objet artistique "). « *L'enjeu principal n'était pas la réalisation d'ersatz, mais l'élucidation de ce qui faisait la vie et l'identité de certains sons instrumentaux, ceux dont l'imitation à partir des données disponibles dans les manuels d'acoustique donnait des résultats catastrophiques* » (Risset, [1996]). Après un retour succinct en France entre 1966 et 1967 (thèse, service militaire), Risset retourne aux Bell Labs et commence à travailler sur les composantes harmoniques du son. C'est alors qu'il commence à s'intéresser aux premiers paradoxes acoustiques, et qu'il réalise jusqu'en 1969 le *catalogue des sons*, qui consiste à transcrire analytiquement (sur le papier), à dessein de reprogrammation, le programme qui a engendré les sons. Ancêtre de l'échantillonneur, le *catalogue de sons* est également un recueil de « partitions de sons » aux qualités musicales intrinsèques, qui marque chez Risset une démarche plus créatrice dans ses recherches scientifiques. En 1969 est composé *Mutations*[77].

b) Mutations (1969) : entre procédures traditionnelles et paradoxe de l'analytique

Mutations est une œuvre archétypale du cheminement intellectuel d'un artiste puisant ses sources dans les problématiques de son époque (ici les problématiques scientifiques

[76] Max Mathews, qui dirige ce laboratoire, est le concepteur de la première famille des programmes de génération de sons par ordinateur Music IV, Music V, ancêtres de Csound. Mathews effectue également en 1957 le premier enregistrement numérique et la première synthèse de son par ordinateur.

[77] En 1968 Henri Chiarucci, du GRM, rencontre Risset aux Bells Labs, et suscite la commande par le GRM d'une pièce électroacoustique. *Mutations* a été composée aux Bell labs sur un ordinateur DDP224 d'Honeywell (Music V)

d'acoustique). C'est aussi une œuvre symbolique du tournant épistémologique des années 1966-1970. L'œuvre emprunte aux deux mondes : des techniques sur le signe, d'essence structurale, et des techniques sur le son, déjouant l'analytique. La forme/structure elle-même est double :

D'une part, une **structure** bipartite classique avec coda soutient analytiquement le squelette de l'œuvre. La première partie, la plus classique sur le plan de son écriture, utilise surtout des sons harmoniques et des procédures harmoniques et sérielles classiques sur les fondamentales. La deuxième partie met en jeu des évolutions temporelles et spectrales combinées qui débouchent sur des paradoxes de la perception. La coda superpose les deux types d'écriture précédents, en particulier le glissando sans fin et les champs harmoniques de la première partie.

D'autre part, la **forme** de *Mutations* est, selon le compositeur lui-même, un *« passage graduel d'une échelle de hauteur discontinue vers un glissement continu (le glissando sans fin), par le biais de déviations et de " mutations harmoniques de rang croissant de plus en plus serrés ».* On va en fait du plus traditionnel au moins analytique, pour aboutir aux paradoxes de la perception.

Sur le papier et la montre, les proportions restent très équilibrées, chacune des deux parties représentant 2/5 de la partition, et la coda 1/5. Cependant, le glissando sans fin occupe 2'10'' + 2'40'' (coda), soit 4'50'' c'est-à-dire environ la moitié de la pièce (47 %). La perception phénoménale de la pièce est alors très différente, axée sur le paradoxe du glissando sans fin. En ce sens, *Mutations* a paru parfois un peu démonstrative à certains auditeurs.

---

en 1968. C'est la première pièce entièrement numérique au répertoire du GRM. Créée au Moderna Museet de

Structure	**“ Projet ”**	**Techniques utilisées**
I-A	**le discontinu, le sériel**	
I A 1 [0’0’’ à 0’50’’]	De la note au timbre	Accord A, agrégats/timbres
I A 2 [0’50’’ à 1’20’’]	Synthèse de sons instrumentaux (trompettes, batterie, hautbois)	Accords A et B, déploiement ascendant d’harmoniques
I A 3 [1’25’’ à 2’50’’]	Synthèse et “ désynthèse ” des sons instrumentaux (orgue, gouttes, hautbois ; cloches)	Accords A et B, déploiement d’harmoniques, agrégats/timbres
I-B [2’50’’ à 4’05’’]	**Episode sériel**	
I-B 1[2’50’’ à 3’15’’]	Série A à la clarinette	Processus automatique
I-B 2 [3’15’’ à 3’30]	Série rythmique (percussions)	Processus automatique
I-B 3 [3’30’’ à 4’05’’]	Série B et série rythmique (percussions accordées, clarinette, clochettes)	décalage Talea (rythmes de 15 unités) et Color (série de hauteurs dodécaphonique)
II-C [4’05’’ à 7’40’’]	**le continu, le temporel**	
II C 1 [4’05’’ à 4’20’’]	“ Un Sol sans octave ”	Tuilage de partiels
II C 2 [4’20’’ à 5’30’’]	Agrégat/timbre sur l’espace des fréquences	Agrégat/timbre, “ diffraction ”, déploiement d’harmoniques, saturation des fréquences
II-D [5’30’’ à 7’40]	**Paradoxes de hauteur**	Glissando sans fin, glissando ascendant arrivant plus bas, double glissando sans fin
CODA [**7’40’’ à 10’20’’]**	**Superposition continu/discontinu**	Modulation de fréquences, glissando sans fin, accords A et B, agrégats/timbres , déploiement d’harmoniques

Tableau III-1 : Structure de Mutations

De ces deux types d’intention, phénoménale et structurale, découlent dans *Mutations* deux types de matériaux et de procédures : un matériau en terme de notes, fixes et tempérées, accompagné de procédures combinatoires et sérielles, et un matériau jouant sur les partiels du son, accompagné de procédures qui gèrent simultanément les évolutions temporelle et spectrale du timbre. On peut affiner cette typologie selon une progression qui va, graphémologiquement, du timbre réduit à la note jusqu’aux évolutions spectro-temporelles du timbre, continues et non discrétisables. Il ne s’agit donc pas seulement d’une nouvelle grammatologie défiant l’analytique, mais également une nouvelle graphémologie utilisant un alphabet moins discrétisé et séparant moins les paramètres.

Stockholm en juillet 1970, *Mutations* fut primée dès 1970 au concours de musique électroacoustique de Darmouth.

réalisation	Composantes spectrales	évolution temporelle
Note	réduites à la fondamentale	réduite à une durée
Accord (harmonique ou inharmonique)	réduites à quelques partiels	réduite à une durée
timbre fusionné (harmonique ou inharmonique)	décrites totalement	réduite à une durée
son paradoxal	décrites indépendamment (évolution contradictoire)	liée à l'évolution spectrale

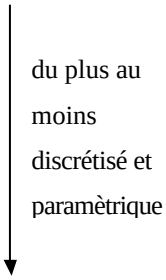


Tableau III-2 : Unités musicales utilisées dans Mutations

Sur un plan grammatologique, les différentes techniques peuvent également être décrites selon une typologie qui va des procédures les plus traditionnelles, sur les notes, à des procédures transparamétriques et paradoxales.

i) Gestion traditionnelle des hauteurs

Bien que *Mutations* ait été entièrement composée par ordinateur, de nombreuses procédures classiques gèrent les hauteurs fondamentales. Il s'agit notamment des passages utilisant des sons de synthèse harmoniques imitant les instruments acoustiques (cuivres, vents). Ces techniques ont en fait été directement influencées par celles qu'utilisait Jolivet, le professeur de composition de Risset : technique des accords complémentaires, procédures sérielles, modulation d'une série de notes par une série de durées. Nous les énonçons succinctement pour rappeler la part de grammatologie traditionnelle présente dans cette œuvre.

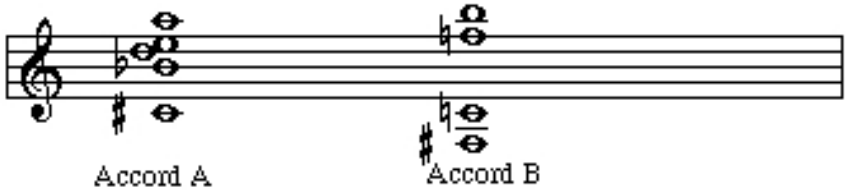



Figure III-2 : accords A et B

Deux accords A et B jalonnent l'ensemble de la pièce. Ils sont complémentaires (ils n'ont aucune note commune) et suivent le procédé des " notes réservées ". Par ce procédé, l'irruption de certaines notes du total chromatique non utilisées auparavant prend une valeur particulière. Ainsi, l'accord B formé de deux tritons est, selon Risset, un accord " tendu ", alors que l'accord A est un accord " doux ". Ces deux caractères sont renforcés par les sonorités attachées à ces deux accords :

Accord A	Accord B
I.-A **[0'' à 35'']** « gong-cloche », clochettes, timbre neutre (sinusoïdales), percussif **[1'40'']** Orgue	**I-.A** **[50'' à 1'20'']** Hautbois **[1'05'']** Son sinusoïdal **[8'09'']** Hautbois-orgue **[2'20'']** hautbois **[2'25'']** Cloches
II.-C **[4'18'']** cloche	**II.-C** **[4'31'']** cloche **[4'35'' à 4'50'']** cloches **[5'18'']** « gong »
Coda	**Coda** **[8'30'']** cloches **[9'30'']** gong

Tableau III-3 : Identité sonore des accords A et B

Les accords A et B sont complémentaires, mais ne couvrent pas le total chromatique : sol, sol # et mi b sont manquantes (technique des notes réservées). Cette technique régissant l'ensemble de l'œuvre, ces notes ont des rôles privilégiés : les notes sol et sol # servent de pôle respectivement au début de la partie II-C et au début de la coda, lors du retour du son paradoxal[78]. La construction des accords A et B sur des quartes justes et augmentées, comme la technique des notes réservées et des accords complémentaires sont directement influencées par Jolivet[79] (Baillet [1993], p. 72).

ii) Procédures sérielles

Mutations présente également un passage entièrement sériel (partie I-B), qui succède à la longue polyphonie de la partie I-A. Dans ce passage, la série dodécaphonique est entièrement énoncée de façon monodique, telle une mélodie (à la différence de l'école de Vienne qui utilise plutôt la série comme un matériau préliminaire). Elle est ensuite dérivée par un processus automatique géré par l'ordinateur. La présence d'un passage combinatoire énoncé avec des sons de types instrumentaux (clarinette, caisse claire, métalophone) et dans une échelle traditionnelle à douze degrés[80] peut surprendre au sein d'une oeuvre travaillant sur le son.

Deux explications peuvent être avancées :

[78] Le sol # apparaît sous forme de modulations de fréquences, les seules utilisées dans cette pièce.

[79] voir par exemple le début de *Beaujolais* issu de Mana de Jolivet, où l'apparition du [si], note réservée complémentaire de la série à 11 notes précédemment exposée, provoque un changement de couleur, et les nombreux accords en triton, quarte juste et quarte diminuée dans la *Chèvre* issue de *Mana,* et dans le Prélude de la *Suite Delphique* basé sur le triton [ré sol#]

[80] Jean-Claude Risset précise cependant qu'il ne s'agit pas d'un tempérament égal, mais d'un tempérament de type zarlinien, où certains degrés correspondent aux harmoniques d'autres degrés privilégiés.

* D'une part, le répertoire des musiques sur ordinateur était, jusqu'à *Mutations*, composé essentiellement de pièces sérielles ou à processus automatiques gérés par ordinateur. L'ordinateur restait l'outil approprié des compositeurs de musiques algorithmiques tels Hiller, David Lewin, Milton Babbitt aux Etats-Unis, Koenig et Stockhausen au Pays-Bas et en Allemagne, Barbaud et Philippot en France. Après la phase de calcul, l'œuvre était réalisée avec des sons généralement assez pauvres de type sinusoïdal ou bruit blanc, du fait de la faible puissance des ordinateurs de l'époque, ou par des instruments acoustiques. L'analogie avec la musique instrumentale sérielle alors dominante était tentante.

* D'autre part, le traitement sériel est ici assez similaire à l'emploi qu'en fait Jolivet, le professeur : énoncé, après un passage polyphonique plutôt vertical, d'un passage dodécaphonique monodique qui se transforme et devient polyphonique par analogie, semble-t-il, au « prélude et fugue » (cf. *Mana* pour piano : l'*Oiseau*, le début de la *Vache* , le début de *Beaujolais*).

Il y a deux séries dodécaphoniques et une série rythmico-agogique (ou série d'accents, gérée par une fonction d'enveloppe) dans *Mutations.* Une première série A, énoncée par une " clarinette ", est suivie d'une série rythmique énoncée aux « percussions ». Les percussions, initialement des bruits blancs, se fixent ensuite sur les hauteurs de la série B, qui fusionne enfin avec la série rythmique dans une sonorité de " clarinette " et de " percussions " mélangées.

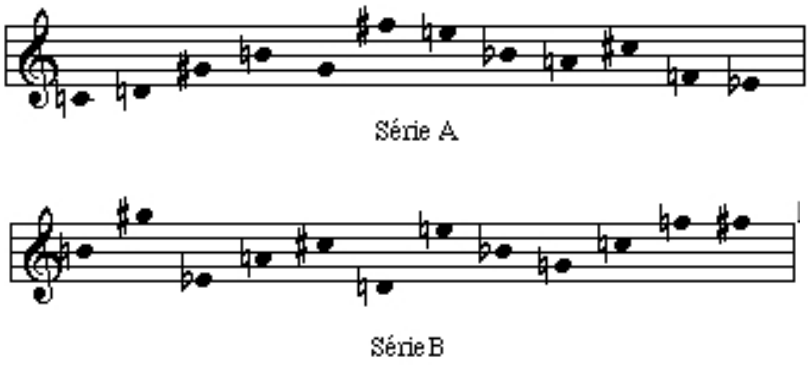



Figure III-3 : séries A et B

Répétée trois fois avec des rythmes différents, puis une octave en dessous, et se terminant en " gouttes " puis en accords longs, la série B est, comme la série A, dérivée par un processus précis géré par l'ordinateur : la série dodécaphonique est intégrée à la série d'accents de périodicité plus longue (15 éléments), les deux séries sont répétées uniformément, chacun

suivant sa périodicité. Ainsi, la série d'accents recommence lorsque la série dodécaphonique énonce son quatrième élément.

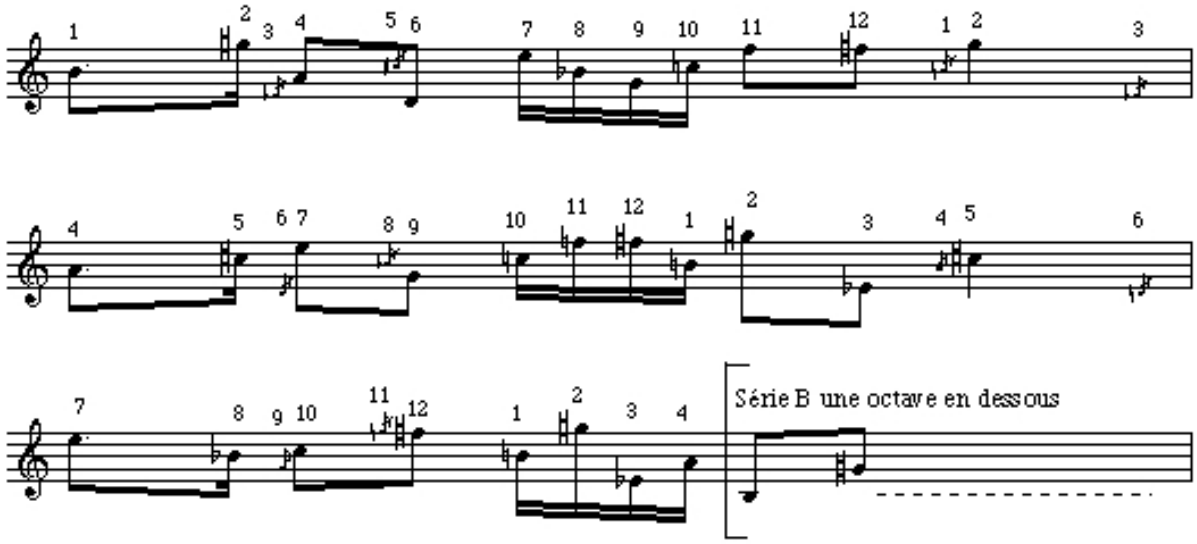



Figure III-4 : modulation d'une série dodécaphonique par une série de longueur cyclique différente

Le traitement sériel n'est cependant pas classique, les axes du temps et des hauteurs n'étant pas modifiés. Il s'agit plutôt d'un système de Talea et de Color de périodicité différente, c'est-à-dire d'une modulation d'une courbe de hauteurs discrètes par une courbe d'impulsions, terme utilisé par Risset (l'ordinateur est ainsi programmé, cf. ex.150 du catalogue des sons). Cette idée semble assez proche de ce que Jolivet appelle le dynamisme du rythme, *« déterminé aussi par les phases et les intensités du flux sonore* » (cité par Gut [1984], p. 54).

c) Une grammatologie nouvelle à l'intérieur du son

Outre les procédures combinatoires classiques sur la note, Jean-Claude Risset a ouvert, à partir de Mutations, une nouvelle dimension pour la musique occidentale écrite, car il a été l'un des premiers, avec Chowning, à dépasser à la fois les catégories graphémologiques classiques de notes et de durées dans la musique instrumentale (ce que faisait déjà la musique concrète), et à créer une véritable grammatologie analytique du phénomène sonore. Certes, la conscience que le son ne se caractérise pas seulement par sa fondamentale est assez ancienne. Influencé par les travaux d'Helmholtz, Schönberg écrivait déjà : *« Je le répète : le son est le matériau de la musique. (...) Dans la série des sons harmoniques, laquelle représente une des particularités du son les plus marquantes, on perçoit - après la résonance plus forte de*

quelques harmoniques - un certain nombre d'autres harmoniques à résonance beaucoup plus faible. (...) Si les sons harmoniques éloignés n'accèdent pas à la conscience de l'oreille analytique, ils n'en demeurent pas moins perçus comme timbres. » (Schönberg [1922 rééd. 1983], p.39). L'orchestration est aussi souvent basée sur ce principe (par exemple l'orchestration des 5e et 6 e harmoniques du thème du *Boléro* de Ravel, ch. 13). C'est également le principe des mixtures d'orgue, appelées aussi *jeux de mutations,* terme qui a d'ailleurs inspiré le titre à l'œuvre de Risset.

i) Le timbre non réductible

Dans la musique occidentale jusqu'à la fin du XIXe siècle, la plupart des sons instrumentaux sont harmoniques, fixes et entretenus. Contrairement à beaucoup d'autres cultures, où l'imperfection et le bruit sont garants de la richesse et de « l'humanité » du son, l'Occident a souvent cherché à atteindre le son le plus pur, le moins bruité et le plus fort (voix, instruments à cordes, vent)[81]. Le principe d'harmonicité, qui lie les partiels à sa fondamentale par des relations mécaniques en multiples entiers, la nécessité de compresser l'information dans l'écriture, et l'origine vocale de la musique instrumentale semblent être les causes essentielles de la réduction syntaxique et psychologique du son à sa fondamentale dans nos cultures écrites. L'intérêt pour les sons inharmoniques est apparu à la fin du XIXe siècle, au contact des cultures slaves, africaines et asiatiques, et avec le rôle croissant des percussions. Dans *Boris Goudounov*, Moussorgsky utilise l'enharmonie d'un triton commun à deux accords de dominantes non résolues et aux tons éloignés pour synthétiser à l'orchestre un timbre de cloche (inharmonique).

[81] Berlioz écrit en 1852 : « *Pour la voix du chinois, rien d'aussi étrange n'avait encore frappé mon oreille : figurez-vous des notes nasales, gutturales, gémissantes, hideuses, que je comparerai, sans trop d'exagération, aux sons que laissent échapper les chiens quand, après un long sommeil, ils étendent leurs membres en baillant avec effort* » (Berlioz, [1852, rééd. 1968], 21e soirée, p.315-316).

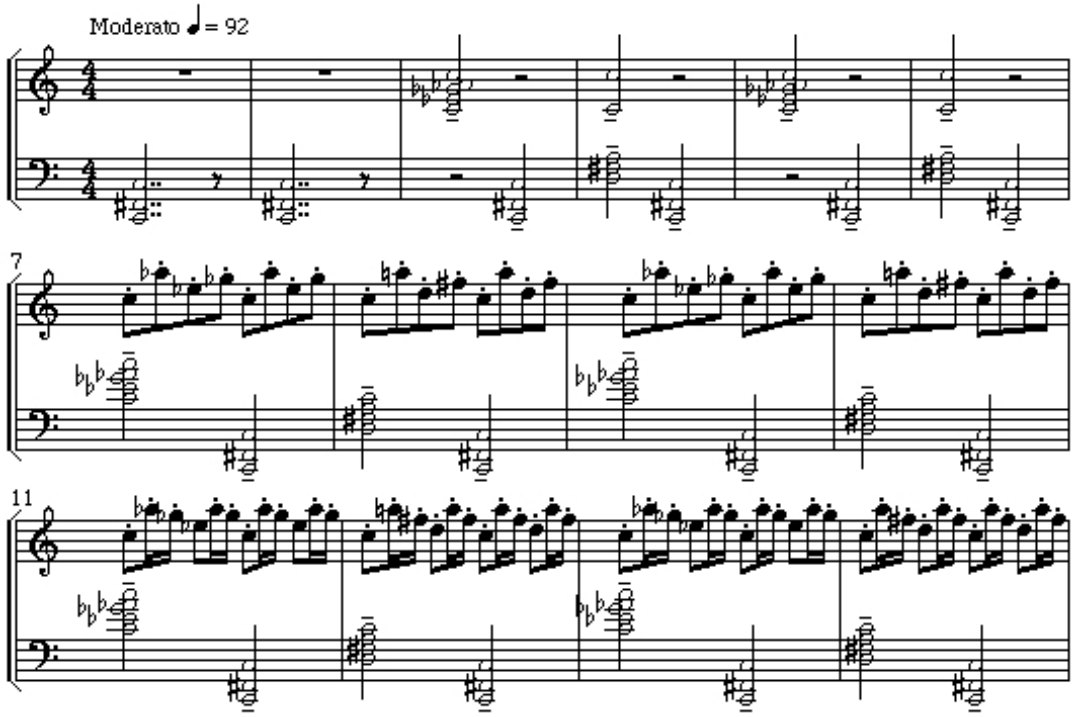



Figure III-5 : Moussorgsky, Boris Godounov (scène du couronnement, prologue)

Il faudra cependant attendre les recherches plus poussées en acoustique au XX^{e} siècle et le tournant épistémologique de la fin des années 60 pour que la synthèse de timbres inharmoniques[82] par des instruments harmoniques de l'orchestre devienne un réel enjeu compositionnel (cf. *Gondwana* de Murail, 1980, dont le début simule une cloche).

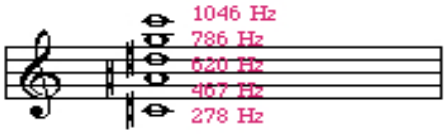


Figure III-6 : Analyse spectrale d'une cloche par J. Pierce

ii) Synthèse additive par règles

Contrairement à l'instrument de musique mécanique occidental, l'ordinateur permet de construire précisément l'intérieur du son. Risset aurait pu utiliser la technique de la synthèse additive, très utilisée à l'époque dans les studios de musique électronique (Stockhausen), qui consiste, comme dans les jeux de mutations d'orgue, à assembler, un à un ou par groupe, les partiels du son. Cependant, la philosophie musicale de Risset consiste, depuis son travail de thèse, à lier les évolutions temporelle et spectrale des sons, que ce soit dans la restitution d'instruments acoustiques (cuivre, vent ou percussion) ou dans l'élaboration de sons plus

artificiels. De plus, la technique de synthèse additive est laborieuse et coûteuse par le nombre d'oscillateurs nécessaires. Risset élabore alors une technique plus économe prenant en compte les transitoires et évolutions temporelles, la *synthèse additive par règle :* Cette technique permet à un oscillateur d'être utilisé non plus seulement comme générateur de signaux simples, mais comme modulateur d'un autre oscillateur.

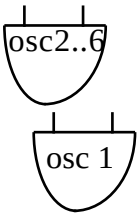


Figure III-7 : contrôle d'un oscillateur par un autre, selon le principe de synthèse additive par règles.

Cette technique va fortement influencer le compositeur John Chowning, dans sa découverte du principe de la modulation de fréquences[83] appliqué à la synthèse de sons instrumentaux[84] (Chowning [1988] p.8). La pédale de sol # au début de la coda de *Mutations* (7'40'') utilise d'ailleurs des sons en modulation de fréquence.

iii) Mélodie, harmonie, timbre

Dans *Mutations*, Risset va également s'interroger sur les limites de la réduction de la note à sa fondamentale et sur l'importance des partiels pour construire le timbre. Dans quel cas un agrégat s'entend-il comme un timbre fusionné ou comme un accord ? Risset va alors prendre une courte mélodie de cinq notes, qui, fusionnée verticalement, va s'entendre comme un timbre unique et non plus comme un agrégat, les notes de l'agrégat devenant les partiels d'un timbre sourd et grave de gong. Ces cinq notes sont ainsi successivement traitées comme

---

[82] *Inharmonique* (1977), pour voix et bande, est une autre pièce de Risset

[83] « *Pour engendrer les cuivres dans "Mutations", j'ai utilisé une "synthèse additive par règles" dans laquelle je ne spécifie que la fonction spécifiant l'enveloppe du fondamental, les amplitudes des autres harmoniques s'en déduisant automatiquement comme des fonctions linéaires de la précédente, fonctions dont la pente est d'autant plus forte que le rang de l'harmonique est plus élevé : je mets ainsi en oeuvre automatiquement ma règle des cuivres, suivant laquelle le spectre s'enrichit en fréquences aigües lorsque l'intensité augmente. Cette méthode économise des spécifications - je ne spécifie qu'une enveloppe - mais non du temps de calcul, les harmoniques étant calculés séparément (au lieu d'être engendrés globalement comme dans la distorsion non linéaire ou la modulation de fréquence, méthodes "globales"). Cette règle d'enrichissement du spectre avec l'intensité est mise en oeuvre de façon plus économique et plus élégante par la modulation de fréquence, en liant l'indice de modulation à l'enveloppe : mais John Chowning n'avait pas encore eu l'idée de faire varier l'indice de cette façon. En fait c'est mon article sur la synthèse des cuivres qui lui en a donné l'idée environ un an plus tard, comme il l'explique dans la notice de son disque monographique Wergo 2012-50. Mais à l'époque où j'ai réalisé Mutations, John Chowning avait commencé à explorer sa technique FM en réalisant des variations linéaires d'indice de modulation donnant lieu à des balayages spectraux. Il m'avait montré des exemples début 1969, en me laissant la partition Music V (ou plutôt Music 10, adaptation de Music IV pour le PDP 10). J'ai pu reconstituer ces exemples très vite, et j'ai utilisé certains de ces balayages par FM dans Mutations (de 7'40'' à 8'10'') pour faire le pont entre les glissandi sans fin et la coda qui mélange le continuum des glissandi et des rappels antérieurs (par exemple des échelles harmoniques) »* (lettre personnelle de J.-C. Risset, avril 2000).

[84] Cette technique sera ensuite reprise dans les fameux synthétiseurs DX et SY de la firme Yamaha.

mélodie, comme harmonie (après fusion verticale), puis comme timbre (par application d'une même évolution temporelle, en ne retenant que les fondamentales des notes précédentes en tant que partiels).

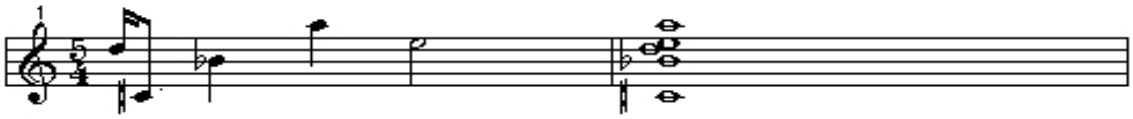



Figure III-8 : Début de Mutations, transcription en notes

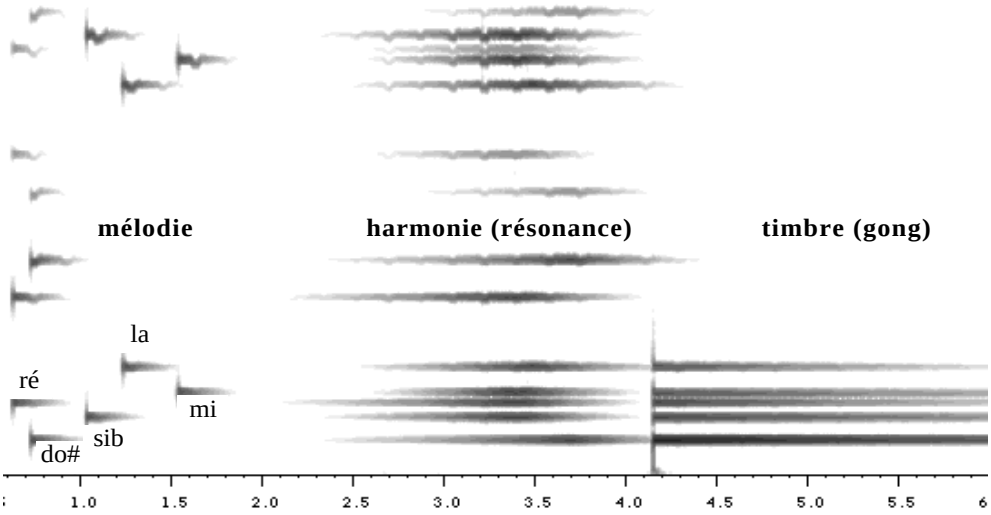


Figure III-9 : Début de Mutations : Analyse sur Sonagramme (Audiosculpt)

Ce genre de paradoxe entre timbre et mélodie (ou mélodie de partiels) est courant dans les répertoires de tradition orale, alors que notre écriture ne permet pas cette ambiguïté. C'est le principe du chant diphonique d'Asie centrale (Mongolie, Tibet, Touvas de Sibérie, etc.) ou de l'arc musical en Afrique Centrale.

L'exemple ci-dessous retrace le sonagramme d'un début de pièce pour arc musical *mbéla* des Nbaka de Centrafrique[85]. L'instrument est composé d'une seule lanière végétale tendue sur une branche arquée. Le musicien frappe la corde rapidement et régulièrement avec une verge (traits verticaux réguliers sur le sonagramme), ce qui produit une seule note (Sol 2). De l'autre main, il bloque de temps en temps, en rythme, la corde avec un couteau, ce qui engendre une seconde note un peu plus aiguë (la 2). Apparemment, la « mélodie » des

fondamentaux n'est composée que de deux notes : [sol2, la2]. C'est en tout cas ainsi qu'une écoute occidentale de premier degré appréhenderait cette oeuvre. Cependant, le musicien fait rentrer la corde en résonance avec sa cavité buccale, en ouvrant plus ou moins la bouche. Derrière les deux notes fortement audibles, le musicien compose alors par le jeu sur les partiels une véritable mélodie pentatonique basée sur les notes [la 4, sol 4, mi 4, ré 4, si3, la3, sol3] (cf. sonagramme), qu'une oreille trop prisonnière de ses conventions ne perçoit souvent pas[86].

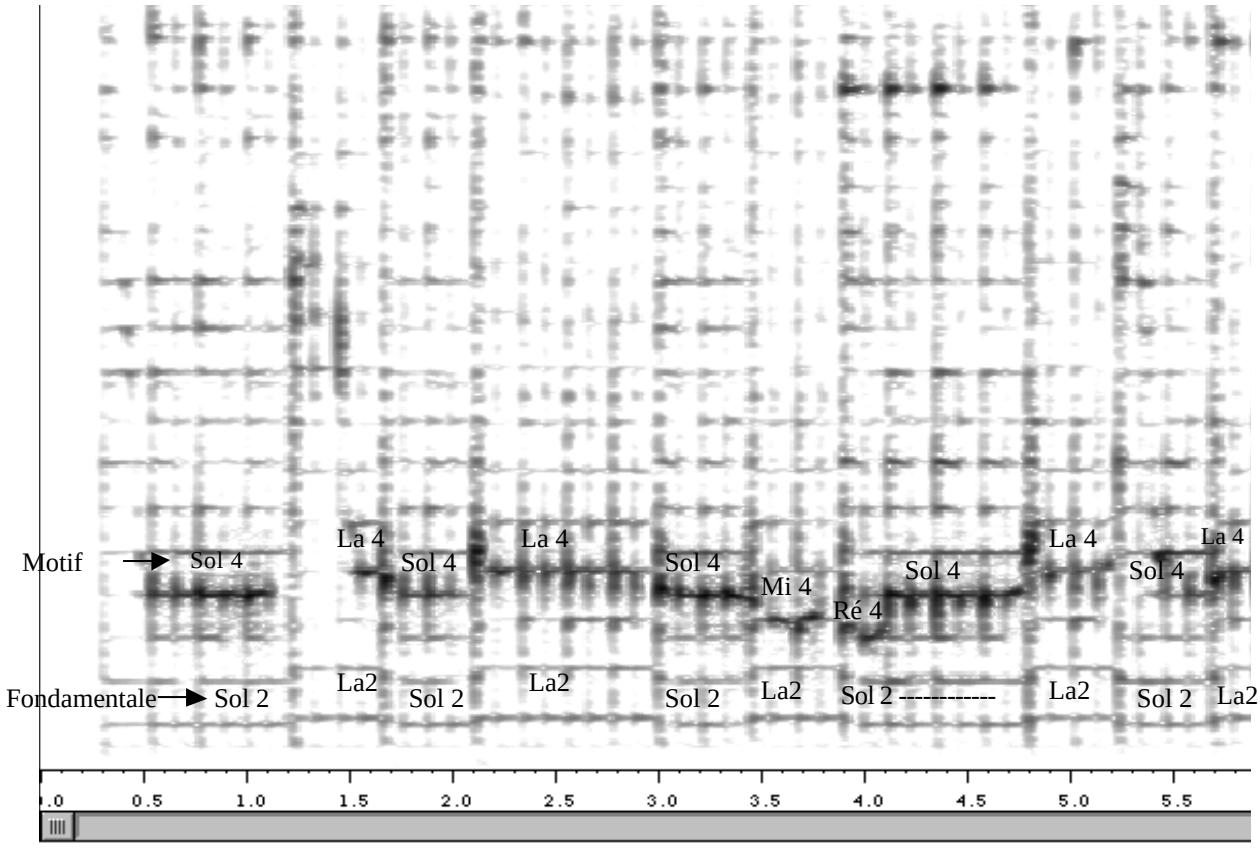


Figure III-10 : Arc musical Mbéla , sonagramme.
Le musicien fait ressortir les harmoniques supérieures pour engendrer un motif pentatonique, alors qu'une première écoute « occidentale » perçoit deux notes

iv) Déploiement d'harmoniques

L'opération qui permet de passer d'un agrégat à un timbre fusionné peut être inversée : en apparaissant successivement et non simultanément, les différents partiels composant un timbre deviennent les notes d'un agrégat. Jean-Claude Risset appelle cette technique un *déploiement d'harmoniques*. (ex. 500 du catalogue de sons).

---

[85] CD *Les Instruments du Monde,* collection CNRS-Chant du Monde, enregistrement Simha Arom, plage 6

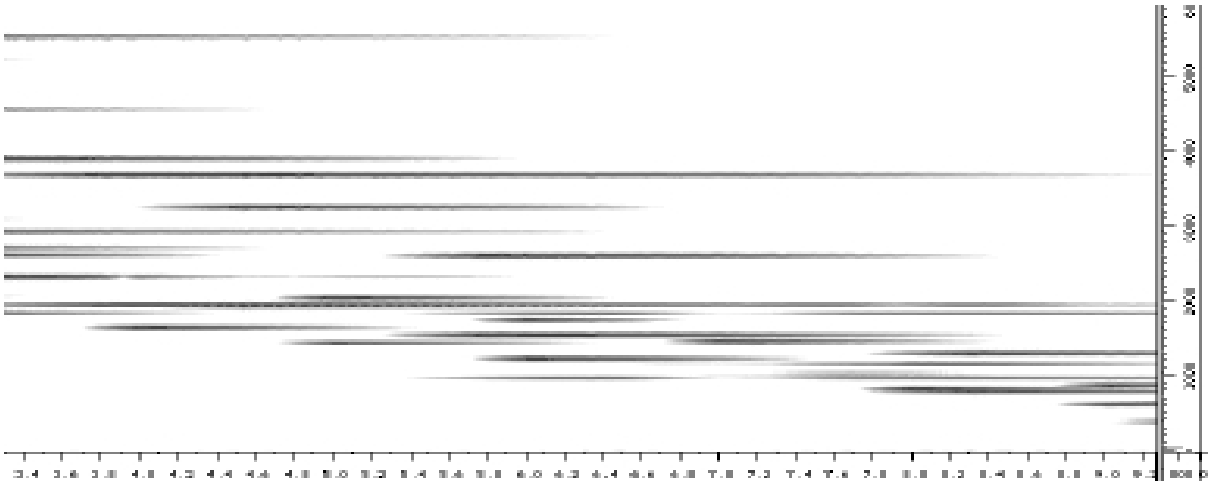


Figure III-11 : Déploiement d'harmoniques

Cette procédure est souvent présentée par Risset des partiels les plus aigus aux partiels les plus graves. Il semble y avoir ici un autre parallèle avec une technique d'André Jolivet : " *Il s'agit de présenter d'abord les harmoniques supérieures d'un son donné et de ne préciser que par la suite ce son générateur faisant office de basse* " (Jolivet cité par Serge Gut [1977], p.52). Cette technique sera aussi reprise par les « spectraux » (par ex. *Vortex Temporum* de Grisey).

v) Paradoxes d'octave

La procédure des paradoxes d'octave concerne le problème de la réduction d'un son à son premier partiel, le fondamental, et procède par une évolution temporelle contrôlée du spectre. En filtrant un timbre et en amplifiant certains partiels, on peut troubler la tonie perçue, en particulier l'octave entendue. On retrouve ce phénomène chez certains instruments acoustiques, comme par exemple les crotales, pour lequel il est parfois difficile de déterminer l'octave perçue selon la place où l'on se trouve (le rayonnement de l'instrument et les réverbérations de la salle filtrent certains partiels) et la baguette utilisée. Dans *Mutations,* le sol pédale qui sert de transition entre le passage sériel et la deuxième partie (4'05'') est filtré dans le temps afin de mettre en relief certains harmoniques octaviants, qui rentrent par « fondu enchaîné », et afin de troubler la sensation d'octave perçue (on entend un sol qui monte sans saut d'octave).

[86] selon les tests que nous avons faits lors de plusieurs conférences devant des musicologues et musiciens occidentaux.

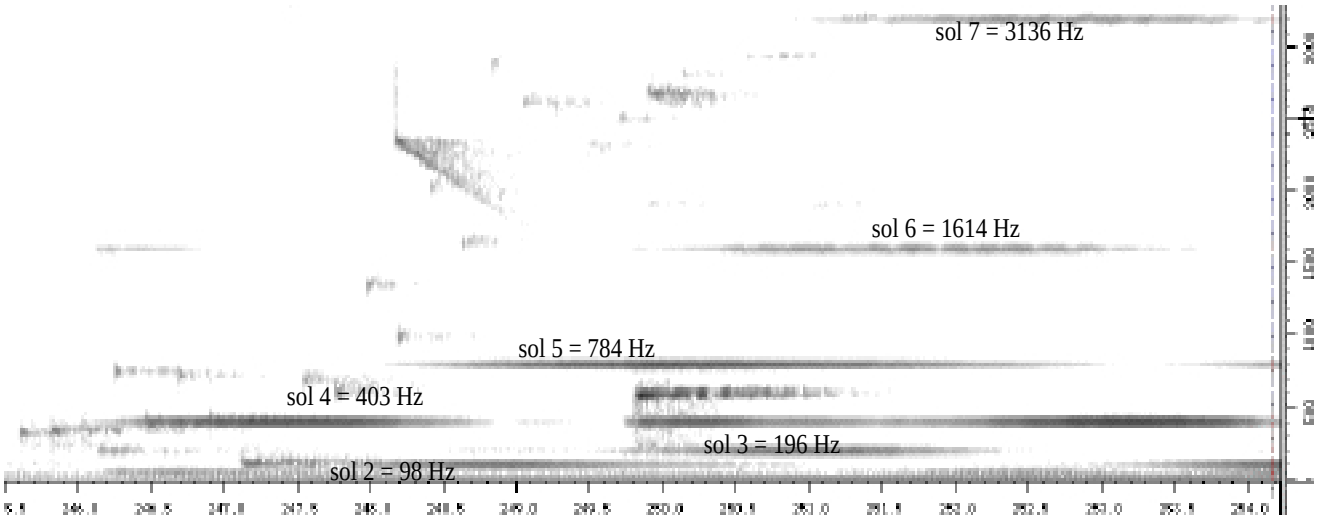


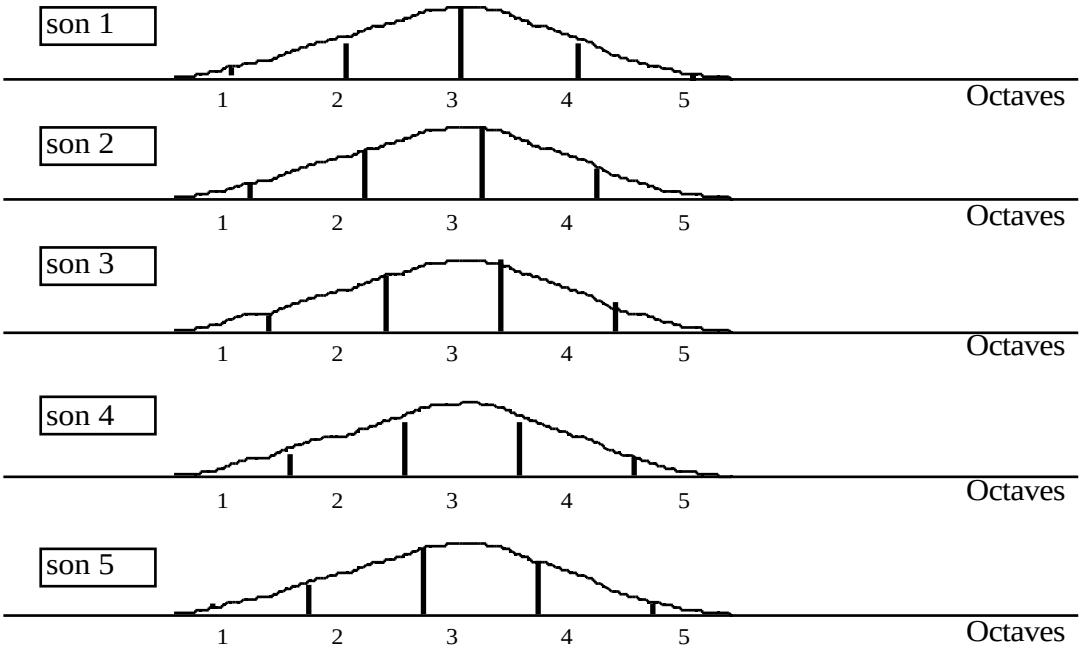
*Figure III-12 : Illusion d'octave (sonagramme)**:***

vi) Glissando sans fin

La transcription occidentale de l'écriture du timbre en notes n'implique pas seulement la réduction du timbre à sa fondamentale. Elle a également pour conséquence de séparer et de paramétriser indépendamment l'axe du temps et celui des fréquences, et de réduire ainsi l'évolution temporelle du spectre à sa durée (segment statique et fini du temps) et l'évolution timbrale à deux dimensions, aigu/grave. Le glissando sans fin est un exemple saisissant de travail liant le timbre au temps, sans réduction ni discrétisation possibles des éléments temporels et fréquentiels du timbre.

L'origine de ce paradoxe est une suite discrète de timbres mise en évidence en 1964 par le psychoacousticien R.N. Shepard[87] : douze sons formant une gamme chromatique semblent monter indéfiniment quand ils sont répétés. Chaque son est en fait constitué de partiels en relation d'octave, qui se déplacent par demi-ton à chaque transposition selon une courbe d'amplitude qui, elle, ne bouge pas. A la douzième transposition, le son revient logiquement à son état initial. Les sons obtenus semblent ainsi monter sans s'arrêter, un peu comme le célèbre dessin de Carl Escher reprenant l'illusion de Penrose d'un escalier qui monte en revenant sur lui-même.

[87] Shepard, J. Acoust. Soc. Am. 36 1964, pp.2346-53



etc... (12 fois)

Figure III-13 : Le paradoxe de Shepard

Risset reprend cette idée sous forme d'un processus continu de transposition. L'idée du *glissando sans fin* est en fait venue à Risset lors de la composition de *Little Boy* (1968), qui évoque la bombe atomique sur Hiroshima. Risset cherchait à y illustrer la chute sans fin de la bombe.

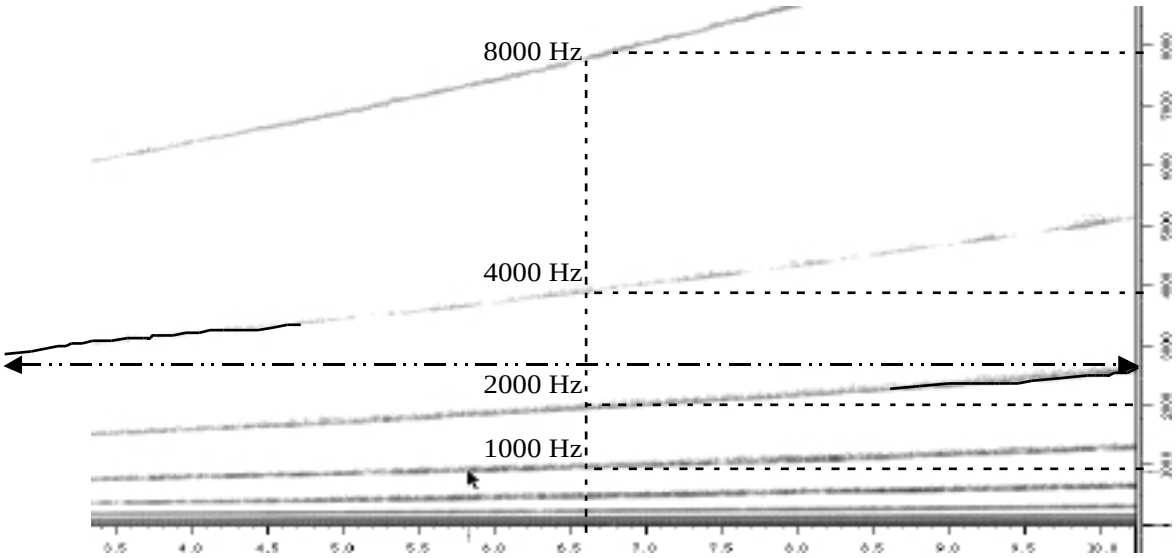


Figure III-14 : Analyse sur sonagramme du glissando sans fin.
Chaque partiel a une courbe d'enveloppe propre (ligne plus ou moins noircie sur le sonagramme)

Toute la fin de Mutations est construite sur ce son paradoxal[88]. Risset élabore également sur ce principe d'autres paradoxes : en changeant la fréquence fondamentale, il obtient des sons qui descendent tout en montant, ou des sons qui descendent en arrivant à une note plus aiguë qu'au départ (l'évolution spectrale induit un sentiment de descente alors que la fondamentale monte).

vii) Diffraction d'harmoniques et saturation de l'espace fréquentiel

Deux autres procédures sur les partiels dans *Mutations* doivent être mentionnées. A 4'50'', Risset fait diverger un son de clochettes initialement polarisé autour de si sur l'ensemble des fréquences, telle la diffraction d'un faisceau lumineux[89].

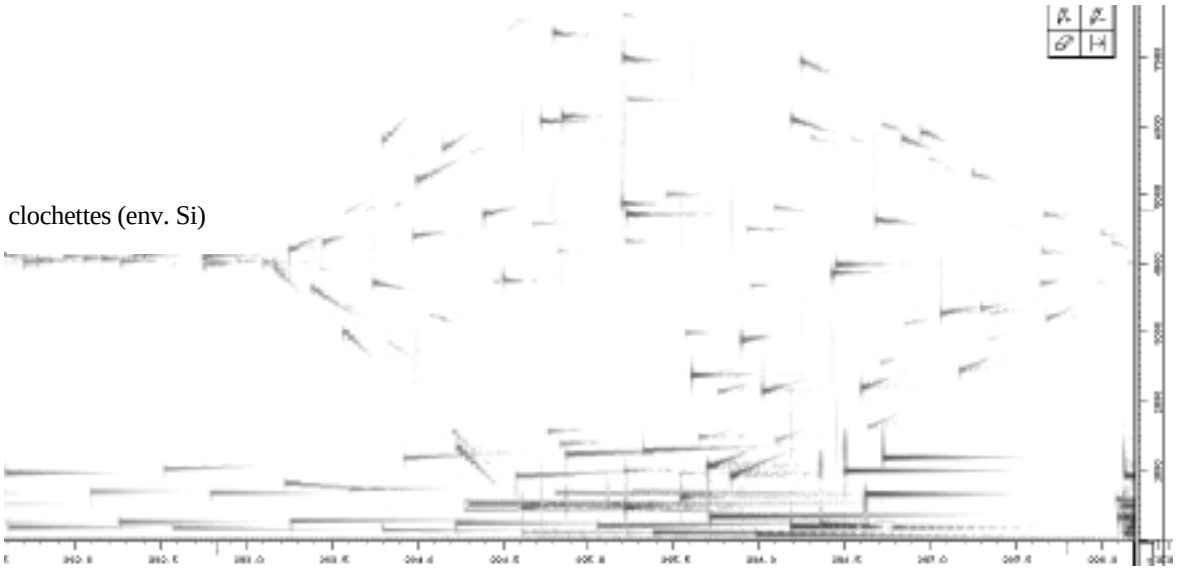


Figure III-15 : diffraction d'harmoniques ", analyse par sonagramme (Audiosculpt)

A 6'20'', une procédure similaire sature subitement l'espace des fréquences (cluster total). Ce cluster de fréquences sert ici de signal dans la coda, avant la reprise du glissando (double glissando). Ces effets sont intéressants, car Risset utilise une analogie visuelle, si ce n'est une grammatologie du visuel, pour faire émerger une réalité perceptive très différente (l'oreille s'accroche surtout à la différenciation entre sons à hauteurs fixes, ici les traits horizontaux, et les petits glissandi, traits montants et descendants).

---

[88] Il y a eu depuis plusieurs réalisations instrumentales de ce glissando sans fin : le *Concerto pour Violon* de M.-A. Dalbavie, deux opéras *Enrico* et *Was ihr wählt* de Manfred Trojahn (éd. Barenreiter), les études 9 (*vertige*) et 14 (*Colonne infinie*) du deuxième livre des études de piano de Ligeti, et ma pièce d'orchestre *Coïncidences* (mes.60 et 82). Citons également deux antécédents à travers le début de la scène 4 du troisième acte de *Wozzeck* de A. Berg, et un passage de la 4e région de *Hymnen* (1966-1967) de Stockhausen.

[89] Il faut noter que les propriétés géométriques de la figure symétrique n'ont que peu de relation avec l'effet perçu. Un trait horizontal qui oblique correspond en effet à l'oreille à une note tenue suivie d'un glissando, ce que l'oreille distingue. C'est plutôt l'effet « d'explosion subite » qui saisit ici l'oreille.

d) Une pensée du paradoxe

En dehors de son aspect ludique, *Mutations* représente un enjeu face à l'écriture ; D'une part, l'intention compositionnelle prend directement sa source en l'objet musical dans toutes ses composantes et n'aurait pu être imaginée sur le papier, avec une grammatologie traditionnelle. Le poïétique puise en effet directement dans l'expérimentation acoustique du niveau neutre, et dans la grammatologie de l'informatique numérique. Elle aurait été impossible avec une écriture traditionnelle. D'autre part, l'oeuvre pose un enjeu analytique singulier. La plupart des procédures utilisées dans *Mutations* lient en effet l'évolution des fréquences à celle du temps, que ces procédures agissent à l'intérieur du son (synthèse additive par règle, glissando sans fin) ou sur les notes (procédures combinatoires). Les procédures sur les partiels interviennent ici sur toutes les composantes du son, remettant en cause la séparation des paramètres et leur discrétisation. Il s'agit donc d'une pensée du continu, qui inspirera ultérieurement les compositeurs dit « spectraux ».

D'un point de vue esthésique, par les procédures continues mises en jeu et par la nature non écrite de l'œuvre, *Mutations* représente un enjeu pour l'analyse et la perception. Si certains outils d'analyse syntaxique (sonagramme) peuvent être appliqués, si Risset est aussi un scientifique dont la démarche est issue d'un certain cartésianisme, la non-discrétisation de certains éléments (glissando sans fin, paradoxe d'octaves) et l'interpénétration des paramètres 'horizontaux' et 'verticaux' remettent en cause la méthode analytique cartésienne (séparation de problèmes en problèmes plus petits, paramétrisation). De plus, les paradoxes acoustiques contredisent perceptivement ce qu'une raison inconsciente et consciente du musical pourrait induire.

La méthode est nouvelle, en osmose avec la nouvelle pensée scientifique qui émerge dans les années 60 (intelligence artificielle, sciences cognitives, sciences de la complexité, sciences s'appuyant sur des phénomènes) : le paradoxe est en effet un défi de la réalité (ici sonore) contre l'analyse et la raison. Mais s'agit-il réellement d'un paradoxe ? Le paradoxe est, philosophiquement, un raisonnement dont la conclusion contredit analytiquement les prémisses (un son qui monte est plus aigu qu'au départ), ou qui justifie deux conclusions

contradictoires (paradoxe grec du magistrat)[90]. Le paradoxe, contrairement au sophisme, n'est pas un raisonnement faux, mais appelle à reconstruire les systèmes analytiques dans lesquels il se développe (la catégorisation du son en [hauteur, nuance et durée] dans la musique occidentale). Chaque époque découvre ainsi, dans ses paradoxes, les difficultés liées à l'état de ses connaissances mathématiques, logiques, philosophiques, scientifiques, ou de ses croyances et conventions. Le paradoxe ouvre de nouvelles problématiques (les paradoxes appelés « insolubles » de la *disputatio de obligationibus* ont permis au Moyen-Age d'élaborer de nouvelles définitions de la signification des mots des langages naturels et de la notion de vérité chez Buridan, de Celaya, Heytesburg ou Shyreswood ; les paradoxes grecs comme celui du menteur ont permis de faire avancer à la fin du XIX^{e} siècle des logiciens comme Frege, Tarski ou Russell sur les notions d'ensemble, de cardinal, etc.). Kuhn soutient ainsi qu'un paradoxe, tôt ou tard, se transforme en paradigme. En ce sens, les paradoxes de Risset ont défié la pensée analytique traditionnelle du musical et ouvert à partir d'une réflexion scientifique sur le son une nouvelle grammatologie du sonore, qui n'en est qu'à ses prémisses du fait de l'absence encore aujourd'hui d'une graphémologie et d'outils technologiques efficaces du son inharmonique et transitoire.

4) Ferneyhough : Un jeu sur les signes

Un autre cas extrême et symptomatique du tournant des années 70, certainement à l'opposé de celui de Risset, est l'œuvre de Brian Ferneyhough. Ce compositeur est né à Coventry (Angleterre) en 1943. Après une formation populaire en brass band, il étudie à Birmingham, à la Royal Academy of Music de Londres avec Lennox Berkeley, puis à Bâle avec Klaus Huber. Le style de ce compositeur est souvent, parfois avec sa complicité, affublé du terme de *complexité*, terme assez vague puisqu'on ne sait s'il désigne la complexité de la pensée compositionnelle, celle de la notation, celle de l'interprétation ou celle de la perception. Ce qualificatif est vraisemblablement apparu à la suite d'un commentaire du compositeur anglais Nigel Osborne à propos d'œuvres des compositeurs Chris Dench et James Dillon (Toop [2000], p. 5), et s'est ensuite imposé pour caractériser les musiques de nombreux autres

[90] Les premiers paradoxes sont apparus au Vème siècle avant Jesus-Christ, lorsque Aristote reconnaît en Zénon d'Elée, inventeur de nombreux paradoxes (Achille et la tortue, la flèche qui vole, etc..) le père de la dialectique et le contradicteur des conceptions physiques du monde d'Héraclite d'Ephèse ou de Pythagore. Au IVème siècle avant Jésus-Christ, Eubeulide de Mégare met en défaut, avec son paradoxe du menteur, la conception aristotelicienne de vérité, soutenant que le paradoxe ne propose pas toujours une définition plus adéquate de la vérité (c'est aussi le cas du paradoxe du vote de Condorcet, du paradoxe sémantique des corbeaux de Hempel et Nelson Goodman, etc.).

compositeurs des années 80 et 90 (Ferneyhough, Redgate, Finnissy, Mahnkopf, Pauset, etc...). L'œuvre de Brian Ferneyhough s'est cependant rapidement démarquée de celle de ses confrères et a atteint une notoriété internationale (notamment en Allemagne et en France, pays où il a enseigné), surtout à partir de la création de ses *sonates pour quatuor à cordes* (écrites en 1967, mais créées en 1975 seulement au Festival de Royan).

a) Une écriture revendiquant la complexité

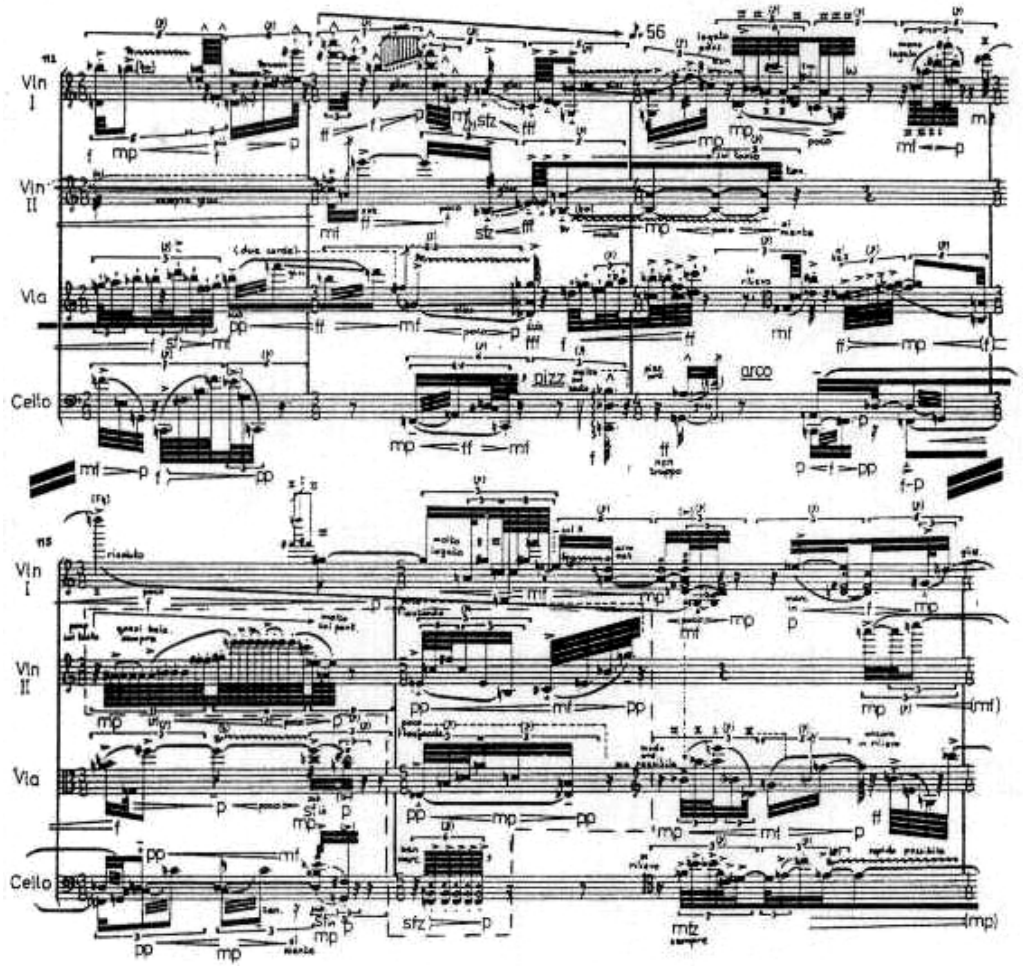


Figure III-16 : Deuxième quatuor à cordes de Ferneyhough, mes.112 à 116

Dès le premier regard, une partition de Ferneyhough ne laisse pas indifférente : la partition est noire de signes et d'indications, et semble impossible à réaliser mentalement en première lecture. Une lecture plus approfondie n'apaise pas ce sentiment d'incompréhension, puisque le regard découvre des rythmes quasiment impossibles à lire, des sextuplets de valeurs non régulières à l'intérieur de quintuplets de double-croches par exemple, une multitude d'intervalles en micro-tons dans des tempi rapides, des métriques variables, une alternance

rapide de modes de jeux, parfois une polyphonie d'écriture notée sur plusieurs systèmes pour un instrument monodique, des traits rapides aux sauts de registre importants, etc..

Une première complexité réside donc assurément dans la lecture et la notation des oeuvres. Ferneyhough écrit : « *En tant que véhicule iconique le plus immédiat et le plus naturel, la notation semble être la clef d'une ère possible d'auto-introspection musicale.* (…) *Les présupposés essentiels pour cette capacité sont au nombre de trois :*

1) *Une notation adéquate doit démontrer sa capacité d'offrir une image sonore des événements qu'elle contient. (…)*
2) *Une notation adéquate doit être dans la position d'offrir les instructions essentielles (…) pour une reproduction valide de ces sons/actions en tant que constituant le 'texte' de l'œuvre. (…)*
3) *Une notation efficace doit (peut) incorporer, dans et par la résonance mutuelle et la confluence des deux éléments déjà mentionnés une idéologie implicite du processus même de création*. » (Ferneyhough [1995], p.3)

La complexité extrême de l'écriture est ici cohérente avec le propos du compositeur. « *La notation est toujours relative à l'intention* » (Ferneyhough [1995], p.70). Ferneyhough cherche en particulier, par la double complexité graphémologique de la notation et de la lecture, à pousser le musicien aguerri hors de ses conventions, et à créer, par la tension qui en résulte, une sonorité inouïe, bruitée, imprévisible, instable, dépassant les catégories de la note harmonique et entretenue et des rythmes « mètrisés » et « maîtrisés ». « *À l'âge de 50 ans, Ferneyhough a réinventé la virtuosité instrumentale. La difficulté phénoménale de la notation, laborieusement travaillée, conduit le musicien à l'énergie d'une intense improvisation où chaque détail serait proposé directement* » écrit le compositeur Jonathan Harvey dans son introduction à (Ferneyhough [1995], p.X). Ferneyhough indique lui-même : « *Je me suis toujours intéressé à toutes les formes de complexité du phénomène musical, mais ce n'est que* [dans la période des premières pièces écrites pour instrument solo] *que je commençai à comprendre qu'il y a toute une dimension d'expression potentielle enfouie dans l'attitude de l'exécutant face au texte musical. Je décidai ainsi de voir jusqu'où on pouvait exploiter systématiquement cet aspect des choses comme une contribution à la redéfinition de 'l'interprétation' en tant que telle, jusqu'à quel point on pouvait en incorporer les résultats*

dans le tissu même de la composition, pour ainsi dire comme un fil polyphonique discret. (…) Mon idée, c'est : qu'est-ce que l'interprétation ? » (entretien avec P. Albera, in Ferneyhough [1988], p.23).

Il y a conscience pleine et assumée, chez Ferneyhough, flûtiste et chef d'orchestre, que ce qui est écrit dépasse largement ce qui est humainement interprétable. Dans *Unity Capsule*, pour flûte solo (1975-1976), la difficulté de la notation-interprétation lui permet d'engendrer un certain nombre de modes de jeux jugés normalement « indésirables » (sons impurs, soufflés, différentes embouchures, multiphoniques) et d'atteindre, selon sa volonté, une diversité de couleurs proche des phonèmes de la voix. L'interprète est « *dans un état continuel de 'surprise d'exécution'* » (Ferneyhough [1988], p.31). À propos de *Superscriptio*, pour flûte piccolo solo (1981), Ferneyhough écrit : « *L'œuvre en elle-même est conçue pour produire la friction grinçante, tranchante, de lignes de force qui, se projetant au-delà du labyrinthe et des limites de la durée effective de l'œuvre, colorent et contaminent notre propre vision du monde.* » (entretien avec Richard Toop, in Ferneyhough [1987], p. 89).

Comment pourrait-on obtenir par une autre écriture que celle-ci que l'interprète oublie la note harmonique fixe, le rythme bien marqué, la fidélité aux signes ? Comment restreindre son jeu aux transitoires d'attaque, à l'instabilité bruitée, telle une parole qui ne dirait que des consonnes ? Cette condition nécessaire, même si elle peut être insuffisante, est celle dont s'enquit la musique de Brian Ferneyhough. La complexité de l'interprétation répond à celle de la notation. En ce sens, cette oeuvre reflète, à sa manière, ce tournant des années 70, cette crise de la graphémologie traditionnelle. *« Tandis qu'il peut être d'une platitude d'observer qu'aucune notation, quel que soit son degré de complexité, ne peut approcher la réalité du phénomène audible, (…) il n'y a pas, selon moi, de contradiction inhérente à la situation »* (Ferneyhough [1995], p.7).

b) Une pensée analytique volontairement contradictoire

Le rapport aux techniques d'écriture est un deuxième aspect, tout aussi ambigu, de la musique de Ferneyhough. Une notion primordiale concerne sa distinction entre *figure*, élément dynamique, et *geste*, élément plus statique (Melchiore, in Ferneyhough [1987], p.70). Ferneyhough écrit : « *Dans la musique contemporaine* (sic), *la perception s'organise autour*

d'une distinction privilégiée : celle qui oppose des événements proches (faits d'objets atomiques, de sons individuels) à des événements plus lointains (fondés sur des structures et orientés plus directement vers la forme). (…) *L'*idée *de la figure se situe pour moi exactement à l'intersection du geste défini, concrètement perceptible, et l'estimation de sa « masse critique », son instabilité énergétique* » (Ferneyhough [1987], p.115). Le processus à entendre ou l'œuvre à projet ne tendent souvent pour ce compositeur qu'à des gestes. Pour dépasser l'anecdote et composer l'énergie et la forme instable, Ferneyhough superpose à l'extrême les procédures, afin de les fondre, de les noyer, de les rendre inaccessibles. Chez Ferneyhough, la procédure analytique poïétique n'a aucune prétention esthésique. La démarche poïétique est un *pourquoi ?* et non un *comment ?*.

Les techniques qu'emploie Ferneyhough sont pourtant, une fois analysées, traditionnellement sérielles, combinatoires, penchées sur le signe et la séparation des paramètres. Elles sont empruntées, et aucune n'est vraiment « conséquente » avec l'esthétique du compositeur, comme les techniques dodécaphoniques ou spectrales le prétendaient. Les techniques sur les rythmes (ou plutôt sur les signes traditionnels employés pour écrire des rythmes) sont grosso modo, en tout cas jusqu'à l'utilisation par Ferneyhough de l'informatique à partir de 1983, similaires à celles que mentionne par exemple Boulez dans *Penser la musique aujourd'hui* (Boulez [1963], p.61 par exemple). La technique de modulation métrique de Carter est aussi abondamment employée. Le matériau de hauteurs est souvent dodécaphonique, et les procédures qui le transforment sont issues des techniques sérielles classiques de dérivation (transposition, symétrie, rétrograde, criblage). Cependant, Ferneyhough enchevêtre et sur-accumule ces techniques combinatoires de telle sorte qu'elles ne s'entendent pas, ne se prévoient pas, et même, ne peuvent se retrouver par l'analyse sans les indications du compositeur. Lui-même a souvent déchiré ses pages d'esquisses ou éliminé la cellule initiale permettant de comprendre l'ensemble du processus. « *Il dialectise l'ordre et le désordre, écrivant une musique qui est, à strictement parler, antisérielle puisqu'elle est non-déterministe* » (Texier, in Ferneyhough [1999] p.14).

L'intention qui régit ces procédures est révélatrice : il s'agit explicitement d'un jeu sur le signe, anodin, un quasi non-sens volontaire pour le sens musical. Ferneyhough utilise par exemple, dans son *deuxième quatuor à cordes* (1980) comme dans de nombreuses autres

œuvres, une technique musicale classique au XXème siècle, la série de Fibonacci [1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, etc.]. Cependant, plutôt que d'attribuer une quelconque signification à ces nombres, il ne prend que les chiffres (les signes) inscrits dans ces écritures de nombres (13 devient 1 et 3) : [1, 2, 3, 5, 8, 1, 3, 2, 1, 3, 4, etc.] (Melchiore, in Ferneyhough [1987], p.72). Melchiore écrit à propos de cette œuvre : « *la démarche devient frénétique, furieuse. La dernière page de cette première partie, que l'auteur lui-même intitule pertinemment 'tour de Babel', compte douze techniques différentes de transformation des hauteurs* ».(Melchiore, in Ferneyhough [1987], p. 83). Fétichisme du signe, pensée apparente du contenant et non du contenu (la sérialisation des registres des instruments dans certains *Carceri d'Invenzione*, par exemple), fascination des nombres dénués de leur signification, ce jeu d'une autre époque est assumé et caricaturé afin d'engendrer un matériau de hauteurs et de rythmes totalement neutre, qui sera ensuite recomposé intuitivement, réécouté par le compositeur (instrumenté, réécrit, retransformé, choisi). « *J'ai ainsi choisi* [dans la première pièce des Carceri d'Invenzione] *48 éléments, chacun occupant seulement une mesure. Le nombre 48 me vient du matériau d'une autre voix » (*in Ferneyhough [1987], p. 117).

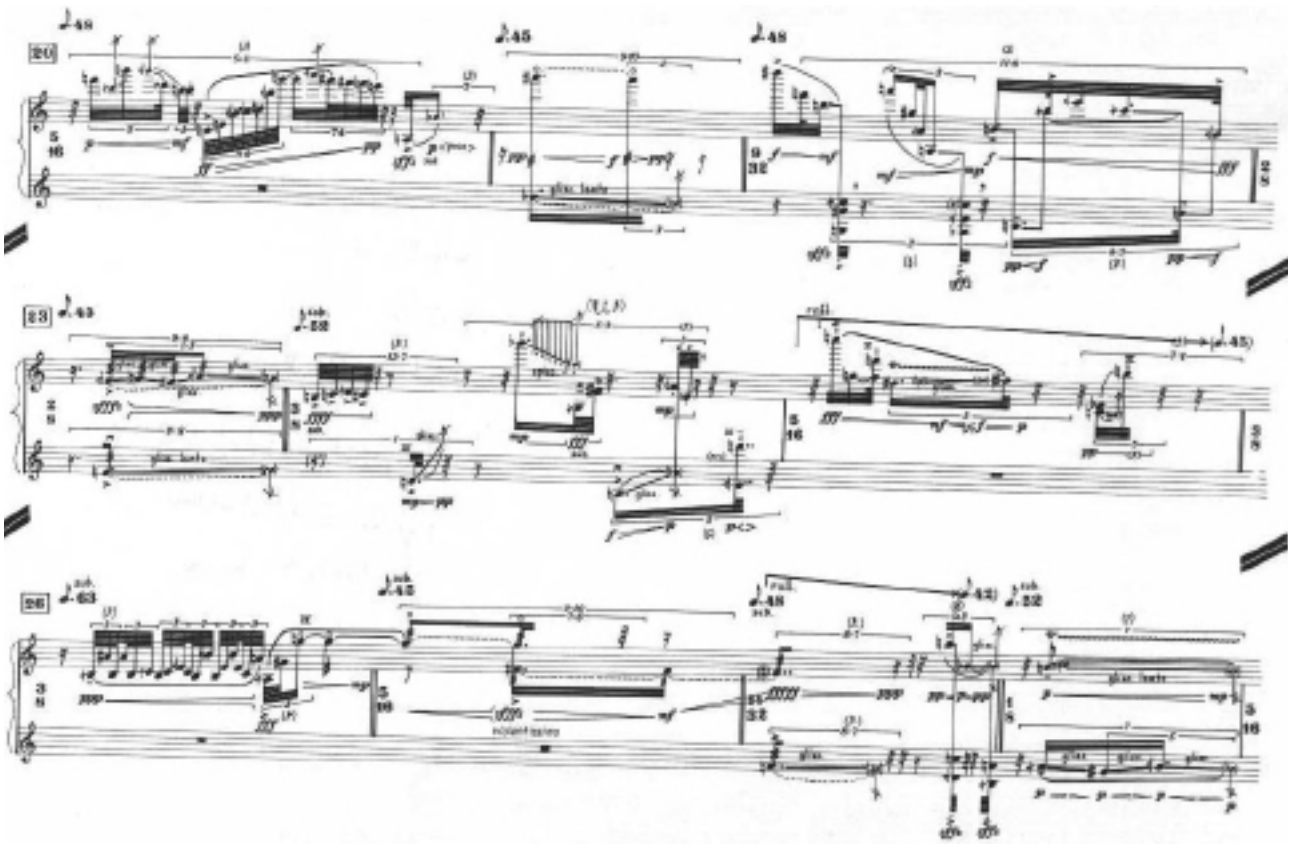


Figure III-17 : Terrain *(1975), pour violon solo et ensemble, de Ferneyhough, mes.20 à 26. Noter les changements de tempi et la notation des rythmes à l'intérieur des barres de mesure.*

L'utilisation qu'il fait de la composition assistée par ordinateur (CAO) est un autre exemple de cette attitude unique face au matériau et à la procédure. Depuis *Kurze Schatten* (1983-1987) pour guitare solo, Ferneyhough y a recours pour générer ses matériaux de hauteurs et de rythmes. Le compositeur avait initialement travaillé à San Diego avec Rand Steiger qui lui avait programmé en basic un ensemble d'opérations de permutations. À partir de 1993, une collaboration avec Mikhail Malt à l'Ircam lui permet de programmer un certain nombre de techniques rythmiques sur le logiciel *Patchwork*, développé dans cette institution. Une librairie est créée, *Combine*, comprenant un ensemble de fonctions, *Musak1*, *Musak2*, … , qui permettent de manipuler et de transformer un pré-matériau compositionnel de listes de nombres purs : transposition abstraite de nombres (voir partie A), entrelacement de listes, substitution, cribles, subdivision de pulsations, permutation de paramètres, génération de symétries, etc… (Malt, in Ferneyhough [1999], p. 66). Un exemple caractéristique concerne une transformation rythmique. L'intérêt de B. Ferneyhough pour le rythme, et en particulier pour les modulations métriques est ancien, mais l'informatique lui permet de renouveler ses techniques et de confirmer la position épistémologique de la procédure dans son travail (séparation nette entre grammatologie du niveau poïétique et esthésique). L'écriture des rythmes dans *patchwork* (module RTM) est basée sur un langage de programmation, le LISP, qui travaille en listes de listes. Une liste de durées exprimant par exemple une noire suivie d'une blanche pointée sera notée (1 3) (c'est-à-dire 1 pour la noire, et 3 pour la blanche pointée contenant trois noires). Dans une métrique 4/4, elle sera notée (4 (1 3)), ce qui signifie : [4/4 ♩ 𝅗𝅥.]. La structure du LISP permet ensuite de penser le rythme de façon musicale, divisive, une formule rythmique étant exprimée comme subdivision d'autres unités de rythme plus simples. La noire ♩ = (1) de la formule [4/4 ♩ 𝅗𝅥.] peut par exemple être subdivisée en un triolet de croches (1 1 1) :

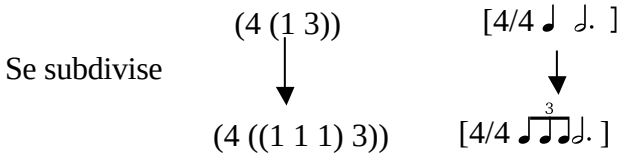
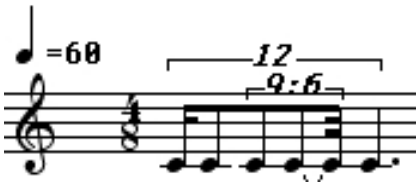


Figure III-18 : subdivision rythmique dans Patchwork

Ferneyhough va s'intéresser de façon singulière et contradictoire à cette notation des rythmes assez musicale en LISP, l'accaparant pour imaginer une technique d'engendrement compositionnel de signes qui s'abstraie délibérément de sa signification. Ferneyhough extrait en effet les nombres inscrits dans la liste de listes et leur applique des procédures combinatoires classiques -lecture en rétrograde, permutations circulaires, etc.- sans tenir compte des parenthèses et de leur signification. Pour composer par exemple les rythmes des mesures [137 à 174] de son *trio à cordes* (1995), Ferneyhough choisit une liste de listes correspondant à un rythme en 4/8 : (4 (1 2 (3 (4 5)) 6)). (Remarquons tout d'abord, dans ce choix de rythme, le jeu pur sur le signe : Ferneyhough choisit la suite singulière ordonnée des chiffres de 1 à 6, et place ensuite une parenthèse alternativement tous les un ou deux nombres, sans s'occuper de ce que cela signifie rythmiquement). Le rythme obtenu est en lui-même, en conséquence, à partir d'un jeu pourtant simple sur le signe, non prévisible et complexe à la lecture comme à la perception :

Rythme (4 (**1 2 (3 (4 5)) 6**))

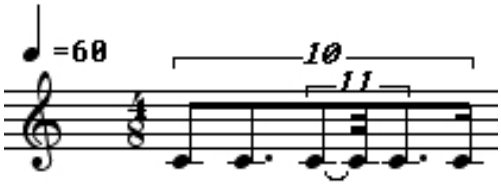
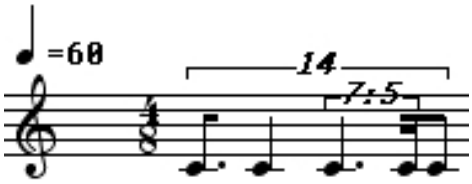
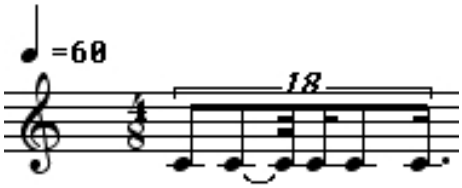
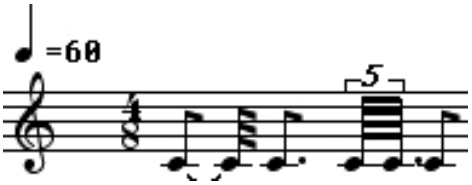
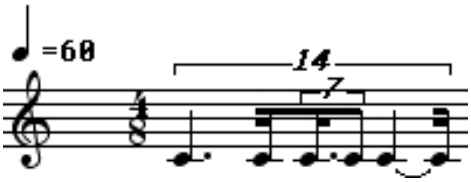
Brian Ferneyhough obtient ensuite, par permutation circulaire de la liste (4 (**1 2 (3 (4 5)) 6**)), les rythmes dérivés :

Permutation 1 : (4 (**2 3 (4 (5 6)) 1**))

Permutation 2 : (4 (**3 4 (5 (6 1)) 2**))

Permutation 3 : (4 (**4 5 (6 (1 2)) 3**))

Permutation 4 : (4 (**5 6 (1 (2 3)) 4**))

Permutation 5: (4 (**6 1 (2 (3 4)) 5**))

Figure III-19 : Permutations circulaires sur les chaînes rythmiques de lisp chez Ferneyhough
(cité par Mikhaïl Malt, in Ferneyhough [1999], p.87)

Ces cellules rythmiques sont toutes ensuite reprises telles quelles dans les mesures [137 à 174] de son *Trio à cordes.* On observe tout d'abord qu'avec une chaîne ici simple (composée des nombres 1, 2, 3, 4, 5, 6), et une transformation analytique simple (permutation circulaire), Ferneyhough obtient volontairement des cellules complexes, imprévisibles, de lecture irréalisable, et sans aucun lien perceptif entre elles. Dans les pièces ultérieures, il reprend ce genre de procédures en le complexifiant davantage, puisqu'il incorpore dans la permutation circulaire le signe de métrique, que ce soit le numérateur ou le dénominateur (le rythme en 4/8 noté (4 (2 3 (4 (5 6)) 1)) dans *Patchwork* est noté (4//8 (2 3 (4 (5 6)) 1)) avec le logiciel *Open Music* que Ferneyhough utilise ultérieurement). Les résultats engendrent alors des rythmes complexes, mais également des métriques complexes.

En apparence, la technique est rationnellement absurde, non seulement parce qu'elle engendre des rythmes complexes et imprévisibles sur le plan esthésique, mais également parce qu'elle est un pur jeu cabalistique sur le signe. La grammatologie est totalement déconnectée de tout enjeu perceptif. Cependant, l'absurdité de la notation rythmique est peut-être, comme nous l'avons vu, le seul moyen pour Ferneyhough de dépasser les catégories traditionnelles et d'atteindre une certaine instabilité quasi-improvisée du son. De plus, au niveau compositionnel, la technique n'est pas beaucoup plus absurde sur le plan du « sens musical » que ne l'est le rétrograde employé depuis le XIV^{e} siècle comme jeu sur le signe. Il s'agit d'obtenir, dans les deux cas, avec une transformation sur les signes à faible complexité

analytique, des résultats très éloignés perceptivement[91]. Enfin, Ferneyhough insiste régulièrement dans ses textes sur la notion de *musique informelle,* empruntée à Adorno. Ce concept adornien qualifie de manière générale une démarche esthétique pour laquelle toute préoccupation formaliste hors de la musique serait exclue. « *J'entends par 'musique informelle' une musique qui se serait affranchie de toutes les formes abstraites et figées qui lui étaient imposées du dehors, mais qui, tout en n'étant soumise à aucune loi extérieure à sa propre logique, se constituerait néanmoins avec une nécessité objective dans le phénomène lui-même* » (Adorno [1982], p.294). L'attitude informelle n'est pas une attitude déconstructive ou post-moderne, mais une tentative de neutralité absolue à l'égard de la problématique formaliste et positiviste en musique (Xenakis, Boulez, Risset ou Grisey ont une approche plus formaliste, par exemple). Adorno appelait de ses vœux une telle position esthétique en opposition à la musique sérielle des années 60 qui se préoccupait trop de ses projets techniques, comme en opposition à une musique basée sur la seule intuition[92]. L'attitude informelle doit se traduire par une volonté, chez le créateur, de ne pas dominer rationnellement le matériau, mais de le laisser vivre. *« Je n'entends pas par* [musique informelle] *du matériau surgi, comme par magie, des profondeurs insondables de 'l'esprit', mais plutôt des éléments musicaux qui, aussi rigoureusement employés soient-ils par la suite, jouissent dans leur état originel d'une certaine différenciation interne, d'une certaine complexité en termes de relations.* » écrit Ferneyhough (Ferneyhough [1999], p.112), qui ajoute : « *Ce fut intéressant de relire* Vers une musique informelle *après plusieurs années et de reconnaître, dans les vastes rêveries spéculatives d'Adorno, un certain nombre d'idées que, à un niveau plus personnel, je m'étais formulées à plusieurs reprises, dans une forme toutefois moins élégante et moins éloquente »* (Ferneyhough [1999], p.110).

Accepter l'erreur, l'informel, le hasard de la main et de la technique, mais toujours les guider par l'esprit, et surtout choisir en tant que créateur qui décide quand, en quelle quantité, et comment l'opération absurde doit modifier le matériau, tel est peut-être le projet

---

[91] Principe que nous nommerons ultérieurement « *principe d'économie poïétique* »

[92] « *Celui qui, au nom de la probité, refuse de composer autrement que ne le lui permet sa sensibilité, ou qui s'insurge contre la contrainte des principes de construction, celui-là, loin d'avoir trouvé ainsi la voie de la liberté, n'a fait jusqu'ici que reproduire, sans s'en douter, l'attitude de tous ceux qui, à l'époque de la libre atonalité, tiraient vanité de n'être pas des snobs, mais qui, au lieu d'une oeuvre réellement personnelle, n'ont produit que du rebut. Mais si, à l'inverse, un compositeur fait une croix, tranquillement, sur sa sensibilité, et croit pouvoir travailler, ses manches retroussées, sur le matériau, il se livre alors à la bêtise de la conscience réifiée.* » Adorno [1982], p.299

« informaliste » extrême de Ferneyhough. La domination du matériau est purement musicale, et non logique. « *La démarche de Ferneyhough possède au contraire ceci de particulier que beaucoup des procédures structurelles complexes qui caractérisent ses dernières œuvres ne se présentent à lui qu'au cours du processus de composition et jusque sous l'impulsion du moment* » (Richard Toop in Ferneyhough [1987], p.95). L'ordinateur ou la technique deviennent des générateurs de matériau de hauteurs et de rythmes bruts, inertes, sans sens, que le compositeur va ensuite, dans un deuxième temps indépendant de cette grammatologie sur le signe, non seulement choisir, mais surtout ciseler, instrumenter et placer intuitivement, bref le nourrir de sens. On comprend alors l'insistance et l'intérêt de Ferneyhough pour utiliser l'informatique au seul niveau de combinaisons de listes de nombres, sans signification musicale. Dans cette démarche où la formalisation n'est pas un acte de composition, l'informatique lui fait gagner du temps, puisque le temps de calcul y est réduit, et la possibilité d'écoute immédiate (Ferneyhough 1999, p.115). Ferneyhough écrit : « *L'unité de l'édifice part en morceaux sous l'effet de la diversification des grammaires. Cependant, le* vocabulaire *naît toujours du même 'langage' original, fût-ce avec quelques modifications. Les* gestes *restent constants, ainsi que la continuité du matériau de surface… La forme explose par surdéfinition* » ».(cité par Melchiore, in Ferneyhough [1987], p. 85).

Certes, il est paradoxal que Ferneyhough ait récupéré *dans son trio à cordes* l'ensemble des cellules issues de la technique de permutation circulaire, plutôt que de choisir celles qu'il désirait musicalement. L'attitude informelle, poussée à l'extrême, demande peut-être de laisser vivre le matériau jusque dans son élaboration, de ne jamais le dominer. De plus, les choix d'agencement et de réalisation de ce matériau (instrumentation, modes de jeu), ont, dans le style de sa musique, des impacts musicaux plus importants que le choix des hauteurs et des rythmes. Il est également paradoxal que Ferneyhough ait publié et encouragé divers musicologues à rédiger, pour pratiquement toutes ses œuvres, une liste détaillée, un descriptif des « recettes de cuisine » employées, telles quelles, sans tentative d'en faire émerger les conséquences et les principes esthétiques, comme ce put être le cas pour les techniques dodécaphoniques, stochastiques ou spectrales. Faut-il trouver les raisons dans la sociologie d'un monde où l'analytique est primordial, où le quantitatif l'emporte sur le qualitatif et fait

« savant », où une partie non négligeable des admirateurs de Ferneyhough l'est pour ses performances techniques et ses capacités pédagogiques et intellectuelles ? Ferneyhough apporte lui-même une autre explication. Le rapport entre l'analytique très contrôlé et l'informel semble être une obsession centrale chez ce compositeur, héritier direct de Schönberg et de Webern qui l'inspirent en attitude comme en musique. Il écrit à propos du cycle des *Carceri d'Invenzione* : « *j'ai eu envie d'écrire une série de compositions qui investiguerait l'espace entre ce que j'appellerai* la composition automatique *et* la musique informelle. *Dans la musique à caractère* automatique, *il s'agit d'un processus dont il ne reste ensuite que l'évidence passée ; ce type de musique existe quand sont en jeu des systèmes tels que les sons apparaissent comme la représentation ou la mise en évidence de ces systèmes, donc de processus morts. À l'opposé, la musique* informelle *existe comme prise de position par rapport à un matériau existant, présenté (sous forme d'accords, de rythmes,..).* » (Ferneyhough [1987], p.116).

c) Ferneyhough : post-moderne ou post-structuraliste ?

Si l'ambition poïétique du compositeur est clairement affirmée dans une post-sérialité volontairement absurde et anti-formaliste, jusqu'au-boutiste comme l'était d'une certaine façon l'Ars Subtilior après l'Ars Nova, il faut par contre s'interroger sur la résolution par l'œuvre de la problématique épistémologique. Certes, la « cuisine » est volontairement absurde pour ne pas avoir d'enjeu perceptif ou compositionnel. Le résultat est-il perceptible ? Y-a-t-il un résultat perceptif propre à cette démarche ? En ce qui concerne la notation, dans le sens où le musicien ne peut jouer ce qui est écrit et, dans la pratique, simplifie et approxime les rythmes, les notes et les dynamiques, on perçoit certes à l'écoute des œuvres de Ferneyhough un sentiment particulier de tension, d'aléatoire, et une clarté de forme, mais obtient-t-on plus ? « *Le fait que la subtilité de la partition ne se communique pas de façon solide à l'auditeur à travers l'interprétation, tient peut-être – du moins en partie- à l'interprétation qui est approximativement à l'écoute des grandes lignes, oubliant que parfois le tout ne se restitue qu'en respectant méticuleusement les détails. »* écrit le chef d'orchestre Clytus Gottwald à propos de la musique de Ferneyhough (Ferneyhough [1988], p.64). Sans oublier certains passages splendides des *sonates pour quatuor à cordes* ou de *Bones alphabet,* on doit s'interroger si on entend par une telle démarche un inouï transitoire et instable, quasiment improvisé, et original. Sommes-nous immédiatement convaincu avec François Nicolas que

l'entrée du piccolo sur la clarinette à la mesure 147 de la *chute d'Icare*, pour clarinette et ensemble (1988) soit un moment favori ? (François Nicolas, in Ferneyhough [1999], p.27 à 45). Dans cette attitude de suraccumulation des techniques sérielles sur le signe sans aucun contrôle perceptif, n'a-t-on pas parfois l'impression que le paradigme informel tel que le pratique Ferneyhough est un post-modernisme, et que le résultat semble parfois aléatoire, connoté et informe ? (On étudiera dans les chapitres suivants le paradoxe de Kolmogorov-Chaitin, qui montre de façon théorique que la surabondance d'informations analytiques rend parfois la perception aléatoire, non compressible, non compréhensible et saturée).

Il y a certainement aussi, derrière les défenseurs de la musique de Ferneyhough, des motivations extrêmement diverses, et un phénomène sociologique d'appartenance « jusqu'au-boutiste » à des dogmes éprouvés de « la musique contemporaine », à l'heure où certaines de ses caractéristiques, notamment la valeur donnée à l'analytique et au verbe sont en crise. Cependant, que ce soit ceux qui défendent l'aspect informel de cette musique ou ceux qui s'intéressent aux procédures analytiques complexes, que ce soit ceux qui trouvent dans ces sonorités instables une jouissance certaine ou ceux pour qui la musique ne peut-être savante que si elle est accompagnée d'un certain nombre de signes externes savants, en particulier d'un certain intellectualisme[93], la musique et la pensée de Ferneyhough ne peuvent laisser indifférents. Il faut dire que Ferneyhough alterne savamment les positions, analysant abondamment les procédures sérielles contenues dans ses œuvres, puis rétractant cette position formaliste pure en se réclamant du dernier Adorno, professant son enseignement sur tous les continents (à San Diego puis à San Francisco aux Etats-Unis, à Freiburg puis à Darmstadt en Allemagne, à l'Ircam et à Royaumont en France, à la Scuola di Musica de Milan, au conservatoire royal de La Haye, à Akiyoshidaï au Japon) mais ne se cherchant aucun épigone, se positionnant épistémologiquement, de façon explicite, garant du modernisme contre les « post-modernes » et les néo-tonaux[94], et multipliant les références, dans ses textes et dans sa musique à Hegel, Schönberg, Webern, Adorno, Gertrud Stein, Walter Benjamin, Gilles Deleuze, John Ashebery, Habermas ou Artaud. Philippe Albera, reprenant Boulez à

---

[93] « *La complexité est le gage d'une forme musicale contemporaine. C'est là une exigence neuve, qui ne s'imposait pas du temps des grandes architectures tonales »* écrit François Nicolas, in (Ferneyhough [1987], p.57).

[94] Les mots « musique contemporaine », « modernisme », « avant-garde », « post-modernisme », « néo-tonalité », sont abondamment utilisés dans ses textes. Il écrit à propos des Carceri d'inventione : « *Ces répétitions*

propos de Schönberg, qualifie Ferneyhough de « *musicien de la surenchère* » (Albera, in Ferneyhough [1988], p.5). « *Je veux écrire une musique qui reste toujours en avance sur l'oreille, sur ses capacités qui dans l'histoire progressent de plus en plus rapidement. Je veux toujours maintenir l'auditeur en état de nervosité réceptive en sorte qu'il soit pris dans un dilemme : soit il suit au niveau d'exigence requis, soit il tourne le bouton et ne suit plus rien. J'espère qu'il n'y a pas dans cette musique de terrain moyen car je veux forcer l'auditeur à une participation soit par choix positif, soit par refus total. »* (Ferneyhough [1987], p.126).

Ferneyhough, ultra- ou post-moderne ? Sa recherche ambiguë de dépasser la note et le rythme, de remettre en question l'analytique par une utilisation exagérée et absurde de la procédure sur le signe, et de refuser les pièces à projet analytique le placent définitivement parmi ceux qui posent la question critique du signe et du sens, la question de la graphémologie et de la grammatologie de la musique savante occidentale. Marc Texier, reprenant une phrase du compositeur, qualifie Ferneyhough de « *dernier des modernes* ». Il ajoute : « *Pourtant, d'une certaine manière, la musique de Ferneyhough est post-moderne. Dans un sens critique, certes, récusant l'idée qu'il y a une égalité d'intérêt entre tous les styles pour un musicien d'aujourd'hui(…). Cependant, comment ne pas voir qu'il puise constamment dans un répertoire très vaste, de la Renaissance jusqu'au dernier Schönberg, les linéaments de la musique, et que celle-ci est avant tout une interrogation critique sur le passé ? »*

5) Lachenmann et Grisey : deux tentatives de dépasser la combinatoire traditionnelle de la note

Après les expériences de la musique concrète et les signes de crises qui marquèrent le structuralisme musical à la fin des années 60, les tentatives ont été nombreuses, en Europe et aux Etats-Unis, pour dépasser la grammatologie traditionnelle de la note dans la musique instrumentale. Jean-Claude Risset et Brian Ferneyhough restent deux compositeurs symptomatiques de ce tournant : l'un a développé une écriture informatique sur l'intérieur du son, en partant de principes acoustiques sur les partiels et les transitoires. Son objectif était de développer de nouvelles catégories perceptives, paradoxales au regard des paramètres traditionnels de hauteur et de durée auxquels est habituée inconsciemment l'oreille de l'auditeur

---

littérales sont étranges dans ce style 'd'avant-garde', ce qui fait qu'on a tendance à les mettre mentalement de côté comme on le ferait d'un élément perturbant » (Ferneyhough 1987, p.118).

occidental. Les œuvres de Brian Ferneyhough déconstruisent au contraire les techniques classiques instrumentales en sur-accumulant les techniques sérielles, sans possibilité pour l'auditeur de les percevoir, et sans possibilité pour l'interprète de réaliser exactement les hauteurs, les nuances et les rythmes, du fait de la difficulté de leur notation. Ferneyhough cherche en fait, par la complexité de son écriture, à engendrer un bruit contrôlé, composé, instable, énergique, sans hauteur ni rythme. D'une approche moins cartésienne et plus insolente que Risset, son but est cependant à peu près le même : dépasser les paramètres classiques de l'écriture musicale.

Ces deux approches symptomatiques des années 70 ne sont évidemment pas uniques. Des compositeurs comme Feldman, Sciarrino, Reich ou Murail ont, à leur manière, développé de nouvelles techniques d'écriture dépassant les procédures combinatoires sur la note, dans l'héritage de compositeurs comme Schaeffer, Stockhausen, Ligeti, Xenakis, Cage, Nono ou Scelsi. Bien avant, les bruitistes italiens, et surtout Varèse, s'étaient intéressés à une grammaire du son. Nous conclurons ce chapitre en évoquant deux compositeurs de musique instrumentale, Gérard Grisey et Helmut Lachenmann, qui ont eux aussi proposé des solutions originales. Ces deux compositeurs présentent une contradiction apparente singulière, car, s'ils emploient encore des instruments classiques, au son fixe, entretenu, et harmonique, ils proposent à l'époque de l'électroacoustique des réflexions et des techniques originales d'écriture instrumentale dépassant la note, et prospectives pour les autres compositeurs.

a) Construire l'inharmonique par la « musique de synthèse instrumentale ».

En 1973, un groupe de jeunes compositeurs français (ils avaient tous une vingtaine d'année en 1968) Tristan Murail, Michaël Levinas, Roger Tessier et Gérard Grisey, que rejoindra en 1976 Hugues Dufourt, crée un collectif en opposition à la musique post-sérielle qui, comme dit Grisey, « *confond la carte et le territoire* », alors prédominante en France dans la musique instrumentale savante. Ce jeune mouvement ne s'identifie pas non plus aux solutions trouvées à cette époque par d'autres compositeurs, comme les musiques conceptuelles expérimentales, les happening, et les musiques concrètes, approches pour lesquelles ces jeunes compositeurs, tous anciens élèves de Messiaen, reprochent le manque de réflexion sur l'écriture. Hugues Dufourt, le « théoricien » du groupe, résume leur esthétique dans son article *musique spectrale* (Dufourt [1979, rééd.1991], pp.289-294), nom qui sera

malencontreusement repris par les journalistes pour qualifier ce mouvement en le caricaturant : « *Ce travail de la composition musicale s'exerce directement sur les dimensions internes à la sonorité. Il prend appui sur le contrôle global du spectre sonore et consiste à dégager du matériau les structures qui prennent naissance en lui. Les seules caractéristiques sur lesquelles on puisse opérer sont d'ordre dynamique. Ce sont des formes fluentes, des milieux de transition dont la détermination des mouvements dépend des lois de transformation continue. On peut parler à cet égard d'une composition de flux et d'échanges. La musique se pense sous la forme de seuils, d'oscillations, d'interférences, de processus éloignés* ».

En janvier 1973 est fondé, en réaction à l'ensemble instrumental du *Domaine Musical* qui est en train de disparaître, le collectif de l'*Itinéraire* autour des compositeurs R. Tessier, T. Murail, M. Levinas, G. Grisey et H. Dufourt. Le manifeste du groupe est explicite : « *le langage et le syntagme musical s'attachent à présent à exploiter en profondeur le phénomène sonore dans toute sa complexité aussi bien harmonique qu'inharmonique* ». On assiste aux créations d'*Appels* (1974) de Levinas, de *Dérives* (1973/74), *Périodes* (1974) et *Partiels* (1975) de Grisey, et de *La dérive des continents* (1973), de *Sables* (1974) et de *Mémoire-érosion* (1976) de Murail. Hugues Dufourt écrit en préface à son oeuvre *Brisants* (1968) : « *Parce que l'écriture s'interpose entre le compositeur et le monde, la création se fourvoie en questions oiseuses. Et pour nous, la musique n'est pas ce majestueux dépotoir d'idéaux, ni cette pure grammaire du temps. C'est le monde qui inspire le créateur* (...) ». Ce groupe de compositeurs, notamment Grisey et Murail, vont proposer non seulement des œuvres mais également de nouvelles techniques d'écriture, prospectives pour d'autres compositeurs : techniques d'orchestration et d'engendrement de matériau (in)harmonique issues d'analyse acoustique et de calculs sur les fréquences effectués avec l'ordinateur ; techniques de transformation du matériau issues de l'acoustique, de la psychoacoustique et de la physique (contractions de spectres, modulation de fréquence, sons différentiels, morphing,…) ; techniques d'engendrement de processus de transformation, de structuration du temps et de la forme musicale en analogie avec l'évolution du matériau sonore ou issus de principes de psychologie cognitive ; etc…

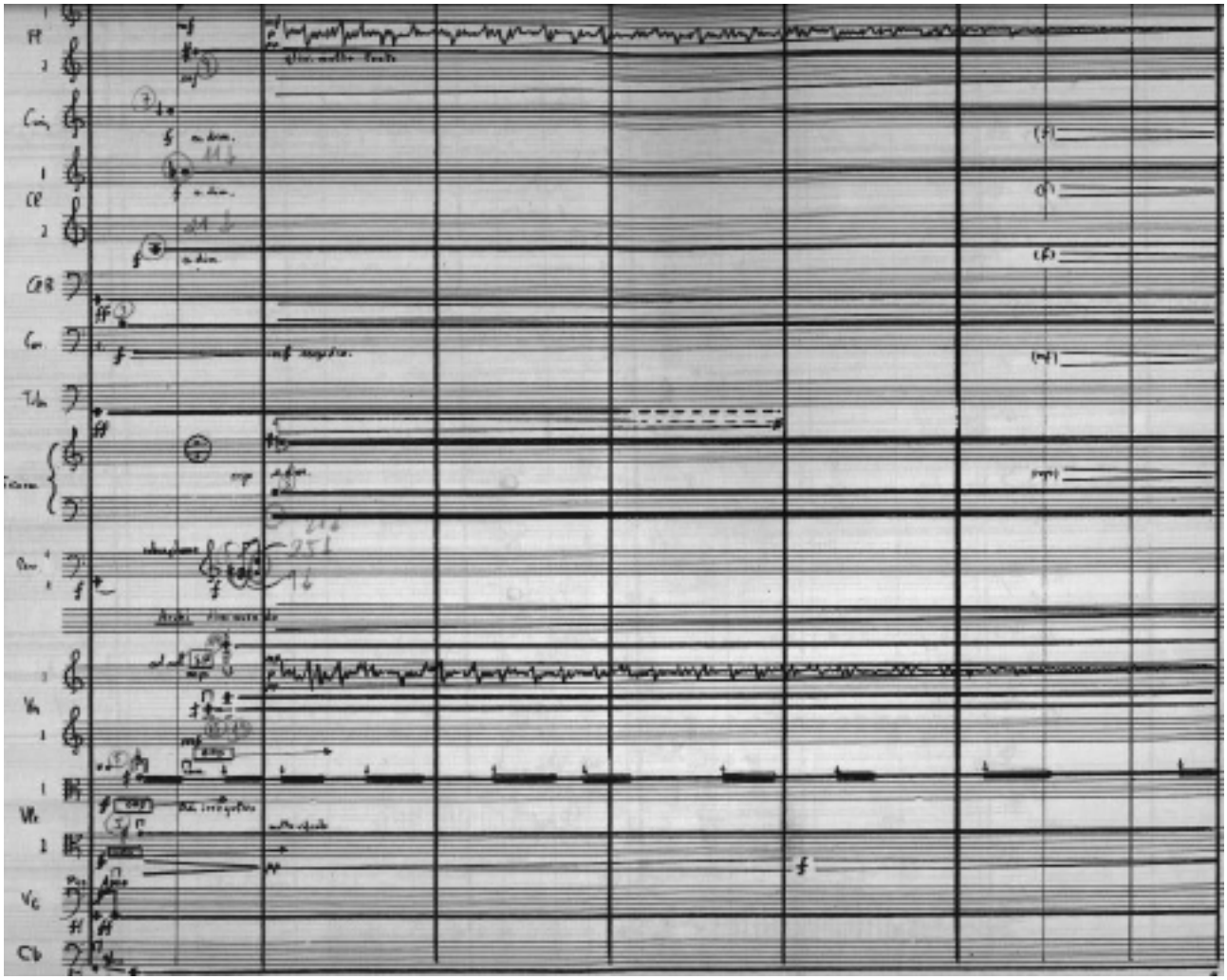


Figure III-20 : Gérard Grisey, Partiels*, pour 18 musiciens (1975), chiffre 9*

Il ne faut cependant pas réduire cette musique, notamment celle de Grisey, à une accumulation de spectres acoustiques et à un travail naturaliste sur les partiels. Le temps est au centre des préoccupations de ce compositeur, l'utilisation de spectres et plus généralement du travail en fréquence n'étant qu'une conséquence annexe bien qu'essentielle liée au matériau. Il s'agit pour Grisey et Murail de construire une musique sur des principes de fusion et non d'accumulation (la note orchestrée n'est plus une unité, mais la partie d'un tout), et de penser le temps musical, comme l'écrit Grisey, en tant que « *devenir des sons* ». *Tempus ex Machina*, titre évocateur, est une œuvre de 1979 pour six percussionnistes. C'est également le titre d'un des articles fondamentaux de Grisey, destiné aux conférences de Darmstadt de 1978 (Grisey [1983]), et peut-être enfin la devise de toute sa musique[95]. Dans cet article, Grisey développe à partir de considérations esthétiques et scientifiques un certain nombre de conceptions

[95] pour plus de renseignements sur cette esthétique, voir Baillet [2000].

prospectives sur le temps, sur les notions psychologiques de prévisibilité, de mémoire, et d'anticipation, sur les concepts de périodicité, de continu, de dynamique, de microphonie et de macrophonie, et sur les notions de temps dilaté, de temps contracté et de processus de transformation. « *Par définition*, écrit-il en conclusion, *nous dirons que le son est transitoire*. (…) *Objet et processus sont analogues. L'objet sonore n'est qu'un processus contracté, le processus n'est qu'un objet sonore dilaté.* ».

Les techniques originales d'engendrement de matériau qui découlent de l'esthétique de Grisey naissent pour partie de ce refus de réduire le phénomène sonore en une durée, en une fondamentale et en un son harmonique entretenu. Les techniques de transformation continue de ce matériau naissent du refus de simplifier le phénomène sonore en éléments musicaux discrets et d'y opérer une combinatoire abstraite. Si la notation est en apparence traditionnelle chez Grisey (bien que ce qui soit noté ne soit plus des notes, mais des partiels qui fusionnent), si la tentative semble, dans les premières oeuvres de Murail ou de Grisey, parfois primitive et un peu démonstrative, tout comme l'étaient les expériences de musique électronique de Eimert, Stockhausen ou de Risset, il y a dans cette esthétique un objectif original d'élaborer une nouvelle grammatologie du sonore, qui, à travers les notions de processus de transformation, de continu, et de flèche du temps (surprises informationnelles, superposition de temps différents, etc..), dépasse la combinatoire de la note, et demande à être développée.

Il faut noter que la notion de *processus de transformation*[96], au centre des préoccupations de Grisey, Murail et de l'école répétitive (Reich) est symptomatique, avec les lois issues de phénomènes acoustiques et psychoacoustiques, de ce retour du sujet dans l'acte compositionnel. Auparavant, dans la musique classique occidentale, le travail compositionnel nécessaire à l'élaboration du matériau était fait en amont de l'œuvre, et donc non accessible à l'auditeur. Pour reprendre les termes de la tripartition de Molino (Nattiez [1975]), le *niveau poïétique* (ébauches et activités du compositeur) était clairement séparé du *niveau neutre* (l'œuvre) et de sa perception par l'auditeur (*niveau esthésique*). Avec le processus de transformation, l'évolution progressive du matériau est clairement perceptible pour l'auditeur. Un *niveau poïétique* virtuel (un compositeur virtuel en train de transformer le matériau)

[96] Terminologie employée par Jérome Baillet (Baillet[2000]) pour les différencier des processus d'écriture

devient oeuvre (*niveau neutre*), selon un temps souvent explicite pour l'auditeur (*niveau esthésique*). Avec la notion de processus de transformation, et à la différence de la dérivation, du développement, et dans une moindre mesure, de la variation[97], les trois niveaux se rejoignent, engendrant le projet artistique.

Notons aussi que le scientisme des compositeurs spectraux n'est pas moindre que celui des compositeurs post-sériels. Outre des modèles compositionnels empruntés à l'acoustique, Gérard Grisey se réfère aux travaux de Prigogine sur l'irréversibilité du temps et à ceux de A. Moles sur la théorie de l'information. Les formes de ses oeuvres sont entièrement calculées et leurs titres ne sont pas exempts de référents scientifiques : '*Partiels*', '*Périodes*', '*Transitoires*', '*Vortex temporum*', *'tempus ex machina', 'Le Noir de l'Etoile'* (composé avec la collaboration de l'astrophysicien Jean-Pierre Luminet). Cette démarche positiviste est cependant différente de celle de Boulez, de Xenakis, ou de Barraqué, par exemple. Le structuralisme musical avait trouvé dans la science et les mathématiques (théories des ensembles et des groupes, combinatoire, stochastique), les raisons de sa validité épistémologique. Chez Grisey et Murail, il s'agit d'une autre science, plus appliquée, physique et psychologique que mathématique. Alors que dans les années 50 et 60, la science formalise les organisations de la structure et donne des indications a posteriori sur la réalisation pratique de l'œuvre, celle des musiciens spectraux est plutôt employée pour recenser et comprendre a priori la réalité perceptive et en déduire formellement, éventuellement, une structure. On passe dans les années 70, en simplifiant, d'une perception induite par la structure à une structure déduite de la perception. Ceci est également visible dans d'autres domaines, non artistiques : dans les sciences sociales en général, ce ne sont plus les courants de pensée qui projettent leur interprétation de la réalité, mais la réalité (statistique et sociologique) qui permet de déduire un modèle formalisé. Ce renouveau des démarches positivistes est cependant une caractéristique bien française (le « cartésianisme ») propre à un mouvement restreint (le « spectralisme »). Des compositeurs allemands ou ayant étudié en Allemagne, tels que Ferneyhough, Rihm ou Lachenmann, privilégient par exemple une autre voie plus « informelle », prônée par Adorno à cette époque.

[97] Dans la variation, le niveau esthésique coïncide également au niveau poïétique, c'est-à-dire que l'auditeur " assiste à un acte créatif ". Cependant, la variation est un processus par palier. Cette composition " en temps-réel " n'est donc pas l'objet premier de l'écoute, contrairement au processus.

b) La « musique concrète instrumentale », ou comment composer des bruits.

Lachenmann est d'une génération plus agée que Grisey, et son adolescence a été fortement imprégnée des principes fondateurs de la musique allemande d'après-guerre, en particulier des concepts développés par Adorno. Ce compositeur allemand, né en 1935 à Stuttgart (Allemagne), étudie la musique avec Nepomuk David dans cette ville. Il rencontre en 1957 Luigi Nono aux cours d'été de Darmstadt, dont il deviendra l'élève jusqu'en 1960. Nono, tout comme Cage et Stockhausen, ont eu une influence déterminante sur l'œuvre et l'esthétique de Lachenmann. Les influences du structuralisme musical et de la musique sérielle sont également présentes, bien qu'ambiguës : Si Lachenmann reconnaît les possibilités de renouvellement que ce système a offert après la guerre et en utilise certaines techniques de dérivation, s'il loue des pièces comme *Les structures pour piano* ou Le *marteau sans maître* de Boulez, *Gruppen* de Stockhausen ou le *Canto Sospeso* de Nono, il oppose néanmoins la force créative de l'école de Vienne à l'autoritarisme et l'intellectualisme abscons des néo-sériels des années 60. « *La beauté, c'est le refus de l'habitude* » répète-t-il souvent. Dans son essai « Zum problem des musikalisch Schönen heute » (-Au sujet du beau musical aujourd'hui- in Lachenmann[1996], p.104)., ce compositeur dénonce la pensée paramétrique des années 50, qui, en employant l'échelle tempérée, les développements linéaires et les formes connotées, se maintiendrait dans l'héritage de la pensée tonale harmonico-mélodique. Selon Lachenmann, il est important de rechercher une dialectique entre structure et son, entre structure du son et sonorité de la structure. Le concept de Tabula Rasa lui parait une utopie, puisque tout compositeur se forme à travers une histoire, dont le terreau, en tout cas en ce qui concerne les compositeurs occidentaux, puiserait irrémédiablement sa force à travers quatre héritages : a) la tonalité en tant que tradition, b) l'expérience acoustique du son, c) la structure, pas seulement en tant qu'ordre, mais aussi en tant qu'apprentissage du désordre, d) l'aura, en tant que royaume des associations, du souvenir, et des archétypes (« zum Problem des strukturalismus », in Lachenmann [1996], p.88).

Lachenmann s'est fait connaître à la fin des années 60 avec *Notturno,* pour violoncelle et orchestre (1968) et *Air,* musique pour grand orchestre et percussion solo (1968/1969). Suivent *Pression* (1969/1970) pour violoncelle, *Dal niente* (1970) pour clarinette solo, *Guero* (1970) pour piano solo, *Kontrakadenz* (1971) pour grand orchestre, *Klangschatten –mein Saitenspiel* (1972) pour orchestre à cordes et trois pianos, *Fassade* (1973) pour grand

orchestre, *Schwankungen am Rand,* (1974/1975) pour cuivres et cordes, et *Accanto* (1975/1975), musique pour un clarinettiste-solo avec orchestre. Ces pièces, inscrites aujourd'hui au répertoire, ont affirmé son style actuel. *Air* fut l'une des premières œuvres de « musique concrète instrumentale » de Lachenmann. Ce concept propre à ce compositeur est inspiré de celui de Pierre Schaeffer et adapté aux instruments traditionnels de l'orchestre. Lachenmann qualifie par cette notion une musique qui provient « *du son comme résultat caractéristique et comme signal de sa production mécanique, et d'une façon plus ou moins économique, de son énergie interne »* (cité par Nonnenmann [2000], p.21).

L'instrument traditionnel occidental, conçu pour émettre un son harmonique et entretenu, est, chez Lachenmann, détourné, non reconnaissable, et transformé en générateur de bruits et de transitoires. Les vents et les cuivres, sont employés comme générateurs de souffle, de slap, de son fendu, ou comme amplificateur de bruits extérieurs tels la percussion de la paume de la main sur l'embouchure ou les bruits de clefs. Les instruments à cordes produisent des sons écrasés sur les cordes et des bruits de souffle générés par l'archet glissant sur les chevilles, la table, le pont ou le cordier. L'extrémité métallique du talon de l'archet engendre des attaques cristallines en percutant délicatement les cordes. Ce détournement de l'instrument comme source de bruit induit un détournement de la notation musicale. L'axe temporel et les notations rythmique et dynamique sont préservés, mais les signes conventionnels de hauteurs font place à un système de signes propres commenté en page préliminaire de la partition. Contrairement à Ferneyhough, le résultat ne prend pas en compte l'inconfort de lecture pour l'interprète, qui ne présente que peu d'intérêt pour Lachenmann, à part, à la rigueur, un rôle politique annexe.

Il ne faut cependant pas réduire l'esthétique de ce compositeur à une musique bruitiste. Pour Lachenmann, « *la composition ne vise pas à utiliser des sons, mais à l'épuiser dans toutes ses ressources*» (cité par Gottwald, in Metzger [1988], p.4). Dans la notice de *Kontrakadenz*, le compositeur note : « *Ce qui sonne ne sonne pas par sa sonorité et par son emploi structurel, mais par le signalement d'un contenu concret de l'énergie déclenché par l'action du musicien, ce qui rend les conditions mécaniques et les contradictions perceptibles, audibles, proches des actions auxquelles elles sont reliées ».* À propos de son œuvre *schwankungen am Rand* (1975), pour cuivres et cordes, il écrit qu'il s'agit d'une musique

« *dans laquelle les incidences acoustiques sont choisies et organisées de telle manière que l'on attache autant d'importance à leur genèse qu'aux qualités acoustiques qui en découlent* ». La démarche est donc moins scientifique et moins formaliste que chez Grisey,. « *Je m'y connais très peu sur* [la musique spectrale]. *Je déplore que les œuvres de Grisey, Dufourt, Murail, Levinas soient si peu jouées en Allemagne. Je m'enthousiasme de leur attrait plein d'esprit et de sensualité, comme je le suis aussi pour les cultures étrangères, auxquelles je n'appartient pas. Je connais un peu mieux la musique de Gérard Grisey que j'apprécie beaucoup pour la force de l'intelligence créatrice. Mais je crois qu'aucun de ces compositeurs n'aurait apprécié d'être rangé sous le terme « musique spectrale ». (…) La « musique spectrale » comme projet stylistique ou esthétique me paraît en effet trop fermée. La pensée d'un art 'hyperconsonant' avec ses formants d'où le matériau et la forme seraient tirés m'est sympathique et proche. (…) Mais lorsqu'un système d'hyperconsonance s'occupe autant d'intervalles et de fréquences, qui proviennent d'une conception 'classique' des formants, ce qui me rappelle à la fois l'impressionnisme et le sérialisme, il me semble alors que l'idée d'une musique spectrale est une fuite vers une forme de sécurité magique, analogue à la tonalité. Et j'ai alors l'impression, que derrière l'aspect merveilleux et intéressant se cache aussi un aspect plus régressif.*». (Lachenmann [1996], p.211).

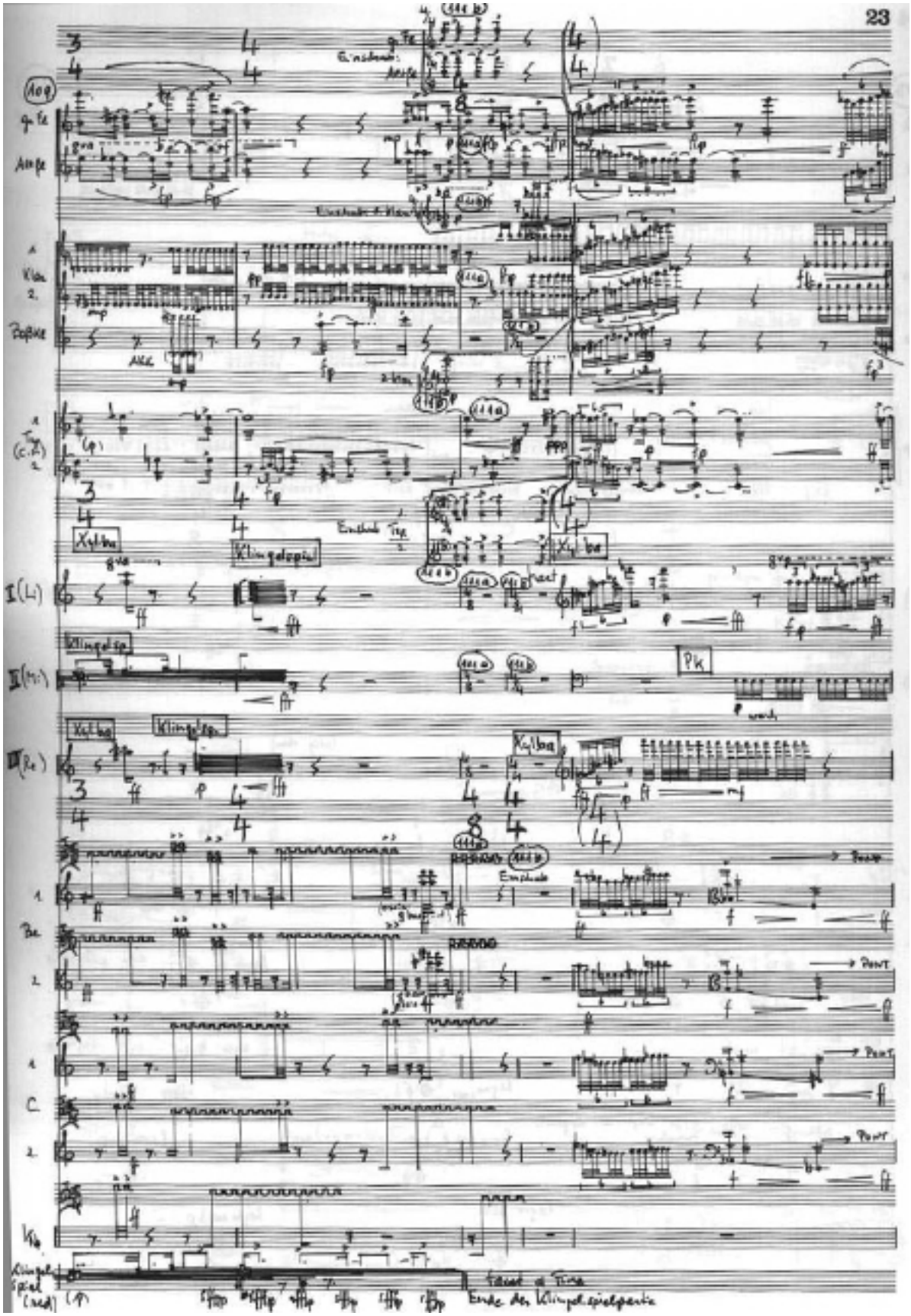



Figure III-21 : Helmut Lachenmann, Mouvement (-vor der Erstarrung), *pour ensemble (1984), mes.109*

Si la graphémologie et les matériaux utilisés sont bien plus conséquents chez Lachenmann que chez Grisey, les principes d'accumulation et d'organisation des bruits restent en revanche intuitifs ou sériels. Il en a explicité certains principes en 1966 dans une conférence pour la radio de Cologne (publiée sous le titre « Klangtypen der Neuen Musik » *in* Lachenmann [1996], p.6). Chez Lachenmann, les sons sont d'abord représentés mentalement par leur courbe d'intensité (par exemple un gong est un pic suivi d'une résonance), puis additionnés intuitivement, sans recours à la technologie et sans prendre en compte les autres dimensions acoustiques. La partition est alors composée, horizontalement et verticalement, selon ce principe intuitif. Les techniques d'organisation et de succession des modes de jeu sont parfois plus graphiques ou combinatoires, comme dans *Klangschatten – Mein Saitenspiel* (1972). Dans d'autres œuvres, des citations non reconnaissables (par exemple la citation déconstruite de l'hymne allemand, d'une chanson enfantine *lieber Augustin* et de la Sicilienne de l'oratorio de Noël de Bach dans *Tanzsuite mit Deutschlandlied*) servent de squelette à certains passages. Lachenmann, comme Ferneyhough, est en effet influencé par le concept de *musique informelle* d'Adorno, et nous faisait, lors d'une rencontre privée, partager sa crainte que trop de positivisme pouvait parfois empêcher le contrôle plein du résultat perceptif des calculs[98]. Ces deux compositeurs puisent en fait leur matériau musical d'un travail de déconstruction informelle plus que de construction formaliste. La logique doit rester purement musicale. *« Composer veut dire: a) réfléchir sur les moyens* (…) *b) construire un instrument (…) c) ne pas se laisser aller, mais se laisser venir* » écrit-il (Lachenmann [1996], p.74, également dans Buci-Glucksmann & Levinas [1993], p.239)

Un autre aspect de cette esthétique, lié au travail de déconstruction et d'élaboration de musique informelle, est son message politique. En pleine révolte estudiantine de 1968, le détournement de l'orchestre dans *Air* et *Notturno* ne visait pas seulement, comme chez Grisey, une recherche positiviste pour dépasser le son classique. Il correspondait également à « *un refus et une protestation contre l'orchestre culinaire endormi* » (Lachenmann cité par Nonnenmann [2000], p.55). Il y a un sens moral affirmé dans la musique de cet ancien élève de Nono, fils de pasteur comme il l'affirme volontiers, pour qui l'artiste garde une responsabilité

face à l'histoire et à la situation sociale. Chez Lachenmann, l'attitude de dissidence doit être esthétique : il faut détourner et provoquer le contexte bourgeois de la musique classique en utilisant et en déconstruisant des formations connotées (quatuor à cordes, concerto, orchestre) et des citations de référence. Pour Lachenmann, il faut toujours choisir le chemin le plus difficile, faire de la *nicht-Musik*.. « *Vous* [les artistes] *savez que vous avez une mission à accomplir. C'est la conséquence inévitable d'un temps révolutionnaire de l'art, et il n'est pas possible de fuir ce temps pour se réfugier dans l'art pur, dans la tour des elfes, où il n'y a plus d'art pur* » écrivait l'écrivain d'inspiration marxiste Christopher Caudwell, dont Lachenmann reprend le commentaire dans *Salut für Caudwell* (1977), pour deux guitaristes.

Lachenmann est certainement un compositeur symptomatique des années 70, héritier à la fois de Nono et de Schaeffer, relativement proche dans sa démarche de Ferneyhough comme de Grisey. Cependant, alors que Ferneyhough adopte une attitude ambiguë de fascination du signe jusqu'au-boutiste et pseudo-structuraliste, même s'il la justifie a contrario par le concept de « musique informelle », Lachenmann et Grisey s'inscrivent dans un désir de nouvelle écriture dépassant les signes classiques discrétisés et paramétrisés de la note sur une partition, et prenant en compte la perception et la complexité du phénomène sonore. Les démarches de Grisey et de Lachenmann restent toutefois différentes : Lachenmann aborde frontalement, par les modes de jeu employés, les catégories du son non-harmonique et transitoire. Le résultat perceptif est conséquemment inouï, enrichi par accumulation d'éléments bruités, totalement concret, sans presque aucune connotation de musique instrumentale classique, si ce ne sont les effectifs employés et certains rythmes utilisés. De plus, Lachenmann adapte la graphémologie de son écriture à son projet, et élabore un système de notation propre. Enfin, il privilégie une démarche moins formaliste, moins scientifique. Sa grammatologie est en conséquence plus intuitive que celle de Grisey, comme l'était celle de la musique concrète, ou basée sur des techniques combinatoires et sérielles empruntées, qu'il déconstruit ensuite comme Ferneyhough. La démarche de Grisey, comme celle de Risset ou des compositeurs allemands de musique électronique, semble au contraire plus positiviste[99]. L'inharmonique est atteint par construction scientifique, par synthèse d'éléments fusionnés souvent harmoniques. Chez

[98] Entretiens personnels à Berlin en 2002 ; Lachenmann prenait l'exemple de Xenakis qui, malgré une technique cohérente, sonnait parfois « exotique, romantique, sériel, ou aléatoire ».

Risset comme chez Grisey, le résultat reste plus proche de son domaine de recherche de départ (les sons sont entretenus), et parfois plus démonstratif. Ces deux compositeurs ont également en commun d'ouvrir une pensée du continu. La graphémologie traditionnelle est en apparence conservée chez Grisey, bien que les systèmes de portée n'aient plus le rôle d'accumulation mais celui de transcription d'un sous-élément qui fusionne. Par contre, de nouvelles techniques grammatologiques sont, chez ce compositeur comme chez Risset, explicitées, élaborées, validées scientifiquement (rendues réfutables), et prêtes à être développées par d'autres.

On peut s'interroger sur le fait que Grisey et Lachenmann, tous deux pourtant conscients de la crise de la grammatologie traditionnelle et marqués par la musique électroacoustique, aient conservé les moyens traditionnels de notation (la partition) et de production de son (les instruments de l'orchestre) pour élaborer leur nouvelle écriture. Il est certain que leur formation de compositeur de musique instrumentale les incitait à demeurer dans ce domaine. Mais leur sens de la recherche et du dépassement ne peut se contenter d'une telle explication. Il faut plutôt la chercher, selon nous, dans les capacités d'écriture (graphémologique comme grammatologique) encore trop limitées qu'offrent les nouvelles technologies. En effet, si les moyens électro-acoustiques numériques proposent théoriquement aujourd'hui la possibilité de « tout écrire » et de « tout retravailler », les méta-techniques d'écriture restent encore pauvres, sauf pour ceux qui, comme Risset ou Chowning, acceptent de passer par le code informatique quelque peu abscon. Les logiciels existants n'offrent en effet pas encore d'interface généralisée aussi facilement manipulable pour un compositeur que la partition pour intervenir symboliquement ou visuellement, rapidement et musicalement, sur tous les paramètres du son[100]. L'enjeu, pour la jeune génération de compositeurs et de théoriciens, consiste certainement à élaborer à l'avenir, grâce à la technologie, de nouvelles graphémologies du sonore, afin de réconcilier et développer plus avant à la fois les techniques de fusion du son et de transcription des partiels acoustiques de Grisey et de Murail, et le travail sur les sons bruités et inharmoniques de Lachenmann et Sciarrino. Cela permettra de s'affranchir définitivement de la pensée contraignante de l'intervalle, de la hauteur fixe, et du

[99] Noter, sur ce plan et sur ce plan seulement, le croisement franco-allemand d'une génération à l'autre : Lachenmann 'héritier' (en simplifiant) de Schaeffer, et Grisey et Risset de Stockhausen.

[100] Les filtrages, mixages, et transpositions se font par exemple encore « à la main » sur la plupart des logiciels de « montage du son » (*protools, Logic Audio, Cubase*). A part la stéréophonie pour laquelle il existe un outil

son harmonique sans passer par des « artifices » comme le faisaient Lachenmann ou Grisey (notation sur une partition de bruits ou de partiels). L'enjeu consiste ensuite à élaborer, grâce à l'ordinateur et la recherche, une nouvelle grammatologie issue de phénomènes acoustiques, psychologiques et des sciences cognitives (induction, surprise, apprentissage, etc..), et plus généralement des interfaces permettant à l'imagination particulière de tel ou de tel compositeur singulier de s'accaparer ces nouveaux moyens de transcription et d'en faire un outil de création.

Et aujourd'hui, vingt ans après les premières expériences de Risset, Ferneyhough, Lachenmann ou Grisey, et cinquante ans après celles de Schaeffer, où en est la problématique de dépasser la grammatologie traditionnelle ? Il semble que la vague « post-moderne » ait touché jusque la musique expérimentale, en particulier son rapport à la science et au progrès. Les compositeurs de musique savante ont perdu dans les années 90 le monopole de la technologie musicale, que s'accaparent les compositeurs de musique populaire[101]. De plus, la recherche sur les technologies musicales ne peut plus être effectuée par des 'compositeurs-chercheurs', car les compétences nécessaires se spécialisent (la séparation est nette, par exemple à l'IRCAM, entre scientifiques et compositeurs, et entre les centres d'intérêt de la recherche scientifique et ceux de la recherche musicale). La technologie se banalise, n'est plus gage de modernité, et son attrait s'amenuise parfois chez les compositeurs de musique écrite. Ainsi, un compositeur comme Lachenmann la refuse pour le symbole d'aliénation sociale qu'elle représente. Un autre changement touche à l'axiome de progrès. Après les luttes esthétiques des années 70 et 80, la décennie 90 vit à l'heure d'un certain pragmatisme et de la réconciliation, notamment du fait de l'arrivée d'une génération plus jeune (P. Hurel, M.-A. Dalbavie, M. Stroppa, F. Durieux, P. Leroux, G. Pesson, H.-P. Kyburz, B. Furrer,…) se réclamant d'un héritage multiple. Ceci se traduit par une attitude moins prescriptive et normative chez ces compositeurs revendiquant pourtant une attitude « moderniste », et par l'emprunt mieux accepté de gestes du passé (la harpe du deuxième mouvement des Q*uatre Chants pour franchir le seuil* de G. Grisey; le titre et l'utilisation madrigaliste de la voix de cette oeuvre; les concertos pour violon et piano de Ligeti; les oeuvres récentes de Dalbavie). Il

---

grammatologique symbolique (la ligne <L-R>), une écriture de l'espace sur plus de trois canaux doit encore se faire par copiage/collage manuel ou en passant par des logiciels spécialisés.

s'agit de relativiser des systèmes plutôt que de les faire progresser. La fin de la deuxième guerre mondiale et sa *'tabula rasa'* date en effet de plus d'un demi-siècle. La notion de recherche scientifique et de renouvellement en composition semblent donc s'essouffler, ou tout du moins s'individualiser et se relativiser, et ne sont plus les seuls critères de validité de l'œuvre de musique savante. Cependant, seul le recul permettra de mieux comprendre les évolutions épistémologiques des années les plus récentes.

6) Conclusion

Les réflexions et les esthétiques des artistes reflètent en partie la pensée de leur temps, si elles n'y participent pas elles-mêmes. Certes, il est délicat et réducteur de généraliser des attitudes compositionnelles, alors que la deuxième moitié du XX^{ème} siècle a abondé en initiatives personnelles et novatrices. De plus, l'œuvre n'a jamais été résumée par la technique et la pensée analytique qu'elle utilise. En effet, le principe sériel généralisé comme le principe spectral pourraient par exemple apparaître extrêmement naïfs à l'amateur comme au théoricien le plus savant : « *c'est une erreur de croire que l'on peut déduire des règles de composition de phénomènes comme celui de la série des harmoniques* » (Dahlhaus [1985], p.76). C'est se méprendre sur l'importance de la procédure dans l'œuvre, alors que la finesse des oeuvres résultant de ces principes plus inspirateurs que scientifiques importe seule et marque son temps. Après tout, on ne pouvait trouver technique contrapuntique plus naïve que celle du canon. Il ne s'agit pas non plus ici de critiquer, grâce au regard facile que procure l'Histoire, les inventions parfois excessives des aînés, mais de comprendre les différentes articulations esthétiques d'une même époque. L'objectif est une construction et une compréhension par réduction et croisement historique, même si cette méthode musicologique réductive[102] est condamnable et doit être appliquée avec nuances.

Les différents chapitres de cette première partie ont tenté de poser les bases de la problématique de la complexité analytique en musique. Il en résulte plusieurs hypothèses :

- La complexité analytique est calculable par diverses méthodes, selon que l'on représente la procédure analytique par un graphe de transformation (complexité statique) ou

[101] Le phénomène n'est cependant pas nouveau. Des artistes comme Pink Floyd, Tomita, ou Tangerine Dream sont allés très loin dans la maîtrise des technologies dans les années 70 et 80.

comme la composée de transformations élémentaires (complexité dynamique). La complexité statique peut elle-même se définir de différentes façons parfois contradictoires (complexité cyclomatique, géographique) et la complexité dynamique dépend de la décomposition choisie.

- Il existe une autre complexité calculable, la complexité de Kolmogorov-Chaitin, et ses dérivées (complexité de Bennett). Elle correspond à la longueur du plus court programme permettant de réengendrer une chaîne d'information. Il s'agit d'une complexité de réception par une machine universelle de Turing. Cette notion de complexité sera approfondie et utilisée ultérieurement.

- Ces différentes complexités analytiques dépendent de la représentation analytique de l'objet musical : choix des variables et des constantes ; schématisation de la transformation ; désignation des paramètres pour décrire l'objet (temps, fréquence, intensité par exemple) ; sélection d'unités de mesure relatives à ces paramètres ; choix d'un alphabet discret afin d'ordonner ou de quantifier les sous-dimensions de chaque objet ; réduction et abstraction de l'objet à des écritures logico-textuelles. Ces abstractions sous forme de signes réducteurs de l'objet musical sont intimement liées aux modalités de la pensée analytique de la musique occidentale, c'est-à-dire d'une pensée cartésienne, fonctionnelle et portée par une écriture autonome.

- Cette écriture a induit une graphémologie et une grammatologie conséquentes, qui connaissent aujourd'hui leurs limites logocentriques et ethnocentriques, notamment avec l'apparition des musiques sur support qui ont proposé d'autres graphémologies et d'autres grammatologies, et avec l'ouverture aux musiques de tradition orale d'autres cultures.

- S'il est impossible de parler d'ineffable, il est envisageable d'étudier avec des moyens scientifiques les « clôtures » de la pensée analytique en musique, notamment depuis l'émergence des théories de l'information et de la complexité. On peut en particulier approfondir cette relation dialectique en s'attachant au rapport entre la complexité analytique et la complexité perceptive. Cette approche logocentrique porte évidemment ses propres limites qu'il est nécessaire de compenser par l'explicitation de méthodes moins scientifiques comme des paradoxes de l'analytique et des réalisations purement musicales.

---

[102] " *Toute tentative pour connaître quelque chose de l'homme doit d'abord passer par une réduction de l'expérience à un système de marques corrélatives* ", Gilles Gaston-Granger, *Pensée formelle et science de l'homme*, Paris, Aubier-Montaigne, 1967.

- La complexité analytique est en définitive une complexité de la perception analytique qu'on a de l'objet musical. Inversement, la perception est cognitive, basée sur des structures profondes (Chomsky, Piaget). En ce sens, la perception est une écriture cognitive. Les rapports entre complexité analytique en tant que complexité de la perception analytique, et complexité perceptive en tant que complexité analytique de l'algorithme réengendré par l'auditeur proposent ainsi une dialectique dépassant une approche purement computationnelle et psychoacoustique de ces complexités.

Les deux parties qui suivent tentent, de façon plus appliquée et opératoire, d'étudier le rapport entre complexité grammatologique et complexité aperceptive. Dans un premier temps, nous considérerons un auditeur « universel » cherchant inconsciemment à comprendre et interpréter l'algorithme compositionnel traduit à travers l'écoute de son résultat sonore (section B). Puis nous considérerons un auditeur plongé dans sa culture, ses conventions, et son comportement (section C).

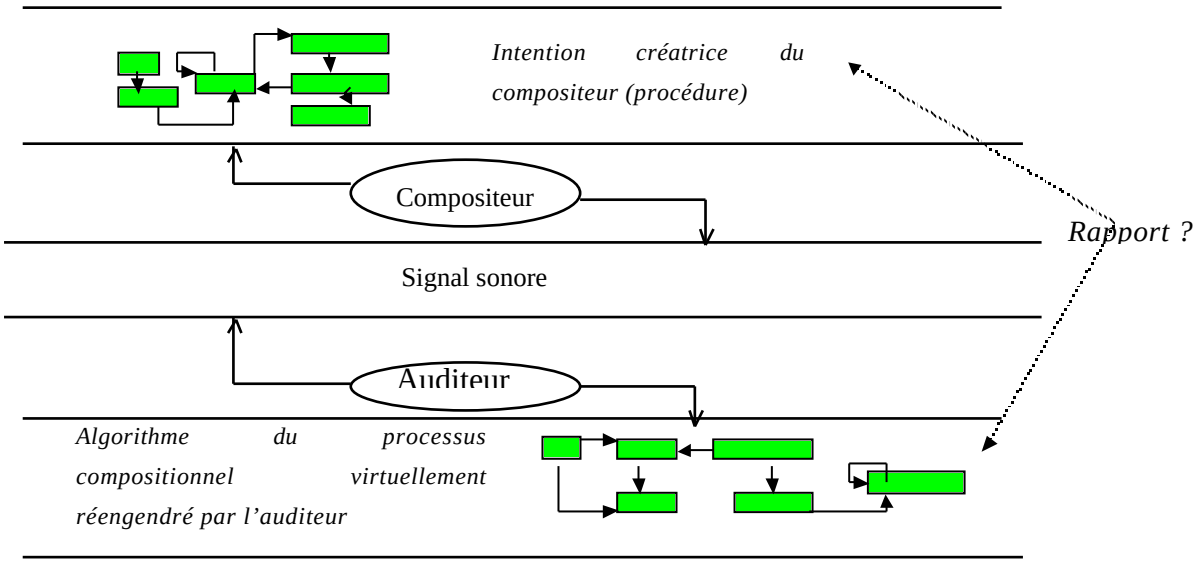


Schéma III.22 : processus de compréhension et processus de composition.

SECTION B - DE L'ECRITURE QUI PENSE À LA PENSEE QUI S'INSCRIT : LA COMPLEXITE, ENTRE PROCEDURE ET PERCEPTION

I.- DE LA PROCEDURE À SA PERCEPTION : CONCEPTS THEORIQUES

Une fois les fondements liés à la complexité grammatologique posés, il est possible de la mettre en rapport avec la complexité aperceptive. Ce chapitre expose les concepts théoriques essentiels, notamment de théorie de l'information et de théorie de la complexité, pour définir ce rapport. Une première thèse sera ensuite défendue sous la forme d'un paradoxe général et de l'énonciation de huit principes fondamentaux.

1) La théorie de l'information

a) L'intelligence artificielle

On fixe la naissance de l'Intelligence artificielle à la réunion de Dartmouth College, dans le New Hampshire. A cette réunion se trouvaient J. McCarthy, qui inventa l'expression *d'Intelligence Artificielle*, M. Minsky, A. Newwell, H. A. Simon (prix nobel d'économie en 1978) et J. C. Shaw. Le terme *Intelligence artificielle* qui consacre aujourd'hui cette discipline prête souvent à confusion : il ne s'agit pas que les machines pensent avec une intelligence similaire à celle des humains. Des termes comme *simulation cognitive, science de l'artificiel,* ou *informatique de la complexité* semblent mieux adaptés (Daön [1994], p.5). L'intelligence artificielle dite *forte* a deux objectifs de scientificité : s'énoncer clairement et être réfutable.

En 1943, le neuropsychiatre McColloch et le mathématicien Pitts publient un article qui fonde la cybernétique, c'est-à-dire la science de l'informatique :

- La logique formelle, élaborée par des penseurs tels que Leibniz, Boole, Frege, Peano, Russel ou Hilbert, fournit le modèle mathématique d'un cerveau composé d'unités élémentaires, les neurones. Dès 1937, Shannon avait établi le lien entre électronique, calcul binaire et analyse symbolique.
- La théorie des systèmes repose sur des principes généraux gouvernant tout système complexe (décomposition du système en sous-systèmes, principe de rétroaction, etc..)
- La cybernétique est transdisciplinaire

Après un développement rapide de ces deux disciplines juste après la guerre et dans les années 50, les désillusions sur les espoirs annoncés font jour dans les années 60, avant que des avancées techniques majeures et pratiques (invention du microprocesseur par Intel en 1973, développement de langages de programmation comme le PROLOG ou le LISP[103]) réorientent la discipline vers des applications moins utopiques.

b) La théorie de l'information

La théorie de l'information fut inventée en 1948 par le mathématicien américain Shannon, dans un article de la revue *The Bell System Technical Journal*. Pour Shannon, un système émettant et recevant une information peut se schématiser avec les éléments suivants :

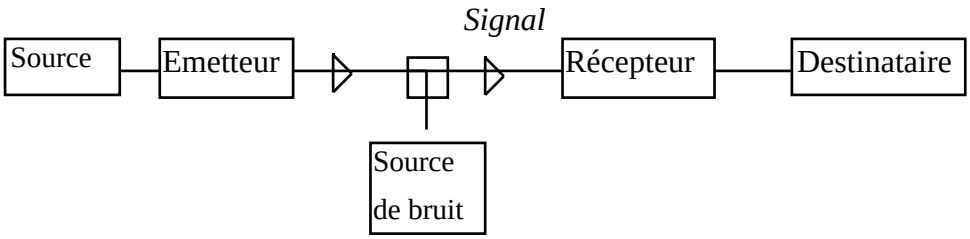
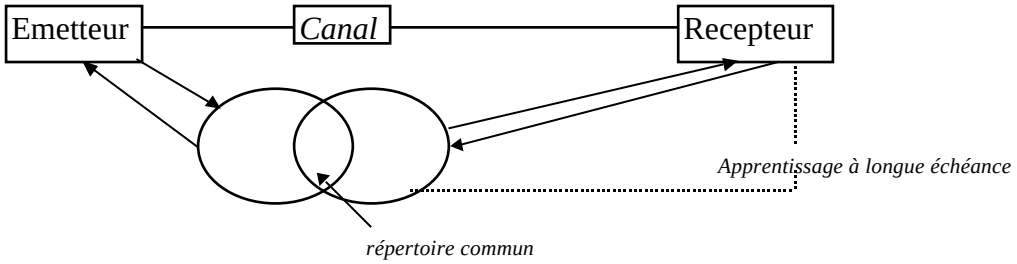


Schéma I.1 : Modèle d'une communication, selon Shannon.

Ce schéma a été assez rapidement appliqué aux échanges d'informations culturelles. Abraham Moles, pionnier en France de la théorie de l'information, esquisse le schéma suivant, appliqué à la musique (Moles [1964]) :



qui se schématise plutôt, dans la pratique, par :

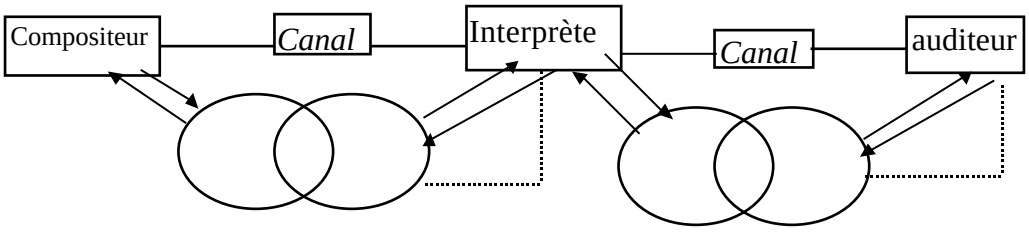


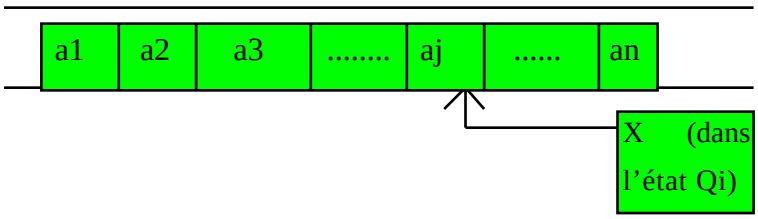
Schéma I.2 : Modèles de transmission de l'information musicale, selon A.Moles [1964].

[103] Le LISP a cependant été inventé dès 1958 par McCarthy au MIT. Le PROLOG et la programmation logique datent des années 70

Le linguiste R Jakobson exprime un concept similaire lorsqu'il écrit : « *En s'inspirant de la théorie de l'information (...), ce qui permet la communication dans le langage humain c'est l'existence d'un code commun au locuteur et au récepteur* » (Jakobson [1963], p.353). On remarque que A. Moles fait intervenir dans son modèle la notion d'acquis culturel qui correspond à l'intersection des deux répertoires, ainsi que la notion d'apprentissage à longue échéance (lignes pointillées). Lorsque cette intersection est égale à la réunion, l'écoute est dite "**banale**" selon Moles, alors qu'elle est dite "**inintelligible**" lorsque l'intersection est nulle. Nous développerons en détail ces considérations dans la partie C.

c) La machine universelle, dite machine de Turing

Quel que soit l'automate employé (ordinateur, auditeur, instrument) pour la réception de l'information, le mathématicien Alan Turing (1912-1954) a démontré sur un plan formel, en 1936, qu'il existe des mécanismes universels de calcul, de concaténation de l'information, et de perception. On représente une Machine de Turing par une machine composée d'un ou de plusieurs rubans découpés en cases, parcourus par des têtes de lecture/écriture, qui peuvent se déplacer à gauche ou à droite du (des) ruban(s).



Schema I.3 : Représentation d'une machine de Turing

Note informatique :

Une machine de Turing a pour fonction de :

i) lire un carré de la bande

ii) écrire dans un carré

iii) déplacer la bande à gauche ou à droite

Un machine de Turing est donc la donnée :

i) d'un alphabet fini A (l'automate doit connaître le code de lecture de la bande)

ii) d'un ensemble non vide d'états Q

iii) d'une fonction d'impression g : QxA --> A

iv) d'une fonction de transition f : QxA --> Q

v) d'une fonction de déplacement d définie sur QxA à valeur dans un ensemble à deux éléments (Gauche, Droite)

vi) d'un état de départ Q_0

vii) d'un sous-ensemble F de l'ensemble des états, appelé ensemble des états finis.

À un instant donné, la machine est dans l'état Q_i. Elle lit le symbole a_j qui est dans cette case. Elle inscrit un résultat a_{ij} sur un second ruban, dit ***ruban d'écriture*** *ou* ***ruban de résultat****. Elle se déplace d'une case dans le ruban de lecture, et passe à l'état Q_{ij};*

Une machine de Turing non déterministe est définie de façon analogue à la machine précisée ci-dessus, sauf que l'on dispose :

i) de k fonctions d'impression $g_1, g_2, \ldots, g_k$ au lieu d'une seule

ii) de k fonctions de transition $f_1, f_2, \ldots, f_k$ au lieu d'une seule

iii) de k fonctions de déplacement $d_1, d_2, \ldots, d_k$ au lieu d'une seule.

Par ses recherches, Turing a tenté de réfléchir en quoi un raisonnement logique est fini, et comment la pensée provoque des inférences logiques, de façon consciente ou inconsciente. L'inconscient est d'ailleurs, pour Turing, un effet de vitesse, dans le sens où le conscient serait un mécanisme s'arrêtant à chaque étape, dont la limite serait la mémoire. Chez Turing, la pensée, qu'elle soit consciente ou inconsciente, calcule, avec pour contrainte la finitude de la mémoire. Cette hypothèse centrale est celle que nous reprendrons tout au long de l'étude, lorsque nous considérerons que l'auditeur perçoit la musique en compressant l'information (calcul inconscient de la pensée, hypothèse cognitiviste), et que la complexité perceptive d'une oeuvre est liée aux limites de compression de cette information (finitude de la mémoire, saturation cognitive). Cette compréhension/compression est inconsciente, sauf dans le cas d'une explicitation par un tiers des catégories en métalangage logico-textuel, qui ralentit parfois la vitesse de compression mais permet la communication. Les travaux de Turing ont en fait déplacé la limite entre sciences humaines et sciences exactes.

d) Le contenu brut en information

Dans le cas d'une machine de Turing, l'automate lit un certain nombre d'informations sur une bande exprimée dans un alphabet particulier (c'est le morceau de musique écouté par l'auditeur). L'alphabet latin comporte ainsi vingt-six lettres. On pourrait très bien imaginer un alphabet de deux lettres seulement, appelé alphabet binaire. Il serait alors possible d'exprimer la même chose dans ce nouvel alphabet, mais chaque mot serait beaucoup plus long, pour un contenu équivalent. Le contenu brut en information représente l'information contenue dans une chaîne d'information, quel que soit l'alphabet, et la quantité d'information mesure la taille du

contenu brut d'information**. La quantité d'information n'est donc pas égale à la longueur de la chaîne**, ceci paraissant évident avec l'exemple des deux alphabets ci-dessus.

Dans un alphabet ne comprenant que **deux caractères** (par exemple 0 et 1), on montre[104] que la quantité d'information d'une chaîne de longueur n est **n**. Lorsque l'alphabet possède **m caractères**, on démontre que la quantité d'information est :

n.[ln(m)/ln(2)]

où *ln* représente le logarithme népérien[105].

Note math. : démonstration (J.Oswald [1986]) :

** Supposons l'automate de lecture de la bande capable de saisir m états différents. Soit f(m) la quantité d'information que peut contenir une case.*
** Supposons d'abord m=1. Si la case ne peut avoir qu'une seule valeur, il est évident que la lecture de cette case n'apportera aucune information. donc f(1)=0*
** Supposons maintenant que la case peut contenir deux sortes d'informations, 1 et 2. Le rôle de l'automate est de faire le tri entre les cases dans l'état 1, et celles dans l'état 2. On pose f(1)=0, et f(2)=1.*
** Considérons maintenant que le tri que fait l'automate consiste à itérer une répartition des états entre deux classes (par exemple pour m=12, états supérieurs ou inférieurs à 6, puis, si inférieurs à 6, supérieurs ou inférieurs à 3, etc...). Cette méthode peut être itérée jusqu'à son terme si m est une puissance de 2 : $m=2^i$.*
(ceci signifie en fait que pour une chaîne de m choix d'états, on est en présence de ln(m)/ln(2) dilemmes pour y arriver).
On admet ici le caractère additif de la quantité d'information :
donc f(m)=f(2) + f(m/2)
f(m/2)=f(2) + f(m/4)
…
$f(m/2^{i-1})=f(2)+f(m/2^i)$

d'où $f(m)=i.f(2)+f(m/2^i)$
dans le cas où $m=2^i$, on obtient $f(m)=i.f(2)+f(1)=i$
or $i=ln(m)/ln(2)$ d'où le résultat. Du fait de la propriété du log, ce résultat s'applique aussi aux rationnels, donc pour m non puissance entière de 2.
** supposons le cas où l'automate ne lit pas une case mais n cases. On peut considérer que l'automate lit une case à l'état présent connaissant les n-1 états précédents de quantité d'information f'.*
donc f(m)=ln(m)/ln(2) + f'
Par récurrence on obtient, du fait de l'équiprobabilité dans chaque case de lire m caractères :
f(m)=nln(m)/ln(2) *(c.q.f.d.)*

Dans cette formule, *n* caractérise le nombre de situations successives indépendantes. *ln(m)/ln(2)* est parfois appelé degré de complexité, ou facteur d'intensité, ou **densité diacritique du système,** car il caractérise le nombre d'états différents que peut prendre le

[104] *puisque toute chaîne binaire de longueur n peut être exprimée de façon unique en base décimale par un nombre inférieur ou égal à n*
[105] Cette formule reste cependant vérifiée dans toute base, du fait de la fraction.

système. La **densité diacritique** est également appelée **entropie** par ceux qui cherchent à rapprocher cette notion de celle d'état de perturbation d'un gaz en thermodynamique. La quantité d'information est mesurée en **digits**, et la densité diacritique en **shannon**.

Prolongement scientifique :

La formule de la quantité d'information ci-dessus est valable si l'automate ne sait a priori pas qu'une lettre va sortir plus que l'autre dans la case a_i : tous les états sont dits ***équiprobables****. Supposons que la machine de Turing ait connaissance d'un peu plus d'informations, et qu'elle connaisse en particulier la probabilité p_i d'apparition de l'état Q_i dans la case a_i . La formule devient :*

$$f(m)=n.\Sigma_{1=1\ à\ m}\, p_i.[ln(1/p_i)/ln(2)]$$

(le symbole $\Sigma_{1=1\ à\ m}$ signifie: sommation pour i allant de 1 à n du terme à droite)

Lorsque la probabilité d'apparition de chaque état dépend non pas d'une occurrence, mais de plusieurs valeurs, par exemple d'un couple de valeurs (a_i,b_j), on note $Prob(x = a_i, y = b_j) = p_{ij}$ et la formule se généralise en :

$$f(m)=n.\Sigma_{1=1\ à\ m,}\sum_{j=1\ à\ n} p_{ij}.[ln(1/p_{ij})/ln(2)]$$

Ainsi, une phrase musicale de n notes, monodique et atonale (c'est-à-dire où les notes ont toutes la même probabilité d'apparition), aura une quantité d'informations égale à : n.(ln(12)/ln(2)) (environ 3,585.n) si l'on considère qu'il y a 12 notes dans la gamme quelle que soit l'octave, ou n.(ln(88)/ln(2)) (environ 6,46.n) si l'on considère chaque note du piano (88 touches) en tant qu'entité autonome.

Il faut éviter une confusion fréquente : la quantité d'information ne calcule pas le nombre de possibilités d'un mot de n caractères constitué par un alphabet de m lettres. On peut constituer 456.976 mots de quatre lettres de l'alphabet romain (26 lettres), qui auront une quantité d'information de 18,80 digits [= 4.ln(26)/ln(2)]. On peut constituer 479.001.600 séries dodécaphoniques, qui auront une quantité d'information de 43,02 digits [= 4.ln(12)/ln(2)]. La quantité d'information reflète en fait le nombre de cases élémentaires que la chaîne occuperait dans la mémoire d'une machine universelle de Turing (la taille d'un fichier informatique).

En psychologie appliquée à l'information musicale, la quantité d'information mesure donc, en digits, la capacité du cerveau que l'auditeur doit réquisitionner pour mémoriser la phrase musicale si aucun outil de facilitation de la mémorisation ne réduit artificiellement la taille de la chaîne (acquis culturels, références, répétitions,

procédures de compression). Il est clair que le contenu brut en information ne détermine pas non plus la valeur qualitative de l'information.

e) La densité diacritique d'un langage

Un message est constitué de mots qui véhiculent un langage. Certains langages sont plus aptes que d'autres à transmettre de l'information. On a vu qu'un alphabet de vingt-six caractères était plus efficace pour communiquer qu'un alphabet de deux lettres (mais il prend plus de mémoire dans la machine). Ceci est également vrai pour deux langages avec le même nombre de caractères, mais dont les probabilités d'apparition des lettres diffèrent.

On rappelle que **la densité diacritique** correspond au terme $\Sigma[p_i \ln_2(1/p_i)]$, (ou $\Sigma[p_{ij} \ln_2(1/p_{ij})]$), c'est-à-dire à **la quantité d'information par case de lecture**.

La langue française et la langue anglaise possèdent toutes les deux, en approximant, c'est-à-dire sans tenir compte de la ponctuation, ni des signes d'accentuation qui n'ont pas de rôle primordial d'intelligibilité, vingt-six lettres et l'espace, soit vingt-sept symboles. Cependant, les probabilités d'apparition des lettres diffèrent :

Lettres	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**	**J**	**K**	**L**	**M**	**N**
P_i anglais	0.0642	0.0127	0.0218	0.0317	0.1031	0.0208	0.0152	0.0467	0.0575	0.0008	0.0049	0.0321	0.0198	0.0574
P_i français	0.0690	0.0068	0.0285	0.0339	0.1428	0.0095	0.0098	0.0048	0.0614	0.0024	0.0006	0.0467	0.0222	0.0650

Lettres	**O**	**P**	**Q**	**R**	**S**	**T**	**U**	**V**	**W**	**X**	**Y**	**Z**	**Espace**
P_i anglais	0.0632	0.0152	0.0008	0.0484	0.0514	0.0796	0.0228	0.0083	0.0175	0.0013	0.0164	0.0005	0.1859
P_i français	0.0464	0.0261	0.0104	0.0572	0.0624	0.0580	0.0461	0.0104	0.0005	0.0035	0.0018	0.0006	0.1732

cité par Oswald [1986]

Tableau I.1 : probabilités d'apparition des lettres en français et en anglais

Le calcul montre que la langue française a une densité diacritique de 3,9568 Shannon, alors que celle de l'anglais est de 4,0755 Shannon. La densité diacritique du français est inférieure à celle de l'anglais, car la disparité des probabilités d'apparition des caractères est un peu plus grande (lois d'association des caractères plus strictes en français). Un langage pour lequel les symboles seraient équiprobables aurait une densité diacritique de :

$$f=-\ln(1/27)/\ln(2)= 4,7549 \text{ Shannon}$$

Ceci montre qu'un langage pour lequel certaines lettres apparaissent plus fréquemment que d'autres, c'est-à-dire pour lesquels des règles ou des polarisations existent, occupe moins de mémoire qu'un langage neutre. Cette conclusion est identique en psychologie musicale : **un langage dont les règles sont connues est plus facile à mémoriser par l'auditeur (les règles d'anticipation perceptives sont plus fortes)**.

On ne peut calculer une densité diacritique générale du langage musical, puisque chaque compositeur et chaque oeuvre possèdent leurs propres effets de style, et en particulier leur propre distribution de probabilités. On pourrait néanmoins appliquer ce genre de calcul, par exemple à la musique tonale en prenant comme alphabet l'ensemble des accords classés, et étudier pour différents compositeurs la densité diacritique de leur système.

Utilisons pour simplifier la matrice markovienne (matrice des probabilités d'enchaînement entre les accords), établie par Pierre Barbaud dans son ouvrage *La musique, discipline scientifique* (cité par Chemillier[1990]) pour composer automatiquement des enchaînements « tonals » d'accords (le langage tonal de Barbaud est assez classique : prédominance des enchaînements V->I, IV->V, VI->II, mais l'enchaînement II->III est préféré par Barbaud à l'enchaînement II-V).

→	**I**	**II**	**IIIm**	**IV**	**V**	**VI**
I	0	0.20	0.02	0.40	0.25	0.13
II	0.14	0	0.50	0.01	0.30	0.05
IIIm	0	0.27	0	0	0	0.73
IV	0.24	0.02	0	0	0.72	0.02
V	0.77	0.02	0.01	0.10	0	0.10
VI	0.01	0.90	0.04	0.03	0.02	0

cité par Chemillier [1990]

Tableau I.2 : probabilités d'enchaînement des accords dans la matrice de composition automatique de P.Barbaud

Le calcul permet d'obtenir pour ce « langage » une densité diacritique de 1,23 Shannon. Un langage musical où les six enchaînements d'accords seraient complètement équiprobables (pi=1/6) aurait une densité diacritique de 2,58 Shannon, car il est plus difficile à mémoriser (on pourrait, de la même façon, calculer la densité diacritique d'une matrice d'enchaînement d'accords pour l'ensemble des inventions de Bach). Les conclusions restent similaires en

musique : un langage dont les règles sont plus contraignantes (et ces règles dans l'ensemble connues par le récepteur) sont plus faciles à mémoriser.

2) Théories de la complexité informationnelle

Nous avons établi, dans le paragraphe précédent, quelques principes de perception d'une information par un « auditeur universel » issus du cadre de la théorie de l'information. Ne percevoir que le contenu brut en information d'une oeuvre correspondrait à une **perception** de la musique sans aucun processus cognitif de **compréhension** (nous parlerons ultérieurement de *compression* de l'information, ou d'*aperception*[106]). Le processus cognitif de l'audition est en effet un processus d'analyse inconsciente de l'information et de traitement de cette information (hypothèse cognitiviste).

La théorie de l'information propose une première mesure cohérente de la complexité perceptive, à travers la notion de taille mémoire d'une machine de Turing recevant une chaîne d'information exprimée dans un langage structuré. Cette mesure prend partiellement en compte certaines structures cognitives de ce langage reconnues par l'auditeur, à travers les notions de probabilités d'apparition. Cependant, la représentation cognitive du langage, telle que la reconstruit inconsciemment l'auditeur à travers le processus de compréhension, est plus organisée que de simples probabilités d'apparition des éléments d'un hypothétique alphabet qui composeraient ce langage. Les travaux de psychoacoustique montrent que le processus cognitif de réception d'informations établit des relations grammaticales entre les éléments (les règles de base et les règles de structure profonde). Ces mises en relation permettent l'attente, la surprise ou la prévision.

Le processus cognitif de compréhension de l'information est étudié depuis quelques décennies par une théorie pluridisciplinaire appelée la **Théorie de la complexité**. La question essentielle que tente de résoudre cette théorie est de savoir comment un automate, puis un être humain, fonctionnent devant une information complexe.

[106] L'aperception est une perception cognitive inconsciente. Voir l'introduction p.8 pour une définition plus complète.

La complexité perceptive est en effet liée à la compréhension de l'information et les acquis du récepteur. La problématique de réduction de la complexité se pose à tout processus de réception (de l'enregistrement par un disque dur à une écoute humaine cognitive) qui cherche une 'structure logique' dans l'information reçue, afin de pouvoir la réduire à un processus de taille inférieure (programme dit "**compressé**"). La théorie de la complexité a donc des implications en informatique, mais aussi en biologie (compréhension des chaînes d'ADN), en mathématiques (a-t-on une chance de pouvoir résoudre un problème complexe), en économie (comment agir face à une multitude de mécanismes qui sont liés entre eux), en psychologie, en linguistique ou en sciences cognitives.

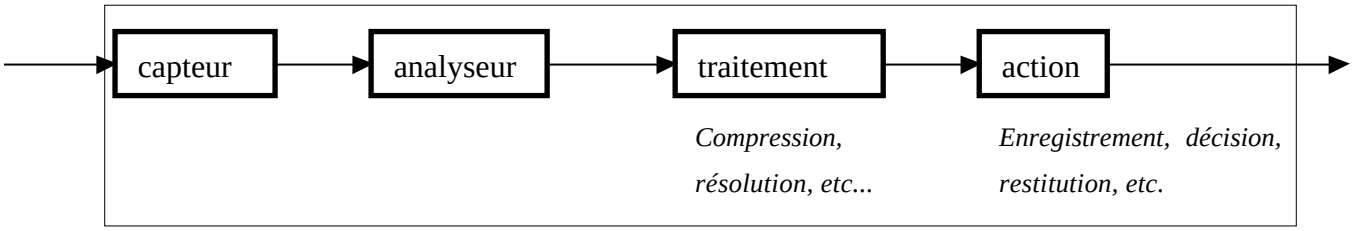


Schéma I.4 : processus cognitif face à une information complexe.

a) La complexité de Kolmogorov-Chaitin

Vers le milieu des années 60, les mathématiciens russes Kolmogorov, Solomonov et Chaitin ont défini la notion de *complexité aléatoire d'une chaîne d'information.*

La **complexité de Kolmogorov-Chaitin**, qui sera ici notée ***KC-complexité,*** **correspond à la longueur du plus court programme permettant de réengendrer une chaîne d'information**. Cette complexité correspond à la complexité analytique de l'algorithme écrit (et non lu) par l'automate, dans le cas où celui-ci analyse exactement ce qui se passe sur la bande de lecture. C'est par exemple ce que fait un analyste musical « d'analyse génétique » qui tente de trouver des processus de l'œuvre pour la restituer, en compressant la partition sous forme de schéma, de diagrammes plus courts sans perdre d'information. La KC-complexité correspondrait à la complexité de restitution du plus simple de ces diagrammes.

b) La complexité de Bennett

En 1968, le mathématicien C.H.Bennett définissait un indice de complexité assez similaire, en rattachant la complexité au temps de calcul nécessaire pour engendrer le

programme (et non la taille mémoire de ce programme, exprimée en digits). Cette notion est appelée **profondeur logique de Bennett.**

Supposons une chaîne d'un million de caractères [10] dans un alphabet binaire :

101010.....10101010 (répété 1 million de fois)

Le programme de compression le plus court sera alors : "*imprimer un million de fois 10*".

La complexité de Kolmogorov-Chaitin est définie par la taille de ce programme, qui est très court malgré la longueur de la chaîne. La profondeur logique de Bennett est définie par le temps de calcul que le programme nécessite pour réengendrer la série. Dans l'exemple ci-dessus, la KC-complexité est faible (programme d'une ligne) alors que le contenu brut en information s'élève à deux millions de digits (la chaîne tient sur plusieurs pages). Ce rapport permet de comprendre l'importance des phénomènes de compression dans les processus cognitifs de compréhension d'une structure.

Dans la pratique, du fait de l'absence de machines universelles de Turing et de la difficulté dans nombre de disciplines d'appréhender une structure entièrement par l'analyse, les complexités de Kolmogorov-Chaitin ou de Bennett ne sont pas calculables. Elles restent des concepts théoriques, mais opératoires. Chaitin a d'ailleurs montré le caractère "d'indécidabilité" de la KC-complexité (voir la note mathématique en encadré ci-après). Par contre, on montre que ces deux notions sont robustes, c'est-à-dire qu'elles dépendent assez peu, à une échelle près, de la machine universelle choisie. Les différentes méthodes précises de calcul de la complexité analytique données dans la partie A (complexités statiques ou dynamiques) sont suffisantes, en musique, pour calculer la complexité analytique d'engendrement comme de réengendrement d'un processus d'écriture musicale, une fois l'algorithme de compréhension clairement établi. La KC-complexité introduit une notion informationnelle dans l'appréhension de la complexité d'un algorithme ou d'une chaîne d'information perçus par un automate de Turing. La KC-complexité ne concerne en effet plus la seule chaîne d'information et son engendrement (niveau neutre ou niveau poïétique), mais la compréhension (la compression) de la chaîne par l'automate en un algorithme virtuel. Ces définitions de la complexité rejoignent celle qu'en donnait Rousseau : « *la complexité est l'impossibilité de lier le local au global* ».

Notons que toutes ces théories traitant de complexité et d'incertain, comme la *théorie du chaos* (énoncée par Lorenz en 1963), sont élaborées dans les années 60. Elles font partie

des théories post-structurales, qu'il faut opposer aux essais en mathématiques d'un Bourbaki ou en linguistique d'un Saussure, c'est-à-dire aux théories qui s'intéressent à la structure et non à sa réception[107].

Note math. : indécidabilité de la KC-complexité *(Chaitin, liée à l'incomplétude de Gödel) :*
Pour tout système formel F, l'incompressibilité n'est démontrable que pour un nombre fini de séquences.
Démonstration : Supposons que pour une infinité de n, il existe une séquence de longueur n que l'on peut prouver incompressible. Pour un tel n, le programme P_n suivant construit une séquence x_n, incompressible et de longueur n :

Prends N :=n ;
Considère les règles de F ;
Génère des théorèmes jusqu'à une preuve d'incompressibilité d'une séquence X de longueur N ;
Imprime cette séquence X de longueur n ;

Or, le programme Pn est composé d'une partie fixe, et de la déclaration de la variable de n ; sa longueur est donc en O(logn), qui est excessivement inférieur à n. (c.q.f.d., démonstration due à Marc Dauchet)

3) Limites de la complexité analytique face à la complexité perceptive

a) Un paradoxe

Comme dans toute discipline, la complexité perceptive généralisée (c'est-à-dire la KC-complexité du processus de compréhension et de réengendrement virtuel du processus compositionnel) est difficile à calculer en musique. Avant d'aborder séparément cette question pour quelques paramètres significatifs de la musique dans les chapitres suivants, (complexité d'un agrégat de hauteurs, complexité d'un rythme et complexité d'une transformation d'un motif), abordons le paradoxe sous un angle plus abstrait mais significatif. Les conclusions en fin de chapitre exposeront les huit principes de cette étude sur la complexité, issues en partie de ce paradoxe.

Prenons trois chaînes finies d'information d'un langage formé de deux symboles [0 et 1], d'une longueur de 45 caractères chacune.

[107] A notre connaissance, le premier auteur à avoir appliqué la théorie de la complexité de Kolmogorov à la musique est Joseph Goguen dans son article de 1977 dans l'*International Journal of General Systems* (Goguen [1977]). Goguen aboutit à des conclusions similaires à celles de Moles une vingtaine d'années après (« *si il y a trop peu de changement, on s'ennuie, si il y en a trop, on ne comprend plus* [l'information musicale] » (Goguen [1977], p.247). Mais Goguen va plus loin en construisant un modèle de complexité des structures musicales et en appliquant les règles d'inégalités trouvées par Kolmogorov. Merci à Jean-Claude Risset de nous avoir communiqué le document.

S1 : 000001111100000111110000011111000001111100000

S2 : 001001011010010010110100100100101101001011010

S3 : 010101110110001000001101010101101100110001100

(OBSERVEZ MINUTIEUSEMENT CES CHAÎNES ET ESSAYEZ D'EN ANALYSER LA STRUCTURE)

Pour chaque séquence, la quantité d'information est identique : [45.(ln(2)/ln(2))] = 45 digits. Pourtant, tout lecteur regardant attentivement ces trois séquences ne les considérera pas comme équivalentes. Si on lui demande de les rétablir, le lecteur restituera sans problème, sans doute, la séquence S1, et par bribes la séquence S2 (par exemple, il trouvera une « *alternance de cellules constituées d'éléments [100], [10], [11] et [0], l'élément [100] étant parfois répété* »). La séquence S3 sera encore plus difficilement restituée.

Qu'a fait le lecteur en observant et tentant de décrypter ces chaînes d'information ? Il a tenté de **compresser la chaîne en un programme de taille plus petite**. Ce premier point montre que la perception ne se réduit pas à une simple lecture de la chaîne d'information, mais qu'elle est accompagnée d'un processus cognitif de compréhension de la chaîne (***hypothèse cognitiviste***). Lors du processus de réception, l'auditeur cherche des repères et des règles afin de se représenter mentalement la chaîne d'information. De plus, notamment pour S2 et S3 qui présentent plus de difficultés, le lecteur a tenté plusieurs relecture, car la perception dépend du nombre de lectures, de la culture et du comportement du lecteur (***hypothèse relativiste)***.

La première chaîne S1 est généralement compressée de façon optimale: Le lecteur la restitue sans erreur, et retrouve immédiatement les règles qui constituent les étapes du programme l'ayant engendrée :

* La chaîne possède deux sortes de caractères 0 et 1;
* Sont alternées périodiquement des segments de phrases de cinq caractères < iiiii >, i valant 0 ou 1.
* Il y a de façon alternée cinq éléments < 00000 > et quatre < 11111 >.

Le programme décrit ci-dessus est exact et de taille minimale. Il correspond à un processus possible d'engendrement de la chaîne, que des mathématiciens écriront de façon équivalente, en observant, pour simplifier, qu'un caractère binaire peut être représenté mathématiquement comme la parité d'un nombre (0 si pair, 1 si impair) :

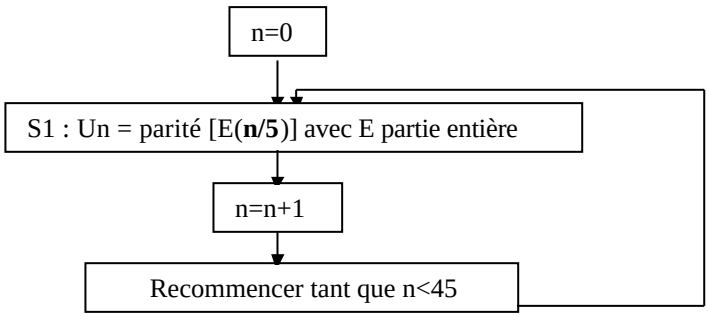


Schéma I.5 : algorithme d'engendrement de la séquence S1

L'algorithme étant défini selon cette description formelle courte en quatre lignes (sachant qu'il faut aussi calculer la parité de (E (n/5))), la complexité de Kolmogorov-Chaitin pour réengendrer la séquence S1 est relativement faible.

Paradoxalement, le graphe de l'algorithme qui a permis d'engendrer la séquence S2 est identique à celui engendrant S1, donc de même complexité de Kolmogorov. L'algorithme virtuel réengendré par le lecteur est donc a priori différent de l'algorithme générant la chaîne (***principe d'indépendance esthésique)***. Dans la description formelle générant ici S2, seule a changé la valeur de la constante dans la deuxième ligne :

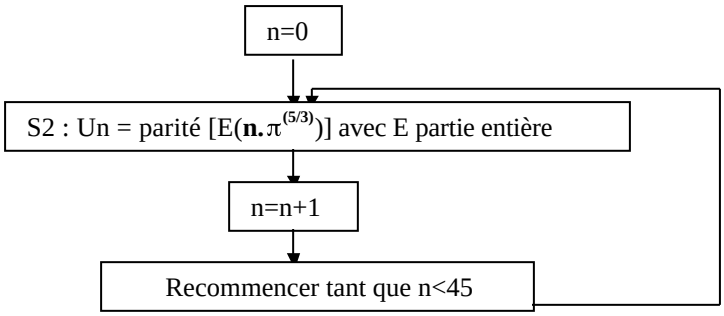


Schéma I.6 : algorithme d'engendrement de la séquence S2

Cet exemple montre aussi qu'avec deux analyses (ou deux descriptions) identiques d'un même processus d'engendrement d'une chaîne d'informations, où seule une constante est modifiée, donc avec deux procédures de même KC-complexité, peuvent être obtenus deux phénomènes radicalement différents sur le plan perceptif (*principe de non-bijection des*

complexités). Certains ont argumenté que la séquence S2 contient le terme π, nombre irrationnel remarquable, ce qui signifierait qu'il faut rajouter de nombreuses lignes au programme le plus court permettant d'engendrer S2, ce qui accroîtrait considérablement la KC-complexité du programme. Avec une équation contenant une puissance de pi légèrement modifiée de type S'2 : Un = parité [E(**n.**$\pi^{(5/6)}$)] avec E partie entière , on obtient pourtant la chaîne très simple S2' = [00110011001100110011001100110011001100110011001100110]. Il y a donc indépendance totale entre la complexité analytique de l'algorithme générateur et la KC-complexité perceptive de la chaîne d'information résultante.

D'ailleurs, la séquence S3 paraît encore moins compréhensible, si ce n'est aléatoire selon les enquêtes effectuées sur une centaine de témoins lors de plusieurs conférences. Elle se base pourtant sur des nombres beaucoup plus simples et sur le même graphe d'algorithme (et nous avons volontairement choisi, par analogie avec les inversus et rétrogrades musicaux, une équation à double symétrie sur les signes, où n/456 devient 654/n) :

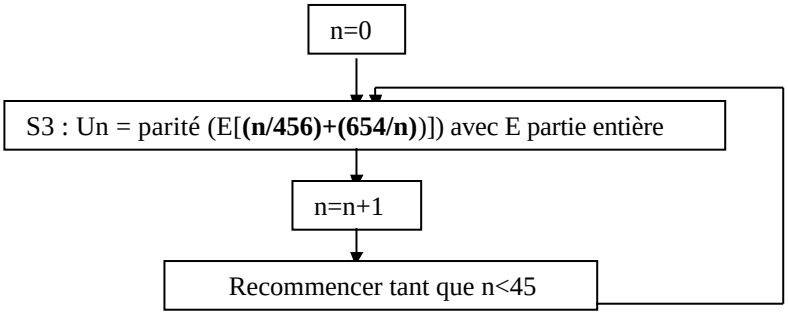


Schéma I.7 : algorithme d'engendrement de la séquence S3

La notion de complexité perceptive d'une structure dépend donc du processus de compréhension de cette structure autant que de la complexité analytique qui a permis de l'engendrer. De plus, une même structure analytique dont on ne changerait qu'une constante peut engendrer des résultats perceptifs très différents. Enfin, pour un lecteur humain, les séquences S2 et surtout S3 paraissent « aléatoires », alors que S1 semble « régulière », même si les trois règles d'engendrement sont toutes déterministes et possèdent la même régularité. L'aléatoire est donc un phénomène lié à la perception et non à l'organisation de la chaîne.

b) Huit conclusions

Ce chapitre présente huit conclusions essentielles :

i) **<u>Hypothèse cognitiviste[108] :</u> La perception n'est pas une simple lecture de la chaîne d'information**. L'auditeur effectue, lors de l'écoute, un travail inconscient de compréhension du processus imaginé par le compositeur. Ce processus cognitif est activé dans la phase de perception d'un signal. Par cette compréhension inconsciente, l'auditeur réduit la complexité de la chaîne afin de mieux la mémoriser, c'est-à-dire qu'il établit des repères et des règles de structure profonde lui permettant de réengendrer virtuellement la chaîne. **La compréhension est donc une compression**. Elle est une « réécriture cognitive » inconsciente de schèmes dans le cerveau de l'auditeur, ce qui permet de définir la complexité perceptive (principe iv).

ii) **<u>Hypothèse relativiste :</u> La perception s'améliore et se modifie avec le nombre de lectures (d'écoutes) de la chaîne d'information, et avec l'acquisition de connaissances externes.** Les acquis (apprentissage de court ou de long terme), les préjugés et la culture de l'auditeur relativisent ainsi la recherche d'universaux de perception.

iii) **<u>Principe d'indépendance esthésique :</u> L'algorithme virtuel réengendré inconsciemment par l'auditeur est a priori différent de l'algorithme utilisé par le compositeur pour engendrer la procédure.** D'une part, l'auditeur n'a accès qu'à une chaîne d'information, c'est-à-dire à l'algorithme compositionnel déjà réalisé. D'autre part, la compression auditive est interprétative : elle dépend de simplifications, de limitations de mémoire et de biais culturels.

iv) **<u>Principe de calcul de la complexité perceptive :</u>** Nous postulons que **la complexité perceptive est la KC-complexité analytique de l'algorithme virtuel réengendré par l'auditeur**. Elle n'est ni la KC-complexité d'engendrement, c'est-à-dire la complexité analytique de l'algorithme le plus simple permettant d'engendrer la chaîne d'informations, ni la quantité d'information contenue dans cette chaîne.

v) **<u>Principe de non-bijection entre les complexités :</u> Deux algorithmes similaires** ***(***différenciés par exemple par deux valeurs différentes d'une variable**), de même structure et de même complexité organisationnelle, peuvent engendrer deux complexités perceptives différentes. Deux complexités perceptives semblables**

[108] L'hypothèse cognitiviste est celle qu'avait déjà exprimée Leonard Meyer (Meyer [1956]), pour qui la perception du sens musical n'est pas une contemplation passive, mais un processus actif concernant le psychisme (position « absolutiste »). Cette hypothèse cognitiviste est aussi celle qui fonde la grammaire générative de Chomsky.

peuvent être obtenues par des procédés analytiques de complexité différente. Plusieurs exemples musicaux seront proposés dans les chapitres suivants.

vi) **<u>Principe de saturation cognitive</u> : Il existe une limite relative dans la complexité perceptive, au-delà de laquelle l'auditeur ne peut plus engendrer d'algorithme virtuel, c'est-à-dire qu'il n'a plus de repère pour apercevoir et comprendre la chaîne d'information.** Cette limite dépend du comportement et de la culture de l'auditeur. Cette notion sera abondamment étudiée sur un plan comportemental dans la troisième partie de cette étude. Sur un plan scientifique, **l'écoute « inintelligible »,** comme l'appelle Abraham Moles, **consiste en une lecture littérale de la chaîne d'information sans possibilité de compression**. La complexité perceptive est alors égale à la quantité d'information contenue dans la chaîne, et **l'œuvre parait « aléatoire ».**

vii) **<u>Théorème de la complexité et de l'aléatoire :</u>** Les mathématiques, en s'intéressant aux problèmes de perception de la complexité à travers ceux de compression donnent aujourd'hui une définition paradoxale et opératoire de l'aléatoire. Mathématiquement, un phénomène perceptivement aléatoire ne s'oppose plus à un phénomène déterministe. **Un phénomène perçu comme aléatoire est un phénomène que l'homme a du mal à comprendre et à apercevoir. L'aléatoire est donc une qualité de jugement et de perception, et non un principe d'organisation du phénomène.** Ainsi, un dé jeté a une trajectoire bien déterminée. Mais celle-ci fait intervenir de si nombreux paramètres qu'elle semble perceptivement complexe et est difficile à déterminer. En musique, le phénomène est identique : sans compréhension ou connaissance des règles du langage, l'auditeur est désarçonné et perçoit un phénomène musical comme aléatoire. L'aléatoire est équivalent, sous cette perspective, à une impossibilité de compresser la chaîne (cf. les définitions et la démonstration mathématique ci-dessous). **Le concept d'aléatoire, en musique, ne concerne donc pas le processus compositionnel mais la perception de celui-ci par l'auditeur[109].**

[109] En d'autres termes, certaines oeuvres utilisant de l'aléatoires (*Archipels* de Boucourechliev, *Troisième Sonate* de Boulez, *Music of Changes* de Cage, *Klavierstück XI* de Stockhausen) ne paraîtront pas plus aléatoires à la perception que certaines oeuvres entièrement écrites et déterminées dont un auditeur ne peut par sa culture et son comportement compresser l'information (la *troisième symphonie de Beethoven*, le *Marteau sans Maître* ou le *Sacre du Printemps* à leur création, ou certaines musiques d'autres cultures –cf. la remarque de Berlioz sur la musique chinoise chap.A-III-3-c).

viii) Principe d'économie poïétique : D'une façon générale, les compositeurs préféreront élaborer ou employer des techniques à faible complexité analytique induisant des transformations à forte complexité perceptive.

Note math.: définition de l'aléatoire au sens de la théorie de la complexité (Delahaye [1994])

Une suite est aléatoire si elle vérifie l'une des propriétés suivantes :

i) Elle ne satisfait aucune régularité exceptionnelle effectivement testable

ii) Elle possède un contenu en information incompressible.

iii) Elle est imprévisible.

On démontre que ces trois propriétés sont équivalentes.

Il existe plusieurs tentatives de formalisation rigoureuse de l'aléatoire :
Soit un nombre réel x compris entre 0 et 1. Il est aléatoire si et seulement si

Déf. 1 (au sens de Chaitin Levin) :

La complexité $K(x^n)$ des n premiers digits de x vérifie : $\exists\, c / \forall\, n,\ K(x^n) \geq n-c$

Déf. 2 (fortement aléatoire au sens de Chaitin 1987) :

La complexité $K(x^n)$ des n premiers digits de x vérifie :

$\forall\, h, \exists\, m / \forall\, n \geq m, K(x^n) \geq n+h$

Déf. 3 (au sens de Martin Löf, 1966) :

Pour toute suite récursivement énumérable infinie Ai d'ensembles d'intervalles, dont chaque Ai de mesure majorée par 2^i (c.à.d. $m(Ai)<2^i$), x n'appartient pas à au moins un des Ai.

Déf. 4 (au sens de Solovay 1975) :

Pour toute suite récursive énumérable infinie d'ensemble d'intervalles Ai dont la somme des mesures est bornée (Σ *m(Ai)<**infini**), x est au plus dans un nombre infini de Ai.*

II- APPLICATION 1 : COMPLEXITÉS ANALYTIQUE ET PERCEPTIVE DU PROCESSUS RYTHMIQUE

1) L'écriture d'un rythme

L'objet de ce chapitre est d'appliquer au paramètre de rythme les considérations précédentes sur le rapport entre procédures analytiques et résultat perceptif, en particulier le paradoxe théorique sur la complexité. La perception rythmique peut en effet être analysée, en terme de théorie de l'information, comme un changement régulier d'états, schématisable en un ruban d'informations qu'écoute un auditeur-type symbolisé par un automate de Turing.[110]

Certes, dans la pratique musicale, un élément rythmique est souvent porté par le discours musical, par exemple harmonique, métrique ou d'accent. Le rythme est donc indissociable de nombreux autres paramètres musicaux. Nous ne tenterons de préciser ici la notion très complexe et non consensuelle de rythme qu'à travers la problématique qui nous occupe[111].

a) Le rythme et son alphabet

La question du rythme commence par celle du décompte du temps et de son expression en éléments discrets. Le rythme est la représentation explicite, en occident, de cette discrétisation, car il décrit le temps à travers un alphabet de signes finis signifiant des durées finies (ronde, noire, croche, etc..). Une première confusion liée au concept de rythme tient à ce que cet alphabet ne l'appréhende pas totalement, contrairement aux alphabets de hauteurs ou de nuances qui proposent les signes adéquats à leurs signifiés (figure II-1).

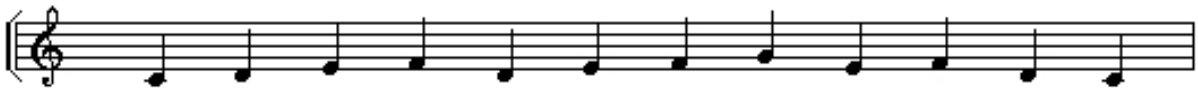



Figure II-1 : Dans cette séquence, le rythme ne se réduit pas à une succession de noires régulières. Les signes rythmiques ne décrivent donc pas totalement le rythme.

D'autres alphabets interviennent dans l'écriture d'un rythme. Ces signes donnent des indications objectives (un accent noté, par exemple) ou subjectives (liées à des conventions

[110] Cette approximation est propre à cette partie, et sera résolue dans la partie C du mémoire.

culturelles ou à des choix d'interprétation, un temps fort par exemple) pour la réalisation par l'interprète d'un rythme. De plus, le concept de rythme dépasse celui d'écriture. On constate en effet qu'une même écriture peut induire selon le contexte des réalisations différentes, et qu'une même réalisation peut induire des perceptions différentes. **Le rythme est, en effet, une réception de segmentation de temps induite par un contexte.**

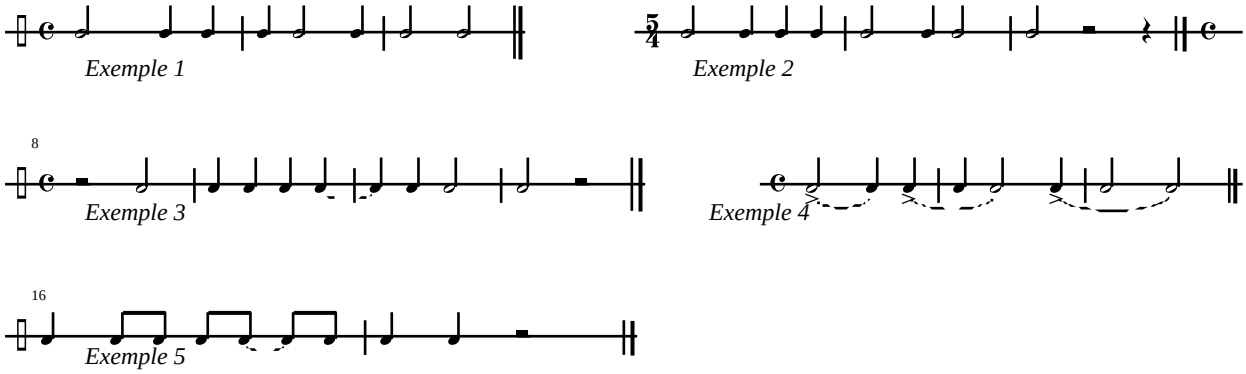


Figure II-2 : Réception et interprétation d'une écriture rythmique .

Par rapport à l'exemple 1, les exemples 2 et 3, et l'exemple 5 lu à un tempo deux fois plus lent, ont une écriture métrique ou rythmique différente qui peut, selon son interprétation, induire ou non une réalisation différente. Bien que d'écriture métrique presque identique à l'exemple 1, les exemples 4 et 5 (lu à tempo identique) induisent une perception rythmique différente.

b) Temps transcrit, temps perçu

Écrire un rythme, c'est avant tout discrétiser et objectiver une succession de temps sur une partition. Plus généralement, le décompte du temps en heures, jours ou rythmes est symptomatique d'une perception humaine d'un temps ordonné en unités de décompte pseudo-objectives, marquée par des ruptures symboliques, et déformée à la lumière subjective de la mémoire du passé et de l'anticipation de l'avenir. La perception du temps est pourtant subjective. Pour reprendre la phrase célèbre de Husserl, l'homme a une *« conscience perceptive intérieure » du temps.* La musique s'est appropriée cette dialectique entre un temps objectivé, mesuré, discrétisé (en occident, le temps écrit sous forme de rythmes ; en Afrique, les formules normées apprises, etc..), et un temps vécu, anticipé, mémorisé, subjectif, dialectique (les tempi, l'agogique, les accents, les nuances et les variations réalisés par l'interprète dans le contexte intersubjectif du concert ou du rituel ; la perception par l'auditeur selon son temps subjectif).

[111] Il n'existe aucune définition simple et consensuelle de rythme. Pour plus de renseignements, on consultera les

Une étape importante de cette objectivation passe par la mesure du temps en éléments discrets. La notation du temps mesuré ne s'est cependant fixée que progressivement en occident. Depuis les théoriciens grecs, repris par ceux du Moyen-age, sont opposées les notions de chant mesuré (*cantus mensuratus*) et de plain-chant (*cantus planus*). La partie précédente évoquait les étapes et les raisons, aussi bien externes que musicales, du passage de la notation neumatique à la notation mesurée. Au XIIe siècle, le développement de la polyphonie par l'école de Notre-Dame incite la création d'un système d'une notation rythmique qui facilite la coordination des voix chantant des textes latins construits sur des principes stricts de versification, et l'élaboration d'un principe de synchronisation des voix par la prise en compte d'un étalon de temps commun, sans temps fort ni temps faible, le *tactus.* Le système de mensuration des notes est ensuite amélioré par Garlande puis par Francon de Cologne, qui, le premier, dissocie les notions de rythme et de hauteur. Au début du XIV^{e} siècle, la division du temps est réduite à deux unités, la *division parfaite* (division ternaire) et la *division imparfaite* (division binaire), et Philippe de Vitry et Jean de Murs fixent les relations arithmétiques entre la longue, la brève et la semi-brève, qui restent encore en vigueur aujourd'hui sous d'autres appellations (ronde, blanche, noire, croche). Remarquons que si la notation occidentale en valeurs proportionnelles a simplifié l'écriture et la lecture, elle a considérablement réduit les possibilités expressives du rythme lu. Un rythme " boîteux " *Aksak* est par exemple difficile à transcrire avec cette notation. Elle a également figé certaines conventions non-écrites (les temps forts, par exemple).

La fixation des tempi est une autre étape importante de l'objectivation du temps. À la fin du XVIIe siècle, Loulié invente le métronome, que perfectionne Maelzel un siècle plus tard. Ces recherches d'objectivation du temps de l'interprétation et de précision dans la notation des durées et des rythmes sont propres à une civilisation occidentale qui s'industrialise et met l'écriture au centre des transferts de ses savoirs. Dans les musiques de tradition orale, le tempo appartient au musicien et au contexte d'interprétation, et la métrique est un moyen d'expression autant que de mesure. Dans les Drhupad à douze temps du nord de l'Inde par exemple, le musicien compte non pas trois carrures de quatre temps mais deux carrures de

---

ouvrages de Wiehmayer, Verwey, Sachs, Bank, Apfel&Dalhaus, Kramer, Hasty, Cooper&Meyer et Lee.

quatre temps et deux de deux temps (*Chautal*). La métrique transcrit ainsi, dans ce répertoire, l'accélération agogique des fins de phrase.

Au début du XX^e^ siècle, la notation du temps et son objectivation deviennent l'objet de critiques prospectives de la part de certains théoriciens[112]. Bernd Alois Zimmermann écrit : « *la notion de tempo comme catégorie musicale du mouvement ne peut être reconnue* ». Messiaen et Zimmermann superposent différentes temporalités subjectives. Jugeant la notation traditionnelle trop rigide (« *Le rythme, aussi, n'est pas arithmétique* ») (Cage, in Lévy[2001] p.226), John Cage abandonne délibérément le déroulement de l'œuvre à la volonté de l'interprète et au hasard. Cage utilise également la notation proportionnelle, c'est-à-dire un positionnement des notes dans une temporalité objective exprimée en secondes, afin de palier les restrictions de la notation traditionnelle. « *Pas de proportion = flexibilité optimale = n'importe quelle proportion* » écrit-il dans l'article « rythme, etc. »[113]. Cette notation proportionnelle est parfois étendue à une notation totalement graphique (*26'1.1499''* pour ensemble à cordes, 1953), que Cage emprunte à ses amis Morton Feldman (*Projections and Intersections*, 1950-51) et Earle Brown. « *Le temps est la dimension actuelle par laquelle la musique existe lorsqu'elle est interprétée, et il est par nature un continuum infiniment divisible. Aucun système métrique ni aucune notation basée sur la métrique n'est capable d'indiquer l'ensemble des points possibles dans ce continuum, si on veut que le son commence et finisse n'importe où dans cette dimension* » écrit Earle Brown.

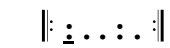
Nous allons cependant voir que la métrique, signe non explicité dans l'interprétation d'une lecture, c'est-à-dire qui n'est qu'un repère cognitif pour le musicien, lui permet d'interpréter un rythme et non de le figer dans son écriture, dans son *gramme*. Plus généralement, un rythme n'est pas réductible à son écriture. En conséquence, le rythme est l'interprétation d'une lecture de signes visuels par un musicien puis l'interprétation d'une écoute de signes auditifs par un auditeur. Dans cette dialectique entre temps objectif et temps subjectif, **le rythme est un conflit**.

---

[112] cf. par exemple l'article *Métronomisation* de Theodor Adorno (1926), traduit dans Lévy [2001], p.55.
[113] traduit dans Lévy [2001], p. 219

c) Le mètre noté, conscientisation du rythme

Dans la musique occidentale, l'écriture métrique se fait généralement selon deux principes, le principe additif, où une valeur de durée est ajoutée à une autre, et le principe multiplicatif, où les valeurs sont en rapports multiples entre elles. Dans le premier cas, la métrique décrit comment un niveau de pulsation minimale intermédiaire forme par addition les pulsations unitaires et les périodes unitaires, de longueur variable. La notation [3/8 + 2/8] décrit par exemple la métrique d'une formule périodique formée de deux sous-formules, l'une de trois croches, l'autre de deux. Ce chiffrage décrit donc trois niveaux hiérarchiques :



Dans le principe multiplicatif, la métrique définit les règles élémentaires de division d'un arbre de pulsations, règles de hiérarchie induites par convention entre la longueur de la phrase unitaire, la pulsation de base et plusieurs niveaux de pulsations plus petites. Le chiffrage [4/4] implique par exemple une hiérarchie binaire, où la période unitaire est de longueur de quatre noires, chaque noire se décomposant en deux croches, chaque croche étant divisible, etc. Un niveau hiérarchique supplémentaire est induit par convention lorsqu'on considère que la première noire a un poids plus important que la troisième. Le chiffrage métrique [6/8] implique par exemple que le premier niveau de subdivision est binaire et que le second est ternaire, alors que le chiffrage [3/4] indique que la première subdivision est ternaire et que les suivantes sont binaires. Le principe de métrique par division de la musique occidentale est hérité de l'histoire de la notation occidentale (*tempus perfectum* ou *imperfectum* pour la division de la brève en semi-brève, *prolatio maior* ou *minor* pour la division de la semi-brève en minime, etc.). Des principes similaires sont présents dans d'autres cultures, notées ou non : Gamelan, musiques de Papouasie, etc.. Le principe additif se retrouve dans la plupart des musiques orales slaves, certaines musiques écrites de Bartok et de Stravinsky, et certaines musiques d'Afrique noire[114].

Au XX^{e} siècle, la métrique tient parfois d'autres rôles. Dans certaines oeuvres de Stravinsky, elle devient non plus une indication de hiérarchie du rythme, mais une indication d'unités de base de rythme, éventuellement ensuite divisibles (par exemple la succession des

[114] Simha Arom note cependant que, même si la musique des pygmées est basée sur une pulsation minimale commune, un *tactus*, dérivée ensuite de façon additive en cellules de deux ou trois pulsations, le rythme est pensé en formules, et on ne peut, selon Arom, parler de principe additif de métrique. (Arom [1985], p.337)

3/16, 2/16, dans la Danse Sacrale du *Sacre du Printemps*). Chez Debussy et Boulez, la recherche de temps lisse donne à la métrique un rôle d'aide pour le chef d'orchestre et les musiciens, mais elle ne doit pas être audible (les temps ne sont pas marqués). À partir des années 60, d'autres compositeurs, tel Ligeti, ont cherché à neutraliser la métrique (en particulier les informations d'organisation hiérarchique et de temps fort et faible) en notant leur partition en [4/4] ou en omettant le dénominateur (4𝅗𝅥, 3𝅗𝅥). Dans la musique de Ferneyhough, les métriques parfois irréalisables permettent non seulement d'obtenir, par exemple, un « *accelerando par sauts, non progressif* » (Melchiorre in Ferneyhough [1987], p.87), mais également de dérouter toute compréhension de possibles niveaux hiérarchiques dans le rythme.

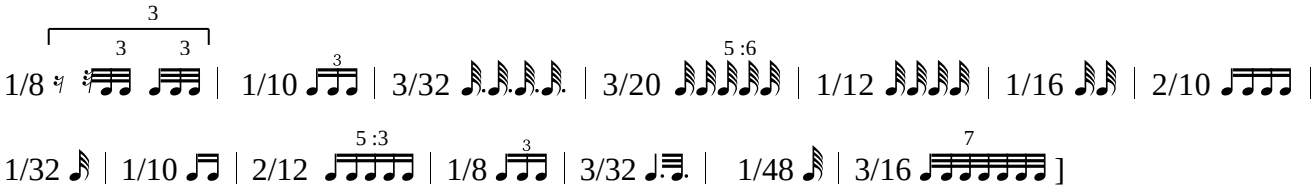


Figure II-3-a : Complexité perceptive et analytique d'une métrique : écriture rythmique des premières mesures de Superscriptio *pour flûte piccolo solo, de Brian Ferneyhough. Aucune métrique n'est perçue, alors que la métrique écrite est de complexité maximale.*

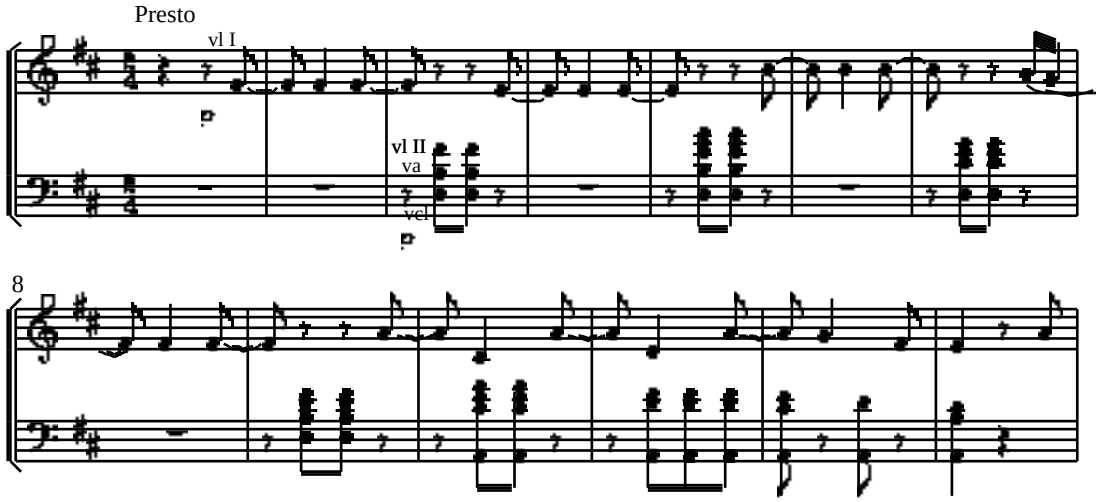


Figure II-3-b : Complexité perceptive et analytique d'une métrique :
Joseph Haydn :Symphonie n°80, Final.
La métrique perçue ne correspond pas à la métrique écrite. Ceci permet à Haydn de surprendre l'auditeur dans la demi-cadence des deux dernières mesures, à nouveau « coïncidente » au niveau des deux métriques.

Dans les cas plus classiques de métrique notée, additive ou divisive, l'indication fractionnelle et celle des barres de mesure traduisent l'existence de plusieurs niveaux hiérarchiques d'un rythme. De plus, les indications métriques écrites, que ce soit le chiffre de métrique indiqué en début de mesure, la barre de mesure, ou la battue du chef, sont des signes non joués explicitement et directement par le musicien, contrairement aux autres signes indiqués sur la partition. En d'autres termes, ce signe ne signifie rien directement (un ordinateur ne saurait le jouer). Cette notation reste cependant importante pour faire *comprendre* à l'interprète, qui le communique ensuite à l'auditeur, la structure hiérarchique du rythme qu'il joue. La métrique est une forme implicite permettant la réalisation de l'écriture explicite des rythmes en noire, blanche, indications d'accents, de tempo, etc. Simha Arom, dans sa définition des notions de mètre, de rythme et de pulsation, écrit : « *Mètre, tactus,' beat', battue, temps, pulsation : Ces divers termes désignent, dans toute la musique* mesurée*, l'élément d'une série de repères régulièrement espacés, c'est-à-dire équidistants dans le temps, qui délimitent le continuum musical en unités égales, et servent ainsi d'étalon pour l'organisation de toutes les durées (...). La pulsation, telle que nous venons de la définir, n'est pas rythme. Pour qu'il y ait rythme, il faut nécessairement que des événements sonores successifs soient caractérisés par des traits qui les opposent. Cette opposition peut se manifester de trois façons distinctes, par le biais des* accents*, du* timbre*, des* durées. (...) *Ainsi, ce qu'en musique, il est convenu d'appeler métrique, est en fait la manifestation la plus élémentaire du rythme. En d'autres termes, la métrique musicale n'a pas d'existence propre. (...) La mesure a donc toujours valeur de référence.»* (Arom, [1985], p.329 à 333). La métrique notée est une indication cognitive, un repère, une référence pour réaliser la chaîne d'information rythmique écrite. **Elle est une règle de compréhension, c'est-à-dire en fait une règle écrite de première compression élémentaire de la chaîne rythmique.** Il s'agit donc de l'une des rares informations écrites par le compositeur d'aide à la réception et à la compression de l'information, et non d'un signe à signifié musical explicite.

2) Mécanismes cognitifs de perception du rythme

Le paramètre du rythme, qui n'est pas réductible à son alphabet, n'est pas un phénomène structurel, mais un sentiment associé à une réception du déroulement discrétisé du temps. La métrique est une représentation explicite par le compositeur d'un premier niveau de compression. Avant d'appliquer les résultats généraux obtenus dans le chapitre précédent à

propos de la complexité perceptive et de son rapport avec la complexité analytique, tentons d'ébaucher quelques principes de perception cognitive du rythme. Il ne s'agit pas de rappeler dans cette étude, pour chaque paramètre musical, les principes de compréhension et de compression qu'applique l'auditeur. D'une part, elles n'ont pas été entièrement établies par les experts en psychoacoustique. D'autre part, l'étude en détail de ces règles ferait l'objet d'un mémoire de doctorat pour chacun de ces paramètres, ce qui n'est pas l'objet de nos recherches. Rappelons seulement quelques règles de cognitions rythmiques sur lesquelles les psychoacousticiens s'accordent, afin de mieux cerner une éventuelle KC-complexité aperceptive de ces règles de compression.

a) Pulsations internes

La notion de pulsation est, semble-t-il, innée chez l'humain (Rötter [1985], p.482). Platon écrivait que « *le rythme est l'ordre du mouvement* ». Paul Fraisse parle de rythmes moteurs spontanés, comme la marche, le battement de cœur, ou la mastication (Fraisse[1974]). Ces rythmes naturels sont basés sur la régularité et la périodicité, et forment selon ce théoricien le rythme le plus élémentaire. Un rythme périodique régulier d'une seule unité représente en effet le niveau le plus simple de complexité au sens de Kolmogorov-Chaitin (la répétition d'un élément simple permet d'engendrer la chaîne d'information la plus longue, compressible avec le programme le plus court). Fraisse nomme au contraire *arythmie* une série de pulsations « *la plus irrégulière possible* ».

b) Anticipation et mémorisation

Abraham Moles (Moles [1958]) insiste sur la notion de répétition d'un rythme, qui seule permet l'anticipation exacte. C'est le phénomène de battements de pieds des auditeurs occidentaux, ou du jeu alterné de mains des auditeurs en Inde : dès la lecture de la bande d'information, l'auditeur entame un processus cognitif recherchant une ossature rythmique virtuelle de répétition sous-jacente à la chaîne perçue. L'auditeur met ensuite en place des processus d'anticipation, parfois surpris, et de mémorisation (Hasty [1997], p.84). Ces mécanismes d'anticipation et de mémorisation respectent les qualificatifs des catégories d'Abraham Moles : l'écoute est "**prédictive**" lorsque l'écriture du programme de réengendrement est possible, "**complexe**" lorsque l'auditeur nécessite un certain temps pour comprendre la structure de la bande de lecture, "**inintelligible**" lorsqu'il ne la comprend pas

(il ne compresse pas la chaîne d'information), et "**banale**" lorsque la structure perceptive de la bande de lecture est si évidente que la réécriture du programme devance la lecture sans erreur.

c) Pulsations fondamentales

Les études de psychoacoustique rythmique ont montré que l'étape suivante de restructuration cognitive du rythme perçu est la mise en place d'une pulsation fondamentale qui "porte" la cellule rythmique en tant qu'ossature, en tant que squelette de compréhension. Dans leur *Théorie générative de la musique tonale* (1985), Fred Lerdahl et Ray Jackendoff montrent que la perception du temps dans la musique classique occidentale s'appuie sur une stratification en différents niveaux d'articulation[115]. Si l'on tente de regrouper ces diverses strates en trois catégories, un premier niveau serait la *pulsation métrique*. L'unité de cette pulsation est souvent égale, dans la pratique, à la durée minimale d'un cycle complet de temps faibles et de temps forts. La pulsation métrique est, plus théoriquement, l'unité de durée correspondant au plus petit multiple commun aux valeurs rythmiques utilisées. De niveau de subdivision intermédiaire, la *pulsation unitaire*, ou métronomique, représente l'unité de battue (le tactus par exemple). Niveau le plus subdivisé, la *pulsation minimale* correspond "grosso modo" à la plus petite valeur rythmique utilisée, ou, plus exactement, au plus grand diviseur commun entre les différentes unités de rythme. Les psychoacousticiens s'accordent aujourd'hui sur l'existence d'un maillage cognitif dans la plupart des musiques qui facilite et oriente la perception des rythmes et des durées. Dans les faits, l'auditeur chercherait à évaluer une pulsation fondamentale, située entre la pulsation minimale et la pulsation métrique, afin de structurer son programme de réécriture.

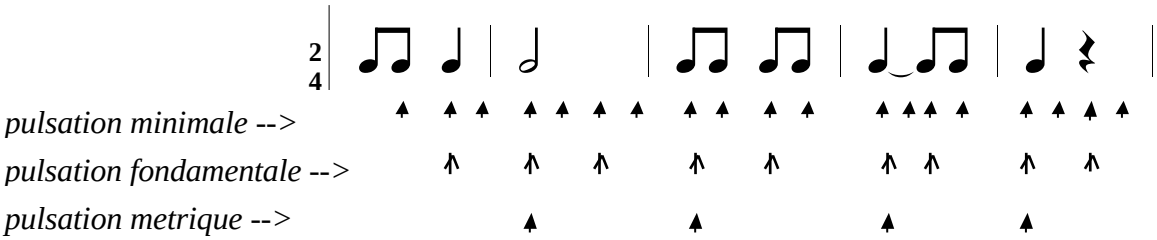


Schéma II.4: les trois types de pulsation

Afin d'établir cette pulsation fondamentale, l'auditeur cherche la valeur critique qui partage les valeurs rythmiques de division (partition du discours) et les valeurs rythmiques de multiplication. Selon Lee [1985], l'auditeur se base sur la recherche de temps forts et de temps faibles, ainsi que sur les pôles de régularité et de périodicité. Cette recherche correspond chez

Lerdahl et Jackendoff [1985] aux lois MWFR3 et MWFR4, et plus généralement aux lois MPR, en ce qui concerne la musique tonale. C'est donc la détermination **i)** des phénomènes de périodicité, **ii)** des "accents" (valeurs plus longues, accents rythmiques, valeurs coïncidant avec un retour de cycle de périodicité, etc...) et **iii)** du multiple de la pulsation minimale, qui induira l'auditeur dans la recherche de cette pulsation fondamentale, de « *tactus perceptif* ». Bien entendu, cette réduction des différents feuilletés perceptifs du temps en trois types, alors que les frontières entre les strates sont variables, reste simplificatrice. Il faut aussi tenir compte du temps plus ou moins lisse ou strié (Boulez [1963], p.99), qui estompe localement les pulsations génératrices. Notons que les théories génératives du rythme de Lerdahl et Jackendoff sont imprégnées, d'une part, de l'hypothèse cogniviste propre à toute théorie générative, d'autre part d'une représentation divisive et en arbre du rythme propre à la musique tonale occidentale[116]. Les pygmées auraient par exemple, selon Simha Arom, la conscience de la seule pulsation de base et des formules additives[117], et, selon notre (petite) expérience, la conscience simultanée d'une double métrique[118]. Le Taala de la musique d'Inde du sud, par exemple, diviserait la pulsation métrique de sept façons différentes (Mani[1991]).

d) Adaptation locale (focalisation) et groupement

Lorsque la cellule rythmique est complexe (niveau de décomposition non multiple de deux, hémiole, etc...), Lerdahl montre que l'auditeur adapte les paramètres de base de son processus cognitif en modifiant, pendant l'écoute, les pulsations minimale, fondamentale ou métrique (règles MWFR1 et MWFR2 modifiées).

---

[115] Grosvenor Cooper et Léonard Meyer proposent d'autres principes de groupement et de segmentation cognitive dans *The rhythmic Structure of Music*, University of Chicago Press, 1960, Chicago.

[116] Il faut également s'étonner que les théories de Lerdahl& Jackendoff permettent a priori de prévoir l'arborescence au niveau le plus local de la partition, alors que certaines perceptions d'accents rythmiques sont certainement le résultat de l'interprétation. Cette théorie, comme beaucoup d'autres théories musicologiques sur la perception, est fortement imprégnée du signe.

[117] « *Néanmoins, quel que soit leur degré de complexité, les manifestations rythmiques africaines ont toujours pour ultime référence un élément simple, la pulsation, (..) dont la fonction s'apparente à celle du* tactus *médiéval. La pratique africaine rejoint celle qui était en usage en Occident, au Moyen-Âge et à la renaissance, à une époque, donc, où l'organisation temporelle de la musique se fondait exclusivement sur cet élément organique, neutre, non marqué* » (Arom [1985], p.336)

[118] Lors d'un voyage en juillet 2000 au Cameroun d'étude sur la musique des pygmées Bedzan et des Tikar avec deux ethnomusicologues élèves de Simha Arom, tous les répertoires pouvaient être perçus simultanément à quatre ou à six pulsations de base. De plus, lorsque nous interrogions un musicien (hochet, tambourinaire, clappements de mains) jouant une formule correspondant à la pulsation de base et non à un principe d'imparité rythmique, à propos de sa pulsation de base, il répondait systématiquement l'autre pulsation de base, celle qu'il n'avait pas jouée, mais visiblement pensée.

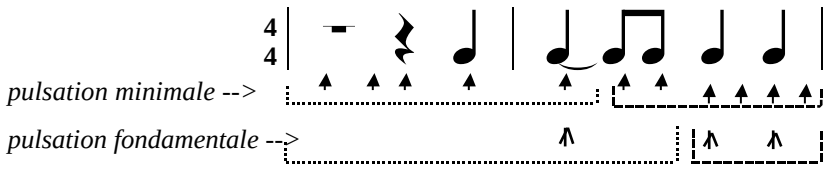


Schéma II-5: adaptation locale

Cette adaptation n'est pas immédiate (cf. schéma II-5 ci-dessus). C'est **l'anticipation erronée qui modifie les structures du processus cognitif**. L'auditeur change en effet la configuration virtuelle de sa représentation algorithmique inconsciente quelques temps après l'audition de la modification structurelle de la chaîne (Dans l'exemple ci-dessus, la modification cognitive intervient au quatrième temps dans la deuxième mesure).

L'adaptation peut être subjective. Dans L'exemple ci-dessous, la pulsation fondamentale pourrait être la noire, la croche, ou le quintolet, selon ce qui précède.

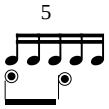


Schéma II-6: pulsation fondamentale pour un rythme non « trivial »

L'autre étape importante de structuration cognitive du rythme, pouvant parfois contredire la représentation des points métriques, est la recherche de regroupement des éléments selon des zones cohérentes. Lerdahl et Jackendoff comptabilisent finalement, dans leur *Théorie générative de la musique tonale*, quatre principes de compression d'une chaîne d'information rythmique : a) La *structuration métrique* facilite la perception de hiérarchie de points forts et faibles b) La *phase de groupement* permet une structuration de la pièce en motifs, phrases et sections ; c) La *réduction temporelle* (« Time-span reduction ») attribue aux notes des hiérarchies structurelles selon leur position dans les groupements et dans les points métriques ; d) La *réduction prolongationnelle* associe aux hauteurs une hiérarchie permettant de percevoir des tensions et des détentes harmoniques et mélodiques, et d'avoir des sentiments de progression et de continuité (Lerdahl&Jackendoff [1993], p.10). Comme dans la théorie générative des langages sémantiques de Chomsky, cette première compression de surface est suivie d'une recherche de règles transformationnelles qui déplacent les éléments et réarrangent les règles de compression.

e) Etapes cognitives supérieures

Les étapes suivantes de cognition d'une chaîne rythmique sont moins connues et plus soumises à contestation. Lerdahl insiste, dans la phase de recherche des points métriques, sur la détermination de trois types d'accents : l'accent phénoménologique, qui procure l'emphase du discours musical (points d'attaque, sforzando, changements de dynamique), l'accent structurel, créé par la coïncidence d'un point de gravité non rythmique (harmonique, mélodique, cadentiel, etc...) et l'accent métrique (accent rythmique dans un contexte métrique donné). Les autres psychoacousticiens du rythme, comme Lee, ou Longuet-Higgins proposent d'autres hiérarchies du processus cognitif de compréhension supérieure du rythme. Ces règles restent d'ailleurs, à ce niveau, difficiles à mettre en évidence, et semblent généralement élaborées à partir d'intuitions ou de biais provenant de la culture propre au chercheur. On s'aperçoit que, souvent, les mécanismes les plus fins mis en avant restent fortement liés à une écoute tonale et occidentalisée de la musique[119].

Enfin, La théorie de Lerdahl et Jackendoff a tendance à séparer la compression des différents paramètres musicaux, notamment dans les phases a) et b). Dans la pratique, surtout en ce qui concerne le rythme, la compression est dépendante de tous les paramètres : rythme des accents, des nuances, rythme harmonique, tensions mélodiques, timbre, etc .

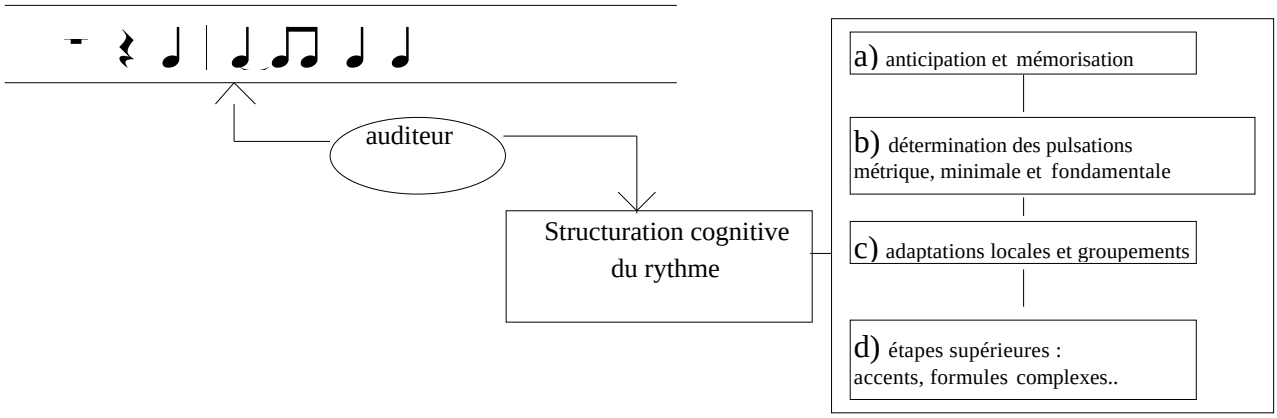


Schéma II-7: schéma du processus cognitif de compression du rythme

3) Complexité perceptive et complexité analytique

Malgré les nombreux travaux de psychoacoustique dans ce domaine, on ne connaît pas encore de façon exhaustive et consensuelle les détails du processus cognitif de structuration du

[119] par exemple les lois MPR, notamment MPR6 à MPR9 de Lerdahl et Jackendoff.

rythme. Selon *l'hypothèse relativiste*, nous nous refusons également à croire à d'éventuels universaux de la perception, comme à croire qu'on puisse totalement isoler la perception de ce paramètre de celle des autres constituants de l'objet musical. Cependant, le rythme, comme tout autre paramètre musical, présente les huit principes et théorèmes présentés au chapitre précédent : a) **l'hypothèse cognitiviste** (la compréhension du rythme est une compression) ; b) **l'hypothèse relativiste** (la perception du rythme s'améliore et se modifie avec le nombre d'écoutes de la chaîne d'information, et avec l'acquisition de connaissances externes) ; c) **Le principe d'indépendance esthésique** (l'algorithme virtuel réengendré inconsciemment par l'auditeur peut être différent de l'algorithme imaginé par le compositeur) ; d) **Le principe de calcul de la complexité perceptive du rythme** (la complexité perceptive est la KC-complexité analytique de l'algorithme virtuel réengendré par l'auditeur) ; e) **Le principe de non-bijection entre les complexités** (deux algorithmes rythmiques de même structure et de même complexité organisationnelle peuvent engendrer deux complexités perceptives différentes. Deux complexités perceptives semblables peuvent être obtenues par des procédés analytiques de complexité différente) ; f) **Le principe de saturation cognitive** (il existe une limite relative dans la complexité perceptive, au-delà de laquelle l'auditeur ne peut plus engendrer d'algorithme virtuel, c'est-à-dire qu'il n'a plus de repère pour comprendre la chaîne d'information) ; g) **Le théorème de la complexité et de l'aléatoire** (Un phénomène perçu comme aléatoire est un phénomène impossible à comprendre et à apercevoir. L'aléatoire est une qualité de jugement et de perception, et non un principe d'organisation du phénomène) ; h) **Le principe d'économie poïétique** (d'une façon générale, les compositeurs préféreront employer et élaborer des techniques à complexité analytique faible induisant des transformations à forte complexité perceptive).

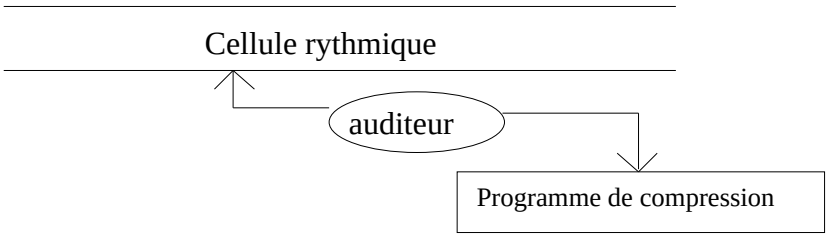


Schéma II-8: Processus cognitif de réengendrement du rythme

A titre d'exemple, appliquons quelques-uns de ces principes théoriques au cas du rythme.

a) Complexité perceptive d'un rythme

Pour calculer la complexité informationnelle d'un rythme, l'approche la plus élémentaire serait de calculer son contenu brut en information. Ceci correspond à une audition littérale du rythme sans processus cognitif de compréhension et d'anticipation. Cependant, un rythme du type :

Schéma II.9: rythme (1)

défini par la chaîne binaire [10 11 11 11 11 10] de douze caractères, a le même contenu brut en information que le rythme équivalent à [01 10 11 01 10 01] :

Schéma II.10: rythme (2)

Leur complexité perceptive n'est pourtant pas la même. L'hypothèse cognitiviste stipule en effet que l'auditeur ne lit pas littéralement la chaîne d'information, mais la comprime pour la comprendre et la réengendrer. Si on tente de décrire schématiquement les mécanismes de compression, on trouve en effet que le programme de réengendrement par l'automate de la deuxième chaîne ayant une KC-complexité analytique supérieure à celui de la première :

Changements cognitifs de pulsations :

Chang. de pulsation métrique :	↑		(simples et immédiats)
Chang. de pulsation fondamentale :	↑		(simples et immédiats)
Chang. de pulsation minimale :	↑	↑	(simples et immédiats)
Groupements :	↑	———————————	

La KC-complexité analytique du programme permettant de réengendrer la chaîne [10 11 11 11 11 10] est faible

(diagrammes de changements d'état [a b a])

Changements cognitifs de pulsations :

Chang. de pulsation métrique :	↑	↑	(↑)	ou	(↑)		(incertains et multiples)
Chang. de pulsation fondamentale :	↑	↑	↑		↑		(incertains et multiples)
Pulsation unitaire :		↑					
Groupements :	———		——	———		—	(non réguliers)

La KC-complexité analytique du programme permettant d'engendrer la chaîne [01 10 11 01 10 01] est moyenne
(diagrammes de changements d'état [a b c a b a]
[a b a c])

Schéma II.11: Esquisses de calcul des KC-complexités perceptives pour deux rythmes

b) Jeux sur le signe

La musique occidentale a développé un alphabet propre au rythme qui n'offre certes pas toutes les informations sur l'interprétation de ce paramètre mais propose des signes de valeurs discrètes de durées que l'on peut combiner avec les autres alphabets de nuance et de hauteur. Les lettres de cet alphabet ont des relations multiplicatives entre elles (généralement en rapport double), et la combinaison de ces lettres offre une structure de groupe additif. Les compositeurs se sont, dès le XIII^{e} siècle, accaparés cette graphémologie pour construire une grammatologie. Il ne s'agit pas, ici comme dans toute cette étude, de juger de la validité d'une grammatologie du signe, même si elle ne se perçoit pas : les jeux sur le signe permettent souvent au compositeur, comme plus généralement toute écriture et grammatologie visuelle et analytique (doigtés, etc.), d'engendrer simplement un matériau complexe que la seule grammatologie du sonore n'aurait pu imaginer (*principe d'économie poïétique*). L'exemple donné au chapitre B-I-1-d) du Rondeau en rétrograde *ma fin est mon commencement* de Guillaume de Machault est un exemple ancien de ce jeu sur le signe rythmique, comme le sont les principes de *dragma* du XIV^{e} siècle. Le XX^{e} siècle regorge également de telles pratiques. Dans ses *Modes de valeurs et d'intensités* (1949) et dans le *Cantéyodjayâ* de sa Turangalila Symphonie (1946), Messiaen sérialise les signes de durée pour y opérer ensuite une combinatoire. Ce principe est déjà décrit dans son ouvrage *Technique de mon langage musical* (Messiaen [1944], p.10).

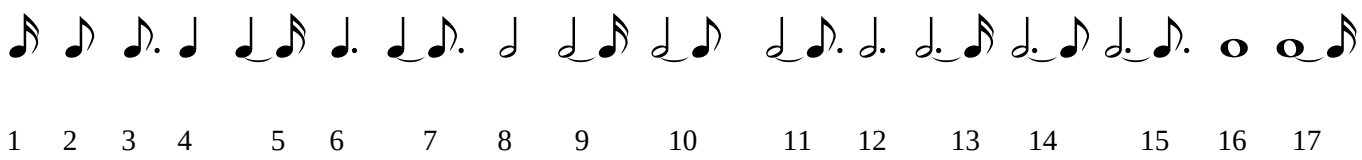


Schéma II.12 : Sérialisation des signes rythmiques dans la Turangalîla-Symphonie de Messiaen

Cette sérialisation est associée aux autres alphabets de hauteurs et de dynamiques, eux-mêmes sérialisés. Ainsi, chaque hauteur et chaque nuance sont associées au même rythme. La technique que Stockhausen adopte dans « *Wie die Zeit vergeht...* » est identique, liée au contenu et non seulement au contenant, puisque la sérialisation double [hauteur/durée] est proportionnelle à la fréquence, prolongeant dans le domaine des durées audibles la hiérarchie des longueurs de battement des fréquences : plus la fréquence est élevée, plus la durée est proportionnellement courte[120]. Dans *Le Marteau sans Maître* (1955), Pierre Boulez reprend le principe de Messiaen mais autonomise le principe de sérialisation sur les signes de hauteur et celui sur les signes de rythme, afin de « *désolidariser les séries rythmiques des séries de hauteurs qui leur ont donné naissance et, somme toute, créer un contrepoint de structure entre les hauteurs et les rythmes* » (Boulez [1966], p.159)[121].

[120] le phénomène obtenu sur les échantillonneurs analogiques est similaire : une vitesse de lecture plus faible diminue la durée d'un son et sa hauteur dans des rapports fréquentiels égaux.
[121] On consultera pour plus d'informations l'article « Inventions rythmiques et écriture du temps dans les musiques après 1945 » de François Decarsin, in (Lévy [2001], p.61-89)

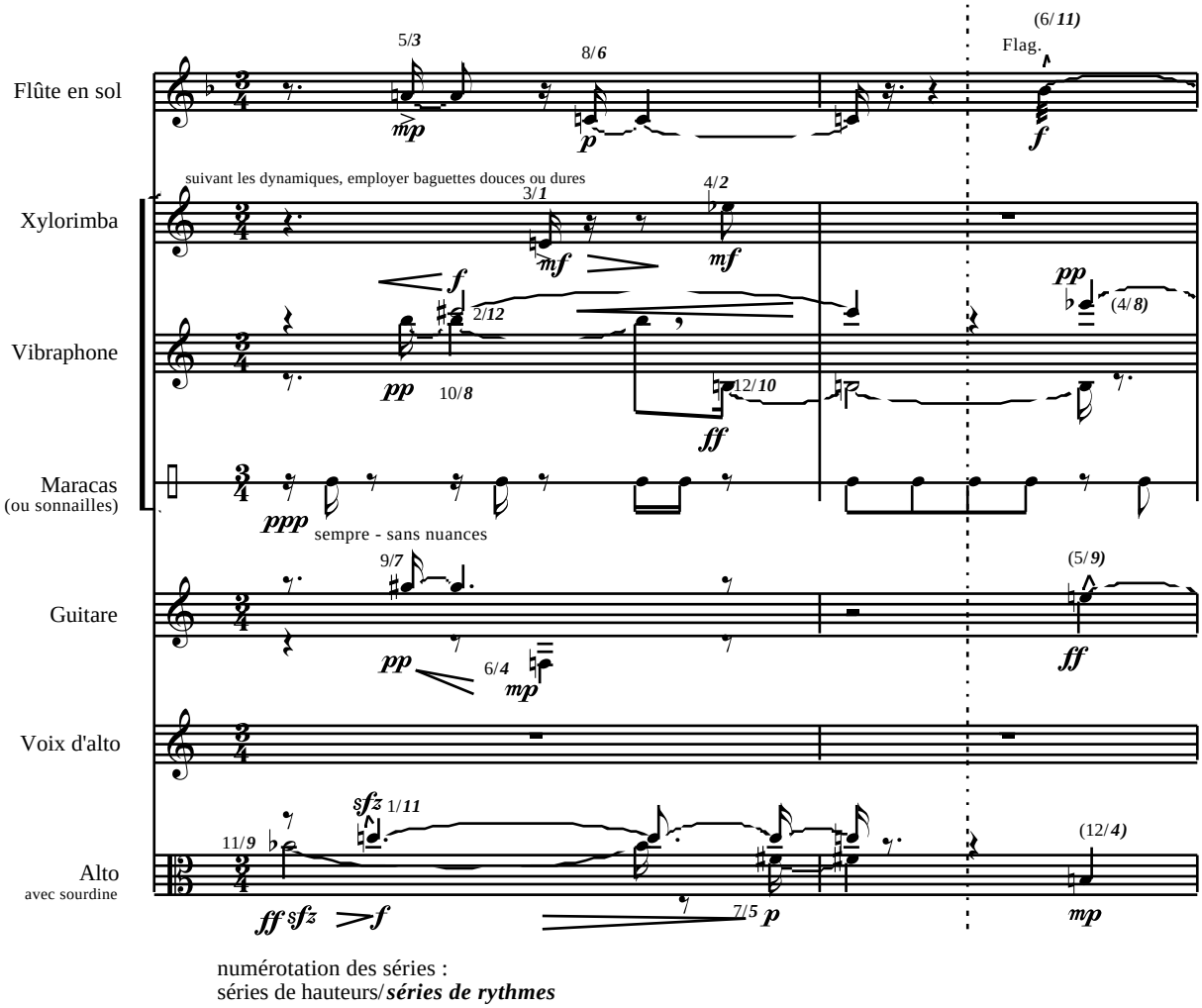


Schéma II.13: Sérialisation indépendante des signes de hauteurs et de durées dans Le marteau sans maître (1955), VI-« bourreaux de solitude », *mes.1&2, de P. Boulez.*

Notons que la sérialisation des signes de rythme est ici un pur jeu d'écriture, puisqu'elle est partagée entre les divers instruments et intervient sur des instruments percussifs non entretenus (guitare, percussions) et des instruments entretenus. De plus, les maracas ont une ligne rythmique indépendante qui brouille une éventuelle écoute des séries rythmiques. Le jeu permet ici d'engendrer un matériau neutre en hauteurs et en rythmes (les nuances et signes d'accentuation sont vraisemblablement également sérialisés), auquel une logique de choix purement musical doit ensuite donner sens.

L'exemple donné au chapitre A-III.4.b) issu des mesures 137 à 174 du *Trio à cordes* de Ferneyhough est un autre exemple significatif de jeu sur le signe rythmique (ici, de jeu sur les signes numériques permettant d'engendrer des rythmes en LISP), dont l'objectif n'est pas

d'être entendu comme tel par l'auditeur, mais de générer par principe d'économie poïétique du matériau rythmique que l'intuition n'aurait pu imaginer.

c) Complexités non-bijectives

Le paradoxe des chaînes d'information abstraites S1, S2 et S3 du chapitre précédent est aisément applicable au rythme. Considérons un processus simple engendrant une succession de rythmes dont la périodicité de l'un est toujours double du précédent (chaque période est partagée en deux demi-périodes égales). On obtient, notées schématiquement puis musicalement, les figures suivantes :

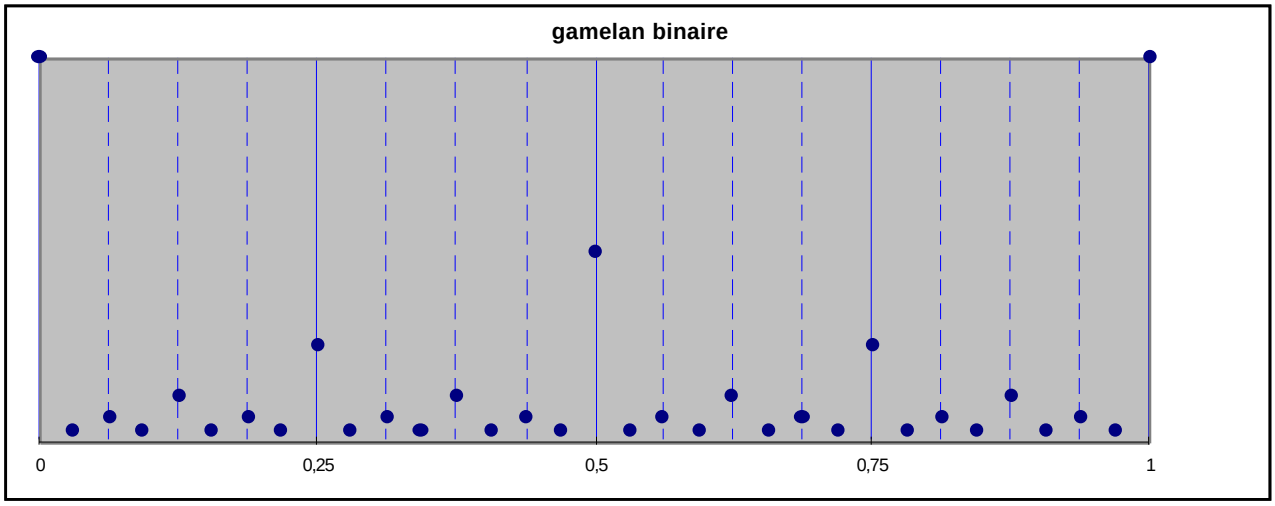


Schéma II.14.a : Gamelan binaire (notation symbolique). Chaque voix a une périodicité de moitié par rapport à la précédente.

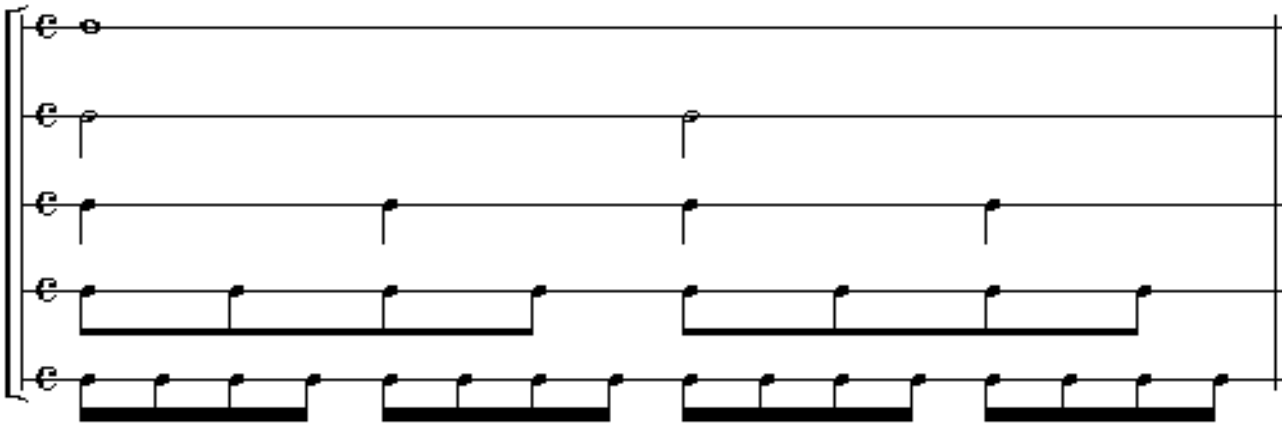


Schéma II.14.b : Gamelan binaire (notation musicale).

Le « processus analytique » qui a permis d'engendrer ce gamelan binaire peut se schématiser par l'algorithme suivant :

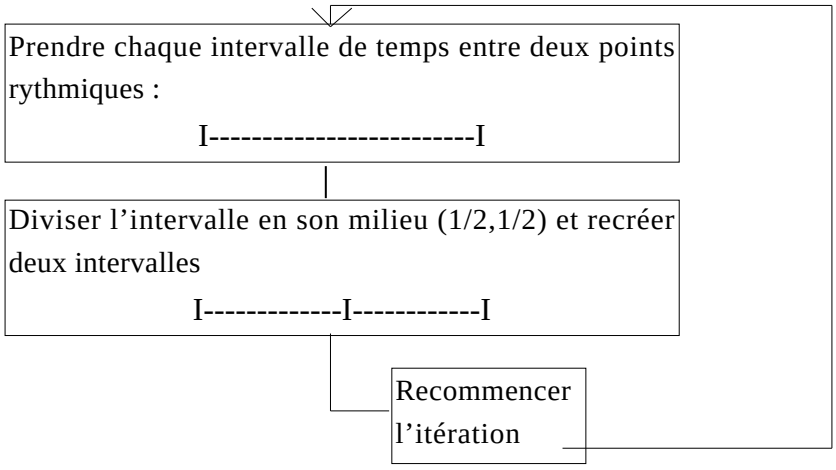


Schéma II.15 : algorithme générateur du Gamelan binaire

Modifions légèrement l'algorithme, sans transformer la structure analytique, « le principe générateur », et, en particulier, sans changer la complexité analytique de l'algorithme.

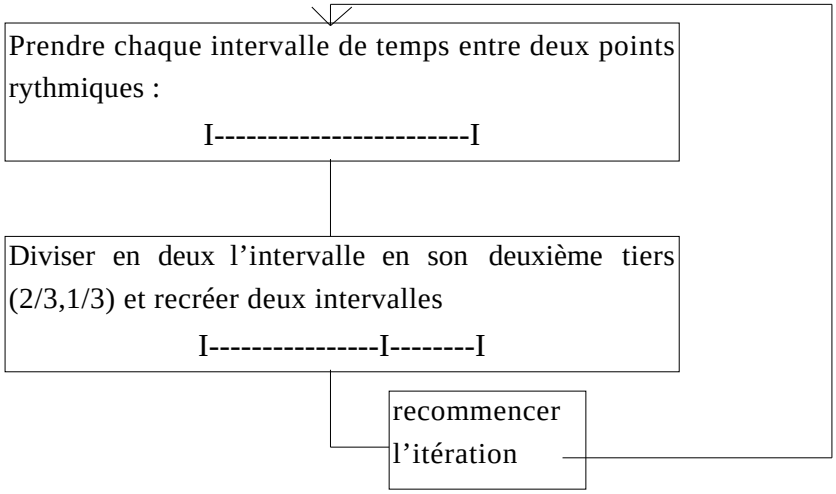


Schéma II.16 : algorithme générateur du Gamelan ternaire

On obtient la figure suivante, transcrite d'abord schématiquement, puis en notation musicale :

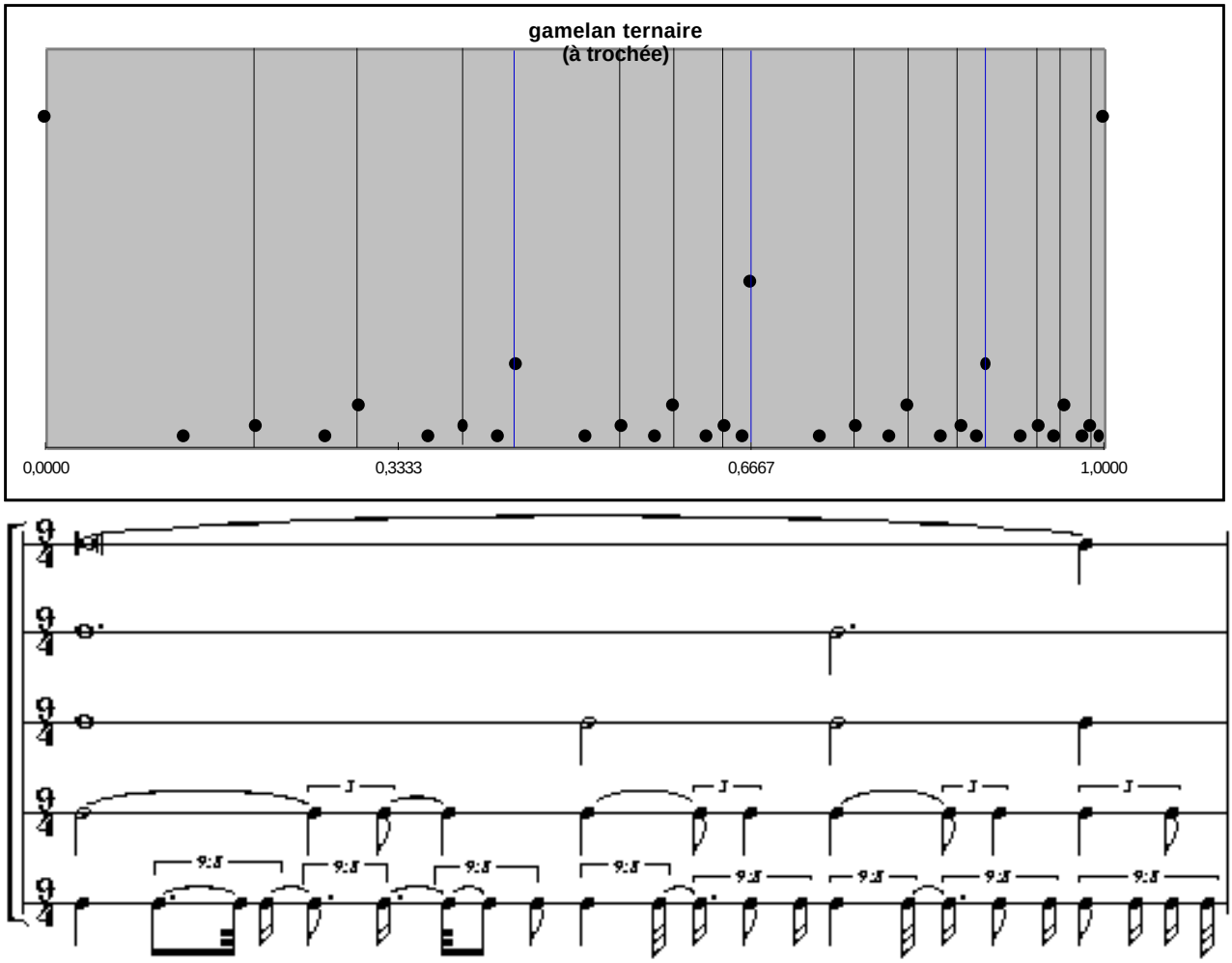


Schéma II.16 Gamelan ternaire. Chaque voix a une périodicité de moitié par rapport à la précédente.

Dans la seconde figure, le récepteur ne saisit pas immédiatement la logique du rythme, même s'il entrevoit peut-être ici ou là quelques singularités. La complexité perceptive de ce gamelan ternaire est donc beaucoup plus élevée que celle du gamelan binaire. Pourtant, le programme qui a servi à engendrer ce rythme est de KC-complexité analytique identique : les deux procédures ne diffèrent que par le changement de la valeur d'un paramètre ([2/3,] et non [1/2])[122].

Notons également que si la deuxième figure parait visuellement complexe et que sa lecture ne permet pas de retrouver un algorithme simple de réengendrement par itération de la séparation en deux d'un segment, comparable à l'algorithme qui l'a engendré, l'audition de ce gamelan ternaire ne paraît pas totalement aléatoire : on ne perçoit certes aucune régularité

rythmique, mais l'écoute laisse entendre (lorsque ce rythme complexe est joué par un ordinateur) une sorte d'accelerando régulier et singulier.

Il s'agit donc là d'une application du principe de non-bijection entre les complexités, puisqu'une même complexité analytique engendre deux complexités perceptives. Il s'agit également d'une application du principe d'indépendance esthésique, puisque l'algorithme virtuel réengendré inconsciemment par l'auditeur est, dans le deuxième cas, différent de l'algorithme imaginé par le compositeur.

[122] Certains rétorqueront que 1/2 est la moitié, alors que 2/3 n'est pas aussi symétrique. Ceci est un argument perceptif : la modification [1/2 1/2] à [2/3 1/3] n'accroit pas la complexité analytique de l'algorithme générateur.

III.- APPLICATION 2 : COMPLEXITÉS ANALYTIQUE ET PERCEPTIVE D'UNE TRANSFORMATION DES HAUTEURS D'UN MOTIF

1) Complexité perceptive d'une transformation de hauteurs

La section A avait établi différents outils mathématiques pour caractériser analytiquement une transformation et sa complexité. La décomposition matricielle d'une transformation en valeur permet, par exemple, de déterminer les vecteurs propres, c'est-à-dire les vecteurs qui restent inchangés sauf par augmentation/diminution, après la transformation. Tout vecteur peut ensuite être exprimé dans cette nouvelle base, offrant une représentation plus lisible de la transformation. La décomposition de Cayley-Hamilton d'une transformation quelconque, (transformation en valeur et/ou transformation combinatoire) permet d'étudier le comportement de cette transformation itérée un certain nombre de fois et de l'approcher par une transformation plus simple en valeur uniquement, qui aura un comportement identique pour un grand nombre d'itérations. L'analyse mathématique d'une transformation combinatoire (permutations) détermine sa parité (par la signature) et la longueur des cycles après itération de la permutation. Une transformation combinatoire est également décomposable en une combinaison de permutations plus simples.

De nombreuses expériences de psychoacoustique ont montré que les structures analytiques des transformations combinatoires de hauteurs n'étaient pas toujours perçues par l'auditeur. Robert Francès a ainsi effectué des tests de perception de transformations sérielles, afin d'évaluer la faculté d'un auditeur à percevoir l'unité qui se dégage entre une série initiale et sa transformée : « *Expérience VI : nous nous sommes proposés de soumettre à l'expérimentation non la possibilité d'identifier les modes de transformation de la série, mais la saisie d'une identité à travers ces modes, en rapport avec la présence de la série. C'est cette question et non la première qui peut être valablement soulevée : si la série est un principe d'organisation dont découlent les aspects formels de l'œuvre, elle doit produire, ne serait-ce qu'intuitivement, un sentiment d'unité sous-jacent. (...) Nous savons que cette unité se révèle à la lecture -par le détour inévitable de l'"état" momentané de la série (direct, renversé, récurrent, etc.). Il n'est pas légitime que l'auditeur emprunte le même détour. (...) Le seul moyen d'expérimenter était de demander à des auditeurs de distinguer l'unité résultant d'une série de l'unité résultant d'une autre série* » (Francès [1958], p.140). Après avoir testé sur des

auditeurs plusieurs dérivations de séries, que l'auditeur devait rapprocher de la série initiale, R. Francès conclut : « [malgré la portée réduite des résultats du fait des conditions d'expérimentation, il semble que] *l'unité sérielle est d'ordre conceptuel plutôt que d'ordre perceptif; (...) La variété imputable à la série en tant que telle n'est pas compensée par un sentiment d'unité suffisant pour que le lien d'une partie de l'œuvre à une autre soit toujours perceptible* » (p.144).

Ce genre d'expérience n'a pas prétention de juger la méthode. D'une part, elle concerne un échantillon appartenant à une époque et à une communauté, c'est-à-dire lié à des conventions d'écoute[123]. D'autre part, cette expérience s'intéresse à la pertinence esthésique de ces transformations. Or, comme toute grammatologie, les transformations sur les hauteurs peuvent avoir une motivation uniquement poïétique d'engendrement de matériau que l'intuition n'aurait pu imaginer. Il n'est pas besoin que la « transformation doive se percevoir ». Les trois viennois, notamment Webern, utilisaient d'ailleurs la série et ses dérivées comme pré-matériau compositionnel partagé entre les voix, et non comme motif.

La nécessité de vouloir percevoir la transformation appartient en fait à une convention formaliste, où l'œuvre perçue, c'est-à-dire ce qu'on propose à l'audition, existerait par l'ingéniosité des techniques trouvées par le compositeur.

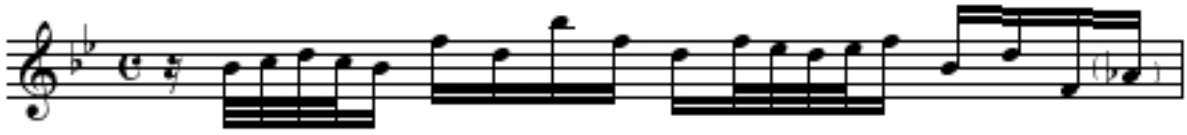



Figure III-1 : Première mesure de l'Invention n°14 BWV 785 de J.S.Bach, symétrie par rapport à ré (la symétrie se perçoit-elle ou est-elle uniquement poïétique ?)

2) Jeux sur le signe

Nous ne tenterons pas d'appliquer à nouveau au paramètre des hauteurs l'ensemble des huit conclusions théoriques édictées dans le chapitre B-I, comme nous l'avons fait pour le rythme. Certains jeux sur le signe -permutations de signe, combinaisons numériques après avoir attribué à chaque signe un numéro ordinal (la série), symétrie par rapport à un axe, etc.- induisent les mêmes conclusions. Ainsi, comme pour le rythme, la perception des hauteurs est

[123] la partie C étudiera les biais culturels de perception, ainsi que les principes épistémologiques fondant les résultats de ce type de sciences expérimentales.

cognitive et relative à la culture de l'auditeur (des modèles de erception culturelle des intervalles seront élaborés dans la partie C) ; l'algorithme virtuel réengendré inconsciemment par l'auditeur peut être différent de l'algorithme imaginé par le compositeur ; en conséquence, deux algorithmes de même structure et de même complexité organisationnelle peuvent engendrer deux complexités perceptives très éloignées, et deux complexités perceptives semblables peuvent être obtenues par des procédés de complexité analytique différente ; Ceci ne remet pas en cause la technique, que le compositeur emploie souvent par souci d'économie poïétique ; enfin, il existe une limite relative dans la complexité perceptive des transformations de hauteurs, au-delà de laquelle l'auditeur ne peut plus engendrer d'algorithme virtuel, c'est-à-dire qu'il n'a plus de repère pour comprendre la chaîne d'information.

Précisons plutôt deux remarques complémentaires propres aux hauteurs :

a) Graphémologie adéquate.

Comme pour celle sur le rythme, la technique de sérialisation et de dérivation des hauteurs passe généralement par une numérotation chiffrée : il est plus aisé d'effectuer un rétrograde ou de compléter une série lorsque celle-ci est notée en chiffres plutôt qu'en notes, alors qu'il est plus facile de transposer un motif en préservant sa graphémologie en hauteurs. Il est plus facile d'effectuer des opérations spectrales (modulation de fréquence, création de spectre, étirement de spectre) avec des hauteurs exprimées en Hertz[124], alors qu'il est plus facile d'effectuer des opérations sur les intervalles (transposition, marche harmonique, multiplication d'accords, symétrie) avec une notation en notes. Bref, **à chaque opération sur les hauteurs correspond une graphémologie adéquate**.

b) Cryptographie et gématrie.

L'alphabet rythmique offre une double structure ordinale et cardinale, avec des relations simples entre les valeurs (valeurs doubles), ce qui a favorisé le développement par les compositeurs de permutation, de filtrage / complétion sur la structure ordinale (monnayage), et d'opérations en valeurs (augmentations). Les notes, sauf pour les compositeurs travaillant en fréquence, n'offrent au contraire ni structure ordinale (le do et le la ne peuvent être

[124] L'espace des hauteurs est alors muni d'opérations d'addition et de soustraction pour ces opérations, alors que les opérations seraient logarithmiques et exponentielles sur des notes.

hiérarchisés), ni structure cardinale (on ne peut additionner un la et un do). Les opérations effectuées sur des signes représentatifs des hauteurs sont en conséquence purement liées au symbole graphique dépourvu de tout signifié autre que sa signification musicale, sauf si ce signe est traduit en un autre signe, possédant lui une structure ordinale (lettres de l'alphabet), cardinale (nombres, intervalles), ou tout autre signifiant extra-musical.

L'écriture anglo-saxonne des hauteurs permet ainsi, par glissement de signifié, une grammatologie sur le signe sémantique, puisque son alphabet est composé de lettres (a, b, h, c, d, e, f, g) et non des syllabes de solmisation latines utilisés par les chantres à partir du moyen-âge (ut, ré, mi, etc.). À partir de cette écriture ont été rapidement développés divers jeux de cryptographie syntaxique sur les signes de hauteurs. Les exemples connus les plus anciens apparaissent à la fin du moyen-âge, par exemple dans *Nymphes des boys, déesses des fontaines* de Josquin des Prez, composé à la mémoire de Johannes Ockeghem. Selon le musicologue Jaap Van Benthem, l'œuvre serait construite sur un cryptage de l'alphabet latin médiéval (i=j=9, et u=v=20) à partir des noms O(14) + C(3) + K(10) + E(5) + G(7) + H(8) + E(5) + M(12) = 64 et JOSQUIN = 99 + DESPREZ(88) = 187, ainsi que sur un jeu liant les valeurs des vers avec celle des notes (Van Benthiem [2001], p127-133).

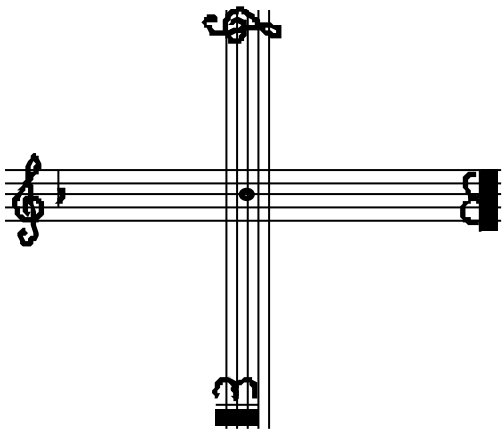


Figure III-2 : BACH

L'exemple le plus connu de jeu cryptographique sur les signes des hauteurs reste cependant celui de B-A-C-H (sib, la, do, si), dont l'utilisation est d'ailleurs antérieure à celle qu'en fait J.-S. Bach lui-même dans le Contrapunctus XIV inachevé de *l'Art de la Fugue*, puisque Walther le mentionne dès 1732, dans son *Musicalisches Lexicon.* Malcolm Boyd[125] a recensé près de quatre cents utilisations conscientes de ce motif, du fils Johann-Christian Bach et de son élève J.-L. Krebs (en sujet de fugue) aux trois Viennois (*variations op.31 pour orchestre* et *troisième quatuor à cordes* de Schönberg, *quatuor à cordes* de Webern op.28), en passant par Schumann (six fugues op.60 pour orgue et piano, et

[125] M.Boyd [1999] « 'BACH', bach », Oxford Composer Companions, Oxford.

fugue Op.72), Liszt, Reger, Busoni, Rimsky-Korsakov, ou d'Indy. Il n'est pas rare de l'entendre encore dans des créations actuelles.

Robert Schumann est également l'un des grands utilisateurs de cette méthode de cryptage, qu'il découvre à la lecture de l'ouvrage de Johann Klüber *Kryptographik*, publié en 1809 : *variations sur le thème Abegg* -op.1, 1830- pour piano, dont le motif générateur est tiré de A-B-E-G-G ; les *Davidsbündlertänze* -op.6, 1837-, avec l'hommage à Clara cryptée en C-B-A-Gis-A et en D-Cis-B-As-B ; le cycle des *Carnaval* Op.9, *scènes mignonnes sur quatre notes* pour piano -, 1835-, dont l'ensemble des pièces est formé à partir des notes la-A, mi bémol-Es, do-C, si-H et de leur combinaison sémantique et musicale (par exemple la dixième pièce « *A.S.C.H.-S.C.H.A., lettres dansantes* » ; Asch est une ville où habitait la première fiancée de Schumann, Ernestine von Fricken ; Scha signifie Schumann, etc.).

Un autre exemple fameux de cryptographie et de gématrie[126] concerne la *Suite Lyrique* (1925-27) d'Alban Berg, dont toute la partition[127] est engendrée à partir d'un programme secret relatant son amour adultère avec Hanna Fuchs, la sœur de Werfel (A-B-H-F pour les initiales des noms et prénoms des deux protagonistes, et où toutes les proportions et indications métronomiques sont basées sur les chiffres 23 et 10, censés représenter respectivement Berg et Fuchs)[128]. Ceci a été retrouvé grâce aux annotations inscrites par Berg sur la partition de Hanna Fuchs. Esteban Buch écrit « *Le 'programme secret' de la* Suite Lyrique *n'est pas de la musique. Il est de l'écriture. Il existe pour l'œil et non pas pour l'oreille.* » (Buch [1994], p.40).

---

[126] Gematria : une méthode cabbalistique d'interprétation des textes hébreux en interchangeant les mots dont les lettres ont les mêmes valeurs numériques quand elles sont additionnées. *Oxford Englisch Dictionnary F-G, p.97*. Bach avait ainsi compté que BACH=14, J.S.BACH=41, rétrograde de 14, et que JOHANN SEBASTIAN BACH=158, où 1+5+8=14. Pour plus de détails sur les connections numérologiques faites entre des mots hébreux, on consultera : Matityahu Glazerson, *Building blocks of the soul, studies on the letters and words of the hebrew language*, Jason Aronson inc. ed. On peut noter que l'hébreu fut une des premières écritures symboliques non représentatives, dont la graphémologie nouvelle a incité une grammatologie sur le signe telle la gématrie.

[127] À part notamment la série initiale dont toutes les notes et tous les intervalles sont représentés, série imaginée par l'élève de Berg F.H. Klein.

[128] Pour les détails de ce programme secret, on consultera entre autres : G. Perle [1968], « Das geheime Programm der Lyrischen Suite », *Alban Berg, Kammermusik 1, Musikkonzepte 4*, München ; et W. König [1999], *Der erste Satz der Lyrischen Suite von Alban Berg und seine fast belanglose Stimmung. Ein Deutungversuch*.. HansSchneider ed., Tutzing.

Dans ces exemples de cryptographie, la complexité analytique de la codification et des transformations n'a aucune motivation perceptive. Elle est un jeu d'affection symbolique du compositeur. On étudiera dans la partie C la cohérence perceptive a posteriori d'autres procédés sériels sans motivation perceptive a priori, par exemple l'engendrement des séries *Alwa, Lulu* et *Schön* dans l'opéra *Lulu* de Berg. Notons également que l'**on peut toujours faire émerger a posteriori, à partir d'une chaîne d'information longue, des relations de nombres et des figures remarquables d'une partition**. Ce phénomène est totalement indépendant d'une quelconque volonté compositionnelle. Il sera étudié dans le chapitre B-V (« Du résultat à la procédure : fascination du signe et de la figure remarquable en analyse musicale ») et est fondé sur le théorème mathématique *de Ramsey.*

3) Principe de non-bijection entre les complexités

L'enquête de Francès tentait de mettre en évidence la proximité perceptive entre deux séries analytiquement proches (une série était dérivée de l'autre par une transformation algébrique d'inversion de l'axe du temps –rétrograde- ou de celui des hauteurs –symétrie- ; ces transformations sont de KC-complexité analytique faible).

Inversons la proposition, et imaginons un compositeur utilisant comme matériau de base deux séries dodécaphoniques A et B distinctes perceptivement[129], tout comme il peut utiliser deux thèmes très éloignés dans une forme sonate pour les confronter et les dériver ensuite.

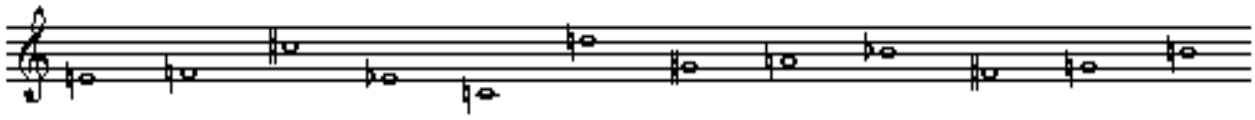



Figure III-3 : Série A (issue des premières mesures des variations op.27 de Webern)

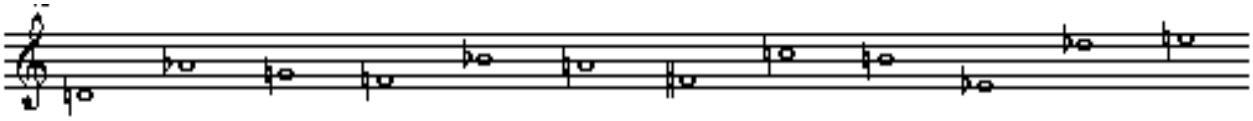



Figure III-4 : Série B, (perceptivement distincte de la série A)

[129] On rétorquera avec raison qu'une série dodécaphonique n'est pas employée comme motif perceptif mais comme prématériau. La démonstration qui suit s'intéresse à la perception d'un matériau quelconque après transformation combinatoire, et non à la perception du matériau lui-même. Elle aurait été identique avec un matériau plus mélodique que l'on transformerait par symétrie ou rétrograde. Nous avons conservé la série afin d'avoir une certaine cohérence historique (dérivations de série). Mais cet exemple aurait pu s'appliquer à certains motifs de l'ars nova, et même à n'importe quelle mélodie. Il est donc conseillé d'accepter ici la série comme un motif mélodique, et de l'écouter tel quel.

Appliquons aux séries A et B une dérivation de symétrie classique par rapport à ré. Cette transformation est de KC-complexité analytique faible.

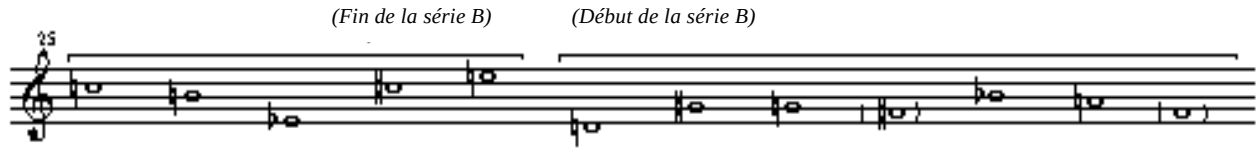



Figure III-5 : symétrie de la série A par rapport à ré

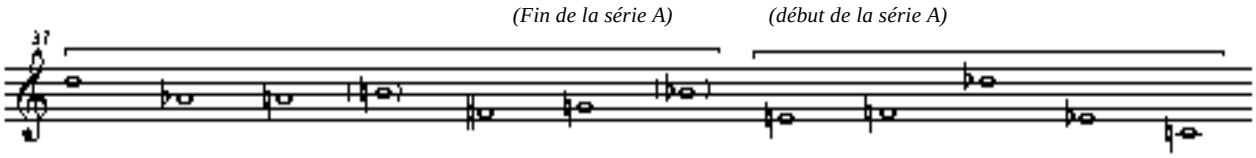



Figure III-6 : symétrie de la série B par rapport à ré

L'auditeur saura-t-il associer perceptivement la série A transformée à son original, et la série B transformée à son original ? Il semble que non. Lorsque l'auditeur entend la symétrie de la série A par rapport à [ré], le résultat perceptif est plus proche de la série B (contour identique, notes identiques sauf deux) que de la série A. Le résultat est le même pour la symétrie de la série B : Une série et sa transformée par une transformation de KC-complexité analytique faible sur le signe peuvent être perceptivement très éloignées.

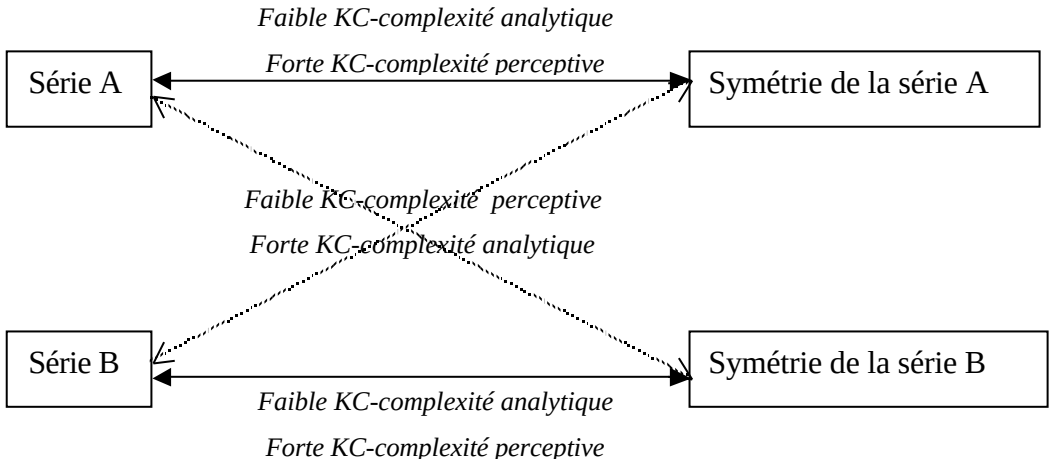


Figure III-7 : Non -bijection des complexités

4) Complexité analytique et complexité perceptive

Ce paradoxe s'explique aisément au regard des résultats établis dans la partie A et au chapitre B-I. Certes, il est évident que la complexité perceptive de la transformation dépend d'un certain nombre de données exogènes à la structure mathématique de la transformation. Elle dépend en particulier :

i) de la culture de l'auditeur.

ii) de la taille et de la structure de l'élément à transformer (un motif court, dont le contour change peu de direction, contenant des éléments très caractéristiques -figures rythmiques, trilles, etc..- gardera une cohérence avec son transformé, même complexe. C'est l'exemple de *l'Invention* de Bach, figure III-1).

Nous simulerons dans la partie C le comportement cognitif de différents profils culturels d'auditeurs écoutant des transformations de hauteurs, de l'auditeur de type « moyen » restant insensible à une symétrie, à l'auditeur de type « hyper-sériel » reconnaissant aisément une combinaison multiple de symétries et de rétrogrades (c'est-à-dire pour lequel l'automate de réengendrement retrouve sans problème les combinatoires sur le signe élaborées par le compositeur). Cependant, on peut avancer certaines explications plus universelles, en particulier que les mécanismes cognitifs de l'audition standard ne peuvent reconstituer une déformation de l'axe du temps et de l'axe des hauteurs (contrairement à ceux de la vision). Ainsi :

i) Les transformations conservant les distances (transpositions et décalages) sont perceptivement peu complexes, alors que les homothéties (augmentations/diminutions) ont une KC-complexité perceptive forte. Ceci est lié au fait que ces transformations restent simples sur un espace où les opérations de perception sont additives et soustractives (notes, intervalles). Les complexités s'accroissent nettement pour des transformations conservant des distances sur des espaces pour lesquels l'oreille a une perception logarithmique. Même un auditeur averti de la musique sérielle associera la symétrie de la série B à la série A, car les transformations entre ces deux séries ne sont que des permutations de segments et des mutations de deux hauteurs.

ii) Les transformations locales (ajout, criblage), ont une complexité croissante avec le nombre d'éléments modifiés.

iii) Les transformations réorientant les axes horizontal ou vertical de perception (rétrogradation et symétries) ont des **complexités perceptives élevées par rapport à leurs complexités analytiques, simple[130].**

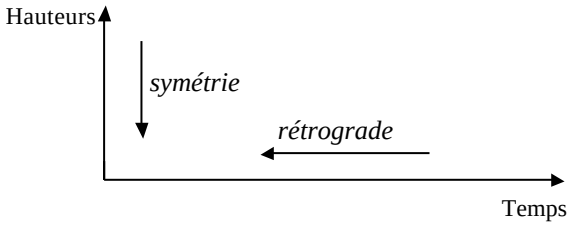


Figure III-8 : Transformations réorientant les axes

Les expériences de Diana Deutsch (McAdams[1994]) ou de Sloboda [1988] vont dans ce sens. Elles montrent que le contour mélodique est primordial sur les hauteurs. Les transformations réorientant l'espace du temps ou des hauteurs inversent les contours mélodiques dans cet espace. Le physicien Prigogine a également montré l'importance de la flèche du temps dans les expériences irréversibles, comme l'écoute (Lestage [1994], Prigogine&Stengers[1988]).

[130] Nous ne comparons cependant pas leur décalage relatif entre complexité perceptive et complexité analytique. Une transformation sur le temps fait intervenir des informations cognitives de niveau très différent des transformations sur les hauteurs.

IV.- APPLICATION 3 : QUAND DEUX PROCÉDURES AUX INTENTIONS GRAMMATOLOGIQUES ÉLOIGNÉES INDUISENT UN RÉSULTAT PERCEPTIF SIMILAIRE.

La question du rapport entre complexité perceptive et complexité grammatologique émerge nominalement dans le troisième quart du vingtième siècle avec la crise de la grammatologie traditionnelle. Posons un regard historique au principe de non-bijection entre les complexités et montrons un paradoxe où deux procédures aux logiques grammatologiques épistémologiquement éloignées engendrent des résultats perceptifs proches. Nous étudierons deux techniques caractéristiques de ce tournant des années 60 et 70 : l'une élaborée en France dans les années 60, utilise l'écriture dans sa fonction grammatologique classique en généralisant par combinatoire systématique la notion de transposition intervallique ; l'autre conçue également en France à la fin des années 70 emploie la notation musicale dans sa fonction graphémologique en transcrivant une technique issue de l'électroacoustique,et utilise le calcul en fréquences sur ordinateur comme grammatologie. Nous montrerons que ces deux techniques, issues donc de deux esthétiques radicalement opposées et de grammatologies différentes, sont perceptivement assez similaires.

1) Une combinatoire de l'intervalle : la technique de multiplication d'accords

Dans les années 60, Pierre Boulez cherche à formaliser et à élargir structurellement les procédés utilisés dans les techniques sérielles. Il s'intéresse en particulier à la transposition d'un agrégat de notes (vertical ou horizontal), et la généralise en élaborant la technique de ***multiplication d'accords*** (Boulez [1963] p.89, Boulez [1966]). Cette technique fut utilisée dans de nombreuses pièces dont le *Marteau sans maître* (1953/55) et *Pli selon pli* (1957-62).

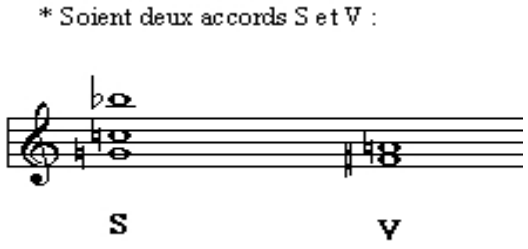


Figure IV-1 : deux accords

La multiplication de ces deux accords consiste à transposer l'accord S selon les notes de V. Notons que le terme de « multiplication » n'est mathématiquement pas exact, l'opération n'étant pas commutative[131]. On obtient trois agrégats possibles, suivant la note de S choisie comme pivot de transposition. L'ensemble peut aussi être agrégé en un seul accord S.V,total :

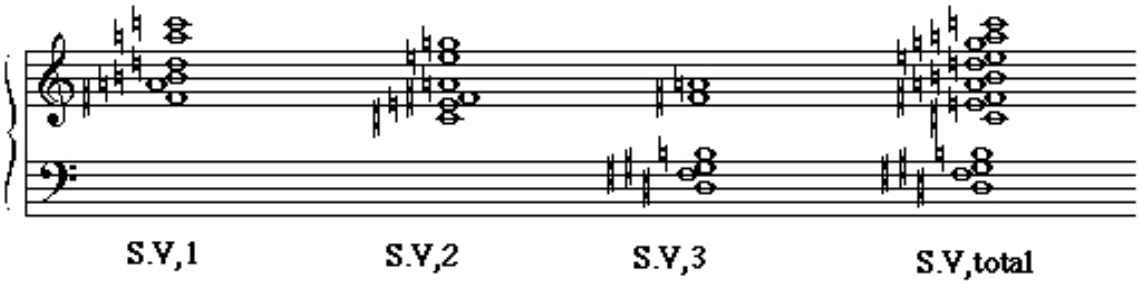


Figure IV-2 : multiplication de S par V

On remarque que les trois agrégats sont identiques à une transposition près. Les intervalles caractérisant ces transpositions d'agrégats correspondent en fait aux intervalles de S. De plus, chacun des agrégats obtenus contient l'accord V.

Plus formellement, si l'accord S contient n notes, et V m notes, et si $\{s_i\}_{1\leq i\leq n}$ et $\{v_j\}_{1\leq j\leq m}$ sont les différentes notes constituant respectivement S et V, l'agrégat résultant de la multiplication S x V, en prenant s_p comme pivot de transposition dans S sera :

$$S \times V \text{ , (pivot de transposition } s_p) = \{v_i + \{s_p - v_j\}_{1\leq j\leq m}\}_{1\leq i\leq n} \qquad \textit{(Formule a.1)}$$

$$S \times V_{total} = [\{v_i + \{s_k - v_j\}_{1\leq j\leq m}\}_{1\leq i\leq n}]_{1\leq k\leq p} \qquad \textit{(Formule a.2)}$$

2) Une procédure acoustique : les techniques de modulation d'onde

Parallèlement à ces recherches structurales en musique, des acousticiens ont développé au cours du XX^{e} siècle diverses techniques de modulations de signaux. Il s'agit de moduler un signal (onde *modulante*) par un autre signal (onde *porteuse*) suivant l'un de ses paramètres (fréquence, phase, amplitude, impulsions). Ces différentes méthodes sont appliquées en radiotechnique, mais deux techniques furent particulièrement utilisées en musique électroacoustique, la *modulation de fréquence* (FM) (par exemple dans *Stria* de Jown Chowning) et la *modulation en anneau*.

[131] c'est-à-dire que S x V est différent de V x S

Ces principes furent ensuite simulés et transcrits sur le papier par des compositeurs tels Gérard Grisey (*Partiels* (1975), *Jour, contre-jour* (1979)) ou Tristan Murail (*Treize couleurs du soleil couchant* (1978), *Gondwana* (1980)). La transcription instrumentale de ces techniques leur offraient des procédures d'enchaînement des agrégats, alors que les autres techniques d'analogie sur l'acoustique, comme l'engendrement de spectres, présentaient des résultats uniquement verticaux.

a) La modulation d'amplitude

La modulation d'amplitude consiste à moduler une onde ou un signal par l'amplitude d'une autre onde : Par exemple, dans le cas de deux signaux simples (sinusoïdes), l'onde A (porteuse) module l'onde B, d'où résulte l'onde C :

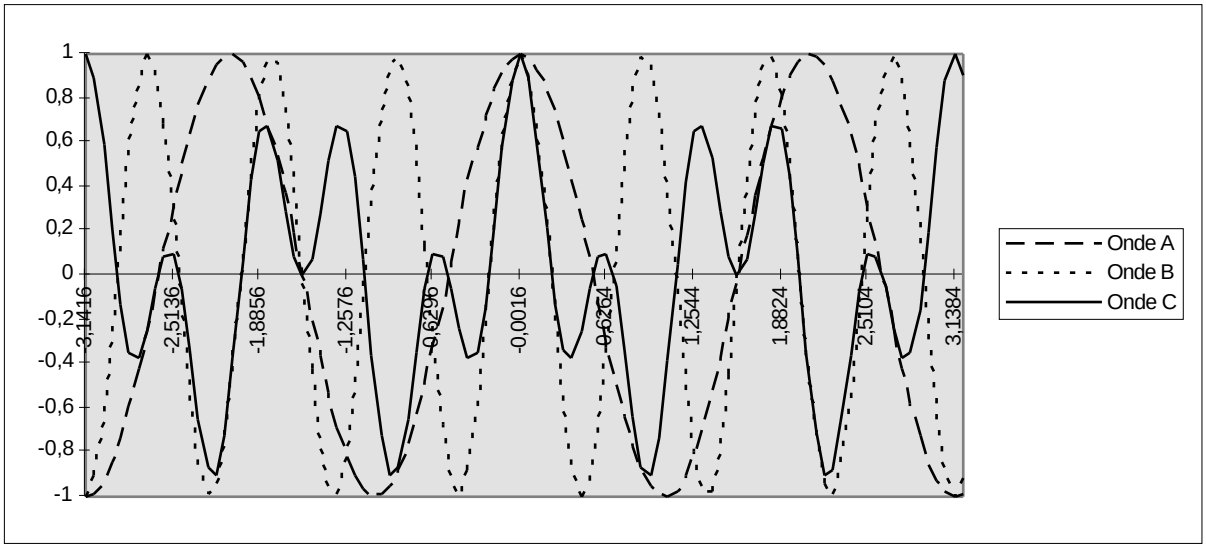


Figure IV-3 : modulation d'amplitude de deux sinusoïdes

Dans la modulation d'amplitude, l'opération est exceptionnellement commutative, c'est-à-dire que le résultat reste identique si A est l'onde modulante et B la porteuse. Acoustiquement, si le signal sinusoïdal A est de fréquence f_A et le signal B de fréquence f_B, l'onde C obtenue par modulation d'amplitude sera un son complexe (i.e. non sinusoïdal, cf. figure IV-3), à deux fréquences[132] :

$$(f_A + f_B).\text{et } |f_A - f_B|.$$

Ainsi, un signal fondamental f_0 modulé avec sa quinte f_0 x 3/2 donnera un son à deux notes : la fondamentale f_0 transposée d'une octave inférieure (f_0 x (3/2 – 1)) = (f_0 /2) et sa tierce transposée d'une octave inférieure (f_0 x (3/2 + 1)) = (f_0 x 5/2).

b) Le modulateur en anneau

Appliquant la technique de la modulation d'amplitude à un machine physique, Le *modulateur en anneau* est un petit appareil électroacoustique qui reçoit en entrée deux signaux et effectue la somme et la différence de leur fréquence $(f_A + f_B)$.et $|f_A - f_B|$. Très facile à fabriquer, il a été utilisé dans les musiques populaires, notamment en rock, et dans les musiques savantes (*Mantra* pour deux pianos, de Stockhausen). Son avantage est de transformer à faible coût technique et économique deux signaux harmoniques en un signal généralement inharmonique (dû à l'opération de sommation).

Ayant découvert la technique acoustique de modulation d'amplitude à travers le modulateur en anneau, les compositeurs de musique « spectrale » l'ont appliquée sur le plan de l'écriture instrumentale. Elle présentait en effet deux avantages : d'une part, elle était cohérente avec les grammatologies analogiquement acoustiques qu'ils tentaient d'élaborer ; d'autre part, la technique de modulation d'amplitude, dans sa partie fréquentielle, offrait un *principe d'économie poïétique*, puisque elle présente une complexité analytique faible (addition et soustraction de deux termes) et une complexité perceptive forte (on obtient facilement un agrégat très inharmonique).

c) La modulation de fréquence

Bien que connue antérieurement en radiotechnique, **la modulation de fréquence** ne fut développée qu'en 1973 en vue d'une application musicale par le physicien et compositeur John Chowning, dans les laboratoires américains Bell. Cette technique fut ensuite reprise par la firme Yamaha pour équiper les fameux synthétiseurs DX et SY. Elle fut également parfois transcrite sur le plan de l'écriture par des compositeurs de musique spectrale (par exemple *Gondwana* de Murail (Dalbavie [1989], p.139), cependant moins que la modulation d'amplitude (ou d'anneau), car elle ne répond pas à un principe d'économie poïétique. En effet, contrairement à la modulation d'amplitude, la modulation de fréquence n'est pas

[132] Ceci est dû à la propriété mathématique : cos(A) . cos (B) = 1/2 [cos(A+B) + cos(A-B)]

commutative et le résultat est mathématiquement beaucoup plus complexe et difficile à prévoir (il fait appel aux fonctions de *Bessel*), bien que beaucoup plus riche. Dans le cas de deux signaux simples (sinusoïdes), si l'onde A (porteuse) module en fréquence l'onde B, il résulte de la modulation de fréquence une onde complexe C :

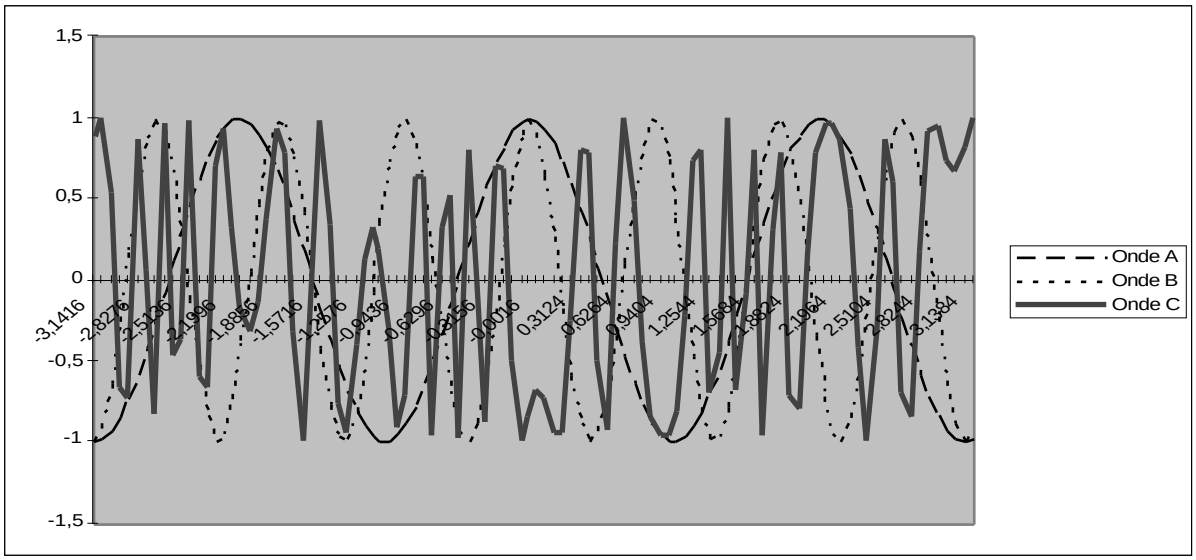


Figure IV-4 : modulation de fréquence de deux sinusoides

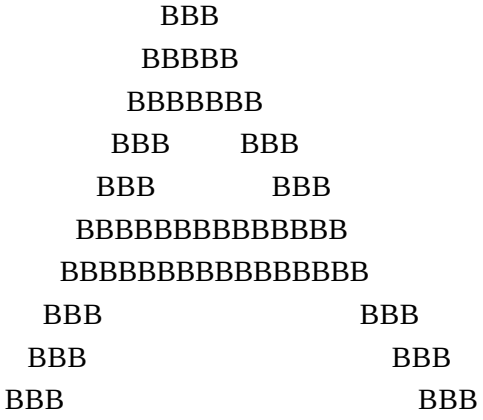
Acoustiquement, si l'onde sinusoïdale porteuse A est de fréquence f_A et l'onde modulante B de fréquence f_B, l'onde C obtenue par modulation de fréquence est un son complexe (i.e. non sinusoïdal), décomposable en un nombre infini de fréquences : $(f_A + n.f_B)$.et $|f_A - n.f_B|$ avec n décrivant l'ensemble des nombres entiers[133]. Il s'agit donc d'un spectre inharmonique, obtenu en translatant en fréquence sur la fréquence A le spectre harmonique de B.

3) Généralisation de la modulation

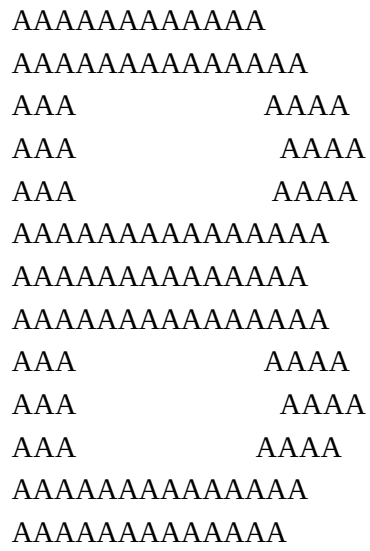
Au sens strict, la modulation signifie la modification d'un signal périodique par un signal d'une autre période (l'expression *modulation* provient du terme *modulo*). Au sens large, la notion de modulation est généralisable à de nombreux domaines, tout objet non périodique pouvant être décomposé théoriquement en une somme de signaux périodiques (décomposition de Fourier). La modulation d'un objet A par l'objet B consiste en effet à l'interpénétration de A dans B. (Il faut donc définir le type de modulation effectué : modulation de forme, d'espace, de couleur, de durée, etc...). Cette technique est gestaltiste, c'est-à-dire qu'elle considère la

forme du phénomène et non son écriture. Notons que la modulation d'un objet par lui-même correspond à la fractalisation de cet objet.

Prenons comme exemple deux symboles graphiques, les lettres A et B. Le signe B « modulé » (en forme) par la « porteuse » A donne :



alors que le signe A modulé par la porteuse B donne à l'inverse :

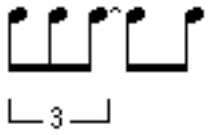


On peut également moduler un rythme par un autre[134] :

---

[133] Ceci est dû à la propriété mathématique : $\sin[\alpha.t + I.\sin(\beta.t)] = \Sigma_{n \text{ sur } z} Jn(I).\sin[(\alpha + n.\beta).t]$. I est appelé indice de modulation.

Soit le rythme A :



Et le rythme B :

A modulé par B donne :

Enfin, un accord modulé en intervalle par une fréquence correspond à une transposition.

4) c.q.f.d.

La multiplication d'accords et la modulation d'onde symbolisèrent deux écoles esthétiques assez opposées : l'esthétique post-sérielle, de type combinatoire et structuraliste, dont la grammatologique repose sur le signe traditionnel (ici l'intervalle et la note), et l'esthétique spectrale, de type acoustique, « physicaliste », dont la grammatologie repose sur le travail en fréquences sur un ordinateur. Pourtant, on peut affirmer que la multiplication d'accords imaginée par P.Boulez est en fait une modulation des notes d'un accord par les intervalles constitutifs de l'autre (« modulation d'intervalle »)[135].

En effet la formule (a.1), réécrite différemment, grâce à des propriétés combinatoires, fait apparaître la notion de modulation en anneau des intervalles (somme et différence des éléments de s et de v) :

$$[\{v_i + (s_p - v_j)_{1\le j\le m}\}_{1\le i\le m}]_{1\le p\le n} = [\{(s_p + v_j)_{1\le j\le m \text{ et } 1\le p\le n}\} - v_i]_{1\le i\le m} = [\{(s_p - v_j)_{1\le j\le m \text{ et } 1\le p\le n}\} + v_i]_{1\le i\le m}$$

accord résultant de la somme des intervalles de s et v, placée successivement sur chaque note d'un transposé de v

accord résultant de la différence des intervalles de s et v, placée sur chaque note d'un transposé de v

[134] un rythme modulé par lui-même correspond à sa fractalisation : cf. le troisième mouvement de ma pièce non éditée *3 gestes pour estomper la larme anodine d'Ariane*

La différence (perceptive et mathématique) entre ces deux techniques réside dans le fait que la multiplication d'accords s'applique à l'échelle des intervalles de notes (logarithme des fréquences), alors que la modulation d'onde travaille sur l'échelle des fréquences. En conséquence, la multiplication d'accords préserve l'espace initial[136] de l'échelle que le compositeur a choisi (qu'il soit d'ailleurs tempéré ou non). Au contraire, la modulation d'onde engendre à partir d'une échelle de départ de nouvelles échelles microtonales de hauteurs[137]. Cependant, l'esprit de ces deux techniques reste le même, faisant paradoxalement se rejoindre deux esthétiques qui se sont opposées. Notons enfin, comme autre point commun, que ces deux techniques avaient pour même souci de faire proliférer économiquement un matériau réduit à partir d'une opération relativement simple, et cohérente par rapport à l'esprit (sériel, spectral) que s'était fixé le compositeur.

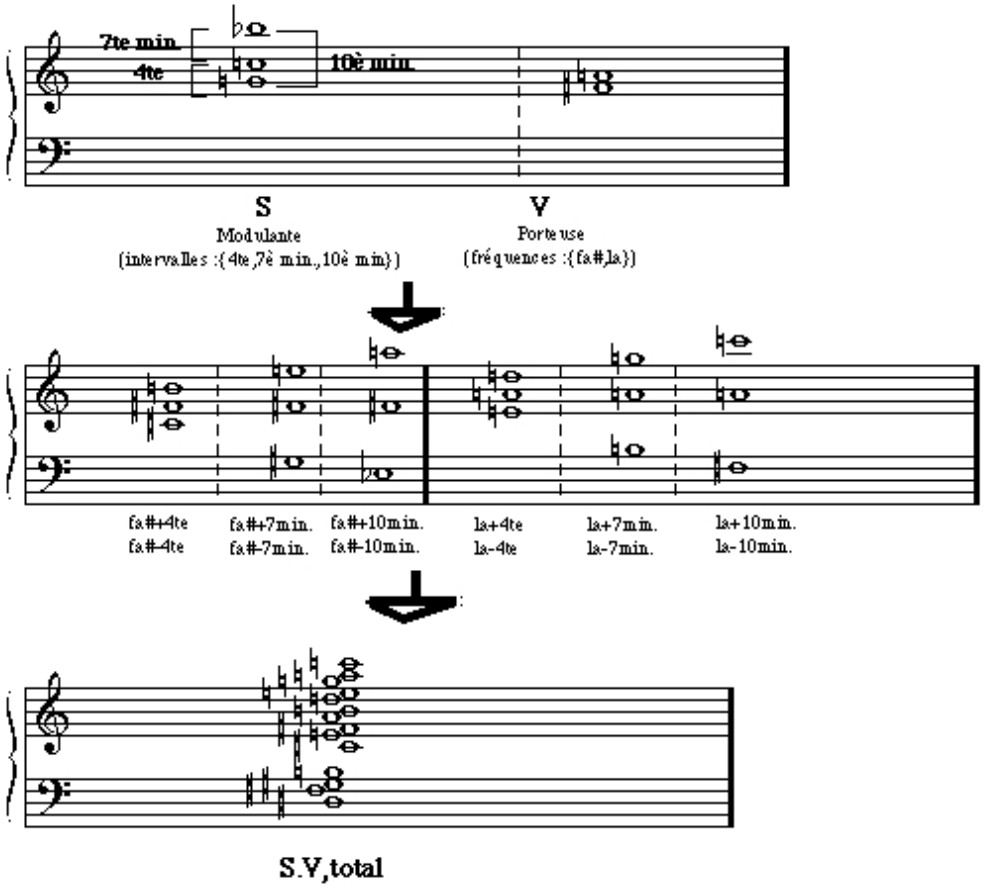


Schéma IV.5 : multiplication d'accords par addition et soustraction d'intervalles

---

[135] Ce terme, plus approprié, traduit en particulier la non-commutativité de l'opération.

[136] Mathématiquement, *la multiplication d'accords* travaille sur l'espace des notes, alors que la *modulation d'onde* travaille sur celui des fréquences.

[137] Les additions et soustractions de fréquences ne sont pas présentes dans la nature (sauf pour deux sons de fréquence proche créant des phénomènes différentiels).

V.- APPLICATION 4 - DU RESULTAT À LA PROCEDURE : FASCINATION DU SIGNE ET DE LA FIGURE REMARQUABLE EN ANALYSE MUSICALE

1) L'analyse musicale : du son au signe

Les sciences cognitives ont, depuis le milieu des années 70, fortement renforcé l'hypothèse que la perception est cognitive et structurante, c'est-à-dire, en musique, que l'auditeur compresse inconsciemment la chaîne d'information qui lui est soumise en structures musicales subjectives. Selon cette hypothèse cognitive, l'auditeur n'écoute pas seulement une succession de hauteurs, de rythmes ou d'intensités, mais interprète cette chaîne d'information en structures grammaticales, créant ainsi anticipation, attente et surprise. Le parcours de l'œuvre qui mène de sa production à sa réception débute donc avec l'ensemble de règles, conscientes ou inconscientes, personnelles ou empruntées, qu'utilise le compositeur pour générer l'œuvre. Ce parcours se prolonge avec la réalisation de l'œuvre en tant que chaîne sonore non organisée. Il s'achève avec le système de règles que l'auditeur engendre inconsciemment en écoutant cognitivement l'œuvre. Les chapitres précédents se sont intéressés, théoriquement et pour quelques paramètres, à l'aperception par l'auditeur des procédures du compositeur, c'est-à-dire au réengendrement inconscient en structures grammaticales. Il s'agit d'étudier dans ce chapitre le mécanisme de réengendrement lorsque on tente de réexpliciter l'œuvre à travers un système de signes, c'est-à-dire pour une perception explicitement analytique, ce qu'on appelle l'analyse musicale .

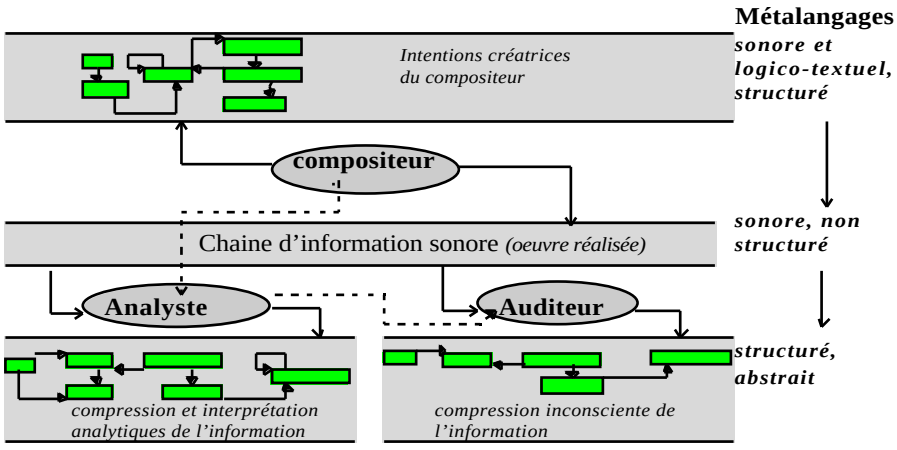


Schéma V-1 : Rôle intermédiaire de l'analyste dans le processus de cognition de l'auditeur.

Au sens large, l'analyse musicale est une explicitation dans un langage logico-textuel de certains aspects d'une oeuvre, de sa production ou de ses réceptions. Tout comme l'audition, l'analyse musicale est donc une réception, une compression et une interprétation de l'œuvre en un système de règles. L'objectif de l'analyse est double : éclairer et modifier par le langage logico-textuel les autres modes de réception de l'œuvre ou d'un concept musical, et créer, ou expliciter de nouvelles catégories musicales. Il existe différents types d'analyse : herméneutique, sociologique, systématique, etc. En ce qui concerne cette dernière, on peut distinguer trois types d'analyse systématique :

i) L'interprétation explicite de la genèse de l'œuvre et de ses procédures, que ce soit à partir des esquisses du compositeur, ou en situant l'œuvre par rapport à un corpus d'œuvres et à un langage.

ii) L'explicitation dans un langage logico-textuel des mécanismes de réception de l'œuvre par l'auditeur.

iii) L'interprétation explicite de l'organisation interne de l'œuvre. Ce type d'analyse nécessite trois étapes :

* Une **analyse syntaxique** (ou plus exactement lexicographique) crée au préalable un vocabulaire irréductible. Célestin Deliège propose deux méthodes de découpage syntaxique : les méthodes taxinomiques, qui tentent de faire apparaître des unités autonomes (l'analyse harmonique par exemple), et les méthodes prolongationelles, qui regardent comment un élément se prolonge et se résout (les analyses de mélodie chez Leonard Meyer ou les analyses schenkeriennes par exemple) (Deliège [1984], p.109).

* Une **segmentation** explicite ensuite des zones cohérentes d'analyse.

* Enfin, une **analyse paradigmatique,** au sens large, met en relation les segments constitués d'un vocabulaire irréductible, éclairant ainsi la construction et le parcours de l'œuvre. La *Set Theory* de Alan Forte est par exemple un chiffrage permettant ensuite l'analyse paradigmatique de certaines musiques atonales basées sur des permutations d'intervalles. Dans la pratique, on assiste souvent à un aller-retour entre ces trois étapes afin d'ajuster efficacement les opérateurs (vocabulaire, segment, ou relations) aux objectifs recherchés par l'analyse.

Dans une perspective sémiologique issue de la tripartition de Molino distinguant les niveaux poïétique, neutre et esthésique, Jean-Jacques Nattiez (Nattiez[1987]) propose six catégories distinctes d'analyse : **L'analyse immanente** (niveau neutre) ne s'attache ni aux stratégies poïétiques, ni aux mécanismes de perception. Pour Nattiez, l'analyse du *Sacre du Printemps* faite par Boulez est typiquement immanente. **L'analyse poïétique inductive** (du niveau neutre au poïétique) essaie de retrouver la genèse de l'œuvre à partir de la partition. **L'analyse poïétique externe** (du niveau poïétique au niveau neutre) tente de retrouver la genèse de l'œuvre à partir des esquisses et écrits d'intention du compositeur. **L'analyse esthésique inductive** (du niveau neutre à l'esthésique) tente de décrire comment l'œuvre est perçue (par exemple la théorie de Lerdahl et Jackendoff). **L'analyse esthésique externe** (du niveau esthésique au niveau neutre) étudie la perception des auditeurs (la psychoacoustique expérimentale par exemple). Enfin, il y a **l'analyse considérant les trois niveaux égaux** (en tant que théorie analytique normative, l'analyse schenkerienne par exemple).

Nattiez remarque à juste titre que l'analyste reste au niveau esthésique, mais tente d'approcher les trois niveaux. Le compositeur, au contraire, croit parfois atteindre un niveau esthésique (l'écoute intérieure de son oeuvre), mais reste clairement au niveau poïétique. Si l'application de la sémiologie à la théorie musicale est apparue en opposition au structuralisme musical afin de dépasser le seul niveau d'immanence de l'œuvre, cette distinction stricte entre oeuvre, réception, et pratique compositionnelle reste d'essence structuraliste en postulant l'existence autonome de chacun de ces niveaux, notamment celle du niveau neutre qui pose souvent problème. À la même époque, les pratiques spectrales et répétitives révélaient une poïétique fondée sur la perception (élaboration de grammaires compositionnelles nouvelles issues de recherches psychoacoustiques) et une esthésique de l'acte créateur (dans le " processus " spectral et répétitif, " l'objet à écouter " est non pas un matériau relativement neutre mais le processus en train de le modifier, c'est-à-dire un compositeur virtuel en train de composer)[138].

D'autre part, l'approche sémiologique de l'analyse musicale insiste plus sur les différents parcours pouvant conduire d'un niveau à un autre que sur les biais issus de l'analyse

[138] Chez Walter Benjamin, l'artiste est un « re-lecteur » de l'art et tente de le reproduire selon son regard oblique.

en tant que création de nouveaux signes et traduction d'un aspect de l'œuvre dans un métalangage logico-textuel. Comme le pressent déjà Nattiez en préférant à la théorie plus statique de Saussure celle de Peirce du signe comme interprétation d'un autre signe (Nattiez [1987], p.28), l'analyse, en tant que traduction dans un métalangage logico-textuel, est interprétative car elle porte les contraintes de son langage de destination (méthode et syntaxe utilisées). Elle est donc à la fois esthésique (elle est une réception d'œuvre) et dans une certaine mesure poïétique (elle est une création de signes puis de sens par l'interprétation d'autres signes).

Cette création de signes doit-elle être contrainte par un système validé de règles afin de limiter les biais de cette traduction ? Sans ces règles, comment dépasser la simple description textuelle de l'œuvre sans être trop subjectif ? Pour certains théoriciens, l'analyse d'une oeuvre n'est possible que lorsqu'un système ou une théorie générale éprouvés supportent le métalangage d'analyse. « L*'analyse, contrairement à la description, a besoin d'une théorie pour exister* »[139]. Pour d'autres, l'analyse est au contraire une recherche de méthodes propres à l'œuvre tentant d'expliciter les procédures de composition ou de langage et d'en préciser les particularités. Yizhak Sadaï différencie ainsi ce qu'il appelle *l'analyse hermétique* ou analyse pour l'analyse, « *tributaire d'une méthode, d'un protocole, qui impose à l'analyste une série de procédures prédéterminées* », et l'analyse ouverte qui " *se penche, outre sur le formel, sur (...) le spatial, l'énergétique, le gestuel* » (Sadaï [1995], p.62-63). Dans le premier cas, il est fréquent que l'œuvre éclaire plus la théorie que l'inverse (l'analyse Schenkerienne, par exemple). Dans l'autre, l'analyse ouverte est certes subjective mais explore les particularités de l'œuvre, quitte à y déceler ensuite les points communs d'un répertoire, puis d'un style. « *Tu as bien trouvé la série de mon quatuor à cordes (...) Cela a dû représenter un gros effort et je ne crois pas que j'aurais eu cette patience. Crois-tu donc que cela soit utile de la connaître ? (...) Je ne saurais trop te mettre en garde contre le danger qu'il y a à surévaluer ces analyses (...). Je ne répéterai jamais assez : mes oeuvres sont des <u>compositions</u> dodécaphoniques et non des compositions <u>dodécaphoniques.</u>* »[140]. Qui, du marin-explorateur ou de l'officier du cadastre, est le meilleur géographe ? « *Dans ses classes d'analyse, [Messiaen] posait sur les*

[139] Nicolas Meeùs, *liste internet musisorbonne*, message du 14 fév. 2000.
[140] Arnold Schönberg, " lettre du 27/07/1932 à R. Kolish ", *Briefe*, éd. Schott's Söhne, Mainz, 1958, p.178-179. Trad. F. Lévy, cité également par Y. Sadaï, [1995], p. 66

oeuvres un regard d'inventeur; ce qui, dans la pédagogie habituelle, n'est souvent qu'activité de comptable, devenait ici incitation à découvrir. L'œuvre regardée devait moins se révéler à vous, que vous révéler à vous-même : moins un objet d'entomologie qu'un miroir magique de votre futur. » (Boulez, préface à Messiaen [1995], p.V, t.II).

Dans le cas des répertoires dont les méthodes d'analyse ne sont pas encore clairement éprouvées, (par exemple en ethnomusicologie et en musicologie du XX^{e} et XXI^{e} siècles), le risque d'une simple description paradigmatique basée sur une syntaxe de premier niveau (signes de la partition, enregistrements, etc...), ou celui de l'élaboration d'une méthode trop personnelle, peuvent parfois engendrer le risque plus grand que l'analyse révèle autant les convictions et la culture de l'analyste que celle de l'œuvre (paradoxe de Duhem élargi -cf. partie C-), et que l'analyse soit dépendante de la syntaxe choisie, laissant apparaître, lorsque celle-ci n'est musicalement pas significative, des relations d'ordre arbitraire (théorème de Ramsey), comme nous le verrons par la suite. L'étude qui suit s'attache au problème de l'interprétation des signes et de la détermination de figures remarquables en analyse musicale à travers l'exemple d'une oeuvre célèbre du répertoire dont la grammaire du compositeur n'a pas été clairement révélée, ainsi que celui d'une analyse tout aussi célèbre qui lui est liée. La réflexion épistémologique aurait été identique à travers des exemples pris dans d'autres répertoires, d'autres analyses, tels que les recherches de nombre d'or dans les sonates de Beethoven ou de relations fractales chez Schubert. De plus, il ne s'agit pas ici de critiquer une démarche analytique originale, mais de replacer sa pertinence dans un contexte historique donné, et de montrer ainsi que la qualité d'une analyse peut se révéler autant dans la démarche créative qui accompagne l'interprétation d'une oeuvre dans un métalangage logico-textuel que dans la pertinence et l'objectivité de sa réception.

2) Une analyse célèbre d'une oeuvre célèbre

a) Une oeuvre énigmatique

On ne connaît pas grand-chose des intentions compositionnelles de Stravinsky, lorsque celui-ci composa en 1912 à Clarens la *Danse Sacrale* du *Sacre du Printemps*. Les esquisses présentent au début de certains systèmes des signes étranges, ressemblant à des mélanges de lettres cyrilliques et de symboles mathématiques. Ces signes sont parcimonieux et un même signe peut apparaître à deux mesures dissemblables.

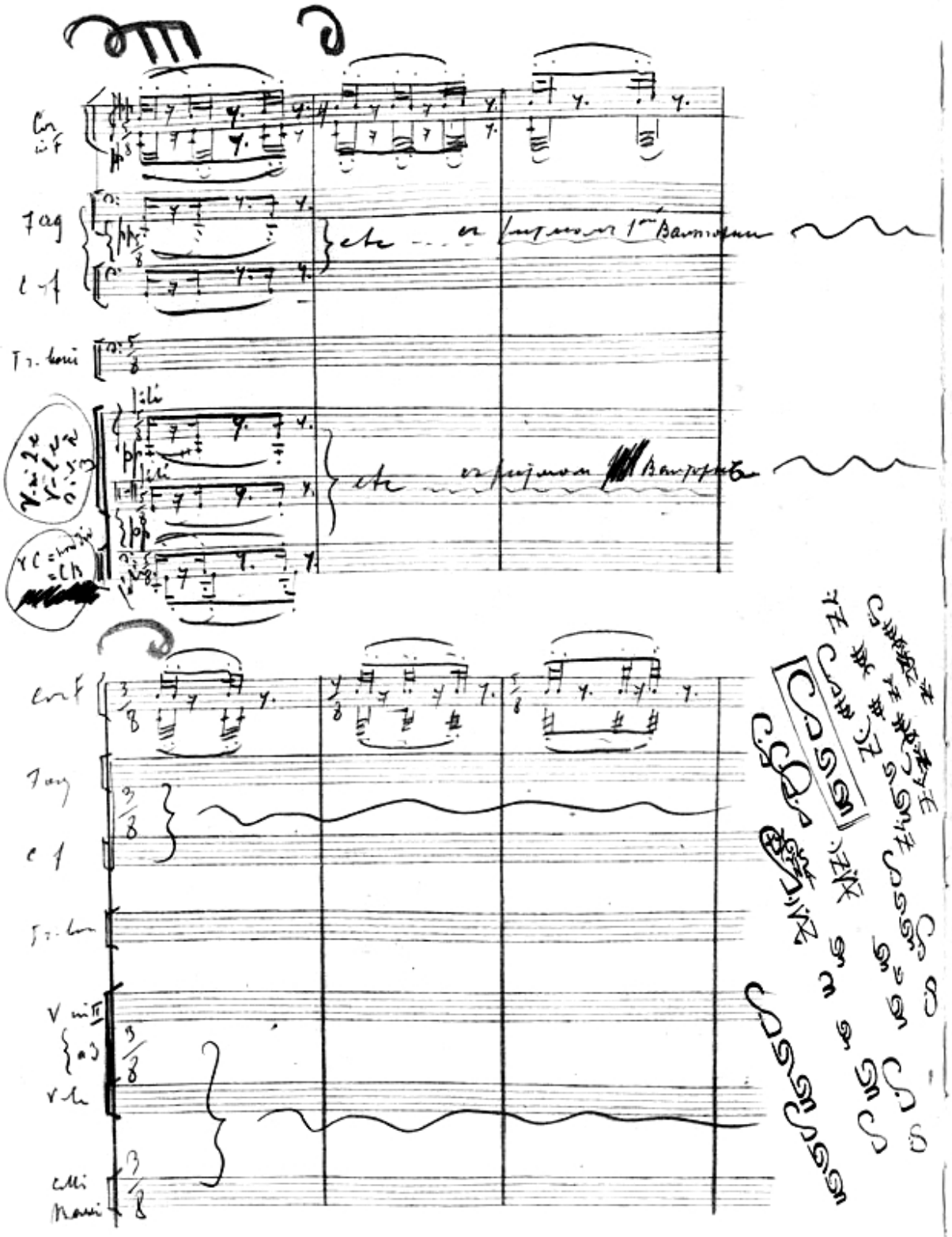
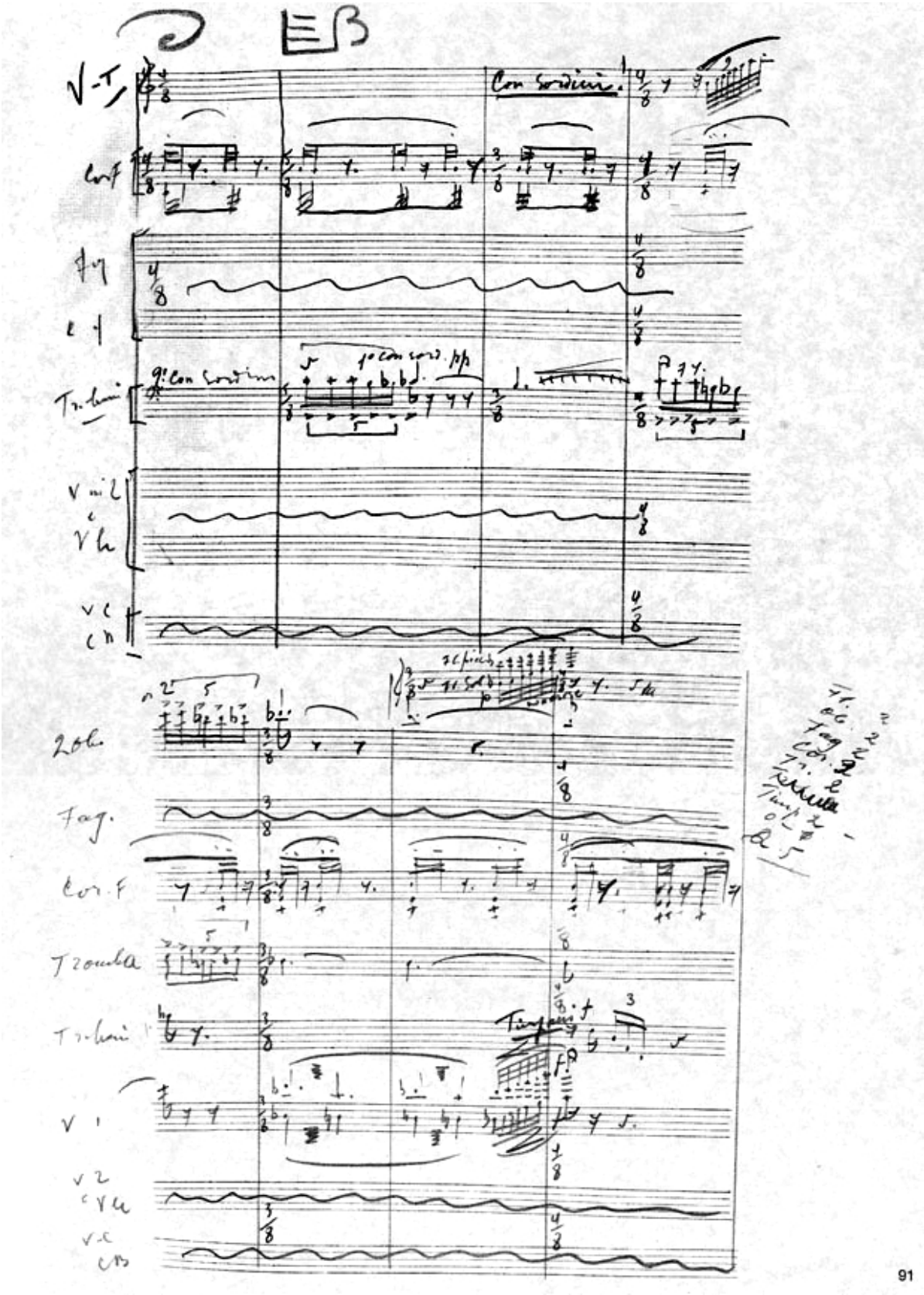


Fig.V-2 : Esquisses du Sacre du Printemps, chiffres 149 à 152[141]

[141] Igor Stravinsky, *Le Sacre du Printemps, sketches 1991-1913*, Boosey and Hawkes, 1969, p.90-91.

Le passage qui nous intéresse, chiffré 149 à 167, constitue la partie B de la forme rondo [A - B - $A_{1/2ton\ inférieur}$ - C - $A_{début}$ - D - A'] de la *Danse Sacrale.* Stravinsky y développe une " mélodie de rythmes " basée sur la succession irrégulière de deux valeurs : [𝅘𝅥𝅯𝅘𝅥] et [𝅘𝅥𝅯𝅘𝅥𝅘𝅥]. Dans les esquisses du compositeur, ces deux valeurs rythmiques sont combinées par deux ou par trois, et regroupées dans une mesure. On ne sait si ces groupements correspondent seulement à des coups d'archet ou à une intention compositionnelle réelle.

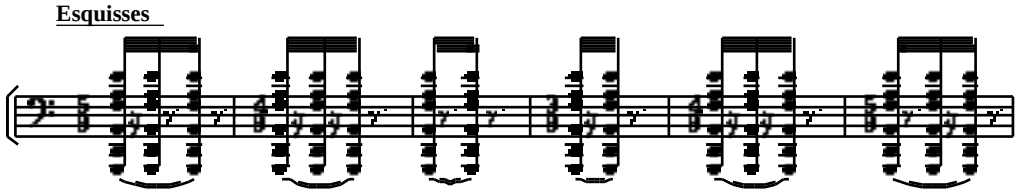


Fig. V-3 : écriture des groupements et de la métrique dans les esquisses.

Dans l'autographe de 1913 et sa publication en 1921, les groupements sont préservés mais les mesures ont des métriques plus courtes et de deux sortes seulement (2/8 et 3/8, et non plus 3/8, 4/8 et 5/8), ce qui simplifie en particulier la battue du chef.

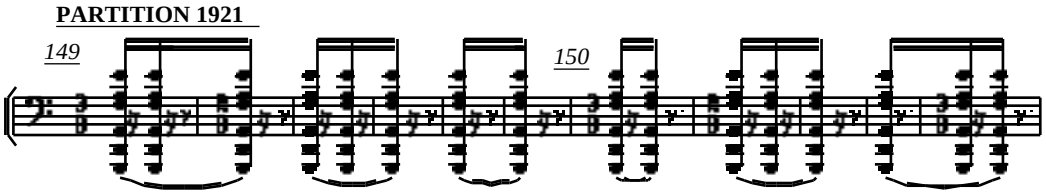


Fig. V-4 : écriture des groupements et de la métrique dans la partition de 1921.

Dans ses corrections de 1943[142], Stravinsky supprime les groupements et modifie les chiffres de répétition et leur placement :

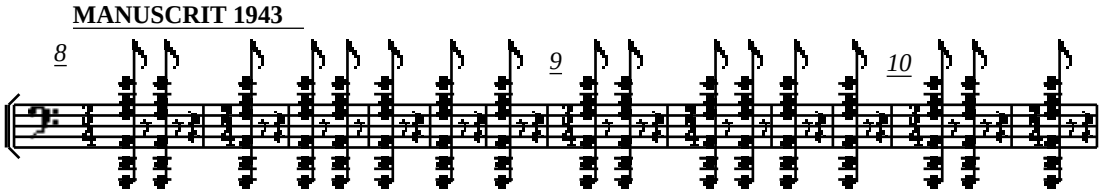


Fig. V-5 : Corrections de 1943 des groupements, de la métrique et du chiffrage[143]

[142] Microfilm R46.764 et manuscrit 17.946 de la Bibliothèque Nationale, Paris.
[143] Voir aussi P.C. Van Den Toorn [1987], p.52-53.

Ce passage de la *Danse Sacrale* suscita de nombreuses analyses. Dans le *Traité de rythme, de couleur et d'ornithologie* (Messiaen [1995], p.93), Messiaen commence son explication de la technique des personnages rythmiques par l'analyse paradigmatique de cette partition singulière. Son analyse se fonde sur une syntaxe rythmique binaire où A est un personnage commençant par la ïambe [𝅘𝅥𝅯𝅘𝅥] et B un personnage construit à partir de noires régulières, au besoin monnayées en croches. Cette syntaxe est assez semblable à celle qu'utilisera ensuite Boulez, certainement influencé par son professeur. Cependant, à la différence de Boulez, Messiaen ne tient aucunement compte des barres de mesure. L'analyse de Messiaen consiste plus à montrer ses propres techniques des personnages rythmiques que celles de Stravinsky : « *C'est une de mes découvertes préférées. Comme cela se passe dans beaucoup de découvertes, je n'ai fait que retrouver une chose qui existait en puissance sinon en fait* » (p.7). Notons que Messiaen, connaissant certainement l'analyse de son élève, proposa une deuxième analyse, irréductible à la précédente, tenant compte des barres de mesure « *pour les esprits routiniers* » (p.130 et 145) et fondée sur une analyse en rythmes grecs (p.134).

b) Stravinsky demeure

En 1951, à l'âge de 26 ans, vraisemblablement influencé par son professeur, Pierre Boulez rédige une analyse brillante de plusieurs passages du *Sacre du Printemps.* Cette analyse fut publiée en 1953 dans le premier tome de *Musique Russe* (P.U.F.) et fut ensuite reprise dans les *relevés d'apprenti* sous le titre "Stravinsky demeure" (Boulez [1966], pp.75-145). Dans cette analyse, Boulez étudie en détail l'agencement de cellules sérialisées, notamment de cellules rythmiques, dans des passages tels que l'*Introduction,* les *augures printaniers,* la *glorification de l'élue,* ou la *danse de la terre.*

Une des analyses les plus élaborées, qui n'occupe cependant que quatre des soixante-dix pages de cette étude magistrale (p.95 à 98), concerne la combinaison de cellules rythmiques du passage incriminé de la *Danse sacrale* (ch.149 à 167). Boulez y segmente de façon sérielle la succession de [𝅘𝅥𝅯𝅘𝅥𝅮] et de [𝅘𝅥𝅯𝅘𝅥𝅮𝅘𝅥𝅮] (que Boulez note 𝅘𝅥𝅯 et 𝅘𝅥𝅮) en quatre cellules élémentaires, reprenant les groupements de Stravinsky de la version 1921 (Boulez ne connaissait vraisemblablement pas la version de 1943) :

* 1 croche, une noire	$\vec{a}3$: [♪♩] et son rétrograde $\overleftarrow{a}3$ [♩ ♪]
* 1 croche, 2 noires	$\vec{a}5$: [♪♩ ♩], son rétrograde $\overleftarrow{a}5$ [♩ ♩ ♪], et le non rétrogradable a5 [♩ ♪♩]
* 2 croches, 1 noire	$\vec{\overline{b}}4$: [♪♪♩], son rétrograde $\overleftarrow{\overline{b}}4$ [♩ ♪♪], et le non rétrogradable b4 [♪♩ ♪]
* 2 noires	c4 : [♩ ♩]

Fig. V-6 : Vocabulaire employé par Boulez pour son analyse

Muni de cette syntaxe, Boulez segmente ensuite le passage en six périodes, justifiées perceptivement par le changement d'accords et de textures (période A : ch.149, période B : ch.154, période C : ch.157, période D : ch.159, point culminant et " élimination de l'accord " : ch.161, période E : ch.162, période F : ch.165). Boulez segmente enfin chaque période en fragments selon le chiffrage de la partition dans sa version 1921.

c) Signes et figure remarquable

Dans son analyse, Boulez procède à quelques petits " arrangements " par rapport à la syntaxe qu'il s'est fixée : les chiffres 152 et 164 ne marquent pas de nouveau fragment afin de ne pas interrompre les groupements. Certains groupements qui ne correspondent à aucune des syntaxes de Boulez sont interprétés : aux chiffres 159 et 160, les groupements [$\overline{♪♪♩♪}$], [$\overline{♪♪♪♩♩}$] et [$\overline{♪♪♩♩♪}$] sont chacun fragmentés en deux cellules, respectivement [b2+$\overleftarrow{a}3$], [b2+$\vec{a}5$] et [b2+$\overleftarrow{a}5$]. Au chiffre 153, [𝄾♩] est chiffré $\vec{a}3$, ce qui permet ensuite l'analogie entre A_{IV} et A_{II}. Au chiffre 156, [♩ $\overline{♪♪}$ $\overline{♪♩♪}$] devient $\vec{\overline{b}}4$+ $\vec{\overline{b}}4$ (et non b4). Au chiffre 166, le groupement [$\overline{♩♪♪♪}$] est analysé comme $\overleftarrow{a}3$ + $\vec{a}3$ du fait du point d'orgue sur la dernière croche.

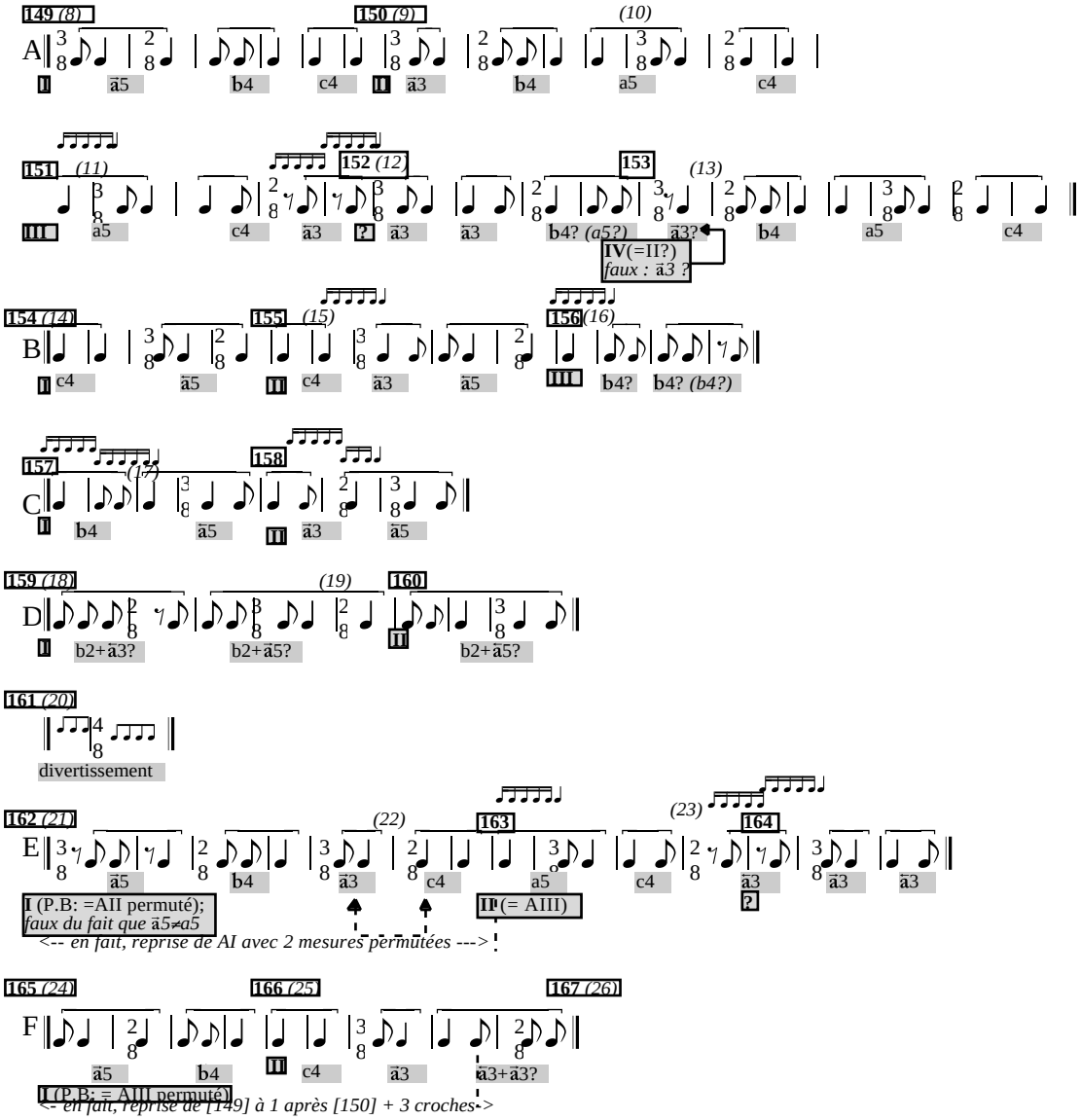



Fig. V-7 : analyse de la Danse Sacrale (ch.149 à 156) par Pierre Boulez

Il faut tout d'abord noter l'importance que cette analyse, en particulier la segmentation, accorde aux barres de mesures et aux chiffres de répétition de la version 1921, reflétant la fidélité de Boulez, plus généralement la fidélité d'une génération et d'une époque, au signe. Messiaen comparera cette pratique à sa propre analyse du Sacre : « *J'ai eu, parmi mes élèves, des gens qui ne pouvaient admettre que les notes graves soient en dehors du rythme* [ceci concerne la première partie, le refrain, de la Danse Sacrale], *qui ne comprenaient pas mon attribution des silences au son précédent, et qui tenaient compte des barres de mesure.* » (Messiaen (1995], p.130). En apparence contradictoire, les arrangements qu'opère localement Boulez reflètent aussi cette importance donnée aux signes, que ce soit ceux de la partition ou ceux de la syntaxe de l'analyse : ces arrangements préservent le sens donné tant aux chiffres de répétition qu'aux groupements dans la partition, puisque d'une part les incompatibilités locales entre ces deux niveaux de segmentation sont ignorées, d'autre part les groupements singuliers sont adaptés à la syntaxe que Boulez s'est créée.

Une seconde problématique concerne la notion de figure remarquable. Les adaptations syntaxiques et de segmentation permettent en effet à Boulez d'obtenir dans son analyse paradigmatique une figure géométrique symétrique et singulière (Boulez [1966], p.95) (figure V-8, schéma de gauche), qui, sans ces adaptations locales et en conservant rigoureusement les mêmes syntaxes et grammaires d'analyse, deviendrait (figure V-8, schéma de droite) :

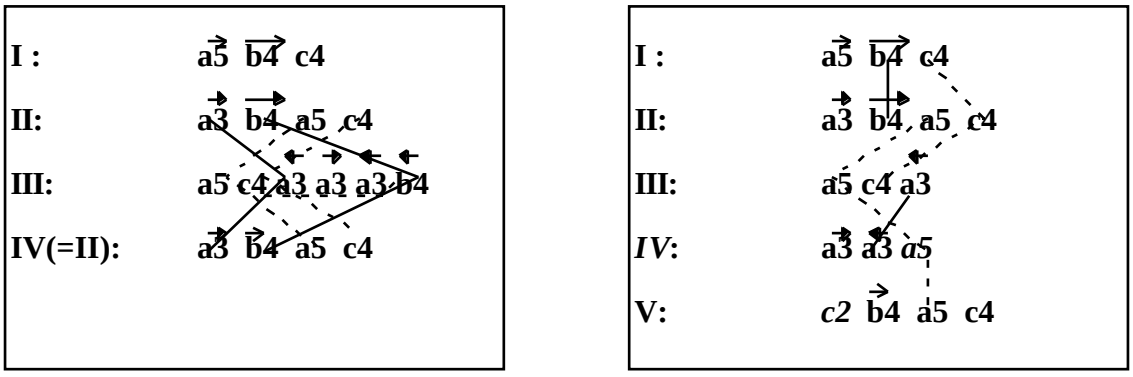


Fig.V-8 : Figures issues de l'analyse de la première période
(à gauche: version de P. Boulez avec arrangements; à droite: version refaite sans arrangement)

Supposons, à l'extrême, que la figure de gauche s'obtienne sans correction. Que deviendrait alors l'analyse de cette première période sans la présence de cette figure remarquable ? Une figure remarquable valide-t-elle une analyse ? En 1928, le mathématicien,

philosophe et économiste anglais Frank Ramsey montra **qu'un ensemble d'objets suffisamment grand comporte au moins une structure régulière**[144]. En d'autres termes, on peut toujours faire apparaître une figure remarquable dans un texte comportant un grand nombre de signes, quel que soit leur type. C'est ainsi que l'on observe des figures géométriques (taureau, ours, etc..) dans le ciel étoilé, que l'on peut trouver des relations ordonnées dans un annuaire téléphonique ou dans la Bible, et que l'on peut trouver des relations en nombre d'or dans des sonates de Beethoven. Cette recherche de figure remarquable en analyse musicale traduit une confusion : certes, une analyse est un éclaircissement interprétatif d'une oeuvre dans un métalangage logico-textuel, c'est-à-dire par d'autres signes, interprétation qui débouche parfois sur des formalisations. Cependant, cette formalisation n'est pas un argument de validité ou de réfutation. Un chiffrage peut être " vrai " ou " faux " par rapport aux règles syntaxiques fixées, mais il ne constitue que le transcodage préliminaire à l'analyse et non son objet lui-même. La régularité d'un ensemble de signes ne devient intéressante que par ce qu'elle en dit musicalement. En d'autres termes apparemment tautologiques, **le signe n'a de sens non par lui-même mais par le sens qui en découle**.

d) Boulez demeure

Dans le cas de l'analyse de la *Danse Sacrale* par Boulez, l'intérêt est ailleurs. Notons tout d'abord que Stravinsky ne contesta jamais cette analyse, dont il prit peut-être connaissance dès sa parution en 1953, alors qu'il manifestait à cette époque un regain d'intérêt pour les techniques sérielles (*Agon* -1954-, *Canticum Sacrum* -1955-, *Threni* -1958-), après la mort de Schönberg en 1951. De plus, la question de savoir si Stravinsky a composé la *Danse Sacrale* en utilisant des procédures combinatoires inconscientes ou conscientes n'est pas celle que pose Boulez, comme il le précise lui-même dans son texte (Boulez [1966], p.142). Certes, en terme d'analyse génétique, on peut s'interroger sur la présence de symboles énigmatiques dans les esquisses et sur l'importance que Stravinsky accorde à ses groupements et aux chiffres de répétition dans les différentes versions du *Sacre.* Stravinsky écrit : « *Je n'étais guidé par aucun système quel qu'il soit dans le Sacre du Printemps. Quand je songe à d'autres compositeurs de ce temps qui m'intéressaient -Berg qui est synthétique (dans le meilleur sens),*

[144] Le théorème de Ramsey montre que toute suite aléatoire suffisamment grande de nombres possède une sous-suite régulière de nombres en relation harmonique (la différence entre un nombre et le suivant est constante). Le théorème général de Ramsey stipule ensuite que tout ensemble suffisamment grand d'objets, unis deux à deux par une relation spécifique, contient nécessairement un sous ensemble d'objets tous couplés par la même relation.

Webern qui est analytique et Schönberg qui est l'un et l'autre - combien leur musique paraît plus théorique que le Sacre; et ces compositeurs étaient supportés par une grande tradition, tandis qu'il n'y a que très peu de tradition en arrière-plan du Sacre du Printemps. J'avais seulement mon oreille pour m'aider, j'entendais et j'écrivais ce que j'entendais. Je suis le canal à travers lequel le Sacre passait. » (Stravinsky&Craft [1980], p.147-148).

Boulez, en montrant l'existence de procédures sérielles au sein du *Sacre du Printemps*, réhabilitait surtout le travail de Stravinsky dans ses propres recherches (" Stravinsky demeure "). Encouragée par les *Modes de valeurs et d'intensité* de Messiaen (1949), la jeune génération du sérialisme généralisé cherchait en effet à justifier des procédures rythmiques équivalentes à celles utilisées pour les hauteurs. Alors que Stockhausen trouve une validation de la sérialisation des rythmes par une équivalence temps-fréquence (" Wie die Zeit vergeht "), Boulez découvre dans le *Sacre du printemps* une inspiration à son propre travail rythmique. En ce sens, l'analyse de la *Danse Sacrale* par Boulez propose à la fois un outil prospectif théorique important sur le rythme et un éclairage musicologique sur les oeuvres de Boulez lui-même, notamment sur sa *Sonatine* (1949) qui reprend cette organisation en trois cellules rythmiques formant par combinaison un thème rythmique, ensuite développé par élimination et permutations (Copeaux[1998]). « L*a seule analyse que j'aie publiée, celle du Sacre, était liée à mes préoccupations de l'époque : je crois que Stravinsky n'a jamais pensé, en écrivant l'œuvre, aux permutations de valeurs que j'y ai trouvées et que je voulais y trouver. J'ai d'ailleurs dit, à l'époque, qu'une analyse ne pouvait réussir que si elle était subjective ! »* (Boulez&Albera [1989], p.75).

3) Une analyse informationnelle de l'écriture du temps

Comment analyser ce passage de la *Danse Sacrale ?* Peut-on plus généralement analyser autre chose que les signes de cette partition qui reste sans principe connu d'écriture ? Ce deuxième couplet de rondo, lui-même de forme ternaire développe sans régularité apparente un thème rythmique dans un rapport de plus en plus présent de croches sur les noires, jusqu'au point culminant (chiffre 161), avant une quasi-reprise. Au niveau mélodico-harmonique, un motif descendant de six notes apparaît de plus en plus fréquemment à partir du chiffre 151 jusqu'au point culminant, accompagné d'harmonies stables de plus en plus aiguës, le tout en mouvement mélodico-harmonique contraire et convergent.

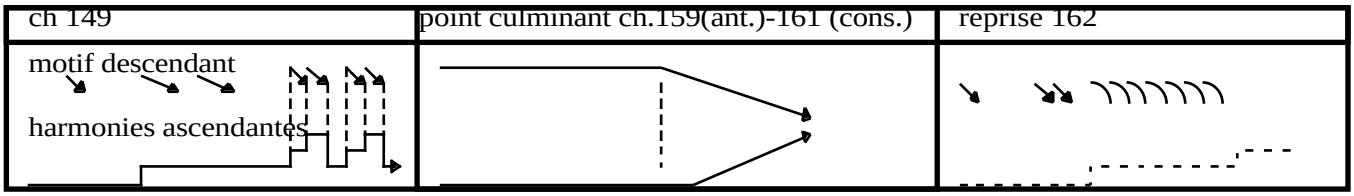


Fig.V-9 : mouvements mélodico-harmoniques contraires et convergents

Des accords " contractés " (indiqués en italique dans la figure V-7, en petit dans la figure V-10, et entre parenthèse dans la figure V-15) servent parfois d'anacrouse et de relance de la chaîne rythmique. Il semble néanmoins qu'aucune analyse systématique ne puisse éclairer totalement le passage (validation de l'analyse par resynthèse). En termes de théories de la complexité et de l'information, l'organisation de la chaîne rythmique alternant croches et noires paraît aléatoire, complexe, c'est-à-dire peu compressible (*théorème de la complexité et de l'aléatoire*). C'est pourquoi les analyses existantes de ce passage (Messiaen, Boucourechliev, Boulez, Copeaux, Set theory[145], Van den Toorn, etc..), proposent chacune un éclaircissement singulier, subjectif, et partiel.

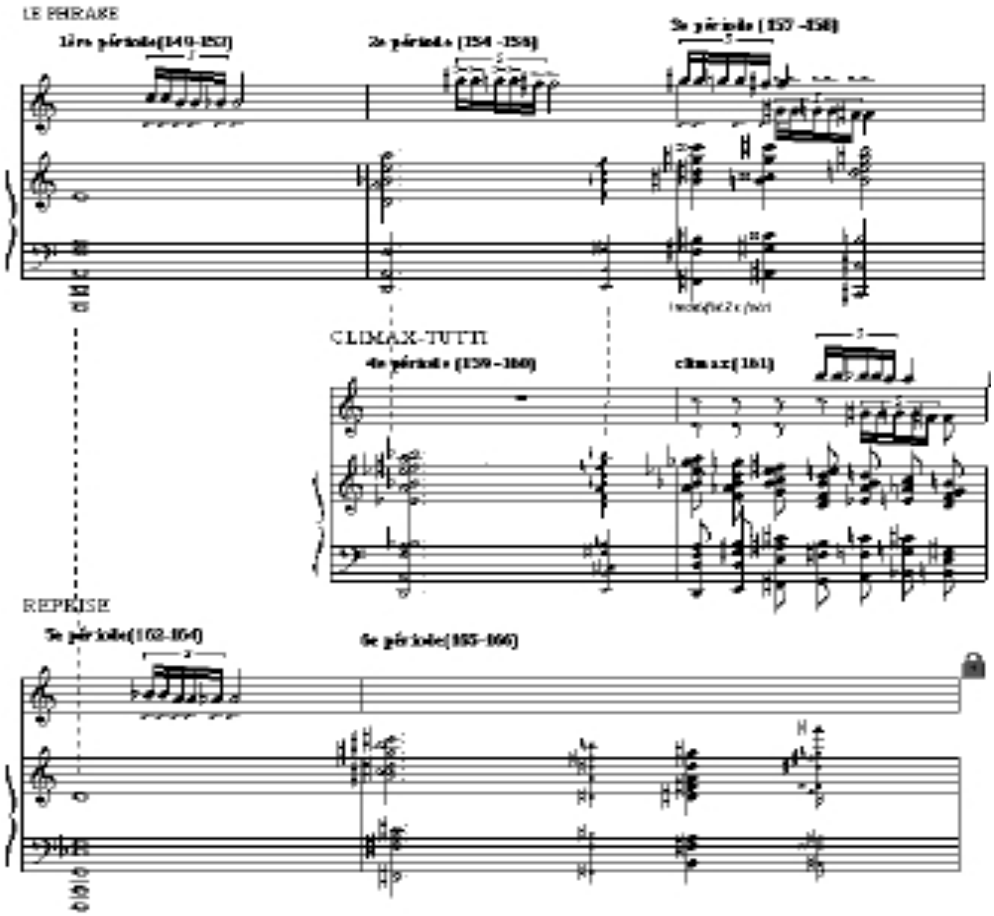



Fig.V-10 : Parcours harmonique de la Danse Sacrale

[145] Allen.Forte, *The harmonic Organization of the Rite of Springs*, Yale University Press, New Haven and London, 1978, pp.114-120

Tentons à notre tour une ébauche d'analyse interprétative inspirée des théories de l'information, c'est-à-dire non pas en termes de structures organisées mais de perception d'une irrégularité dans un temps fléché et irréversible. Comme nous l'avons vue dans les chapitres précédents, la théorie de l'information fut établie en 1948 par le mathématicien Shannon, mais eut surtout des conséquences esthétiques en musique à partir des années 70, notamment auprès des compositeurs dits « répétitifs » (Reich, Riley, etc.) et ceux de l'école « spectrale » (Grisey, Murail, etc.), à travers la lecture des travaux scientifiques d'Abraham Moles (Moles[1958]) (anticipation et surprise) et de Prigogine (temps fléché et irréversible). Une analyse informationnelle pour Stravinsky n'est cependant pas un total contresens. En effet, si les intentions compositionnelles de ce compositeur restent inconnues, Stravinsky est célèbre pour son plaisir de casser une règle, un processus, et s'approprier et dérouter un matériau connu dans une vision "cubiste", que ce soit dans sa " période du Sacre ", dans celle où il emprunte des langages divers (*Rag Music* de 1919), ou même dans sa " période néoclassique " (par exemple la "fugue" du dernier mouvement de la *Symphonie en trois mouvements* de 1945).

Dans un paradigme informationnel, la répétition d'une note en valeurs égales reste le processus rythmique le plus naturel pour le psychologue Fraisse (Fraisse[1974]), le plus prévisible pour Moles, et de complexité cognitive minimale au sens de Kolmogorov-Chaitin. De plus, à tempo lent, les pulsations métrique et minimale[146] d'une suite de noires régulières sont identiques à sa pulsation unitaire.

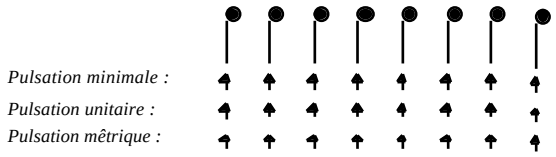


Fig.V-11 : pulsation régulière de noires à tempo lent : pulsations minimale, unitaire, métrique

Considérons une perturbation locale et aléatoire de cette régularité par une valeur deux fois plus rapide :

[146] La définition a été précisée au chapitre V-2) a)

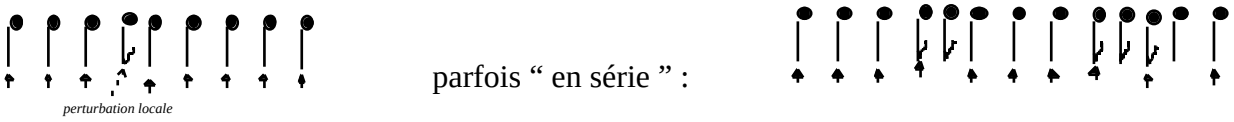


Fig.V-12 : Perturbation d’une pulsation régulière

L’irruption de cette croche rompt la pulsation métrique mais également les pulsations unitaire et minimale, provoquant une surprise et un accroissement de la KC-complexité perceptive. Une métaphore simple de cette perturbation est, par exemple, une roue crantée dont certaines dents seraient endommagées. A leur contact, le clapet glisserait, engendrant un bruit plus court. A ce premier niveau, le calcul de la densité “ d’accidents ” par période montre que celle-ci est fortement liée à la tension du discours :

Période	**Alternance des accidents**	**Densité chaotique**	**similitudes formelles**
Période A :	´2´´3´1´´2´4´4´´2´1´2´´	37 %	
Période B :	2´5´´3´´´1´	39 %	
Période C :	1´´2´1´2´	50 %	
Période D :	´´1´´´´2´´2´	64 %	
Point culminant	´´´´´´´	100 % (=0%[147])	
Période E :	´2´´1´4´4´´2´	38 %	=[´2´´1]+[´4´4´´2´] issues de A
Période F :	´2´´3´2´´´	50 %	=[´2´´3´] issue de A+{[2´´´]} “ *coda* ”

*(lecture : ´ = un accident, ´´ = deux accidents, **4**= quatre pulsations fondamentales régulières)*

Fig.V-13 : Calcul de la densité chaotique

Il faut noter que l’irruption d’une croche est, à ce tempo lent, moins perçue comme un rythme que comme une perturbation des trois niveaux de pulsation qui rompt la stabilité du discours et l’accélère sous forme d’anacrouse informationnelle. La croche et la noire ne sont donc ici ni des signes abstraits comme dans l’analyse de Boulez, ni même deux valeurs rythmiques quantitatives dont l’une serait la moitié de l’autre.

Fig.V-14 : tension informationnelle que crée la croche dans une succession lente de noires.

[147] La succession ininterrompue de croches régulières au point culminant peut également être interpretée comme une chaîne d’information totalement prédictive, de KC-complexité minimale, donc de densité chaotique nulle.

Considérons ensuite deux matériaux caractérisés par deux anacrouses informationnelles différentes : l'élément [a] : [♪♩ ♩..], et l'élément [b] : [♪♪♩ ♩..] Cette segmentation rappelle peut-être l'analyse en personnages rythmiques de Messiaen. Toutefois, [b] est plutôt ici le signe décrivant une désinence informationnelle de [a] formant deux ruptures, d'une part la rupture de l'anticipation d'une pulsation régulière de noires, d'autre part la rupture de l'anticipation de la rupture d'une croche unique, c'est-à-dire de la répétition éventuelle de [a] (contrairement à [a], la pulsation métrique n'est finalement pas décalée). En d'autres termes, [b] précédant [a] aurait eu un tout autre sens musical, beaucoup moins surprenant.

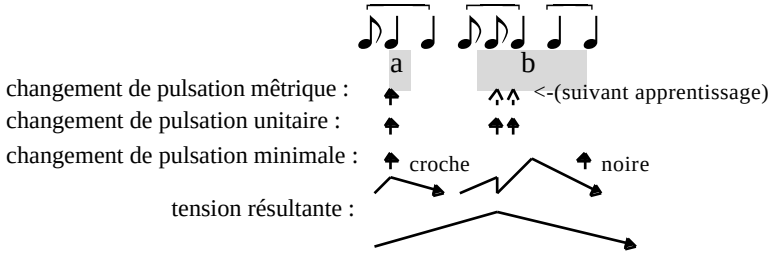


Fig.V-15 : tension informationnelle que crée le motif [b] à la suite de [a]

Stravinsky utilise dans ce passage trois types " d'anacrouse informationnelle " : la croche (notée ↗), Les motifs de quintolets descendants (notés ‾), généralement suivis d'une résonance, et les " accords contractés " (notés entre parenthèse : (↗)), parfois doublement contractés (chiffre 158).

La surprise naît généralement d'une anticipation déroutée[148]. Une fois exprimée la succession [ab], sa répétition reste une attente banale possible. La répétition modifiée de [ab], [a] étant écourtée d'une noire afin que la double rupture de [b] survienne antérieurement, devient alors une surprise (ch.150). Ayant ensuite épuisé ces surprises par répétition modifiée, Stravinsky fait finalement intervenir d'autres anacrouses informationnelles telles que le motif de quintolet suivi d'une résonance au cor (ch.151), la syncope (2 avant ch.152), puis le double motif en quintolet avec résonance de trille (ch.152), qui s'achève par le point culminant local des timbales. La détente informationnelle par la reprise (ch.153) prépare ensuite la surprise de la seconde période (accord plus large, irruption des premiers violons).

[148] Dans la partie C, ce type de surprises est étudié sous l'appellation de « surprise par induction ».

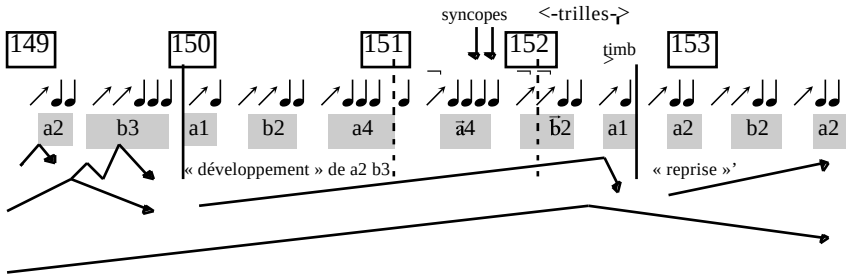


Fig.V-14 : Interprétation informationnelle de la première période

Les principes exposés ci-dessus de développement par anticipation contrariée restent les mêmes sur l'ensemble du passage. Les secondes et troisièmes périodes font en effet surgir de nouvelles anacrouses informationnelles : accords contractés puis doublement contractés, trois croches successives, puis combinaisons de plus en plus denses de ces différentes anacrouses, jusqu'au point culminant du chiffre 161 (pulsation unitaire courte) que suit une reprise.

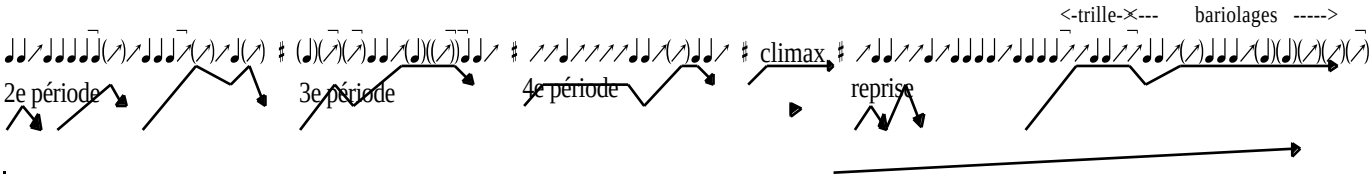


Fig.V-15 : description informationnelle simplifiée des autres périodes

4) Du sens au signe, au signe, au sens : l'analyse est une traduction

On peut certes contester à une analyse de type informationnel la fragilité de la notion de surprise, qui disparaît par apprentissage, par exemple après plusieurs écoutes. C'est oublier que ces surprises se réfèrent à des mécanismes culturels et naturels quasi-permanents d'anticipation cognitive de haut-niveau (les cadences rompues, par exemple, déroutent à chaque écoute, dans le contexte culturel de la musique occidentale tonale, le mécanisme attendu de la cadence parfaite).

On peut également objecter qu'une analyse informationnelle ne s'attache pas à l'œuvre mais à sa seule réception (elle serait une analyse esthésique inductive, selon les catégories de Nattiez). Un travail sur les notions d'anticipation et de surprise peut cependant devenir une stratégie compositionnelle prospective, par exemple dans les musiques répétitives ou spectrales, pourquoi pas chez Stravinsky. De plus, l'analyse informationnelle de la *Danse Sacrale* est tout aussi immanente que celle de Boulez, proche du signe. En effet, les objets

“ anacrouses informationnelles ” sont dans cette analyse, au même titre que les objets “ chiffres de répétition ” dans l’analyse de Boulez, des *representamen* symboliques qui renvoient à d’autres signes, et porteurs, après interprétation, de sens pour les conclusions de l’analyse (et une éventuelle re-synthèse de l’œuvre).

Enfin, on nous a reproché de n’avoir pas soumis les résultats de l’analyse informationnelle à un test sur échantillon d’auditeur. Il est en effet courant de distinguer les analyses immanentes des « analyses perceptives », accompagnées d’études statistiques étudiant la perception d’auditeurs[149]. Le type d’analyse est pourtant le même, et la distinction fragile. Dans les deux cas, il s’agit de la lecture d’une oeuvre ou d’un phénomène musical dans un métalangage logico-textuel par des auteurs, c’est-à-dire des subjectivités qui émettent des intuitions et des hypothèses à valider scientifiquement. Dans un cas cependant, celui de l’analyse dite « immanente », les critères de scientificités sont établis par l’écriture et son *epistemé*, c’est-à-dire par la « propreté » du raisonnement. Les critères de réfutation viennent a posteriori, lorsque le travail est soumis à un public qui acquiescera ou refusera l’explication. Le fait que les contemporains d’un auteur puissent éventuellement ne pas accepter la théorie n’est d’ailleurs, pour ce type d’analyse, pas un signe de réfutation, mais simplement celui de conventions différemment partagées, et la validation peut être postérieure. Dans l’autre cas, celui de l’analyse perceptive expérimentale, la méthodologie de réfutation poperrienne, c’est-à-dire d’acception des résultats par d’autres personnes, généralement contemporaines à l’auteur et partageant des conventions similaires (voir le paradoxe de Duhem en section C), est établie selon des enquêtes statistiques incluses dans la théorie. Il s’agit parfois, dans le deuxième cas, comme le dit Bourdieu[150], de faire accepter des résultats à l’epistemé peu novatrice en montrant que « d’autres les ont aussi acceptés ». La méthodologie lourde de validation est incluse dans la proposition logico-textuelle qui porte le discours analytique. De plus, ce mode de validation refuse l’hypothèse relativiste en croyant à d’éventuels universaux de la perception. Nous ne tentons pas ici de dénigrer toute méthode de réfutation scientifique. L’objectif doit être clair : l’analyse a-t-elle un sens par les catégories nouvelles qu’elle propose (qui puissent éventuellement être « révolutionnaires » au sens de Kuhn, c’est-à-dire non

[149] Cf. par exemple l’analyse perceptive comparant la perception de deux échantillons d’auditeurs de cultures différents pour un morceau modal arabe de Ayari & McAdams, in Chouvel&Levy [2002], p.395-418.
[150] Enoncé dans l’article de J.-L. Leroy, in Levy&Chouvel [2002]

partagées), ou a-t-elle un sens parce qu'elle désigne ceux qui la partagent (sciences expérimentales qui sont en fait des disciplines sociologiques) ? Dans les deux cas, l'analyse est identique : il s'agit d'une réception d'un phénomène dans un métalangage-logico-textuel, dont les nouveaux sens qui se dégagent sont acceptés ou non de façon intersubjective, à court ou long terme, par une frange de la population, pour modifier leur propre lecture de l'œuvre.

L'analyse est donc à la fois une réception et une interprétation/création, menant du signe au signe puis du signe au sens. Elle porte à la fois les biais des transcodages menant du signe musical au signe logico-textuel (compression, traduction d'un métalangage à un autre, interprétation) et ceux des décodages menant du signe au sens (interprétation, composition). L'analyse est subjective et ampliative (les conclusions vont au-delà des données étudiées). Elle reste donc liée autant à l'auteur et au contexte de l'analyse qu'à l'œuvre analysée. L'analyse de Boulez comme l'analyse informationnelle, par exemple, restent chacune tributaires des obsessions de leur époque, l'une se concentrant sur le signe graphique, l'autre s'obstinant sur la perception en tant qu'outil de création. Méthode de réception comme d'interprétation, une analyse peut donc présenter une valeur soit dans sa phase réceptive, soit dans sa phase créative. Les méthodes interactives qu'a par exemple élaborées Simha Arom en ethnomusicologie ont permis, grâce à leur rigueur scientifique, d'échapper à notre propre subjectivité (plutôt que d'atteindre une objectivité absolue) et de proposer de nouvelles réceptions-compréhensions des répertoires d'Afrique Centrale. Sans posséder cette rigueur cartésienne dans la phase de réception de l'œuvre, l'analyse du *Sacre du Printemps* par Boulez tire sa force et sa pertinence des outils opératoires prospectifs et nouveaux qu'elle met en place.

En d'autres termes, l'analyse musicale n'est pas à proprement parler une discipline. Si on peut certes caractériser des méthodes analytiques telles que l'analyse schenkerienne, le chiffrage harmonique ou la Set theory, on ne peut définir un ensemble de méthodes propres à la discipline " analyse musicale ", et indépendantes de celui qui la fait. L'analyse n'est donc qu'un discours sur la musique, plus ou moins scientifique, plus ou moins compressif, plus ou moins subjectif, plus ou moins créatif, dont l'utilité et la qualité résident uniquement dans le sens qui en découle, et également dans sa capacité à dépasser à la fois la description de la simple grammatologie logico-textuelle de l'écriture musicale et son propre logocentrisme.

VI.- APPLICATION 5 : QUELQUES IMPLICATIONS PROSPECTIVES DE LA PROBLEMATIQUE DU SIGNE ET DU SENS

1) Cadre de la problématique

a) Parler de l'inexplicitable

Un travail de recherche universitaire traitant des rapports entre complexité grammatologique et complexité perceptive doit présenter des garanties de scientificité intersubjectives[151], si ce n'est « objectives » des résultats énoncés. Les principes épistémologiques qui portent cette recherche ont été posés en introduction : cette étude se situe quelque part à l'intérieur du large domaine entre l'algorithmie musicale et la psychologie de la musique, au sein des sciences humaines formalisées. L'agrément des hypothèses cognitivistes et relativistes exige de dépasser l'étude de l'œuvre au niveau neutre et la recherche d'universaux de la perception. Pour réaliser ce travail interdisciplinaire, deux méthodes de travail ont été favorisées. La première consiste à construire des modèles et des concepts théoriques opératoires (les différentes complexités analytiques ; les mécanismes de compression cognitive et d'aperception ; les notions de grammatologie et de graphémologie de l'écriture musicale ; le paradoxe théorique de la complexité de Kolmogorov-Chaitin ; les huit principes et hypothèses de la complexité perceptive ; etc.). La deuxième méthode établit des paradoxes abstraits ou musicaux concernant certaines procédures, afin de poser question, d'ébranler quelques certitudes, et d'y répondre partiellement par les concepts décrits auparavant. Ces deux méthodes et les applications musicales qui les accompagnent forment alors le substrat réfutable de la thèse.

Cependant, à l'image de la citation de Derrida citée en exergue du mémoire, une interrogation sur les limites de la pensée analytique, sur le non-explicitable en musique, et sur les problèmes de traduction entre métalangage logico-textuel et « langage » sonore ne peut rester dans le seul champ analytique et logico-textuel. Voilà pourquoi ces investigations analytiques ne restent qu'un aspect de la recherche. L'autre aspect, plus ancien, est plus

[151] au sens de Husserl, c'est-à-dire ici, en simplifiant, une subjectivité partagée par un groupe non réduit à l'auteur

prospectif, et permet de dépasser la contrainte du logico-textuel. Il s'agit de réalisations dans le « langage » musical, à travers des oeuvres. En accord avec mon directeur de thèse Jean-Marc Chouvel, lui-même compositeur, il a été décidé d'ajouter quelques indications analytiques sur mes propres compositions, afin d'éclairer prospectivement les recherches théoriques plus normatives sur le rapport entre grammatologie et perception évoquées dans ce travail.

Il y a certes une difficulté certaine, chez un compositeur, à parler de son propre travail, à être à la fois « l'insecte et l'entomologiste ». L'histoire a parfois montré que certaines explicitations de procédures compositionnelles par des théoriciens ont marqué le moment où les compositeurs ne s'en préoccupaient plus (la forme sonate, les règles tonales, etc.), quand ils sont allés chercher ailleurs, dans le non-verbalisé, leurs motivations et leur relecture du musical. Il y a de plus, dans notre cas, une contradiction évidente à chercher à expliciter en langage logico-textuel des idées musicales issues de paradoxes sur l'analytique et d'interrogations sur le signe, qui ne peuvent justement naître et se développer que dans le musical, à la cloture du logico-textuel. Malgré cela, à l'image d'un Risset écrivant des articles théoriques sur ses paradoxes sonores, nous tentons ci-dessous cet exercice « inconfortable » d'introspection peu distanciée.

b) Une génération du paradoxe

N'ayant eu vingt ans ni en 1945 (Boulez, Stockhausen), ni en 1968 (Ferneyhough, Grisey, Reich), les collègues de mon age et moi-même n'appartenons pas à ces deux générations du refus, celui du passé, et celui des systèmes. De nos grands-pères, nous avons hérité le rêve de construire de nouvelles grammaires. Cependant, comme nos pères, nous avons refusé les excès du structuralisme, lorsque l'intelligence du système et le projet formaliste l'emportaient sur l'objet perçu. Comme nos pères, nous avons tenté d'élaborer de nouveaux concepts d'harmonicité/inharmonicité et de temps pulsé/temps lisse, à partir de considérations sur la nature acoustique et temporelle du timbre et sur la perception cognitive d'informations. Nous avons par contre refusé la croyance en des universaux de la perception, ainsi que les formes et processus trop démonstratifs, car, à la démonstration, nous préférons les paradoxes. En conséquence, dans les discussions avec mes collègues et amis de ma génération revient souvent la prise du double-risque : prendre celui du non déjà-entendu et prendre celui que cela s'entende. Plus personnellement, mon éducation pourrait peut-être être qualifiée, en

simplifiant, « d'existentialiste » ou de « jankelevitchienne », en un sens d'anti-structuraliste, bien que ma famille n'ait jamais eu connaissance de ces références intellectuelles. De plus, ma formation académique au méta-langage mathématique comme à la musique m'ont permis d'appréhender des disciplines qui ont toutes deux en commun de dévoiler une profondeur qui dépasse leur signe. Enfin, trois rencontres ont marqué lon apprentissage : les compositeurs Jean-Claude Risset et Gérard Grisey, et le professeur d'ethnomusicologie au Conservatoire de Paris Gilles Léothaud. À la convergence de ces différents chemins devait donc nécessairement se présenter, entre autres, dans mes oeuvres comme dans mes réflexions, la problématique du signe et du sens, de l'analytique et du perceptif.

2) Techniques prospectives

a) Inflexions transparamétriques

Une question récurrente liée à l'analytique est, nous l'avons vue, la séparation des paramètres. À partir de 1996, j'ai commencé à réfléchir en tant que compositeur à la notion *d'inflexion musicale,* c'est-à-dire à une tension musicale où l'action resterait sensible, mais non intelligible, non analysable, et en particulier non réductible à une transformation sur l'un ou l'autre des paramètres. Il s'agissait de construire musicalement des « je ne sais quoi ». Dans ce but, j'ai repris instrumentalement un principe acoustique associé au fonctionnement des échantillonneurs analogiques, liant dans un même rapport la fréquence de transposition et la vitesse de pulsation. C'est une technique qu'a également employée Karlheinz Stockhausen (*Wie die Zeit vergeht*), mais avec un objectif opposé, afin que la différenciation sérielle des hauteurs se reflète dans celle des rythmes. Dans ma musique, ce principe permet au contraire de brouiller la cause paramètrique d'un phénomène. Une variation infime de hauteurs, par exemple une transposition d'un quart de ton d'un élément musical, sera systématiquement accompagnée d'un changement du même ordre sur tous les autres paramètres, par exemple sur la vitesse de répétition rythmique de cet élément. Ensuite, l'accumulation et le nombre de ces inflexions infimes appliquées sur tous les paramètres dans des ratios similaires créeront la tension, sans que l'on en perçoive la cause analytique.

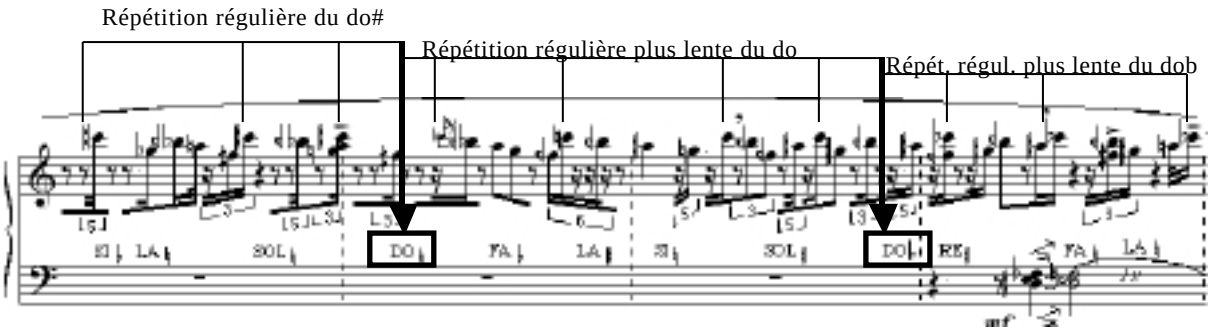



Fig.VI-1 : Technique d'inflexion musicale transparamétrique : extrait de Les deux ampoules d'un sablier peu à peu se comprennent *(1996), pour harpe solo amplifiée.*

b) Le rapport du tout à la partie

Une autre façon de déjouer l'analytique est d'agir sur le contrepoint, et plus généralement sur les rapports temporels entre détail et totalité. Dans les contrepoints de la musique occidentale de tradition écrite, la superposition des différentes voix est souvent liée à son écriture sur une partition. Un quatuor à cordes classique, par exemple, est généralement écrit à quatre voix, chacune étant allouée à l'un des quatre instruments du quatuor. De plus, les conduites des voix, de la fugue baroque aux techniques d'orchestration de Schönberg, sont souvent construites sur un principe de confrontation de voix distinctes, accumulées et de poids équivalents (souvent quatre voix monodiques). Au contraire, dans les musiques de tradition orale présentant un niveau élevé d'organisation contrapuntique, la contrainte de la partition disparaît, et les différentes voix se distribuent plus subtilement parmi les différents musiciens pour fusionner finalement à l'intérieur d'un tout. Dans la musique des *Banda Linda* de Centrafrique, par exemple, chaque trompe ne joue qu'une hauteur à l'intérieur de canons rigoureux et complexes, dont l'intérêt se situe au niveau de la totalité. Dans les chants des pygmées, le nombre des voix musicales est indépendant du nombre de chanteurs, et chaque musicien interprète de petites cellules motiviques élémentaires qui ne s'entendent pas en tant que telles, mais comme la pierre finement sculptée d'une mosaïque complexe globale.

Dans *Durch*, *in memoriam Gérard Grisey*, pour quatuor de saxophones (1998), comme dans les oeuvres qui l'ont suivi, la musique n'est jamais la somme de ses parties. Selon le degré de focalisation de l'audition, émerge tout d'abord une figure homogène d'un seul tenant

et en perpétuelle évolution, construite à partir de surfaces harmoniques fusionnées[152]. À un degré de focalisation plus fin, la figure devient perceptivement une mosaïque constituée de petits instruments élémentaires simples agencés régulièrement. Au niveau le plus fin, chacun de ces instruments élémentaires laisse paraître une identité propre, caractérisée par une granulation sonore autonome, ciselée par l'écriture et les modes de jeu, au sein d'une ligne mise en perspective par un contrepoint dense de couleurs, de rythmes et d'espace.

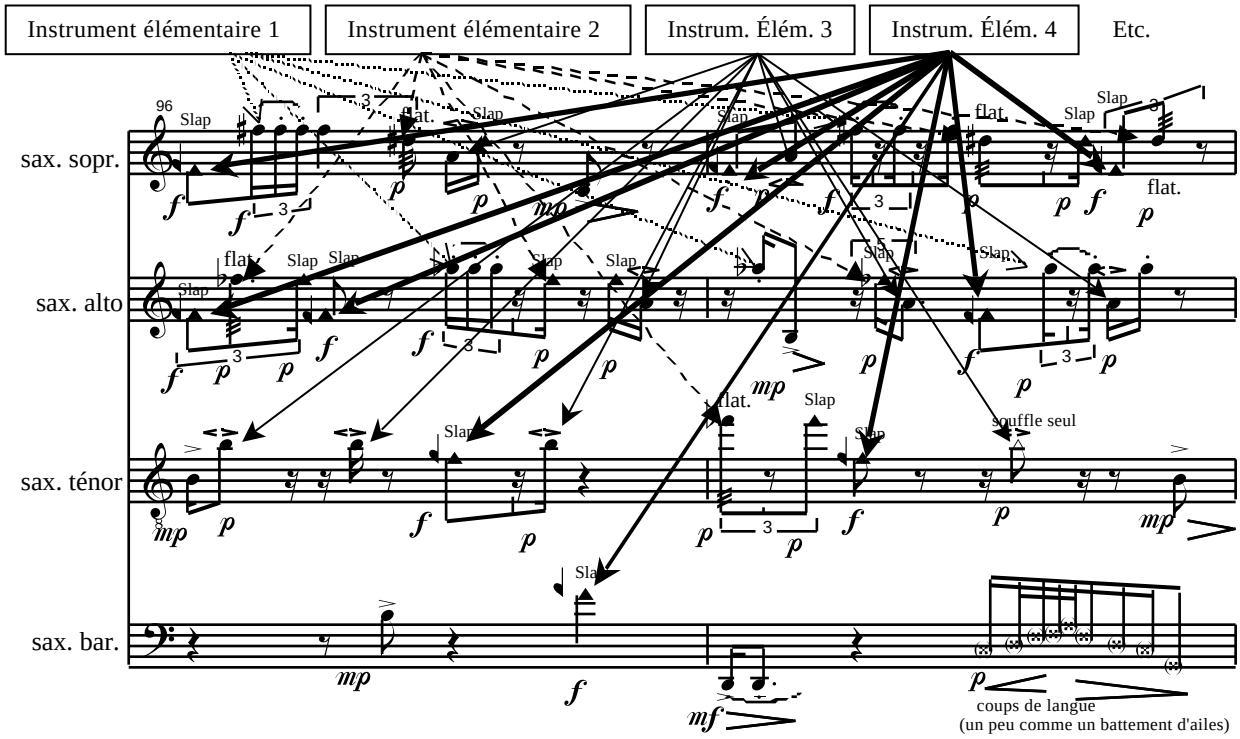
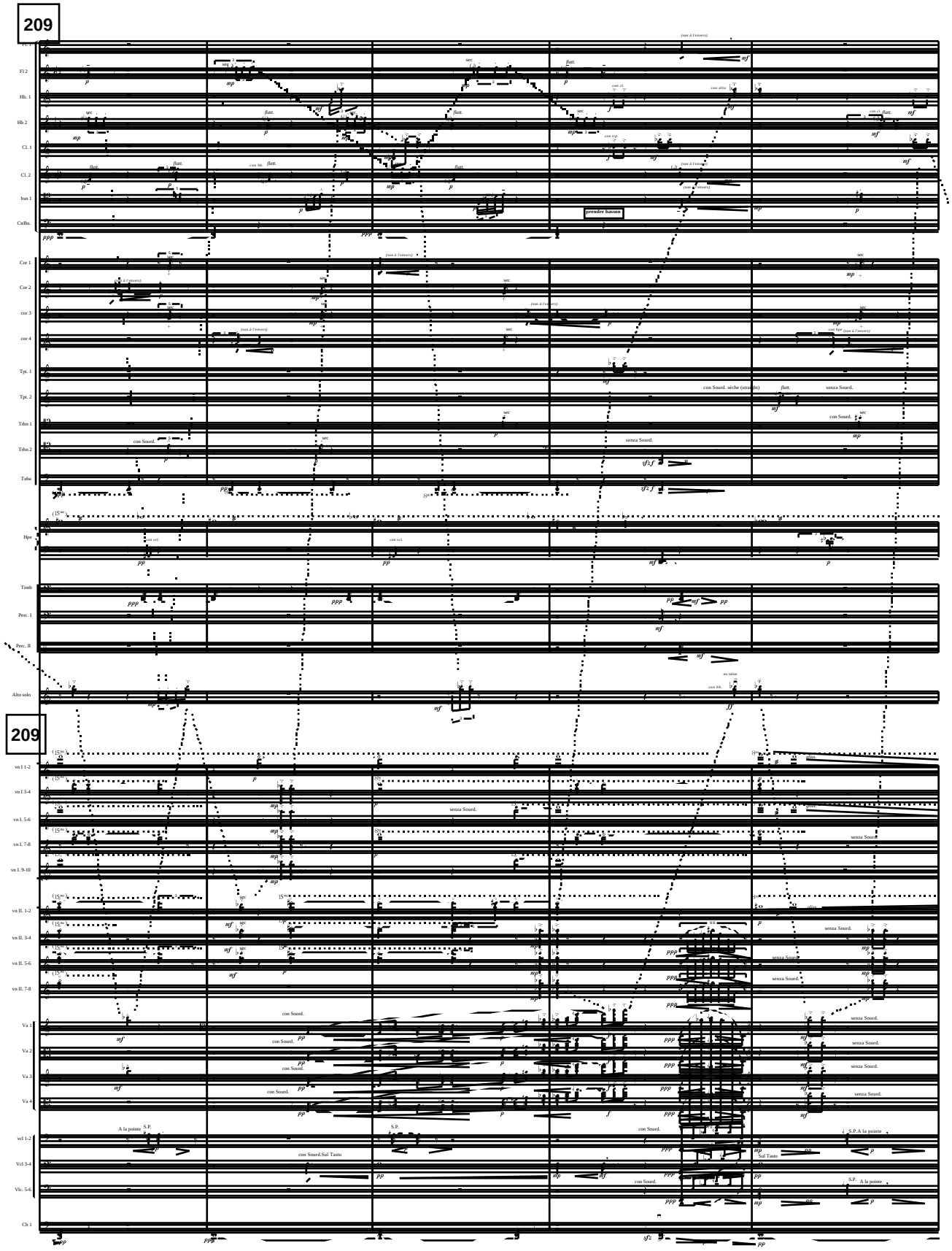


Fig. VI-2 : Extrait de Durch *(1998), pour quatuor de saxophones, mes.96-97, partition en sons réels. Chaque instrument joue une multitude d'instruments virtuels élémentaires. Chaque instrument élémentaire suit une ligne partagée entre les quatre instruments réels (contrepoint de rythmes, d'espaces, et de couleurs).*

Dans *Hérédo-ribotes*, pour alto solo et cinquante-et-un musiciens d'orchestre (2001), l'alto n'est jamais un soliste confronté à un orchestre, mais tantôt un ensemble à lui-seul de plusieurs instruments virtuels élémentaires, tantôt l'une des composantes élémentaires de la mosaïque plus large formée par les cinquante-deux solistes (et par un nombre différent d'instruments élémentaires).

[152] Pour atteindre la fusion harmonique, nous utilisons généralement des techniques d'engendrement harmonique à partir de spectres, mais selon des techniques personelles, en allant par exemple chercher dans le haut du spectre des partiels ayant entre eux des relations particulières : rapports deux à deux identiques, partiels premiers, etc..



Chaque note, accompagnée de sa morphologie propre, ([si b sec], [fa 1/4 de b 3 notes répétées], [ré 1/4 de b flat], [sol 1/4 de # son à l''env.], etc..) doivent s'entendre comme autant de voix indépendantes et homogènes d'un contrepoint de sonorités.

Fig. VI-3 : Hérédo-Ribotes, *pour alto solo et 51 musiciens d'orchestre, (mes.209-213). La mosaïque et ses composantes, entre confrontation et fusion*

Plus généralement, la plupart des « matériaux bruts » utilisés dans mes oeuvres tentent jusqu'à maintenant d'intégrer cette écoute paradoxale entre la perception d'une construction interne structurée et ciselée qui excite l'oreille analytique, et l'écoute d'un rendu global fusionné en évolution continue, un peu à l'image d'un crépi dont on ne saurait s'il faut distinguer chacune des nervures ou observer le revêtement dans son entier, ou une mosaïque dont on ne sait s'il faut l'entendre dans sa globalité ou écouter chaque pierre comme une morphologie propre. Mon souhait est de créer une perception paradoxale intermédiaire, située entre différentes pratiques d'écoute. Pour obtenir cette dialectique, sont employées d'un côté des techniques informatiques de fusion harmonique (techniques spectrales telles que la " transposition itérée harmonique ", les " spectres premiers " ou le " chiffrage de Tanner ") et temporelle (processus continus, technique d'inflexion trans-paramètrique), tandis qu'un travail d'orchestration et de modes de jeu cisèle chacune des pierres et donne sens ou contresens à la mosaïque. Cette deuxième étape est celle qui nourrit évidemment le plus mes préoccupations et stratégies de compositeur.

c) Mélodies de formants

De nombreuses procédures ont été établies dans les œuvres des années 60 et 70 afin de dépasser la réduction d'un son à sa fondamentale. Mentionnons en particulier les principes de synthèse électronique (Koenig, Stockhausen, Risset, Chowning,...), la musique concrète (Schaeffer, Pierre Henry,...), la musique concrète instrumentale (Lachenmann), et les techniques spectrales instrumentales (Murail, Grisey), permettant de construire par synthèse fusionnée l'intérieur du son, des effets d'orchestration, des sons paradoxaux, ou l'utilisation de sons inharmoniques, bruités, ou à forte transitoire. Ces principes ont fortement imprégné mes propres techniques.

La mélodie de formants est une technique particulière. Elle consiste à jouer sur la morphologie d'un son sans modifier la hauteur de la fondamentale Cette technique doit être contrôlée sur tous ses paramètres (nuances, durées, composantes spectrales) afin de faire émerger une mélodie scalaire « à l'intérieur du son », et non pas seulement un jeu de couleurs non clairement discrétisées. C'est celle qu'emploie par exemple le musicien Nbaka qui joue de l'arc musical Mbéla dans la figure A-III-10. Nous l'employons personnellement soit par orchestration (fig.VI-4), soit « à l'intérieur » d'un instrument (fig.VI-5).

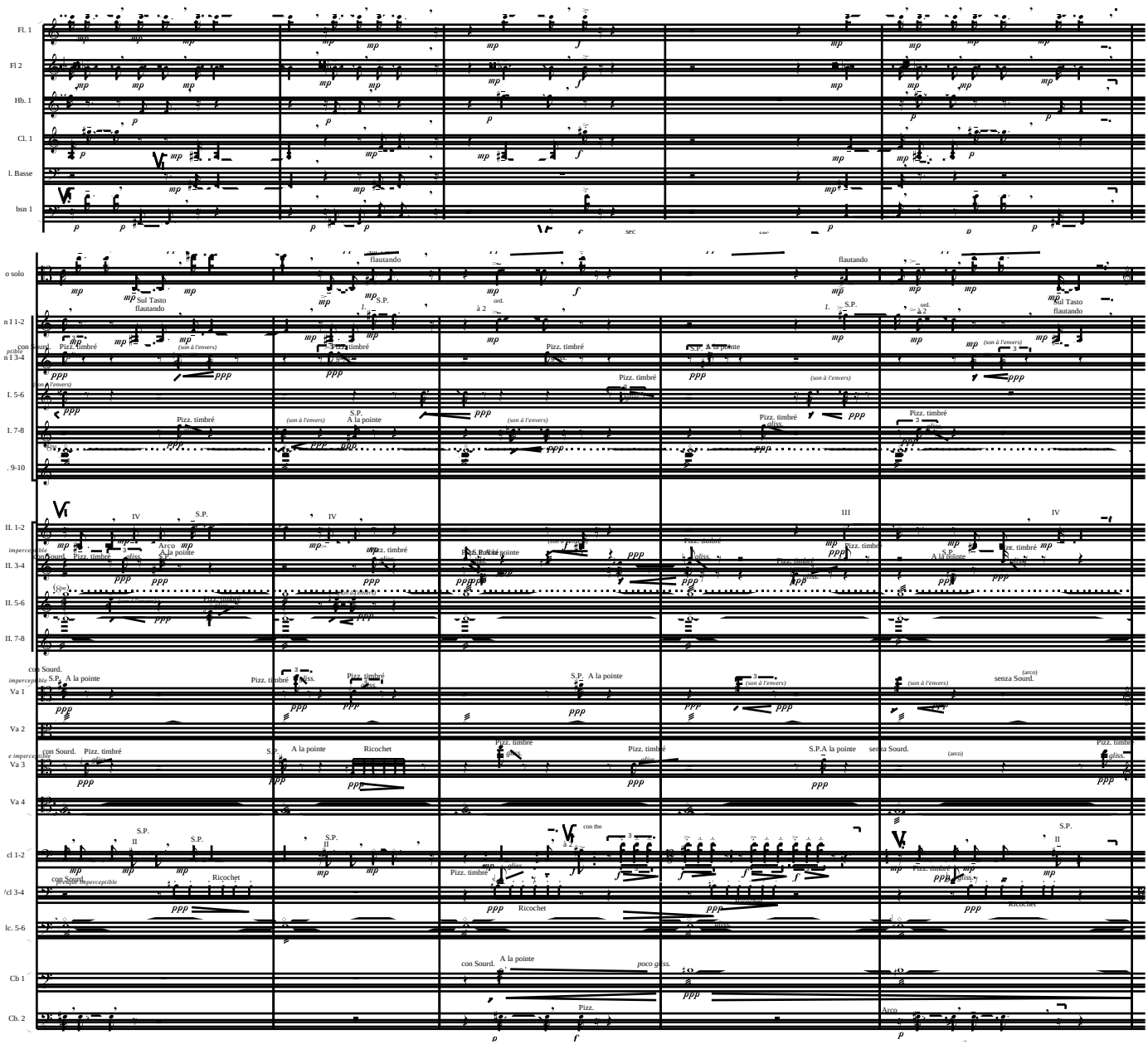



Fig.VI-4 : Hérédo-Ribotes, *pour alto solo et 51 musiciens d'orchestre (mes.65-69, petite harmonie, alto solo et cordes). Dans la voix V1, un même agrégat fusionné est différemment orchestré selon une échelle de cinq formants. L'alto solo n'est paradoxalement qu'une composante spectrale de l'agrégat fusionné, et l'écoute se perd entre une mélodie de hauteurs jouée par le soliste seul sur scène devant l'orchestre, et cette mélodie de formants.*

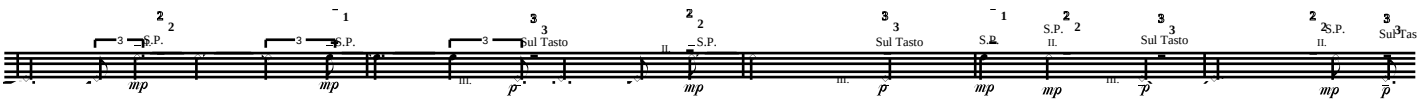


Fig.VI-5 : Hérédo-Ribotes, *pour alto solo et 51 musiciens d'orchestre (mes.292-297, cadence d'alto). Echelle discrète de formants (couleur spectrale + nuance + rythme), sur une même fondamentale de ré. Les « degrés » de cette échelle de timbres ont été numérotés.*

d) Glissando paradoxal

Dans de nombreuses oeuvres (le *Concerto pour Violon* de M.-A. Dalbavie, les opéras *Enrico* et *Was ihr wählt* de M. Trojahn, les études 9 (*vertige*) et 14 (*Colonne infinie*) pour piano de Ligeti, etc.), sont présentes des réalisations instrumentales du glissando sans fin de Risset. Dans l'extrait ci-après (figure VI-6), il ne s'agit pas d'un glissando *sans fin*, mais d'un glissando paradoxal entre les lignes descendantes qui émergent de la lecture, et que joue chacune des parties, et une perception globale d'un son ascendant.

e) Formes et structures contradictoires

Un principe réunit ces paradoxes et procédures : l'évidence d'une perception (un son monte, une fondamentale est répétée, un soliste égrène une échelle de cinq notes, quatre musiciens énoncent une surface harmonique constante) est mise en contradiction par une écriture et une autre perception plus subtiles (chacune des composantes du son qui monte est descendante, une mélodie formantique accompagne la répétition de la fondamentale, le soliste n'est en fait qu'un partiel d'une mélodie formantique, chaque ligne instrumentale se décompose en plusieurs instruments virtuels, etc..).

De la même façon, dans la plupart de mes pièces, la forme perçue s'oppose à la structure analytique. Dans *Les deux ampoules d'un sablier peu à peu se comprennent* (1996), pour harpe solo amplifiée, la structure tripartite se superpose à une forme continue reprenant un glissando sans fin descendant. Dans *Coïncidences* (1999), pour ensemble de 35 solistes, une structure partagée en différentes parties analytiquement nettes s'associe à une forme continue dessinant une « sinusoïde » auditive aux périodes de plus en plus courtes.

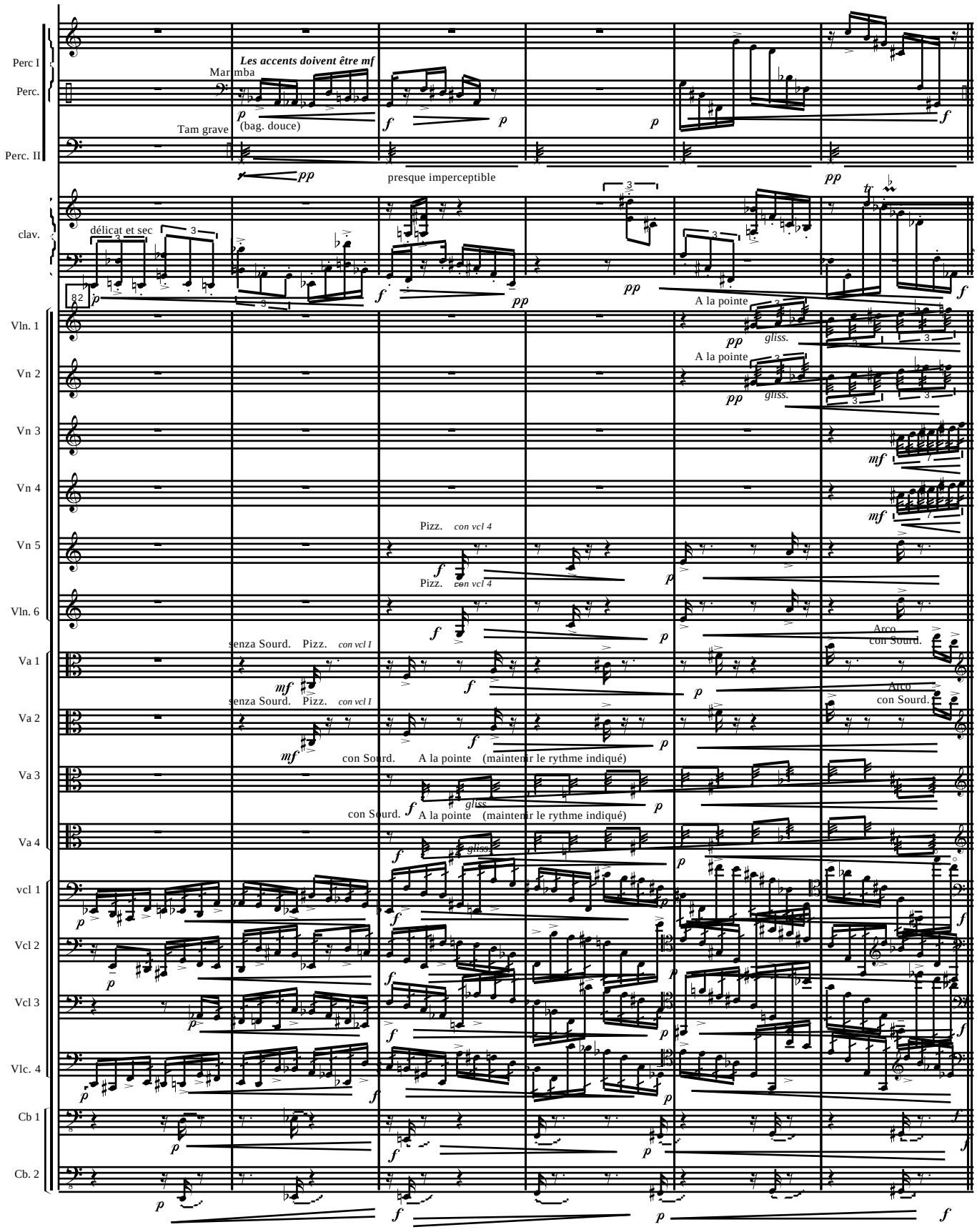



Fig.VI-6 : Coïncidences *(1999), pour ensemble de 35 solistes (extrait des cordes, mes.82-87). Les traits de chaque instrument sont descendants alors qu'on perçoit un son qui monte.*

f) Les canons de Vuza : quand l'addition polyphonique de voix engendre une monodie

Dans *Coïncidences* (1999) pour ensemble de 35 solistes, dans la dernière pièce du cycle de pièces pédagogiques *Où niche l'hibou* (2001), et dans *Soliloque sur [x, x, et x]*, pour ordinateur en temps réel (2002), est utilisé un procédé contrapuntique singulier, le *Canon de Vuza*, découvert grâce aux travaux du mathématicien Moreno Andreatta (Andreatta [1999]). Les canons de Vuza (du nom du mathématicien roumain Theodor Vuza), sont des canons rythmiques parfaits, c'est-à-dire pour lesquels chaque voix rythmique s'additione aux autres identiquement mais avec un décalage temporel. Ces canons sont cependant singuliers car la somme des différentes voix ne propose jamais ni superposition de deux voix, ni « trou ». L'imbrication des voix est donc pafaite, ce qui signifie mathématiquement que le pavage est *parfait.* Sur le plan perceptif, ce type de canon permet donc une écoute paradoxale, puisque l'oreille analytique perçoit initialement différentes entrées polyphoniques d'un même motif rythmique, mais entend ensuite, lorsque toutes les voix sont entrées, une ligne monodique unique.

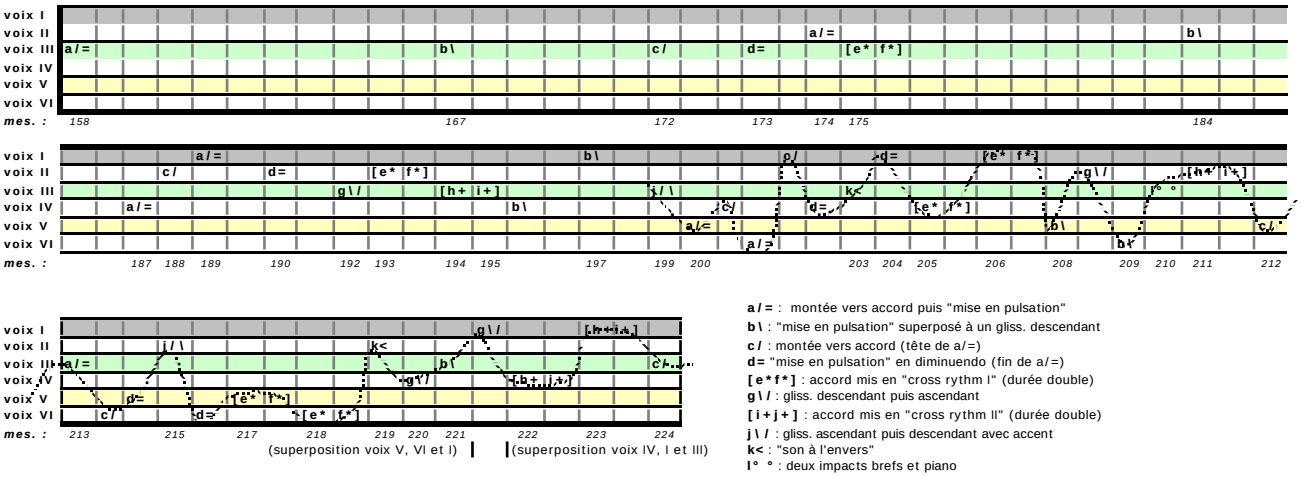


Fig.VI-7 : Plan du canon de Vuza dans Coïncidences *(1999), pour ensemble de 35 solistes (mes. 158 à 226). Le canon est à six voix rythmiques identiques (voix I à VI). La somme polyphonique des différentes voix engendre cependant une ligne monodique (représentée ici par une ligne en pointillée), puisque aucune voix ne se superpose à une autre, ni ne laisse de trou.*

g) Une grammatologie issue du son et non du signe

La pièce *Soliloque sur [X, X, X et X]*[153] pour ordinateur en temps réel (2002), composée avec l'aide de l'assistant musical Thomas Seelig au studio de la technische Universität de Berlin, marque une nouvelle étape dans mes réflexions. *Soliloque sur [X, X, X et X]* n'est pas à proprement parler une œuvre, mais plutôt une méta-oeuvre que l'ordinateur génère en temps réel à partir d'extraits des autres pièces du concert. Ceci signifie qu'à chaque concert, l'œuvre produite est différente et unique, non seulement parce que le matériau constituant cette mosaïque est formé du souvenir des sonorités des autres pièces (la pièce utilise de très courts extraits des autres pièces, à peine reconnaissables), mais aussi parce que l'organisation de cette mosaïque, c'est-à-dire l'algorithme engendrant la pièce, est elle-même composée en fonction des valeurs de certains paramètres musicaux calculées par l'analyse informatique des échantillons. A chaque réalisation, la « partition » et les « instruments » de cette méta-oeuvre électronique sont donc renouvelés.

Ce projet d'une méta-œuvre m'a permis de développer plus avant, et de façon abstraite, des techniques de composition issues non d'une grammatologie sur le signe, mais de la réalité du phénomène sonore. En effet, il a fallu élaborer des procédures tenant compte du phénomène sonore qu'elles analysent puis transforment, procédures agissant non pas sur des hauteurs mais sur des objets sonores analysés spectralement, non pas sur des rythmes mais sur des positions de lecture et de durée, non pas sur des intervalles mais sur des vitesses de lecture, non pas sur des nuances mais sur des intensités, des filtrages, et des espaces.

Soliloque est donc à la fois une composition dans le sens où la méta-structure abstraite est relativement fixe, mais également une méta-composition dans le sens où la réalisation est à chaque fois différente, interprétée par le contexte. *Soliloque* est de plus à la fois une pièce d'électroacoustique puisque produite par un ordinateur sur des enceintes acoustiques, mais aussi une pièce totalement écrite, travaillant sur du symbolique, où l'écriture ne règle pas des notes mais des procédures grammaticales acoustiques. Une fois les techniques d'écriture informatique suffisamment assimilées[154] (il manque encore un outil grammatologique du son efficace, de niveau suffisament symbolique pour permettre de « composer », et facilement

[153] Les « X » du titre doivent être remplacés par les prénoms des autres compositeurs joués au même concert

utilisable par un compositeur non scientifique), j'espère pouvoir développer plus avant ce genre de projets, où une grammatologie la plus symbolique intervient directement sur les paramètres du son dans sa dimension inharmonique et transitoire.

3) Conclusions de la section B

Les différents chapitres ont mis en évidence, dans des exemples appliqués à la musique ou sur un plan formel, le décalage pouvant apparaître entre la complexité analytique d'un processus musical et la complexité de compréhension auditive de ce processus. Huit principes et hypothèses ont été énoncés, pouvant être ensuite appliqués à différents paramètres musicaux : à partir des *hypothèses cognitiviste et relativiste,* et d'une *méthode de calcul de la KC-complexité perceptive* ont été établis le *principe d'indépendance esthésique*, le *principe de non-bijection entre les complexités* et le *principe de saturation cognitive*. Le *théorème de la complexité et de l'aléatoire* est une extension musicale du théorème de Chaitin. Le *principe d'économie poïétique* valide épistémologiquement certaines pratiques compositionnelles qui apparaissent à première vue purement spéculatives. Chaque chapitre a également proposé, dans son domaine musical respectif, une ébauche de ce que pouvait être le processus cognitif qui accompagne la perception d'une procédure. Les deux derniers chapitres ont tenté d'ouvrir sous une perspective plus esthétique cette problématique. L'avant-dernier chapitre a étudié le rapport entre la perception analytique et la perception purement auditive, en se focalisant sur les outils de l'analyse musicale : méta-langage logico-textuel, importance du signe et de la figure remarquable. Le dernier chapitre a présenté quelques applications prospectives du dialogue incomplet entre méta-langage logico-textuel et « langage » musical, en proposant en particulier des techniques musicales travaillant sur les limites de l'analytique.

Cette seconde partie a eu pour objet d'étude l'œuvre musicale que tentait de percevoir un auditeur idéalisé sous forme de machine universelle de Turing. La KC-complexité perceptive était notamment définie comme la complexité analytique du processus virtuellement réengendré par un « auditeur universel » lors de son écoute (« complexité perceptive dynamique»). La section suivante aborde, au contraire, l'auditeur plongé dans sa culture et dans ses mécanismes d'apprentissage, d'induction et de surprise.

---

[154] Soliloque a du être composé sur le logiciel *Supercollider*, sur plusieurs milliers de lignes de code

SECTION C – L'ÉCOUTE EN TANT QUE RE-ÉCRITURE COGNITIVE :

LA COMPLEXITÉ DE L'APERCEPTION CULTURELLE

INTRODUCTION

L'objet de cette partie est d'étudier la relation entre l'aperception[155] et le contexte de l'écoute (comportement et culture de l'auditeur), ce que Blandine Bril nomme "***l'écologie de l'apprentissage***" (Bril [1991]). L'économiste J. Duesenberry disait de sa discipline : « *l'économie n'est pas autre chose que l'étude de la façon dont les gens font des choix, alors que la sociologie n'est rien d'autre que l'étude de la façon dont ils s'arrangent pour ne pas avoir de choix à faire* » (cité par J.P. Dupuy in Collectif [1989]). Cette boutade permet néanmoins de comprendre en quoi des modèles comportementaux issus de la microéconomie ou des sciences cognitives peuvent contribuer à modéliser convenablement un auditeur seul et autonome (hypothèse de rationalité de l'agent, que partage l'économie et l'Intelligence Artificielle), alors que des outils de sociologie et de psychologie formalisées semblent plus adéquats pour analyser le comportement de l'auditeur en période d'incertitude, de convention, ou de mimétisme de groupe. Dans le premier chapitre, nous appréhenderons certains concepts théoriques permettant de définir les mécanismes d'écoute d'**un** auditeur muni d'une certaine culture cherchant à mieux comprendre la complexité dynamique d'une œuvre, c'est-à-dire cherchant à adapter à court-terme son aperception à des éléments étrangers. Nous utiliserons pour cela des modèles comportementaux de perception centrés sur les notions d'**apprentissage,** d'**accommodation, et d'anticipation**. Le deuxième chapitre traitera théoriquement des freins culturels mimétiques et sociologiques entravant les mécanismes d'assimilation lors de l'audition, à travers l'étude des **conventions d'écoute**. Ces modèles seront appliqués dans les troisième et quatrième chapitres à deux paramètres particuliers de la musique : la perception cognitive d'une transformation motivique et celle de la consonance culturelle des intervalles. Comme dans la partie B, nous conclurons en élargissant le propos sur une problématique plus esthétique : nous étudierons le rapport entre valeur, jugement esthétique et complexité d'une œuvre musicale, et, en particulier la valeur que la société occidentale accorde à la pensée analytique.

[155] Pour une définition précise de ce terme, se reporter à la présentation de la thèse, p.8

I.- ECOLOGIE DE LA PERCEPTION :

COMPLEXITE, ASSIMILATION ET SURPRISE

1) Connaissances communes, écoutes interprétatives

Peu avant les apports de la théorie scientifique de la complexité à la musique, (c'est-à-dire, en ce qui concerne cette étude, peu avant la formalisation du processus de compression/compréhension d'un algorithme et les théories de Kolmogorov et de Chaitin), la théorie de l'information appliquée aux communications artistiques avait déjà appréhendé certains facteurs culturels et contextuels de l'écoute. Ces facteurs sont présents, d'une part, dans les probabilités d'apparition des caractères d'une chaîne pour le calcul de sa densité diacritique, d'autre part, dans le schéma général de transmission d'informations, sous la forme d'un module perturbateur de bruit et, sous une forme beaucoup plus explicite, dans le modèle de transmission d'informations musicales d'Abraham Moles.

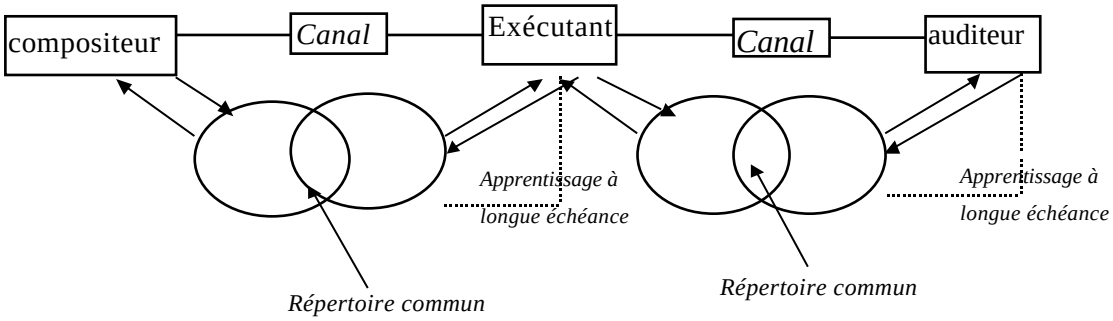
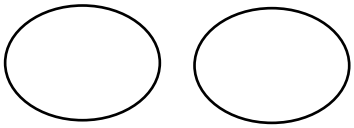
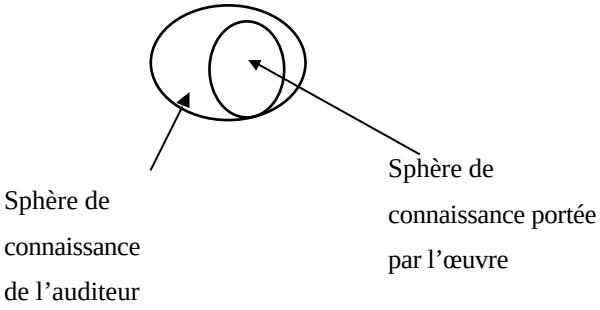


Schéma I.1 : Modèle de transmission de l'information musicale, selon A.Moles [1964].

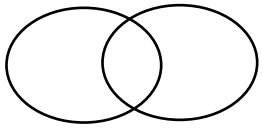
Schématisée par la taille de l'espace commun aux deux sphères de connaissance, l'écoute est dite par Moles "**inintelligible**" (ou "**aléatoire**" au sens de Solomonov-Chatin) lorsque l'intersection est vide, "**banale**" lorsque la sphère de l'auditeur contient celle du compositeur, "**possible**" ou "**prédictive non banale**" lorsque les deux sphères possèdent une intersection.

i) Ecoute « inintelligible » : 

ii) Ecoute « banale » :



iii) Ecoute « possible » ou « prédictive non banale »



Les deux premières parties de cette étude avaient posé, selon les hypothèses relativiste et cognitive, que l'aperception d'un processus complexe est interprétative, culturelle et intelligente (dans le sens où elle ne se résume pas à l'écoute littérale du contenu brut en information de la chaîne, mais le compresse). En reprenant les catégories d'Abraham Moles, on démontre **que seules l'écoute banale et l'écoute non intelligible sont non interprétatives**. En effet, une écoute non intelligible (sans compression) et une écoute banale (la compression est évidente, anticipe sans erreur la chaîne) sont invariantes, quelle que soit la machine de Turing, donc non interprétatives. Inversement, une écoute non interprétative propose, par définition, un algorithme unique de compression. On peut établir, dans ce cas, une bijection entre la chaîne d'information brute et la chaîne compressée (entre la chaîne de lecture et celle de réécriture). Soit les deux chaînes sont identiques (il n'y a pas de compression, l'écoute est inintelligible, aléatoire), soit, à chaque étape de l'écoute (de la compression/compréhension), aucune interprétation n'est possible, donc aucune surprise ne peut survenir, et tout est parfaitement anticipé (l'écoute est banale, la chaîne réengendrée correspond, à une bijection près, et sans erreur, à la chaîne produite).

L'assertion ci-dessus implique **qu'un processus complexe compressible** (présentant des non-évidences de compréhension), c'est-à-dire **prédictif non banal, sera toujours interprété par l'auditeur selon sa culture et le contexte de l'écoute**.

2) Typologie des mécanismes cognitifs d'écoute

a) Anticipation, accommodation et assimilation

Piaget a construit ses modèles psychologiques d'acquisition du langage par analogie avec des mécanismes physiologiques, biologiques ou de thermodynamique (P. Lestage [1994]). La découverte d'un phénomène ou d'une chaîne d'information est, en effet, une **anticipation**, une **accommodation** et une **assimilation** de/à cet objet étranger. Comme en biologie, l'équilibre psychologique est perturbé par l'apparition d'un milieu nouveau, jusqu'à atteindre un nouvel équilibre. L'écoute cognitive est donc une succession d'équilibres toujours plus riches, chaque équilibre améliorant l'équilibre précédent. L'écoute cognitive, non littérale, est, en d'autres termes, un apprentissage puisqu'il y a réception d'information et changement irréversible d'état.

Lorsqu'on passe du déséquilibre à l'équilibre, c'est-à-dire lorsqu'il y a accommodation à l'objet et apprentissage inconscient de schèmes liés à l'objet, Piaget distingue deux processus d'équilibre cognitif. D'une part, l'assimilation, c'est-à-dire l'incorporation d'un élément extérieur, d'autre part l'accommodation de l'équilibre interne aux éléments extérieurs (Piaget[1975]). L'accommodation est une altération des résistances et des conventions et une accommodation au contexte. Ceci signifie que l'accommodation est active et dépend du contexte : pour s'adapter à certains contenus de connaissance, le sujet doit posséder les instruments de connaissance appropriés (culture et capacité à accepter d'être déséquilibré, c'est-à-dire une certaine curiosité). L'assimilation est un acquis de nouvelle culture qui est rendu possible par l'accommodation. Comme nous le verrons, il y a simultanément accommodation des schèmes existant à s'ouvrir à de nouveaux objets ou de nouveaux schèmes et assimilation des nouveaux objets ou schèmes aux schèmes cognitifs préexistants.

À un niveau ultérieur, le développement de la sphère de connaissance n'est possible, selon Piaget, que par une réorganisation des schèmes ou des conduites de l'auditeur après endogénéisation de ces nouveaux objets. Il s'agit de mécanismes d'assimilation et d'accommodation qui relient non pas un objet extérieur à un schème interne mais modifient les schèmes internes par d'autres schèmes. Notons que ce niveau de restructuration des schèmes internes est similaire aux *règles transformationnelles* des théories génératives de Chomsky chap A-II).

Le concept d'écoute cognitive, tel qu'employé ici, n'est pas celui d'une simple adaptation sans apprentissage, tout comme l'oreille adapte son ouïe pour distinguer un son faible dans le bruit (ou l'œil adapte sa vision à la distance). Il y a dans l'écoute cognitive d'un élément nouveau une réception d'information et un changement d'état. De plus, l'écoute cognitive n'est pas passive : l'auditeur anticipe l'information, ce qui provoque, selon que l'anticipation soit réalisée ou non, banalité, surprise, ou incompréhension (quand la surprise n'est pas assimilée). La surprise est certainement un mécanisme influençant la complexité perceptive. Michel Imberty montre par exemple dans une étude expérimentale analysant les adjectifs qui accompagnent l'écoute de préludes de Debussy « *qu'il existe une relation entre la tension émotionnelle suscitée par la musique et la complexité formelle* » de la pièce (Imberty [1979], p.90).

En ce qui concerne l'anticipation, citons en musique la théorie de Leonard Meyer (Meyer [1956]), qui, reprenant le modèle d'anticipation de Peirce, développe une théorie de l'émotion basée sur la non-réalisation de certaines anticipations. Meyer a ensuite appliqué cette idée à des outils analytiques prolongationnels d'attente/réalisation pour différents paramètres musicaux[156]. Ce modèle a été développé par Eugene Narmour sous la forme de modèles d'implication/réalisation (Narmour [1990]). Notons cependant que la théorie de Narmour construit son modèle d'anticipation sur le signe (analyse note à note, direction de l'intervalle, etc.), c'est-à-dire que les implications sont contenues dans le matériau musical au niveau local (*idiostructure*) et général (*style structure*) indépendamment du contexte de l'écoute. Il s'agit d'une théorie générale du style plutôt que de la perception. De plus, le modèle d'implication/réalisation prétend à une certaine universalité des mécanismes psychologiques qu'il oppose aux contextes culturels[157]. Dans notre étude, nous ne séparerons

---

[156] Selon Ian Bent, les théories de Meyer avaient une seconde ambition, non informationnelle : en cherchant à mettre à jour tout ce que l'œuvre comporte de singularité, Meyer cherche à fonder une analyse critique qui se substitue à une musicologie classique « positiviste », pour créer une sorte de forme supérieure de critique musicale (Bent [1987], p.124).

[157] « ***To be sure, one cannot believe that we understand music only in terms of implication ; there is, for instance, that rather large or crucially influential arena that musicologists call cultural/historical context. No one in his right mind denies the importance of this sphere. Nevertheless, as these volumes set out to show, implication, realization, and denial are then most important syntactic ways that human beings perceive melody in particular***

au contraire pas psychologie et comportements culturels, l'un étant intimement lié à l'autre, c'est-à-dire que nous lierons les mécanismes d'anticipation et de surprise à des mécanismes d'accommodation (incompréhension ou possibilité d'assimiler selon sa capacité d'accommodation). En effet, ces mécanismes actifs d'anticipation, de surprise, et d'assimilation, c'est-à-dire d'écoute cognitive de la complexité, sont fortement influencés par le contexte immédiat de l'écoute et les conventions culturelles de l'auditeur (ce sera l'objet du chapitre suivant). En outre, cette assimilation à court-terme, non conscientisée, est parfois entretenue ou développée sur le long-terme par un apprentissage conscient dans un langage logico-textuel (lecture, école, notes de programme, explications orales), visuel et plus grammatologique. Nous parlerons plus généralement *de mécanismes d'écoute (ou écoute cognitive)* pour évoquer ces mécanismes *d'anticipation* (réalisée ou non), *d'accommodation*, et *d'assimilation.* Nous parlerons *d'assimilation* pour la différencier de l'apprentissage conscient. Enfin, nous emprunterons, comme dans les parties précédentes, des concepts issus de la théorie de l'information et de l'intelligence artificielle.

Le mouvement « symboliste » des sciences cognitives, qui s'intéresse surtout à l'acquisition de raisonnements logiques et symboliques, distingue trois types d'apprentissage de connaissance (Kodratoff & alii [1993]) : l'apprentissage par induction, l'apprentissage par analogie et l'apprentissage par ajout explicite de connaissance. L'école « sub-symbolique » des sciences cognitives (réseaux de neurones) y ajoute une quatrième catégorie, l'apprentissage par accoutumance. L'écoute de la musique est un apprentissage inconscient et la musique n'est pas un langage symbolique. C'est pourquoi nous traiterons séparément l'apprentissage par ajout de connaissance, qui nécessite une traduction d'informations dans un métalangage logico-textuel, des autres types d'assimilation cognitive inconsciente.

b) Mécanismes d'écoute par induction

L'induction est le fait de généraliser un concept à partir de cas éparpillés, ou de découvrir des schémas dans des ensembles d'observation apparemment chaotiques. *« Il n'est pas possible de savoir par la démonstration* [= déduction] *sans connaître les principes immédiats. Il est donc évident que c'est nécessairement l'induction qui nous fait connaître les principes, car c'est de cette*

---

and, by extension, music in general » (Narmour [1990] p.13). Voir aussi Meyer [1998], où Léonard Meyer tente de définir des universaux de la musique.

façon que la sensation elle-même produit en nous l'universel » (Aristote: *Oganon IV, les Seconds Analytiques*, livre II, chap.19). Le raisonnement inductif n'est pas un raisonnement parfaitement rationnel puisqu'il généralise des faits. Selon le linguiste Charles Peirce, l'induction est **ampliative** (la conclusion va au-delà des données), **faillible** (la conclusion peut être démentie par des observations plus étendues), et **graduelle** (la conclusion est d'autant plus sûre que les données en sa faveur sont nombreuses et variées). Cette approche est donc probabiliste (on "confirme" le concept par des prévisions). On nomme *inférence prédictive* l'opération qui permet de passer des propositions exprimant la connaissance d'objets appartenant à un certain ensemble aux propositions sur un ensemble de taille différente.

i) Anticipation, accommodation et assimilations par induction

Musicalement, les mécanismes d'écoute par induction font appel aux schèmes[158] cognitifs internes. Il s'agit d'élargir ses schèmes cognitifs par la confrontation à un nouveau schème extérieur (c'est-à-dire à un objet musical que l'auditeur perçoit et compresse directement en tant que schème nouveau). Plus particulièrement, une anticipation est inductive lorsque l'objet anticipé est déduit d'un schème anticipé, induit par l'écoute des objets précédents. Ces comportements d'écoute locaux sont des processus inconscients de haut niveau cognitif. Une accommodation est inductive lorsque, dans le processus de réorganisation, l'objet écouté fait surgir inductivement un schème que l'on rapproche d'un schème connu. L'auditeur de culture tonale qui écoute par exemple la cadence de la première *Valse Noble et Sentimentale* réorganise son écoute et en déduit un schème élargi de cadence en comparant les objets écoutés au schème de la cadence tonale, ce qui lui ouvre la compréhension de cette cadence.

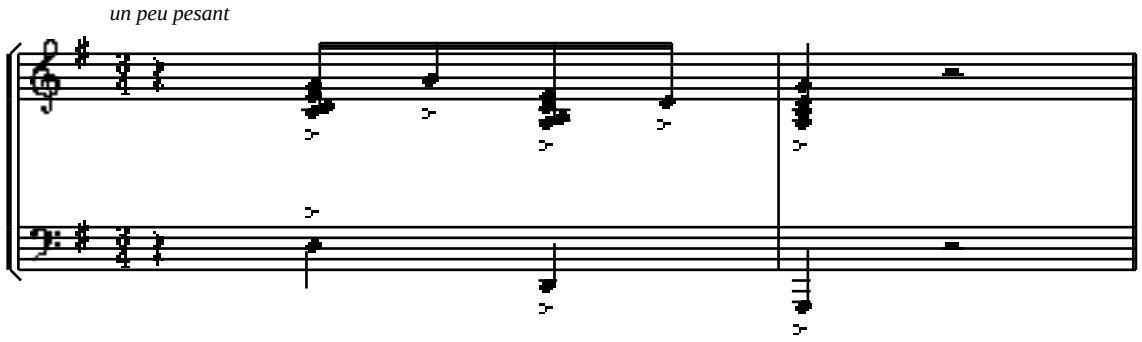


Fig. I.3 : Ravel, première Valse Noble et Sentimentale; cadence.

[158] Schème : terme que le psychologue de la musique Robert Francès emprunte à Piaget pour désigner les schémas qui orientent la perception par une activité assimilatrice et accommodatrice.

Enfin, on dira qu'un auditeur *assimile par induction* un élément musical lorsqu'il en déduit par induction un schème qu'il assimile.

ii) Surprise inductive

L'induction peut également concerner un mécanisme d'anticipation inductive non réalisée. La **surprise par induction** procède d'un raisonnement inductif qui anticipe par analogie **un schème**[159] qui sera finalement contredit. Il s'agit donc d'un processus cognitif de haut niveau.

L'endogonéisation de la cadence parfaite est, par exemple, un schème interne construit par induction. L'anticipation d'une cadence parfaite à l'écoute des deux premiers accords est en effet une anticipation par induction. La cadence rompue est alors une surprise par induction (le schème interne anticipé ne correspond pas au schème réalisé).

Il existe également des surprises inductives au niveau métrique (mise en place d'un schème métrique qui ne correspond pas à celui réalisé, engendrant à la 12^{e} mesure de l'exemple ci-dessous –fig.I.4- une surprise rythmique par induction) :

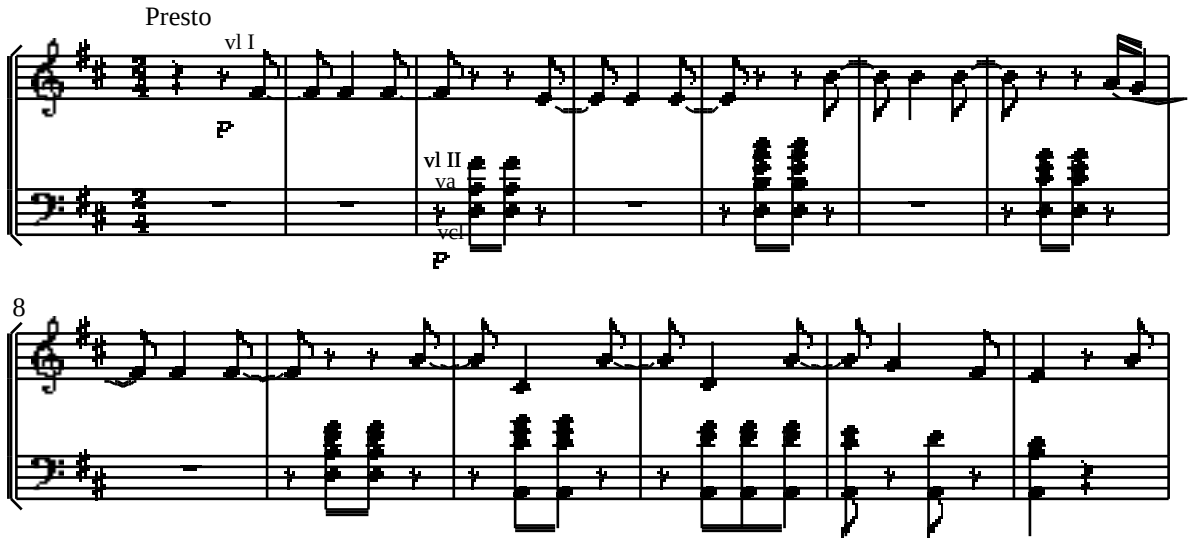


Fig. I.4 : J. Haydn, Symphonie n°80, Final

(La métrique et le passage qui suivra, plus « carré », contredisent une pulsation fondamentale induite par l'auditeur).

[159] c'est-à-dire qui anticipe inductivement

Citons enfin une surprise inductive au niveau harmonique :

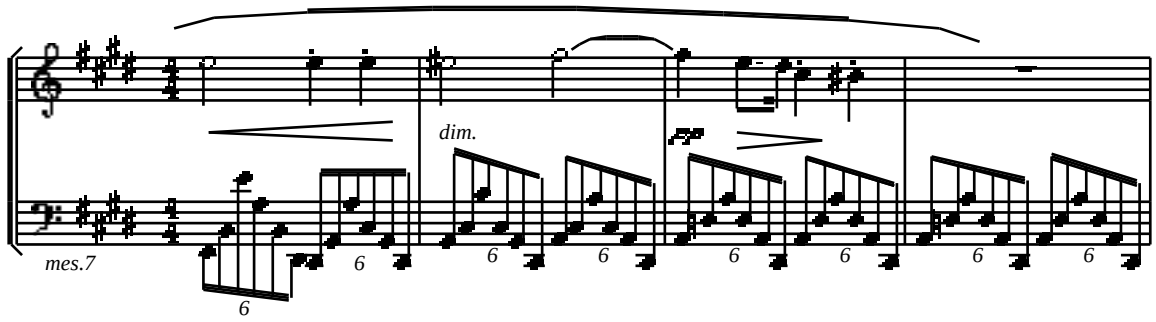


Fig. I.5 : F. Chopin, premier nocturne op.27 n°1

(La main gauche contredit un schéma harmonique anticipé par l'auditeur, schéma inductif que renforce le si # de la main droite).

c) Mécanismes d'écoute par analogie

D'une façon générale, le raisonnement par analogie est un transfert d'expériences du passé ou de propriétés d'un certain contexte vers de nouvelles situations, par identification de deux contextes qui paraissent proches. Ce type de processus est donc, comme le raisonnement par induction, un raisonnement non rationnel. Cependant, contrairement à l'induction, ce ne sont pas des schèmes mais des contextes, des objets musicaux qui sont directement rapprochés.

Exemple : Dessous -> dessus

Debout -> ? (exemple tiré de *C.N.R.S.[1992])*

Fig. I-6 : Anticipation par induction ou par analogie.

Selon que le mécanisme est analogique ou inductif, le résultat sera début *ou* assis*.*

Musicalement, les mécanismes d'anticipation, d'accommodation et d'assimilation par analogie sont de niveau cognitif intermédiaire par rapport à celui par induction.

i) Anticipation par analogie

L'anticipation par analogie est courante en musique, notamment dans des répertoires utilisant des « formules ». C'est par exemple le cas de nombreuses œuvres de Messiaen, comme le *Saint-François d'Assise*, où des formules orchestrales répétées dans un certain contexte permettent leur anticipation quand elles sont à nouveau reproduites. Plus généralement, une reprise de thème mélodique engendre une anticipation par analogie.

ii) Accomodation et assimilation par analogie

L'accommodation par analogie est une accommodation à un objet musical nouveau à l'intérieur d'un schème cognitif interne connu, sans anticipation ni apprentissage de nouveau schème. L'accommodation/assimilation des accords bitonaux de Stravinsky par la connaissance du langage tonal peut être considéré comme un mécanisme par analogie (alors que la compréhension par l'auditeur tonal de ses métriques impaires et irrégulières serait plutôt de type inductif). Le fait d'adapter sa réception à la première écoute de *Psappha* de Xenakis par connaissance implicite des percussions africaines, ou de la section D de *Repons* de Boulez par celle de la musique balinaise, l'adaptation perceptive à *Stimmung* de Stockhausen par connaissance implicite de la musique Mandala du Tibet, de la modulation en anneau ou de la musique pour chœur, sans création de nouveaux schèmes, sont d'autres exemples d'accomodation/assimilation par analogie.

iii) Surprise par analogie

La **surprise par analogie** procède d'un raisonnement qui anticipe par **analogie** une **chaîne virtuelle connue** à la place de la chaîne entendue. **La séquence réelle** s'avérera finalement différente. Elle peut avoir plusieurs formes : une répétition contrariée, la présence d'une référence extérieure dans un système, etc...

Voici un exemple de surprise par répétition contredite (la surprise joue sur l'analogie des deux phrases) :

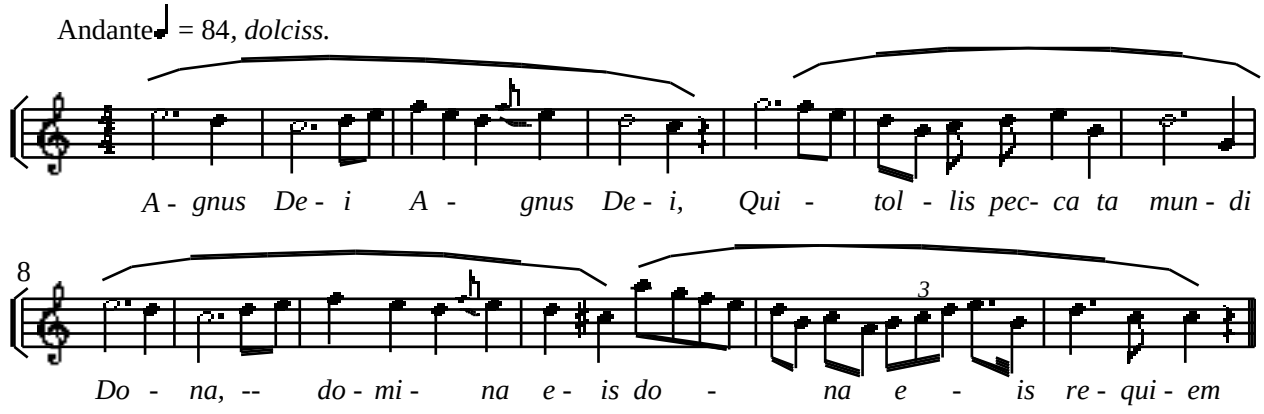


Fig. I.7 : G. Verdi : Missa da Requiem., n°5 Agnus Dei.

La surprise par analogie peut également surgir de l'irruption non anticipée d'un objet analogiquement connu.

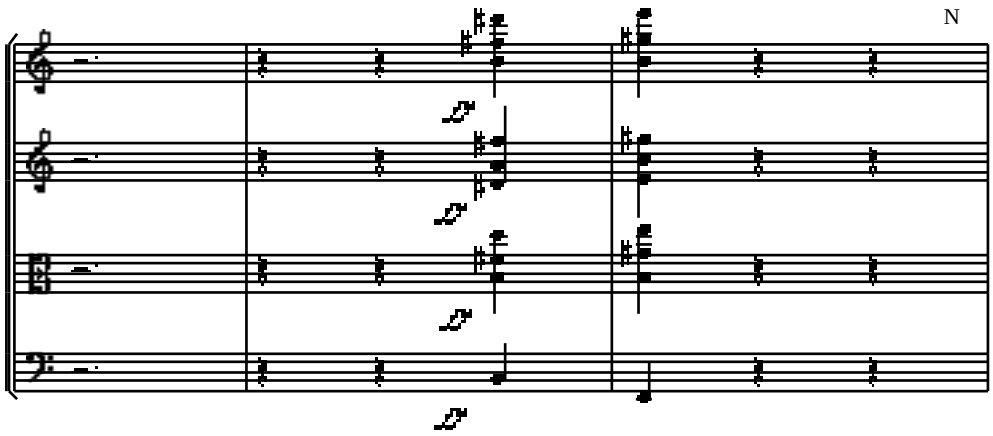


Fig.I-8 : Ligeti : 1er quatuor à cordes (ed. Schott).

Notons que les mécanismes d'analogie, surprises par analogie ou emprunts par analogie, sont très employés par les compositeurs « post-modernes ». L'agacement d'un certain public professionnel envers ces musiques vient de ce que les mécanismes d'écoute par analogie n'entraînent aucun apprentissage de schème cognitif nouveau, mais seulement d'objets nouveaux intégrés par analogie à des schèmes connus.

d) Mécanismes d'écoute par accoutumance

Un troisième type de mécanismes d'écoute concerne l'accoutumance. Ce mode d'adaptation n'a pas de schéma logique comme l'avaient l'induction (généralisation de règles, création de schèmes) ou l'analogie (transfert de contexte). Il procède à partir de la mémoire sélective de l'auditeur et de son accoutumance au processus sans compression de la chaîne. L'objet est accepté tel quel, soit que l'on s'y accommode sans l'assimiler, soit que l'assimilation se fasse par pur ajout de connaissance sans analogie avec des objets ou des schèmes connus.

C'est le processus de niveau cognitif le moins élevé. Sous l'hypothèse axiomatique qu'il n'y aurait pas d'invariant naturel en musique, on pourrait d'ailleurs penser que l'on "peut s'accoutumer à tout", sous certaines conditions musicales et, peut-être extra-musicales qui seront vues dans le chapitre suivant. Cependant, selon l'hypothèse que l'écoute est cognitive, il semble que la perception cognitive fait appel dans ses mécanismes d'anticipation analogiques à des schèmes ou des objets connus, nécessaires pour la compression de l'information en une chaîne plus réduite. En d'autres termes, la perception est un mécanisme principalement inductif ou analogique, et compressif. Ceci signifie que l'écoute qui dépasse la simple audition a besoin de balises et, selon la définition de la connaissance cognitive de Festinger que nous adopterons dans le quatrième

chapitre, « ***il y a consonance <u>cognitive</u> entre deux notions si l'une des deux découle de l'autre, ou autrement dit, si l'une des deux implique psychologiquement l'autre*** ». C'est cette distance entre l'objet nouveau et le schème ou l'objet déjà endogénéisés qui forme donc dissonance, complexité, interprétation de l'écoute. Une perception par accoutumance sans processus cognitif serait une écoute littérale de la chaîne d'information sans compression, c'est-à-dire une simple « audition » ou une écoute inintelligible qui se cache. De la même façon, la surprise par inaccoutumance correspondrait à l'apparition d'un élément nouveau non anticipé, mais qui ne contredirait aucun raisonnement logique, inductif ou analogique (l'écoute ne serait à ce moment pas une pensée, une inscription cognitive). Le *théorème de la complexité et de l'aléatoire* énonce qu'un phénomène incompressible et nouveau (c'est-à-dire non banal) paraît aléatoire. La surprise par inaccoutumance ne contredit donc qu'une anticipation de la permanence du contexte musical présent. Elle s'amenuise avec le temps, au contraire des surprises par analogie et par induction[160].

Notons que les mécanismes d'anticipation (réalisée ou non) et d'accommodation/assimilation de nouveaux éléments (lorsque l'anticipation n'est pas réalisée et crée une surprise) peuvent être de catégorie cognitive différente. On peut imaginer l'anticipation d'un schème musical (une cadence, par exemple) non réalisée. L'élément qui interrompt ce schème peut ensuite être accepté soit par l'inscription cognitive de cet élément en comparaison avec un contexte connu (assimilation par analogie), soit par l'inscription cognitive d'un nouveau schème, c'est-à-dire par induction (généralisation inductive de cet objet en schème). On obtient donc en présence de surprise le schéma suivant :

[160] Il nous semble donc que la présence de nombreuses surprises par analogie et surtout de surprises par induction soit un facteur primordial de la valeur sur le long terme, de la pérennité d'une œuvre. Les deux coups de timbales qui concluent le premier motif du Molto vivace (deuxième mouvement) de la *Neuvième Symphonie* de Beethoven et les modulations schumaniennes ne lasseront semble-t-il jamais...

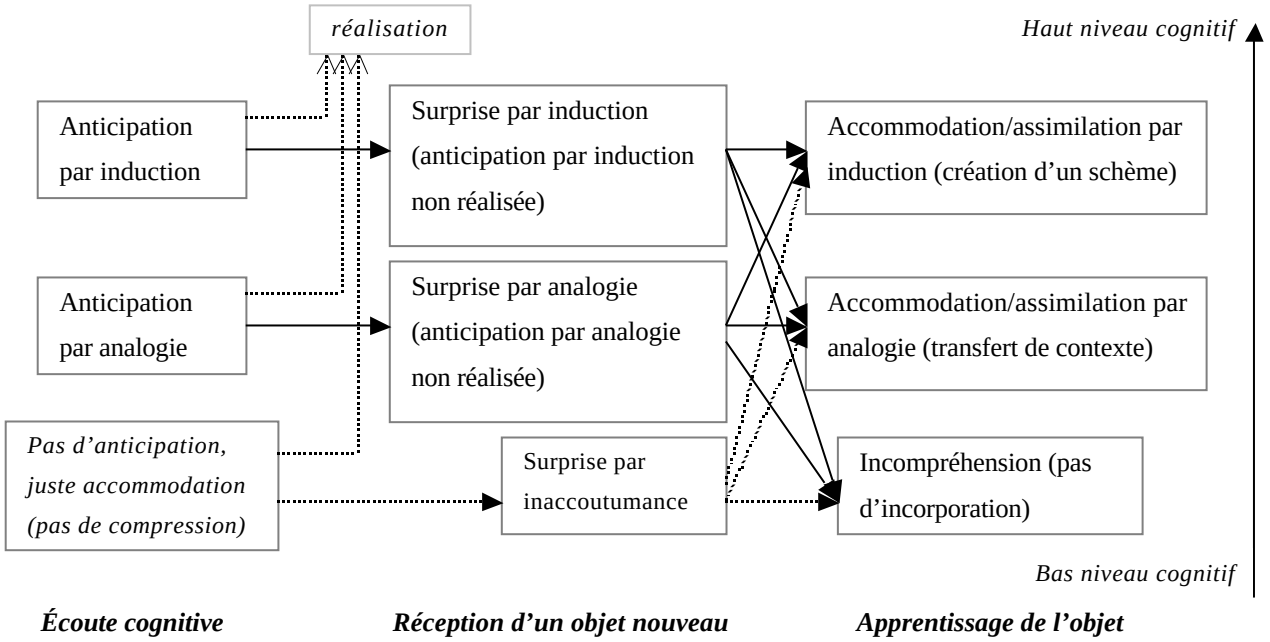


Fig.I-9 : Mécanismes de l'écoute cognitive en présence de surprise

e) Apprentissage par ajout de connaissances

La musique n'est pas un métalangage logico-textuel. Il n'y a pas d'anticipation, d'assimilation inconsciente, ni de surprise par connaissance explicitée dans ce langage. Cependant un apprentissage par ajout de connaissance, c'est-à-dire par réception d'informations exprimées dans un métalangage logico-textuel, facilite ensuite l'anticipation et l'adaptation inconsciente lors de l'écoute.

Théoriquement, pour permettre un apprentissage par ajout de connaissance, le système doit être ouvert à recevoir de l'information dans le métalangage logico-textuel. Musicalement, l'ajout de connaissance correspond par exemple au rôle de l'enseignement musicologique ou de l'analyse musicale didactique : enseignement, notes de programme, présentation de concert, etc. L'ajout de connaissance est un processus cognitif de haut niveau. Il s'agit par ailleurs de la méthode la plus directe et la plus efficace, lorsque le contexte d'accommodation s'y prête, pour faciliter la perception d'informations traduisibles en concepts logico-textuels (rôle des conservatoires et de l'enseignement). L'apprentissage des formes classiques permet par exemple de reconnaître et d'anticiper en concert l'arrivée du second thème d'une forme sonate (ou d'être surpris à l'écoute de certains quatuors monothématiques de Haydn). On travaille en effet directement sur des schèmes explicités. Piaget a cependant insisté sur le fait que cet apprentissage n'est possible qu'avec une certaine

culture préexistante. L'apprentissage de la forme sonate à des non-musiciens ne facilitera par exemple pas leur écoute. En d'autres termes, comprendre une règle, ce n'est pas seulement l'enregistrer, c'est également pouvoir l'utiliser.

f) Analogie avec les processus créatifs

Si les mécanismes d'assimilation et d'anticipation de l'écoute (c'est-à-dire la réécriture compressée et interprétée d'une chaîne) peuvent clairement se classer en trois catégories (par accoutumance, par analogie, par induction), cette distinction demeure similaire pour les mécanismes de création. Un processus créatif menant à de nouvelles idées musicales peut se produire soit par simple emploi d'un objet trouvé, soit par analogie, consciente ou inconsciente, soit par une recherche prospective par induction.

Les techniques de multiplication d'accords de Boulez sont par exemple issues d'une recherche par induction de systématisation des transpositions. Les techniques spectrales sont apparues, de la même façon, inductivement par rapport à leur modèle acoustique. On peut imaginer que les traits instrumentaux reprenant des chants d'oiseaux chez Messiaen se sont élaborés par analogie consciente, suivie d'un travail d'analyse permettant de systématiser par induction ce trait stylistique. Boulez écrit : « *Dans* Rituel, *par exemple, je me sers d'une cellule rythmique employée par Stravinsky dans sa* Symphonie pour instruments à vent, *mais personne ne peut deviner que c'est emprunté à Stravinsky. J'aime beaucoup les influences par filtrage : la combinaison chimique avec ce que vous prenez fait que le résultat est complètement différent de la source. Mais les sources sont toujours là »* (Boulez [2001], p.33)

Il semble ainsi que Wagner n'ait pas cherché à analyser explicitement les rencontres harmoniques provoquées par les mouvements conjoints permettant de passer d'un accord à un autre avec ambiguïté harmonique, que ce soit dans Tristan ou dans Tanhaüser, mais les a trouvé en cherchant à étendre analogiquement, et non-explicitement, ces règles contrapuntiques en mouvements contraires conjoints.

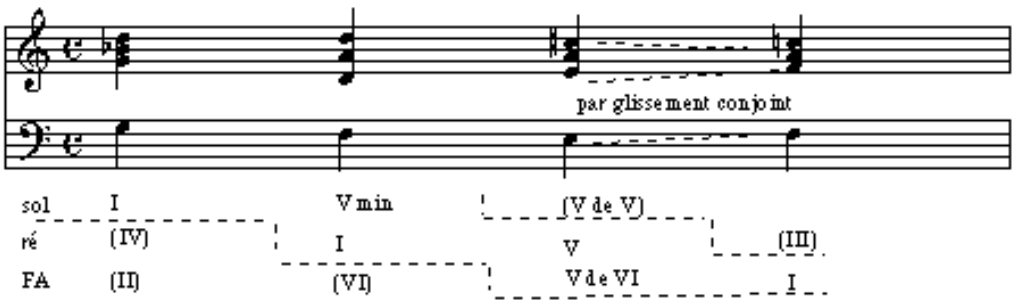


Fig. I.10 : Wagner, enchaînement d'accords[161] *dans* Tanhaüser

Un siècle plut tôt, l'abbé Vogler (1749-1814) avait pourtant effectué une recherche explicitée et inductive de ce type de modulation par mouvement conjoint (Vogler [1776 réed.1970], cf. le cercle p.87 ; Vogler [1776b], cf. ex. 19, 20 et 38 du tableau XXIII pour ce type de modulations, et la figure en cercle XXVIII pour les mouvements conjoints)[162].

De la même façon, le si bécarre de la mesure 14 du deuxième Intermezzo de Brahms (op. 117), à la place d'un do bémol (VIe degré en fa mineur), semble montrer, peut-être, que Brahms n'a pas cherché à analyser explicitement cette modulation, et qu'il arrive par analogie sur un accord de septième de dominante de sol bémol. Au contraire, l'écriture enharmonique rigoureuse des Valses Nobles et Sentimentales semble montrer, peut-être, que Ravel cherchait à contrôler par induction son langage harmonique[163] (c'est-à-dire à en comprendre les schèmes sous-jacents).

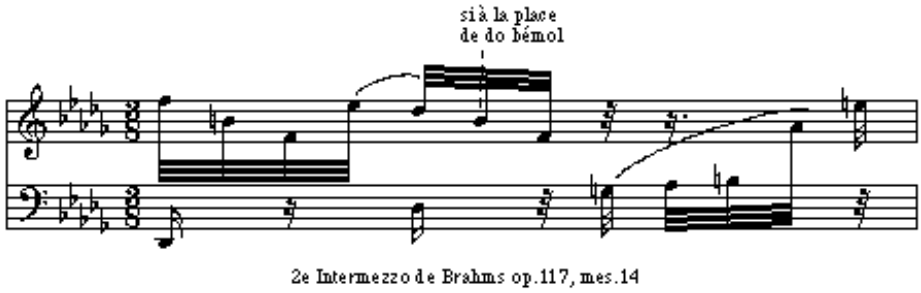



Fig. I.11 : 2e Intermezzo de Brahms, op.117, mes.14

[161] Nous proposons ici une analyse harmonique parmi d'autres. Au XIXème siècle, à partir de Schumann, les tonalités relatives (ici ré et FA) fusionnent, et on peut alors analyser ce passage en tant que cadence rompue dans une tonalité (ré/FA) sans passer par sol.

[162] Wagner avait par contre beaucoup étudié les partitions de Weber, élève de Vogler. De plus, Wagner connaissait probablement les théories de Carl Friedrich Weitzmann, un ami de liszt, sur l'accord augmenté (*die übermässige Dreiklang*, 1853).

Les trois mécanismes d'accoutumance, d'analogie, et d'induction se rencontrent simultanément dans l'activité du compositeur. Le compositeur de « musique savante » trouve souvent une nouvelle idée par analogie et cherche ensuite à en comprendre inductivement les schèmes, puis s'y accoutume au point de rendre cette idée instinctive dans son écriture[164]. On peut par exemple postuler que l'écriture du *Grand Macabre* de Ligeti, certainement assez instinctive vue la taille de l'opéra, et pourtant très proche du langage d'œuvres antérieures comme les *études pour piano,* issues de recherches inductives sur le rythme et les polyméries influencées par les techniques des pygmées Aka explicitées par Simha Arom, a été rendue possible par une accoutumance progressive de Ligeti à son propre langage.

De plus, les activités d'écoute et de création ne sont pas si éloignées. Le créateur est le premier auditeur de son oeuvre, et, comme l'énonce Walter Benjamin avec son principe de reproductibilité, l'artiste n'est qu'un relecteur oblique de l'art. À l'inverse, l'audition est cognitive et anticipe la chaîne d'information. L'auditeur est donc un créateur intime et inconscient qui n'a pas su développer de méthode dans un métalangage logico-textuel ou tactile pour exprimer son anticipation (c'est-à-dire composer ou improviser). La surprise par induction, comme les autres types de surprise, représenterait en quelque sorte un conflit entre la créativité de l'auditeur et celle de l'artiste, qui imagine une solution à laquelle l'auditeur n'a pas inconsciemment pensé.

3) Formalisation des mécanismes d'apprentissage et de surprise

Les mécanismes d'anticipation, de surprise, d'accommodation et d'assimilation décrits ci-dessus (par induction, par analogie ou par accoutumance) classent les mécanismes cognitifs dynamiques facilitant l'écoute d'une œuvre et réduisant sa complexité perceptive. Afin de relier ces catégorisations à celles de Moles (écoute banale, inintelligible prédictive non-banale), et de mieux cerner ce qu'est la complexité aperceptive, approfondissons la connaissance des mécanismes cognitifs qui accompagnent l'audition immédiate d'une information nouvelle.

---

[163] Ces assertions ne sont que des hypothèses difficiles à « prouver ». Elles ont surtout pour objectif de saisir la différence entre une invention par analogie et une invention par induction.

[164] au contraire du compositeur de musique de divertissement, qui reste souvent au niveau d'un apprentissage et d'une découverte d'objets nouveaux, c'est-à-dire par analogie et accoutumance, mais non de règles par induction. La notion de compositeur de musique savante ou de musique de divertissement n'est, de par ce critère, associée ici à aucun style, mais est liée à une pratique « réflechie » de créer.

a) Modèle d'adaptation de Valiant (compression et apprentissage)

Le modèle d'adaptation de Valiant, appliqué à la musique, propose un schéma réfutable et opératoire du comportement de l'auditeur face à la surprise d'un élément nouveau à assimiler puis à compresser. Ce modèle est fondé sur les apports de la théorie de la complexité et sur une vision probabiliste de la perception (S. Boucheron [1992]). Deux principes sous-tendent ce modèle : "*apprendre, c'est comprimer*" et "*apprendre, c'est converger*". La compression est une nécessité du phénomène d'apprentissage, comme cela a été vu dans la partie B. Apprendre est également un passage d'un état de connaissance, d'acquis, et de conventions vers un nouvel état a priori plus vaste de connaissances. Voilà pourquoi on parle de *convergence.* En d'autres termes, la convergence est liée au fait que le processus créé virtuellement par l'auditeur converge plus ou moins vers un processus qui réengendre exactement l'œuvre (correspondant ou non au processus compositionnel), suivant la complexité **perceptive** de ce processus.

Le modèle de Valiant est probabiliste, c'est-à-dire que l'auditeur se fonde sur la prédiction de ce qui suit. À une suite d'événements donnés [ω(t-n),....., ω(t-1)], et selon sa connaissance (implicite ou explicite) de schèmes de composition structurant le langage de l'œuvre qu'il écoute (culture C de l'auditeur), l'auditeur va émettre une hypothèse ϖ(t), qui sera ou non réalisée. Selon Valiant, et en appliquant son modèle à la musique, **la complexité dynamique d'écoute est définie comme la complexité minimale de toutes les fonctions de prédiction** (une écoute est par exemple banale si, à chaque étape, l'auditeur a une fonction de prédiction qui se réalise). Certains travaux de psychoacoustique ont montré similairement que l'audition était liée à la notion de prédiction, c'est-à-dire d'anticipation, de mémorisation, et de surprise (Meyer [1956], Narmour [1990], Bharucha [1987]).

b) Formalisation bayésienne du modèle de Valiant

Plus formellement, on peut schématiser les phénomènes d'anticipation et de surprise de la chaîne d'information de la façon suivante :

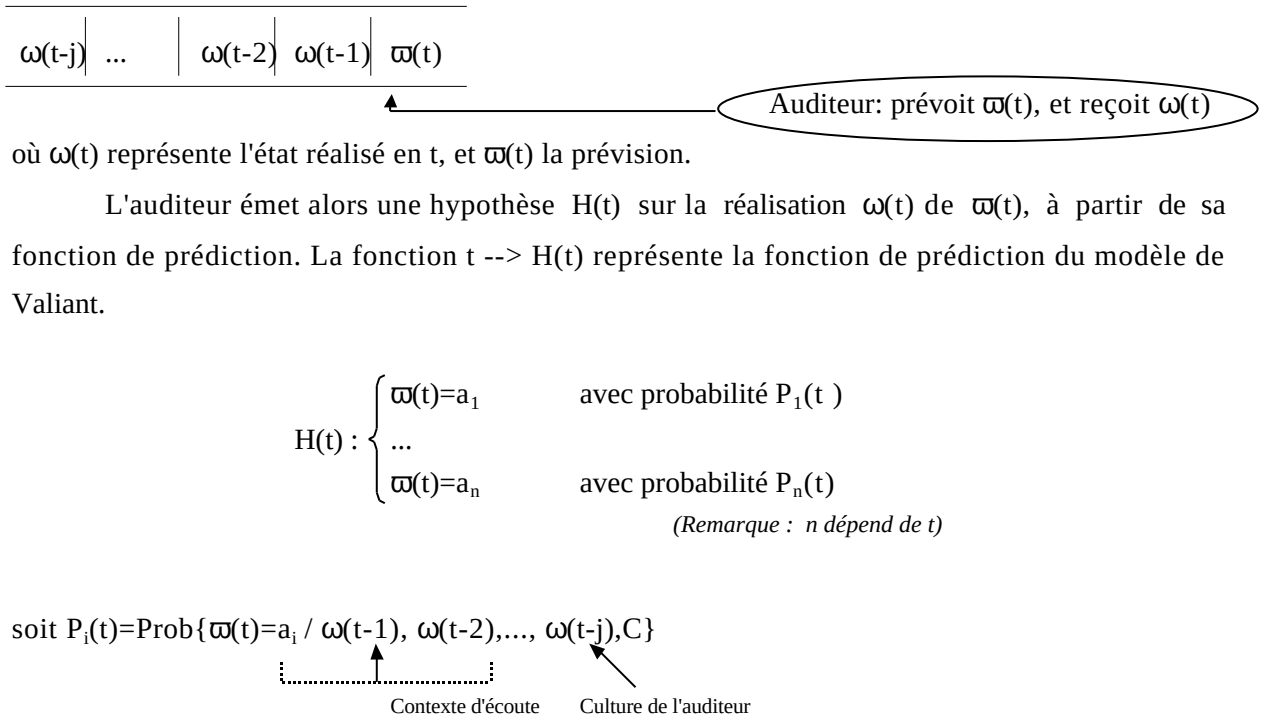


Fig.I-12 : Modèle de Valiant

Cette écriture mathématique signifie que la probabilité que l'anticipation ϖ(t) soit égale à a_i pour la fonction d'anticipation H(t), est égale à la probabilité que l'anticipation ϖ(t) soit égale à a_i dans l'absolu, conditionnée par les connaissances que l'auditeur a des événements précédents ω(t-1), ω(t-2), ..., ω(t-j). Cette écriture de la fonction d'attente de l'auditeur permet de rendre l'anticipation probabiliste, et de la faire dépendre du contexte d'écoute et de sa culture. Ce genre de modèle est appelé bayésien du fait que l'écriture probabiliste dépend des états passés.

c) Les catégories de Moles et le modèle d'anticipation et de surprise de Valiant

On retrouve avec ce modèle d'anticipation et de surprise les catégories d'écoute d'Abraham Moles que l'on peut ainsi formaliser :

i) Écoute banale

L'écoute est banale si, à chaque étape, l'hypothèse H émise est réalisée sans surprise, et se réduit à un seul ou quelques occurrences a_i.

$$(\forall\, t, \exists\, i / \omega(t) = a_i \text{ et } n \text{ petit})$$

ii) Écoute inintelligible

L'écoute est inintelligible si l'hypothèse H émise n'est jamais réalisée et si l'auditeur finit par ne plus pouvoir émettre de fonction de prédiction.

$$(\forall\, t \text{ sauf points isolés}, \forall\, i, \omega(t) \neq a_i) \text{ ou } (\forall\, t \text{ sauf points isolés, non} \exists\, i, \omega(t) = a_i)$$

iii) Écoute prédictive non banale

L'écoute est prédictive non banale si l'auditeur est capable d'émettre une fonction de prédiction mais, pour un certain nombre de cas, aucune des hypothèses $a_1...a_n$ n'est réalisée[165]. Il faut remarquer que, généralement, l'écoute prédictive non banale s'effectue pour un système dont la fonction de prédiction est déjà très riche (plusieurs possibilités d'anticipation à chaque état {= n grand}). L'écoute est alors interprétative. Cependant l'analyse informationnelle de la *Danse Sacrale* explicitée dans la seconde partie montre un exemple d'écoute prédictive non banale accompagnée d'une fonction de prédiction relativement simple et non probabiliste, c'est-à-dire à une seule occurrence (régularité d'une pulsation)[166].

Notons également que ce modèle permet de mieux comprendre la catégorisation des différents mécanismes d'écoute du paragraphe précédent. Dans le cas d'un mécanisme inductif, la fonction de prédiction ne prévoit pas des objets mais une règle, c'est-à-dire une chaîne d'objets compressée en règle. Le processus d'anticipation est de KC-complexité plus faible. Dans le cas d'un mécanisme par analogie, la fonction de prédiction anticipe des objets musicaux. Dans le cas de mécanismes par accoutumance, il n'y a pas de fonction de prédiction car il n'y a pas d'anticipation.

4) L'adaptation à court et à long terme

Le modèle de Valiant présente, avec la notion de fonction probabiliste de prédiction, un modèle d'adaptation (c'est-à-dire d'accommodation et d'assimilation) à court-terme, pendant l'écoute. Ce modèle permet de reformuler mathématiquement les typologies d'écoute d'Abraham Moles (écoute banale, écoute prédictive non banale et écoute inintelligible). Chacun de ces trois types de mécanisme d'écoute à court-terme est dépendant de la culture de l'auditeur. Cette culture peut s'étendre soit par ajout de connaissance explicite (lecture, explications), soit par l'endogénéisation de ce qu'il a perçu pendant l'écoute, ou après plusieurs écoutes. Il y a donc apprentissage de nouveaux schèmes, de nouveaux objets et de nouveaux contextes musicaux. Il y a également accommodation cognitive, c'est-à-dire

---

[165] C'est l'effet de surprise apprécié par les auteurs des célèbres citations : « *le beau est toujours bizarre* » (*curiosités esthétiques*, C. Baudelaire); « *La beauté est une contradiction voilée* » (*Situations*, J.P. Sartre) ; « *La beauté est un bref sursaut entre un cliché et un autre* » (*How to read*, Ezra Pound).

[166] ou, à la rigueur, d'une fonction de prédiction à deux occurrences : croche et noire.

convergence entre le schème ou l'objet anticipés par l'auditeur et ce qu'il entend. Ces mécanismes peuvent intervenir après plusieurs écoutes.

a) Typologie computationnelle des mécanismes d'écoute cognitive

La théorie des automates propose une comparaison formelle satisfaisante et originale de ce processus de convergence. Imaginons un automate lisant et relisant une chaîne d'information. L'automate doit reconstituer sur une bande de résultat l'information contenue dans la chaîne initiale. Formellement, l'automate reconnaît si un élément lu sur la bande de lecture appartient ou non à un ensemble A donné (reconnaissance de formes, par exemple).

Il y a alors quatre façons pour l'automate de reconnaître l'appartenance de cet élément à l'ensemble. Le mécanisme de reconnaissance (ou d'apprentissage) de l'automate est dit :

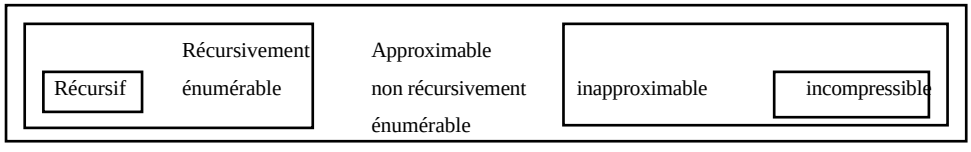
i) récursif, si l'automate est capable d'indiquer immédiatement, pour chaque nouvel élément de la chaîne, si celui-ci appartient ou non à un ensemble conceptuel A

ii) récursivement énumérable, si l'automate finit par identifier sans faute, avec le temps et les relectures nécessaires, l'ensemble des nouveaux éléments appartenant à l'ensemble conceptuel A.

iii) inapproximable, si l'automate est capable d'identifier sans faute, avec le temps et les relectures nécessaires, un nombre fini seulement d'éléments appartenant à A, même si la chaîne est infinie.

iv) incompressible, si l'automate est capable d'identifier sans faute, avec le temps et les relectures nécessaires, un nombre fini d'éléments appartenant à A, et si le nombre d'éléments "justes" dépend de la complexité de la chaîne de lecture (d'après Delahaye [1994]).

Formellement, ces quatre typologies de reconnaissance ne sont pas indépendantes mais incluses les unes dans les autres, formant en fait cinq types de mécanisme de reconnaissance :



type de mécanismes de reconnaissance de formes par l'automate :

1 ***2*** ***3*** ***4*** ***5***

Fig.I-12 : Mécanismes d'apprentissage d'un automate

b) Application à l'écoute en musique

Cette typologie de la reconnaissance de formes ou d'éléments est transposable à l'anticipation et à l'assimilation de schèmes musicaux (mécanismes par induction), à des styles musicaux (mécanismes par analogie), à un objet musical (mécanismes par accoutumance). On dira que le mécanisme d'assimilation à long terme est :

i) immédiatement exact, si le processus virtuel imaginé par l'auditeur est dès la première écoute identique au processus exact de réengendrement de l'œuvre. (C'est le cas, par exemple, lors d'une écoute banale, ou bien lorsque le compositeur écoute son propre processus).

ii) itérativement exact, si le processus virtuel imaginé par l'auditeur devient après plusieurs écoutes identique au processus exact de réengendrement de l'œuvre (convergence exacte).

iii) approximatif, si le processus virtuel imaginé par l'auditeur est une approximation du processus de réengendrement de l'œuvre.

iv) itérativement approximatif, si le processus virtuel imaginé par l'auditeur reste après plusieurs réécoutes une approximation du processus de réengendrement de l'œuvre (convergence inexacte).

v) itérativement relativement approximatif, si le processus virtuel imaginé par l'auditeur reste après plusieurs réécoutes une approximation du processus de réengendrement de l'œuvre, et si l'approximation dépend du nombre de réécoutes et de la complexité du processus de réengendrement de l'œuvre.

Ces quatre typologies d'apprentissage sont incluses les unes dans les autres :

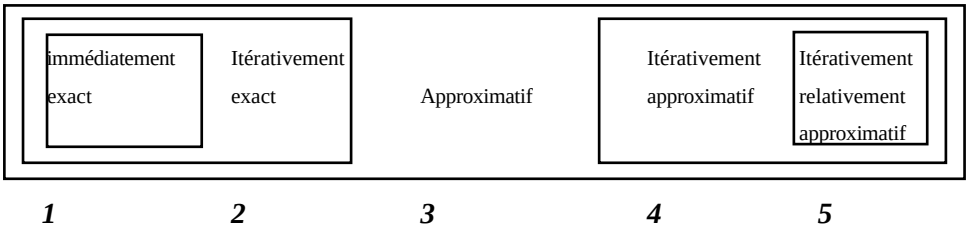


Fig. I-13 : Convergences des mécanismes de compression de l'auditeur

5) Adaptation et complexité d'écoute

La partie B avait tenté de définir la complexité perceptive d'une œuvre en tant que complexité analytique de l'œuvre virtuellement reconstruite par l'auditeur. Cette méthode considérait donc une compression/compréhension de l'œuvre par l'auditeur, et proposait une transposition du calcul de la complexité analytique du processus sur l'œuvre virtuelle recréée par l'auditeur, grâce aux outils de calcul proposés par la théorie de la complexité et les théories des

automates. La partie C aborde le problème dans une perspective inverse : il s'agit de se focaliser sur l'auditeur, et d'étudier sa difficulté ou sa facilité à comprendre une œuvre ou un processus musical. En d'autres termes, L'étude porte non plus sur les deux bandes de lecture et de réécriture, mais sur la machine de Turing qui reçoit l'information (qui n'est alors plus universelle, donc n'est plus exactement une machine de Turing). Quatre typologies de compréhension à court-terme de la chaîne d'information et cinq mécanismes d'écoutes cognitives d'élément nouveau à long-terme ont été présentés ci-dessus. Ces comportements d'écoute dépendent de la complexité analytique du processus entendu, mais aussi de la culture et du comportement de l'auditeur. L'assimilation d'objets musicaux nouveaux n'est en effet pas un processus identique pour tous. La culture, en élargissant le répertoire commun entre le créateur et le récepteur permet de restreindre les surprises, notamment les surprises par inaccoutumance, et l'inintelligibilité d'une oeuvre. Ceci n'est cependant pas toujours le cas : la culture peut être parfois une inertie d'écoute. La curiosité, elle, intervient sur l'accommodation. Elle facilite la culture à être modifiée. Dépassant le modèle d'un auditeur rationnel et indépendant, le chapitre suivant tente d'expliciter davantage cette sociologie de l'audition en définissant précisément ce qu'on appelle les **conventions d'écoute**.

II.- COMPLEXITÉ PERCEPTIVE ET CONVENTIONS D'ÉCOUTE

Si l'auditeur met en place inconsciemment, lors de l'écoute, des mécanismes d'accommodation et d'assimilation, ceux-ci s'accompagnent d'un certain nombre de mécanismes à caractère comportemental biaisant une certaine rationalité d'appréciation. En présence d'incertitude et d'acquis passés, la perception d'un élément nouveau s'accompagne en effet de comportements non rationnels[167]. Ces comportements ont été étudiés en détail par les sciences sociales et comportementales des années 80 et 90 et nous tentons ici d'appliquer certains résultats au comportement d'écoute d'un processus musical complexe. Après l'exposé de quelques aspects récents de la théorie des conventions, nous montrerons que ces comportements culturels affectent inconsciemment la perception de l'auditeur et peuvent parfois accroitre la complexité perceptive du processus entendu, alors que le chapitre précédent montrait que la culture, définie comme un code commun entre le créateur et le récepteur, était au contraire un moyen de réduire cette complexité.

1) Théorie des conventions

La théorie formalisée des conventions propose d'incorporer aux théories traditionnelles de comportement des hypothèses d'irrationalité et de mimétisme de groupe, notamment en situation d'incertitude et d'acquis culturel. Cette théorie réfute l'individualisme autonome et mécaniste de l'apprentissage en prenant en compte les comportements holistes soutenus par les conventions.

a) Définition

La définition généralement admise d'une convention (Orlean [1994], Gomez [1994], J.P.Dupuy in Collectif [1989], Sagot-Duvauroux [1995]) a été établie par le philosophe David Lewis à la fin des années 60 (Lewis [1969]). Par définition, la convention est une régularité de comportement ou de croyance vérifiant six assertions :

i) Chacun s'y conforme.

ii) Chacun croit que les autres s'y conforment.

iii) La croyance que les autres s'y conforment donne à chacun une bonne et décisive raison de s'y conformer.

---

[167] non-rationalité, dans le sens d'un comportement restreignant le libre choix et n'étant pas toujours optimal au sens de Pareto (optimalité des sciences économiques)

iv) Chacun préfère une conformité générale à moins que générale, et en particulier, à une conformité de un contre tous (cette condition assure que l'on atteint un équilibre de coordination. Cet équilibre est local et n'implique pas qu'une non-conformité générale n'eut pas été préférable).

v) Il existe au moins une autre régularité alternative (cette condition assure qu'il y a un certain arbitraire à se conformer à la convention).

vi) Les états de fait qui apparaissent dans les conditions i) à v) sont dits "Common Knowledge"[168]

Pour notre usage musical ultérieur, nous différencierons la **convention de groupe**, admise par les membres d'une communauté par distinction de ceux qui en sont extérieurs, de la **convention épistémique**, admise par tous à une époque donnée (« la terre est au centre de l'univers », « une neuvième est dissonante »).

b) Propriétés d'une convention

Trois principes caractérisent une convention de qualité (Gomez [1994]) :

i) Le principe commun représente les valeurs partagées par ceux qui adoptent la convention (« la tierce est consonante »).

ii) La distinction présente la distribution de la population de ceux qui adoptent la convention (par exemple la diversité du public de l'E.I.C. -Menger [1986] p.448-). Les mécanismes sociaux du principe de distinction ont été décrits dans (Bourdieu [1979]).

iii) La sanction marque la limite entre ceux qui respectent et ceux qui transgressent la convention.

P.Y. Gomez distingue ensuite deux types de conventions selon leur rigidité (Gomez [1994]). **Les conventions monocentrées** sont des conventions rigides présentant peu de liberté d'interprétation. Ce type de convention "s'occupe de tout". Au contraire, **les conventions polycentrées** émettent quelques principes simples laissant aux individus la possibilité de l'interpréter.

---

[168] *Le terme "Common Knowledge", défini également par D.K. Lewis, signifie une proposition admise par tous et connue de tous. Sur le plan formel, une "Common Knowledge" vérifie quatre assertions:*
i) *Elle est vraie.*
ii) *Elle est connue de chacun.*
iii) *Chacun sait que les autres la connaissent*
iv) *Chacun sait que chacun sait ... que les autres la connaissent.*

2) Conventions et inerties de perception

Dans les mécanismes d'écoute agissant sur l'accomodation et non l'assimilation, les conventions interviennent dans de nombreux comportements tels que l'incertitude ou le mimétisme culturel. Ils ont plusieurs conséquences : la délégation, les biais d'écoute et la réduction des facultés d'accommodation.

a) Inertie culturelle

La culture est un facteur favorisant généralement les mécanismes d'apprentissage lors de l'écoute. La culture représente aussi un ensemble de conventions partagées par un groupe ou une époque. La *théorie des affects* qu'établit par exemple Tinctoris en 1475 dans son *complexus effectuum musices*, s'impose progressivement dans les comportements auditifs inconscients des auditeurs du XVIIe et XVIIIe siècles et canalisera pendant plusieurs décennies les comportements d'écoute. Autre exemple, les tierces mineures et majeures paraissent indiscutablement consonantes. Elles émanent pourtant, comme nous l'avons vu au chapitre A-I, de choix graduels, celui de Boèce de limiter le tétracorde diatonique à sa définition pythagoricienne [ton, ton, demi-ton], et celui de Zarlino d'étendre les ratios pythagoriciens aux six premiers entiers. Ces tièrces n'ont rien de « naturel », notamment la tièrce mineure, et d'autres cultures considèrent d'autres hiérarchies de consonance (chap. C-IV). De la même façon, les cadences de la musique tonale ou les modes de la musique indienne ont un sens conventionnel accepté puis endogonéisé par les cultures de ces deux zones. Michel Imberty écrit : « *Le rapport entre le signal musical et ce qu'il représente résulte d'une convention qui est apparue à un moment donné de l'histoire de la musique* » (Imberty [1976], p.7). En cela, la culture est un modèle, une force inertielle, qui implique un mimétisme inconscient dont il est difficile de se libérer et de la faire partager. Si on accepte pour l'art le schéma de Thomas Kuhn décrivant la révolution scientifique[169], on comprend qu'une « dissidence à la convention » ne

[169] Le philosophe des sciences Th. Kuhn a montré dans son ouvrage « *Structure des révolutions scientifiques* » [1983], que l'évolution d'une discipline s'opère en quatre étapes :
- **La période de « science normale » :** Un paradigme, ou une convention, fonctionnent de façon satisfaisante. Les acteurs-créateurs dans la discipline se livrent à quelques débats d'idées mineurs, et travaillent sur des modifications secondaires de la théorie génératrice. (La théorie épistémologique de Lakatos reprend également cette distinction entre des hypothèses de base et des hypothèses secondaires, qu'il nomme respectivement « **noyau dur** » et « **ceinture protectrice** ». C'est cette dernière uniquement qui est remise en cause pendant la période de « science normale ») (Walliser [1994]).
- **La crise** : Le doute commence à arraquer les hypothèses de base (le noyau dur) qui soutiennent la convention.
- **La révolution** : Un (des) acteur(s)-créateur(s) propose(nt) une autre convention, acceptable par les autres acteurs.
- **Le retour à une nouvelle science normale** : Les autres acteurs-créateurs acceptent, dans leur majorité, cette nouvelle convention.

sort de son isolement qu'en devenant progressivement une « consonance » pour un groupe, puis une époque, et en devançant les paradigmes de la période normale à venir[170].

b) Incertitude et délégation

L'apparition d'éléments musicaux nouveaux, c'est-à-dire contrariant les anticipations, est une cause de complexité perceptive dynamique d'une œuvre. Leonard Meyer écrit, à propos de surprises au sein d'une section stylistiquement homogène : « *les doutes et anxiétés de l'auditeur sont en partie le produit de sa propre connaissance des styles, (...) et dus au fait que ces passages soient imprévisibles, trompeurs, et irréguliers. Et cette uniformité générale couplée avec la présence de processus particuliers confirment le comportement de l'auditeur et accentue son sentiment de tension* » (Meyer [1956], p.174). Selon ses capacités d'accommodation, ce que l'on appelle en économie « sa non-aversion au risque », l'auditeur va plus ou moins construire des parades à ces incertitudes, afin de les réduire artificiellement. Il s'agit de préjugés avant l'écoute (on croit s'attendre à ce que l'on va entendre) et pendant l'écoute (on croit entendre ce que ses anticipations avaient plus ou moins prévues). Pendant l'écoute d'une oeuvre, la convention sélectionne dans la chaîne d'information ce qui correspond à ses attentes, et néglige le reste. Ce phénomène est observable quel que soit le niveau de culture de l'auditeur : la perplexité qui naît de la confrontation d'un auditeur et d'une complexité perceptive induit des conventions de comportement qui biaisent les processus d'apprentissage mécaniste. Ainsi Daniel Sagot-Duvauroux [1995] écrit que « *les conventions esthétiques sur le marché de l'art ont pour objet de réduire l'incertitude radicale concernant la qualité des biens artistiques* ». Dans son enquête sur le public de l'Ensemble Inter-Contemporain au début des années 80, Pierre-Michel Menger relevait le paradoxe d'un public sur-sélectionné, mais caractérisé par une relative " absence " de jugement critique après écoute, et la présence dans ce milieu de conventions fortes (Menger [1986]).

Cette incertitude induit notamment des pertes de discernement autonome : on ne perçoit en partie que ce qui est conforme à ses anticipations, ou bien on se rattache à des conformités externes. Dans son étude sur les conventions en art, Pierre-Yves Gomez distingue ainsi le

[170] Cette vision kuhnienne pour l'art est cependant fortement liée à un paradigme de « progrès » en art, ou du moins à celui d'un art en osmose avec l'évolution des idées de son époque. Le paradigme sociologique de l'artiste qui force son temps et impose son devenir esthétique sans cohérence autre qu'une domination sociale (Menger) s'y oppose.

marché[171] **de délégation,** pour lequel les agents de la demande (c'est-à-dire le public) confient le jugement de qualité à des intermédiaires plus compétents, et le **marché de responsabilisation**, dans lequel l'offre n'est pas collusive. Cette distinction a, selon ce chercheur, trois conséquences (Gomez [1994]) :

i) Les marchés de délégation développent des conventions monocentrées fortes, alors que les conventions des marchés de responsabilisation sont plutôt polycentrées.

ii) Un marché de délégation est plus opaque qu'un marché de responsabilisation.

iii) Dans les marchés de responsabilisation, la demande oriente la qualité des produits proposés par les offreurs, alors que le seul rôle de la demande, dans les marchés de délégation, est d'être fidèle ou de partir (cf. la typologie des abonnés aux concerts de l'EIC, dont le taux de rupture de l'abonnement est inversement proportionnel à la longueur de l'abonnement - Menger [1986]).

L'incertitude et la délégation engendrent de nouvelles conventions, l'émergence de gourous, de comportements institutionnalisés, de recherches de références plus « objectives » (discours analytiques dans le méta-langage logico-textuel, diplômes, apparence, etc.), ou de paradigmes critiques que l'on ose moins remettre en cause. P.-M. Menger remarque un peu cyniquement, à propos de la confiance accordée par le public à Pierre Boulez : « *L'autorité même de celui qui, en ayant accumulé toutes les espèces de crédits de notoriétés et de réputation capitalisables (ceux de chef d'orchestre, de théoricien, de stratège de l'organisation publique des affaires musicales, d'enfant chéri des mécènes de la bourgeoisie parisienne cultivée et/ou fortunée d'après guerre) étend la garantie de son nom -P. Boulez- à toute cette entreprise de concerts* [l'E.I.C.] » (Menger [1986]). Eliot Freidson montre que, selon les époques, la possession d'un diplôme influe différemment sur la célébrité d'un peintre (Freidson [1986]). La confiance dans la délégation de notre perception à des spécialistes ou à des critères a-musicaux « *tient à l'importance que joue le corps d'interprétation dans la convention d'originalité. Les interprétations des gens considérés comme informés (instances de légitimation) servent de signaux de qualité aux autres agents sur la valeur fondamentale de l'œuvre* » écrit encore Sagot-Duvauroux (p.12).

[171] Il faut entendre le terme *marché* non pas dans le sens d'un échange monétaire ou de biens, mais le lieu de

Les mécanismes de goût et d'adaptation de l'écoute, selon qu'ils soient les vecteurs de la demande d'un marché de responsabilisation ou de délégation, peuvent alors être schématisés par le tableau suivant :

Type de marché	L'écoute responsable	L'écoute en délégation
« Maître » de la qualité	L'auditeur	Le professionnel
Principe de l'offre	Plaire à l'auditeur *(= « maximisation de la fonction d'utilité de l'auditeur »)*	La confiance fondée sur des « savoir faire » et des « savoir être »
Distinction	Agents isolés, anonymes, en concurrence	Le professionnel sait, le public ignore.
Sanction	l'auditeur peut influencer la qualité de l'offre.	Fidélité ou rupture de la relation.
Contacts entre offre et demande	Nombreux, ouverts, mercantiles (l'argent comme moyen d'échange)	Épisodiques, ouverts, non-mercantiles (agents d'intermédiation : critiques, professionnels, institutions)
Collusion entre professionnels	Nulle	Forte
Complexité perceptive (décalage entre les conventions)	*La demande est en adéquation avec l'offre : peu de complexité perceptive chez ceux qui partagent la convention.*	*L'offre développe des mécanismes d'engendrement de conventions en décalage avec ceux de la demande*

Adapté de Gomez [1994], p.169 et 173, (sauf dernière ligne)

c) Mimétismes et snobismes.

En présence notamment d'incertitudes et de délégation, l'écoute perd son autonomie et adopte un comportement social mimétique, influencé par ce que la sociologie nomme des *externalités*[172]. Si celles-ci biaisent l'écoute, elles n'ont pas automatiquement de conséquence inertielle. En se basant sur les travaux de 1950 de Leibenstein, l'économiste de l'art D.Sagot-Duvauroux regroupe les conventions mimétiques en deux externalités comportementales : **l'effet d'imitation** ("Bandwaggon effect") qui traduit le fait que le jugement et l'adaptation de l'auditeur imitent ceux des autres, et **l'effet snob** ("Snob effect") qui traduit le fait que l'auditeur cherche à se démarquer par principe du comportement d'un groupe. Dans les deux cas, l'adaptation contrainte par une externalité est un phénomène inconscient de distinction sociale. Imiter ou se démarquer est relatif à une convention donnée, dans laquelle on veut ou non s'identifier.

rencontre entre une offre et une demande.

Bourdieu qui, dans son ouvrage de référence sur la distinction sociale, insiste sur la non-intentionalité du comportement mimétique ou distinctif, écrit : *« Les goûts obéissent ainsi à une sorte de loi d'Engel généralisée : à chaque niveau de la distribution, ce qui est rare et constitue un luxe inaccessible ou une fantaisie absurde pour les occupants du niveau antérieur ou inférieur, devient banal et commun, et se trouve relégué dans l'ordre de ce qui va de soi par l'apparition de nouvelles consommations, plus rares et plus distinctives ; cela, encore une fois, en dehors même de toute recherche intentionnelle de la rareté distinctive et distinguée »* (Bourdieu [1979], p.275).

d) Adaptation mécaniste et adaptation mimétique

La théorie des conventions permet ainsi d'apporter une nuance importante aux modèles classiques d'adaptation à un phénomène apparemment complexe, c'est-à-dire aux mécanismes rationnels d'apprentissage et d'accommodation. Qu'elle soit partagée par un groupe ou par une époque, la convention rend le processus d'adaptation non plus « mécaniste » (l'auditeur s'apparente à une « machine de Turing » qui s'adapte à son milieu), mais interactif avec son environnement. La surprise est une incertitude, et la convention un refuge biaisé afin d'atténuer ce risque. Le tableau ci-dessous compare les deux approches.

Modèle mécaniste de l'apprentissage et de l'adaptation	**Modèle interactif de l'apprentissage et de l'adaptation**
Un acteur confronté à un environnement musical	Plusieurs acteurs en interaction (public de concert, milieu, époque, etc.)
Recours à l'utilisation de probabilités subjectives face à l'incertitude, pour reconstituer une fonction de prédiction musicale	Recours aux spécificités objectives de la perception pour réduire en partie l'incertitude, éventuellement au prix de conventions d'écoute, et d'arbitraire
Le moteur du processus d'effort est la curiosité individuelle	Le moteur du processus d'effort est la curiosité mimétique
La complexité perceptive dynamique est définie par la quantité d'erreurs de la fonction de prédiction lors de l'écoute.	*La complexité perceptive dynamique est définie par la quantité d'erreurs de la fonction de prédiction lors de l'écoute* ***et*** *par le décalage entre l'écoute prisonnière de ses conventions et une écoute théoriquement objective.*

Tableau inspiré de J.P. Ponssard [1994], modifié et appliqué à la musique.

[172] *Une externalité est un concept sociologique qui décrit les facteurs extérieurs pouvant influencer le comportement d'un agent. La disparition de Schönberg fut ainsi une externalité dans le processus d'écriture de Stravinsky.*

Les conventions et la culture ont donc deux conséquences sur l'aperception : d'une part elle accroîssent la KC-complexité perceptive en freinant les mécanismes d'accommodation. D'autre part, elles induisent une compression biaisée de la chaîne d'information. Les deux chapitres qui suivent préservent cette hypothèse de comportements conventionnels non-intentionnels dans l'écoute. De même que, dans la partie B, nous avions appliqué à quelques paramètres musicaux (perception du rythme, d'une transformation de hauteurs, réception de signes) les modèles mécanistes et les paradoxes d'aperception liés à la théorie de l'information, il s'agit, dans les deux chapitres qui suivent, de formaliser pour deux paramètres musicaux particuliers (la transformation d'un motif mélodique et la perception d'un intervalle) les comportements d'écoute interactifs attachés à certaines conventions. Nous construisons notamment des modèles formels d'aperception biaisée par la culture dans lesquels un même phénomène musical sera perçu (c'est-à-dire compressé, aperçu) différemment selon la culture[173]. Il s'agit de formaliser pour plusieurs paramètres musicaux l'algorithme réengendré par l'auditeur à l'écoute d'un objet et de son objet transformé. Selon le *principe de la complexité perceptive* établi au chapitre B-I, la complexité analytique fournit ainsi une indication de la KC-complexité perceptive de la procédure. Le chemin cognitif que l'auditeur reconstruit inconsciemment pour aller d'un objet à l'autre sera appelé, en généralisant les travaux de Thomas Noll sur les réseaux d'Euler, **chemin d'aperception** (Noll & Nestke [2002])**.**

[173] Ce type de modèles formalisés et réfutables de ces principes mécanistes de l'aperception peut évidemment être appliqué à n'importe quel paramètre musical. Les perceptions de motifs sériels ou d'intervalles ne sont que deux exemples significatifs.

III.- APPLICATION 1 : UN SIMULATEUR D'APERCEPTION CULTURELLE D'UN PROCESSUS DE TRANSFORMATION SÉRIELLE

1) Principe de la simulation

a) Présentation

Nous avons vu dans les chapitres précédents que les conventions et acquis culturels influencent les mécanismes d'écoute cognitive. **La perception est adaptative, cognitive, et culturelle**, c'est-à-dire que les mécanismes d'anticipation, qu'ils soient inductifs ou analogiques, sont biaisés par une inertie comportementale propre à chaque auditeur. Il est évidemment difficile de formaliser totalement ces biais culturels. Les modélisations que nous proposons dans ce chapitre et le suivant sont des simplifications extrêmes de profils d'auditeurs lisant une chaîne d'information et tentant d'établir des stratégies cognitives de compréhension, de perception et d'anticipation par analogie ou par induction, selon leur culture. L'ambition est en partie épistémologique : il s'agit de dépasser les modèles de type machine universelle de Turing, et de modéliser, de façon certes naïve, les schèmes cognitifs de perception culturelle, c'est-à-dire les biais provoqués par une culture dans les chemins d'aperception. Il s'agit donc de dépasser les modèles formels universalistes proposés jusqu'alors par la psychoacoustique et certaines théories de la perception musicale mais aussi de dépasser les descriptions non réfutables de comportement culturel proposés par la sociologie de la musique en partant de modèles formels. Dans ces deux applications, l'auditeur sera modélisé sous la forme d'un agent rationnel, par définition de ce qu'est un simulateur informatique. Un comportement rationnel implique en particulier une *écoute responsable* et une *adaptation mécaniste* à des éléments nouveaux. L'originalité du simulateur est cependant de formaliser rationnellement des comportements d'écoute propres à différentes cultures, et de restituer les chemins d'aperception menant d'un objet à un autre objet. La longueur du chemin d'aperception fournit alors une mesure de la KC-complexité perceptive.

Le programme proposé dans ce chapitre simule un automate muni d'une certaine culture, et lisant une ou plusieurs chaînes d'information musicale (motifs de hauteurs, rythmes, intervalles verticaux, etc.) associé(e)s à des procédures d'engendrement ou de transformation poiétiques. Le simulateur modélise comment l'auditeur, selon son profil

culturel, comprend cognitivement (aperçoit) la chaîne d'information et le processus d'engendrement ou de transformation associés. Nous utiliserons des transformations de complexité analytique simple, plutôt de type combinatoire, afin de travailler avec des jeux simples sur le signe qui n'aient pas de correspondance perceptive évidente[174]. Il est ensuite intéressant de formaliser les stratégies d'aperception par l'auditeur, et d'en déduire des degrés de complexité perceptive dépendant de la culture.

Dans le simulateur d'aperception de la transformation d'un motif, l'auditeur modélisé perçoit deux chaînes de longueur quelconque (éventuellement de longueur différente) et cherche à identifier leurs similitudes perceptives comme si l'une était la transformée de l'autre. L'auditeur ne connaît naturellement pas la transformation analytique réelle (poïétique) qui a permis de passer de la première chaîne à la seconde et tente de réengendrer avec sa culture un algorithme de transformation comme combinaison de cinq transformations élémentaires qui lui sont, selon ses acquis, plus ou moins familières. La combinaison de ces transformations élémentaires forme alors un chemin d'aperception, dont on peut calculer la complexité analytique dynamique en tant que KC-complexité perceptive.

Parmi ces cinq transformations élémentaires, trois sont des **transformations combinatoires agissant sur la position de la série** :

*** la répétition d'éléments constitutifs du motif :**

$(a_i,.....,a_j) \rightarrow (a_{i+t},.....,a_{j+t})$

*** Le décalage Dj de groupes d'éléments :**

(ai,....,aj,....,ak) -> (aj,....,ak,ai,....aj-1)

*** La rétrogradation R de certains éléments :**

$(a_i,a_{i+1},.....,a_{j-1},a_j) \rightarrow (a_j,a_{j-1},.....a_{i+1},a_i)$

Complexité analytique (dynamique) croissante

Deux sont des **transformations en valeur** :

[174] Comme nous le remarquions dans le chapitre B-I, ce qui est appliqué ici à des séries peut s'appliquer similairement à des motifs de tous styles, et à des transformations quelconques

*** La transposition Tx de certains éléments :**

$(a_i,.....,a_j) \rightarrow (x+a_i,.....,x+a_j)$

*** La symétrie Sy de certains éléments :**

$(a_i,.....,a_j) \rightarrow (y-a_i,.....,y-a_j)$

Complexité analytique (dynamique) croissante

Les typologies d'écoute culturelle sont caractérisées par les différents degrés de connaissances et d'assimilation de ces différentes procédures.

b) Fonctionnement du simulateur

Le simulateur considère deux chaînes d'éléments discrets (successions de notes, par exemple) de longueurs quelconques S1 et S2. L'objectif de cette simulation est de chercher les similitudes perceptives entre les chaînes S1 et S2, et de quelle façon S2 peut s'interpréter approximativement comme la transformation de S1. L'auditeur modélisé ne connaît ici que les transformations que lui offre sa culture : décalage de groupe, répétition, transposition, inversus et rétrograde. Il va donc chercher à décomposer la transformation en combinaison de transformations de ce type. Ceci signifie que selon sa culture, l'auditeur est plus ou moins apte à comprendre certaines transformations (qui sont associées à un coefficient de complexité dynamique dépendant de la culture) et à les combiner. Quatre profils d'auditeurs simplifiés sont ainsi envisagés :

i) Le profil schématisé « analyste »

« L'analyste » est capable, parce qu'il travaille sur le signe écrit, de distinguer immédiatement un rétrograde, une transposition, une symétrie ou un décalage. Par contre, il ne peut facilement combiner les transformations, et n'en perçoit qu'une à la fois.

ii) Le profil schématisé « auditeur moyen »

« L'auditeur moyen » entend toutes les transformations simples ne réorientant ni l'espace ni le temps, et leur combinaison : transposition décalée, décalage d'une transposition, etc..

iii) Le profil schématisé « auditeur sériel »

« L'auditeur sériel » perçoit sans problème les transformations familières à « l'auditeur moyen » mais aussi l'inversus ou le rétrograde d'une succession de notes. Il peut donc entendre un rétrograde transposé, une symétrie décalée, etc.. Cependant, les combinaisons de

deux transformations ou plus réorientant les axes du temps et de l'espace (inversus d'un rétrograde) deviennent rapidement complexes.

iv) Le profil schématisé « auditeur hypersériel »

« L'auditeur hypersériel » entend toutes les combinaisons de transformtaions, qu'elles inversent ou non les axes des hauteurs ou du temps : symétrie d'un rétrograde transposé puis décalé, etc...

Pour chacun des comportements décrits ci-dessus, l'ordinateur reconstitue une stratégie de perception de la transformation (transposition ou symétrie par rapport à tel degré, décalage par rapport à telle position, etc...), ce que l'on nommera dans ce chapitre et le suivant un **chemin d'aperception**. Le programme calcule également un degré de similarité cognitive entre ces deux motifs selon les transformations perçues, et un indice de KC-complexité perceptive correspondant à la complexités dynamique de la transformation, c'est-à-dire la « somme » des complexités analytiques des transformations élémentaires. Le programme a été écrit par mes soins en langage Pascal en 1994 (cf. annexe I).

2) Simulations

a) Exemple 1 : séries du paragraphe B-III-3

Dans le paragraphe B-III-3, nous avions explicité deux séries A et B distinctes pour lesquelles une symétrie appliquée à A, transformation analytique pourtant simple, semblait perceptivement plus proche de la série B que de A, les deux séries initiales A et B étant totalement indépendantes perceptivement.

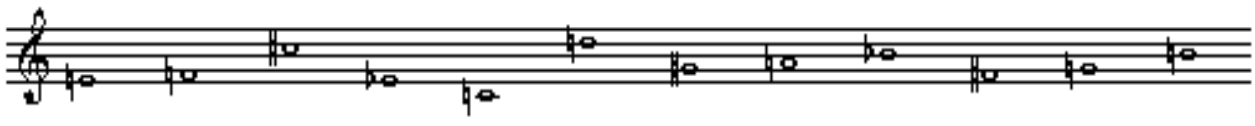



Figure III-2 : Série A (issue des premières mesures des variations op.27 de Webern)

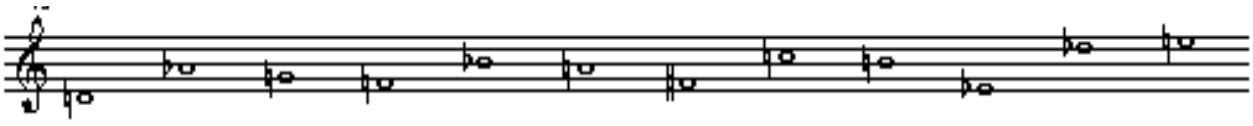



Figure III-3 : Série B, (perceptivement distincte de la série A)

Retrouvons ces résultats par le simulateur informatique en comparant la symétrie de la série A par rapport à ré, que nous appellerons série C, aux séries initiales A et B.

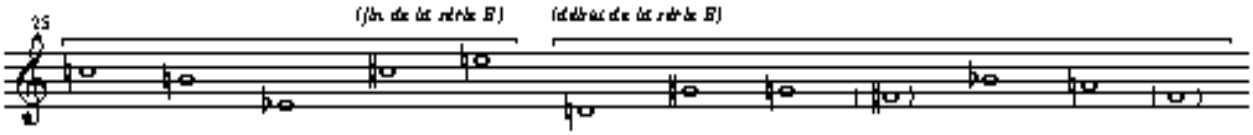



Figure III-4 : série C, symétrie de la série A par rapport à ré

En ce qui concerne la comparaison de la série A et de sa symétrie par le simulateur, les profils schématisés de **«** l'analyste », de « l'auditeur sériel » et de « l'auditeur hypersériel » observent immédiatement que la série C est la symétrie de A par rapport à ré (degré de similitude 100%). Par contre, le profil schématisé de « l'auditeur moyen », qui ne peut percevoir de transformation inversant les axes du temps et des fréquences, identifie faiblement leur lien (degré de similitude : 33 %). La seule faible similitude que « l'auditeur moyen » croit, à la rigueur, détecter entre les séries A et C est que la série C est une transposition de la série A d'un demi-ton décalée de deux notes (soit : [**do** ré *si* **do#** sol sol# fa **fa# sib** mib mi]).

Selon le simulateur, tous les profils identifient par contre immédiatement une proximité perceptive entre la série C et la série B, sans transformation, et avec un bon degré de similitude (83%).

Enfin, pour le couple de séries initiales [A, B], le simulateur calcule que les profils schématisés de « l'analyste » et de « l'auditeur sériel » identifient immédiatement la série B comme la symétrie de la série A avec une similitude de 83%. Le profil schématisé de « l'auditeur moyen » ne voit par contre que peu de liens entre la série A et la série B (similitude 33 %), à la rigueur en percevant la série B comme la série A transposée d'une tierce majeure ([*mib* **lab** la **fa** sol mi **fa# do** do# ré sib si] décalée d'une note).

On retrouve par cette simulation les résultats de la partie B, à savoir que la série A est analytiquement proche de sa symétrie mais reste très éloignée perceptivement des séries B et C (pour un profil schématisé « d'auditeur moyen », la similitude entre A et B est de 33% avec une complexité dynamique liée à la combinaison d'un décalage de groupe et d'une transposition). En l'absence d'une culture permettant éventuellement de percevoir une inversion de l'axe des hauteurs ou du temps, le profil de « l'auditeur moyen » identifie la symétrie C à la série B (similitude de 83%, complexité dynamique nulle).

<table>
<tr><th>Séries</th><th>Profils schématisés</th><th>SERIE A</th><th>SERIE B</th><th>SERIE C</th></tr>
<tr><td rowspan="3">SERIE A</td><td>« Analyste »</td><td rowspan="3">Similitude : 100%

KC-complexité perceptive : nulle</td><td>Similitude : 83%
KC-compl. perc.: $C_{symétrie}$</td><td>Similitude : 100%
KC-compl. perc.: $C_{symétrie}$</td></tr>
<tr><td>« Auditeur moyen »</td><td>Similitude : 33%
Kc-compl. perc.: moyenne ($C_{transposition}$ + $C_{décalage}$)</td><td>Similitude : 33%
KC-compl.: moyenne ($C_{transposition}$ + $C_{décalage}$)</td></tr>
<tr><td>« Auditeur sériel »</td><td>Similitude : 83%
KC-compl. perc.: $C_{symétrie}$</td><td>Similitude : 100%
KC-compl.: $C_{symétrie}$</td></tr>
<tr><td rowspan="3">SERIE B</td><td>« Analyste »</td><td>Similitude : 83%
KC-compl. perc. : $C_{symétrie}$</td><td rowspan="3">Similitude : 100%

KC-complexité perceptive : nulle</td><td>Similitude : 83%
KC-compl. perc.: nulle</td></tr>
<tr><td>« Auditeur moyen »</td><td>Similitude : 33%
KC-compl.: moyenne ($C_{transposition}$ + $C_{décalage}$)</td><td>Similitude : 83%
KC-compl. perc.: nulle</td></tr>
<tr><td>« Auditeur sériel »</td><td>Similitude : 83%
KC-compl. perc.: $C_{symétrie}$</td><td>Similitude : 83%
KC-compl. perc.: nulle</td></tr>
<tr><td rowspan="3">SERIE C</td><td>« Analyste »</td><td>Similitude : 100%
KC-compl. perc.: $C_{symétrie}$</td><td>Similitude : 100%
complexité : $C_{symétrie}$</td><td rowspan="3">Similitude : 100%

KC-complexité perceptive : nulle</td></tr>
<tr><td>« Auditeur moyen »</td><td>Similitude : 33%
KC-compl.: moyenne ($C_{transposition}$ + $C_{décalage}$)</td><td>Similitude : 83%
KC-compl. perc.: nulle</td></tr>
<tr><td>« Auditeur sériel »</td><td>Similitude : 100%
KC-compl. perc.: $C_{symétrie}$</td><td>Similitude : 83%
KC-compl. perc.: nulle</td></tr>
</table>

b) Exemple 2 : séries du Klavierstück X de Stockhausen

Stockhausen a utilisé pour le Klavierstück X une série initiale de nombres [7 1 3 2 5 6 4] qu'il a ensuite permuté de façon singulière. Cet exemple est intéressant pour deux raisons : Tout d'abord, Stockhausen y applique une transformation combinatoire originale, qui ne correspond pas à une transformation sérielle classique : le saut toutes les x notes (on verra que cette procédure est également employée par Berg). Il s'agit d'une transformation pure et discontinue sur le signe, sans que sa signification soit prise en compte (les chiffres pourraient être remplacés par n'importe quel autre signe), présentant un principe d'économie poïétique.

Phase 1 : 7 1 3 2 5 6 4
Phase 2 : 6 5 2 3 1 7 4 (rétrograde des 6 premiers signes)
Phase 3 : 5 3 7 6 2 1 4 (saut tous les 2 signes)
Phase 4 : 2 7 5 1 6 3 4 (saut tous les 3 signes)
Phase 5 : 3 6 1 5 7 2 4 (saut tous les 4 signes)
Phase 6 : 1 2 6 7 3 5 4 (saut tous les 5 signes)
Phase 7 : 7 1 3 2 5 6 4 (série initiale)

Figure III-5 : Combinatoire utilisée dans le Klavierstück X de Stockhausen (d'après l'analyse de Herbert Henck)

De plus, Stockhausen emploie les séries résultantes de multiples façons pour ne les transformer en notes qu'ultérieurement *(notre étude perceptive est donc ici purement théorique)*

Étudions par exemple la procédure perceptive réengendrée par l'auditeur permettant le passage de la première série [7 1 3 2 5 6 4] à la troisième [5 3 7 6 2 1 4]. L'auditeur entend-il réellement un saut toutes les deux notes, ou bien identifie-t-il certaines sous-périodes selon des transformations linéaires plus usuelles ?

i) Le profil schématisé de « l'analyste »

On peut supposer qu'en connaissant ou retrouvant la technique combinatoire de Stockhausen, « l'analyste » réexpliciterait sans problème le principe du saut toutes les deux notes entre la série 1 et la série 3. Sans cette connaissance, le simulateur montre que le profil de « l'analyste », qui ne connait que les dérivations sérielles classiques, a un comportement similaire au profil « auditeur moyen ».

ii) Le profil schématisé « auditeur moyen »

Selon le similateur, la transformation aperceptive la plus simple et de degré de similitude le plus grand pour le profil « auditeur moyen » serait de considérer que la troisième série est obtenue à partir d'une transposition d'un degré inférieur de la première série ([7 1 3 2 5 6 4] devient [6 12 2 1 4 5 3]) décalée de cinq éléments ([6 12 2 1 4 5 3]) devient [5 3 6 12 2 1 4]). Le coefficient de similitude cognitive est de 71%

iii) Les profils schématisés « auditeur sériel » et « auditeur hypersériel »

Les chemins d'aperception sont, pour le simulateur, les mêmes pour les profils « auditeur sériel » et « auditeur hypersériel » que pour le profil « auditeur moyen ».

En conséquence, **la reconnaissance de transformations inversant les flèches du temps ou de l'espace (culture aperceptive d'un profil de type « auditeur sériel ») ne favorisent pas la perception de combinatoires discontinues sur le signe.** L'inversion des flèches du temps ou des fréquences est une opération certes difficile à percevoir alors qu'elle est simple au niveau du signe (au niveau analytique). Cependant, ce type de procédure préserve la continuité des informations (contour mélodique, rythme à l'envers, etc..). Elle est donc apparemment de complexité aperceptive relativement moindre que celle d'une procédure combinatoire discontinue sur le seul signe, qui modifie les processus de segmentation et de relations entre les différents signes.

c) Exemple 3 : Séries dérivées dans Lulu de Berg

« *Lulu nous donne des exemples encore plus formalisés, et même absolument ésotériques pour l'auditeur -je ne parle même pas de l'auditeur 'moyen', je parle de l'auditeur 'cultivé'. La façon dont* [Berg] *déduit les séries qui vont confectionner les thèmes pour caractériser Schön, Alwa, etc., à partir de la série fondamentale liée directement au personnage central de Lulu, cette procédure est absolument indéchiffrable à l'écoute. Elle se base sur des spéculations et des déductions numériques qui sont hors de toute perception, et que l'on ne peut comprendre que comme symboliques* » (Boulez[1989], p. 180).

Même si l'intention de Berg n'était peut-être pas de créer d'unité perceptive entre les différentes séries dérivées de Lulu, il est intéressant de calculer leur similitude perceptive. Nous utiliserons trois séries dérivées de Lulu (d'après l'analyse de Jameux [1980]). La première est la série fondamentale de Lulu, qui apparaît dans son intégralité pour la première fois dans la scène 1 de l'acte II (*lied de Lulu*) :

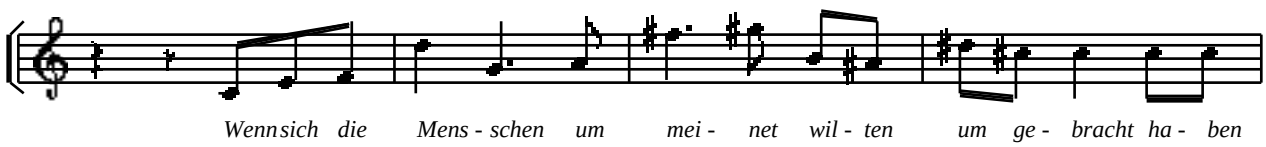


Figure III-6 : Série de Lulu

Berg utilise ensuite, pour engendrer la série dérivée du personnage de Schön, un procédé combinatoire proche de celui vu dans l'exemple précédent de Stockhausen, bien que plus complexe analytiquement. Il prend la série de Lulu transposée d'un ton inférieur [sib, ré, mib, do, fa, sol, mi, fa#, la, sol#, do#, si], et saute une, puis deux notes, puis trois notes de cette série : [sib, mib *(= 1 saut)*, sol *(= 2 sauts)*, sol# (*= 3 sauts)*, ré (=***3*** *sauts*), fa *(= 2 sauts),* mi *(= **1** saut)*, la *(= 1 saut)*, si *(= 2 sauts)*, do *(= 3 sauts)*, fa# *(= 3 sauts)*, do# *(= 2 sauts)*] et on revient à la 1ère note en effectuant 1 saut.

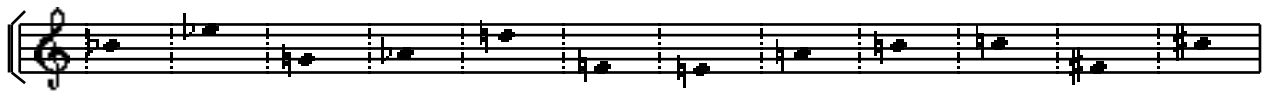



Fig. III-7 : ***Série de Schön***

En conservant une note toutes les sept notes de la série initiale de Lulu transposée d'un ton sur sib, Berg obtient ensuite la série qui caractérise le personnage d'Alwa :

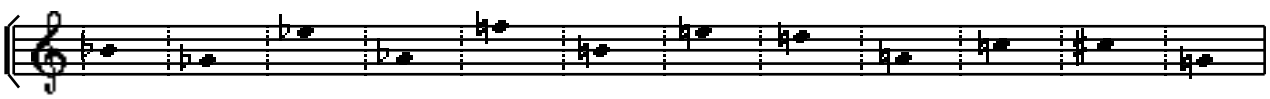


Fig ; III-8 : ***Série d'Alwa***

Il faut noter que ces deux procédures systématiques de criblage préservent de façon remarquable le dodécaphonisme des séries dérivées. Lançons donc une simulation de perception entre ces séries, afin de déterliner les chemins d'aperception d'auditeurs types.

i) Similitudes cognitives Lulu/Schön

*** COMPORTEMENT 1 : LE PROFIL SCHEMATISE « ANALYSTE »**

Selon le simulateur, un profil de type « analyste » ne connaissant pas la procédure de Berg percevrait comme similitude analytique entre la série de Schön et celle de Lulu une transposition d'une tierce mineure couplée à un décalage d'une note, ce qui donnerait pour la série de Schön ainsi transformée :

[**do**, **mi, fa,** si, ré, do#, **fa#, sol#,** la**,** mib, sib, sol][175]

La complexité dynamique de la procédure réengendrée resterait faible ($C_{transposition} + C_{décalage}$), mais le coefficient de similitude cognitive serait également faible (42%).

*** COMPORTEMENT 2 : LE PROFIL SCHEMATISE « AUDITEUR MOYEN »**

Pour un profil de type « auditeur moyen », la série de Lulu serait cognitivement apparentée à la série de Schön par un décalage d'une position couplé à une transposition d'une tierce mineure. Cette nouvelle série de Schön ainsi transformée pour se rapprocher de la série de Lulu deviendrait :

[**do**, **mi, fa,** si, ré, do#, **fa#, sol#,** la**,** mib, sib, sol]

La KC-complexité perceptive serait faible ($C_{transposition} + C_{décalage}$) mais le coefficient de similitude cognitive resterait également faible (42%).

*** COMPORTEMENT 3 : LE PROFIL SCHEMATISE « AUDITEUR SERIEL »**

Le profil de type « auditeur sériel » perçoit une similitude entre la série de Lulu et celle de Schön, telle que l'une serait la transformée de l'autre par décalage de huit notes, couplée à une transposition d'une tierce mineure et une inversion par rapport à do# (ou la). Ce qui donnerait après transformation de la série Schön : [sol,**mi,fa**,do,la#**,la**,ré#,**sol#,si**,fa#,ré,**do#**]. Le coefficient de similitude cognitive de cette série transformée avec celle de Lulu est moyen (50%)[176]. La complexité perceptive dynamique de la transformation est forte : ($C_{transposition} + C_{décalage} + C_{inverus}$).

*** COMPORTEMENT 4 : LE PROFIL SCHEMATISE « AUDITEUR HYPER-SERIEL »**

---

[175] Les notes en gras sont les notes communes entre la série ainsi transformée et l'autre série.

[176] L'ordinateur trouve ici un indice de similitude supérieur à celui du profil « auditeur moyen », qu'il faut cependant tempérer du fait de l'espacement des notes communes

La perception de similitude cognitive entre ces deux séries est de même type pour le profil de type « auditeur hypersériel » et pour le profil « auditeur sériel ». Comme dans l'exemple de Stockhausen, une meilleure aperception des inversions des axes des hauteurs ou du temps ne favorise que peu l'aperception de ce type de combinaisons discontinues.

ii) Similitudes perceptives Lulu/Alwa

*** COMPORTEMENT 1 : LE PROFIL SCHEMATISE « ANALYSTE »**

La procédure réengendrée par un récepteur de type « analyste » qui ne connaîtrait pas la transformation effectuée par Berg, afin de passer de la série de Alwa à celle de Lulu, est la transposition d'un ton : [**do**,sol#,**fa**,la#,**sol**,do#,**fa#,**mi,**si**,ré,**ré#,**la]. Le coefficient de similitude est moyen (50%) et la complexité perceptive dynamique de la transformation faible ($C_{transposition}$).

*** COMPORTEMENT 2 : LE PROFIL SCHEMATISE « AUDITEUR MOYEN »**

Pour un profil de type « auditeur moyen », l'ordinateur refait le même calcul que pour le profil de type « analyste » : le profil « auditeur moyen » construit un chemin d'aperception entre la série d'Alwa et celle de Lulu avec une transposition d'un ton : [**do**,sol#,**fa**,la#,**sol**,do#,**fa#,**mi,**si**,ré,**ré#,**la]. Le coefficient de similitude cognitive reste moyen (50%) et la complexité perceptive dynamique de la transformation : faible ($C_{transposition}$).

*** COMPORTEMENT 3 : LE PROFIL SCHEMATISE « AUDITEUR SERIEL »**

Malgré des capacités de combinaisons de transformations supérieures de la part des profils « auditeur sériel » et « auditeur hyper-sériel », l'ordinateur montre qu'aucune procédure, même de KC-complexité perceptive plus grande, ne peut dépasser un degré de similitude cognitive de 50% obtenu avec la transposition d'un ton. Les profils « auditeur sériel » et « auditeur hyper-sériel » construisent les mêmes chemins d'aperception pour ces deux séries que les profils « auditeur moyen » et « analyste ».

On observe donc que les chemins d'aperception entre le série de Lulu et celle d'Alwa sont plus courts et de meilleurs degrés de similitudes que ceux pour le couple [série de Lulu, série de Schön]. Certes, les transformations analytiques que Berg a employées sont également plus simples dans le cas du couple [Lulu/ Alwa]. Cette double hiérarchie n'a cependant aucune relation (principe de non-bijection entre la complexité analytique et la complexité perceptive), comme va le montrer le cas Schön/Alwa suivant.

De plus, la culture, telle que décrite ici à travers la connaissance et l'endogénéisation de cinq transformations, n'intervient pas dans le cas du couple [Lulu/Alwa], alors qu'elle

intervenait dans celui [Lulu/Schön]. Les transformations analytiques [Lulu/Schön] et [Lulu/Alwa] étaient pourtant du même type (jeu sur le signe discontinu et combinatoire). La culture influence donc l'algorithme de réengendrement cognitif, mais cette influence n'est pas liée à la nature de l'algorithme générateur poïétique : **mieux comprendre, grâce à sa culture, une oeuvre ne signifie pas automatiquement mieux comprendre l'intention et les principes compositionnels qui ont permis d'engendrer la chaîne d'information.**

iii) Similitudes perceptives Schön/Alwa

Berg n'a pas engendré la série d'Alwa à partir de celle de Schön, et le passage analytique de l'une à l'autre serait extrêmement compliqué (saut toutes les 10 notes, 3 notes, 2 notes, 2 notes, 3 notes, 10 notes, 10 notes, 3 notes, 2 notes, 2 notes, 3 notes). La perception de similarité entre ces deux séries est cependant plus évidente que celle entre les séries Lulu et Alwa, dont la relation analytique était pourtant la plus simple (saut toutes les sept notes). Il s'agit là-encore d'une application du *principe d'indépendance esthésique.*

*** COMPORTEMENT 1 : LE PROFIL SCHEMATISE « ANALYSTE »**

Le chemin d'aperception entre la série d'Alwa et celle de Schön, pour un profil de type « analyste » est la transposition d'une quarte, qui donnerait : [**fa,**do#,la#,ré#,**do,fa#,**si,la,mi,**sol,sol#,ré].** Le coefficient de similitude est moyen (50%) et une KC-complexité perceptive faible ($C_{transposition}$).

*** COMPORTEMENT 2 : LE PROFIL SCHEMATISE « AUDITEUR MOYEN »**

Pour un profil de type « auditeur moyen », la série Alwa est apparentée cognitivement à celle de Schön par un décalage de cinq positions et une transposition d'une quarte :

[la,mi,**sol,sol#,ré,fa**,do#,la#,ré#,**do,fa#,**si]

Le coefficient de similitude cognitive est moyen (50%), tout comme la KC-complexité perceptive de la transformation ($C_{transposition} + C_{décalage}$).

*** COMPORTEMENT 3 : LES PROFILS SCHEMATISES « AUDITEUR SERIEL » ET « AUDITEUR HYPERSERIEL »**

Malgré des capacités de perception de procédures supérieures de la part des profils « auditeur sériel » et « auditeur hypersériel », l'ordinateur montre qu'aucune transformation plus complexe ne peut dépasser un degré de similitude de 50%. La transposition d'un ton est ici optimale, et les profils « auditeur sériel » et « auditeur hypersériel » élaborent les mêmes chemins d'aperception que le profil « auditeur moyen ».

iv) Conclusion

Profils schématisés	LULU/ALWA	LULU/SCHÖN	SCHÖN/ALWA
« Analyste »		Similitude : 42% KC-Complexité : moyenne	Similitude : 50% KC-compl. : faible ($C_{transposition}$)
« Auditeur moyen »	Similitude : 50%	($C_{transposition}$ + $C_{décalage}$)	Similitude : 50%
« Auditeur sériel »	KC-complexité : faible	Similitude : 50%	KC-Complexité : moyenne
« Auditeur hypersériel »	($C_{transposition}$)	KC-complexité : forte ($C_{transposition}$ + $C_{décalage}$+ $C_{inverus}$)	($C_{transposition}$ + $C_{décalage}$)

Malgré une transformation analytique complexe dans le cas du couple [Schön/Alwa], et simple dans le cas du couple Lulu/Schön, la similitude est plus forte pour le premier couple, et le chemin d'aperception plus court. De plus, les degrés de similitude cognitive inférieurs à 50% montrent que l'unité perceptive est peu présente, quelle que soit la culture, entre les séries dérivées (c'était peut-être là, comme le précise Boulez, l'intention de Berg), alors que l'unité analytique est forte (les transformations de dérivation combinatoire employées par Berg sont de complexité analytique relativement faible). Il s'agit là de plusieurs exemples du *principe de non-bijection entre les complexités.*

D'autre part, malgré des principes combinatoires similaires d'engendrement, le simulateur montre que la culture intervient différemment selon les couples. On a, par exemple, obtenu un seul exemple (Lulu/Schön), où, en théorie, une « culture sérielle » augmente le degré de similitude. De façon plus générale, la culture intervient dans les schèmes cognitifs de compréhension du résultat, indépendamment du principe et de la complexité des procédures d'engendrement initial. Il s'agit là d'une conséquence du *principe d'indépendance esthésique.*

3) Conclusions

Un modèle est simplificateur. Il permet cependant de poser des hiérarchies, des raisonnements réfutables, et de montrer certains paradoxes liés aux principes d'indépendance esthésique et de non-bijection des complexités. De plus, l'élaboration du simulateur a une motivation épistémologique : la plupart des modèles formalisés en science cherchent un terrain d'expérimentation de nature universelle. Ici, il s'agit de dépasser la machine universelle de Turing et de modéliser un comportement culturel, non pour le caricaturer, mais pour aborder de façon initialement simple un type de recherche scientifique réfutant l'axiome universaliste. Aborder une étude sur les rapports entre la complexité analytique et les complexités perceptives culturelles doit se faire dans ce cadre de réfutation.

Le simulateur proposé, qui formalise un comportement culturel d'aperception, montre en fait que l'aperception est une inscription cognitive, c'est-à-dire une perception processuelle, compressive et interprétative d'un objet reçu. Dans les exemples ci-dessus, la non-bijectivité entre complexité analytique et complexité perceptive est à chaque fois vérifiée, mais le décalage est dépendant du capital culturel de l'auditeur. L'auditeur puise instinctivement dans son capital de connaissance et construit un chemin d'aperception approximatif entre la chaîne initiale et sa transformée, chemin parfois éloigné des intentions du compositeur. Le chapitre suivant tente de formaliser de façon identique des chemins d'aperception cognitive et culturelle, cette fois-ci pour le paramètre musical de l'intervalle.

IV.- APPLICATION 2 : UN MODÈLE D'APERCEPTION CULTURELLE DE LA CONSONANCE DES INTERVALLES

L'aperception d'un intervalle vertical de hauteurs n'a pas été étudiée jusqu'à présent dans notre étude, contrairement aux aperceptions de rythme, de transformation sérielle d'un motif, ou aux perceptions analytiques d'une partition. Le paramètre musical lié à la combinaison verticale de hauteurs et la complexité perceptive qui lui est associée (la *consonance*) ont pourtant ouvert les problématiques certainement les plus importantes et les plus polémiques dans l'histoire de la musique occidentale. Le paramètre des hauteurs est en effet géré dans la musique occidentale par quelques systèmes fédérateurs, bâtis sur des conventions culturelles monocentrées aux enjeux politiques et ethnocentriques importants, alors que les systèmes organisant les autres paramètres musicaux restent plus nombreux, plus polycentrés, plus relativisés, plus dialectiques. C'est vraisemblablement pour cette raison qu'on a souvent cherché à montrer, paradoxalement, l'universalité de ce concept singulier.

En cohérence avec la définition courante, nous nommerons *dissonance* la complexité de l'aperception d'une combinaison verticale de hauteurs. L'association verticale de fréquences est un champ de recherches particulier. D'une part, l'écoute d'un agrégat de hauteurs hors-contexte (c'est-à-dire hors enchaînement d'accords), ne se structure pas en flux d'informations : il n'y a pas de changement d'état au sens de la théorie de l'information, mais un unique état perçu par l'auditeur. D'autre part, ce genre d'étude fait appel à des considérations objectives dues aux lois physiques qui régissent les corps sonores en vibration et en fusion, mais également à des conventions culturelles implicites plus ou moins basées sur des théories musicales sous-jacentes, et finalement à des considérations historiques, épistémologiques, et même éthiques.

Après une présentation de quelques résultats issus de plusieurs travaux sur ce sujet, nous postulerons que l'audition d'un intervalle n'est pas la simple écoute d'un rapport de fréquences mais que l'auditeur reconstruit des structures analytiques lui permettant de « comprendre » l'intervalle. À partir de cette hypothèse d'aperception cognitive d'un intervalle, nous chercherons tout d'abord à « déconstruire » différentes définitions universelles de consonance, en cherchant leur présupposé culturel. Puis nous nous intéresserons à la détermination d'un indice « pythagoricien » (c'est-à-dire régi par les nombres) de dissonance

culturelle, lié aux conventions d'écoute de l'auditeur. Cet indice sera initialement calculé entre deux notes, la généralisation à un agrégat restant à approfondir. Nous tenterons enfin une réfutation de l'indice par son application à une autre culture, et une généralisation prospective du modèle.

1) Introduction historique : le paramètre des hauteurs dans la deuxième moitié du XX^{e} siècle

On a souvent répété que la technique dodécaphonique n'est pas un système de gestion des hauteurs, dans le sens où elle n'en propose pas une organisation perceptible cohérente avec les lois de l'acoustique. Robert Francès a également montré que les lois compositionnelles qui dérivent du sérialisme (rétrograde, symétrie, etc...) répondent à une logique mathématique qui n'est pas toujours perceptivement intelligible (Francès [1958, p.140 à 146]). De nombreux travaux de psychoacoustique sont allés depuis dans ce sens. Deux explications sont généralement avancées :

D'une part la densité douze des hauteurs ne permet pas en théorie (qu'infirment de nombreux chefs-d'œuvre et un traitement par sous-catégories de motifs) de percevoir l'architecture intervallique et fréquentielle d'une série dodécaphonique : il a été démontré que l'écoute s'attache surtout au sens du contour mélodique (« ça monte ou ça descend ») plutôt qu'aux notes qui le constituent, et que l'on perçoit les intervalles par leur contexte harmonique (fondé sur la loi « naturelle[177] » des harmoniques ou sur des lois culturelles plus complexes). Les séquences de hauteurs sont en effet perçues en termes d'intervalles relatifs plutôt que de hauteurs absolues (Krumhansl[1990], McAdams[1994]). Or la densité douze brouille tout repère harmonique local, puisque chaque note y est également représentée. « *Pour les séquences atonales, la représentation est généralement restreinte au contour : les informations sur les intervalles sont soit indisponibles, soit inutilisables puisque les attentes sur les structures musicales habituelles sont constamment violées* » (McAdams [1994, p.328]).

D'autre part, les techniques sérielles qui découlent du dodécaphonisme utilisent des fonctions mathématiques linéaires simples (symétrie par rapport à une note, rétrograde,

[177] dans la limite de la « naturalité » d'un son harmonique...

transposition) qui restent souvent difficiles à percevoir du fait qu'elles abolissent soit la flèche du temps (le rétrograde), soit l'échelle orientée des fréquences (la symétrie).

Il serait pourtant d'une grande naïveté de condamner les mouvements dodécaphonique, sériel, ou sériel généralisé sur le seul critère des hauteurs. Les séries de Webern ou de l'école sérielle généralisée de l'après-guerre sont très rarement utilisées comme un matériau de hauteurs explicitement intelligible (motif mélodique, agrégat), mais plutôt comme un matériau primaire que le compositeur distribue ensuite librement, à la fois horizontalement et verticalement, et aux différents instruments. De plus, sur un plan historique, la fin du siècle dernier[178] avait favorisé la tonalité flottante avec Mahler et Wagner, initiée par Schumann et le dernier Beethoven, et conclue par Richard Strauss (*die Metamorphosen*) et le premier Schönberg (*die Verklärte Nacht*). Le dodécaphonisme puis le sérialisme intégral ont ensuite tenté, pendant les deuxième et troisième quarts du XX^{e} siècle, d'abolir graduellement la suprématie de la hauteur. Ces techniques d'écriture ont ainsi permis en moins de cinquante ans de bouleverser la plupart des conventions touchant les autres paramètres musicaux : forme, rythme, morphologie du son, déterminisme de l'écriture, modes de jeu instrumentaux, rapport avec le public et l'interprète, espace, etc., dans une dimension jamais révélée jusqu'alors dans nos sociétés occidentales. La technique sérielle devenant en quelque sorte un « anti-système » pour les hauteurs, un « cristallisateur » de ce paramètre, les compositeurs sériels les plus marquants ont souvent effectué un travail novateur sur les autres paramètres. Il faut cependant noter que l'abolition de la suprématie des hauteurs dans l'écoute n'a pas été un monopole des techniques sérielles, surtout après la guerre. Dans les années 50 et 60, de nombreux compositeurs étrangers à une pratique sérielle ont utilisé des techniques déniant à la hauteur son rôle intervallique et fréquentiel traditionnel : les fréquences non définies des percussions et accessoires chez Varèse (dès les années 30), les micropolyphonies de Ligeti, les masses sonores statistiquement organisées chez Xenakis, la polarisation extrême chez Scelsi. L'apport essentiel de l'école répétitive (T. Riley, S. Reich) n'a semble-t-il pas été un retour à la tonalité mais plutôt une réflexion nouvelle sur l'organisation des flux d'information musicale, à travers un vocabulaire par nécessité extrêmement simplifié et connu de tous (accords classés, décalages

[178] L'invention du phonographe a été, comme nous l'avons vu dans la partie A, une nouvelle graphémologie ne réduisant plus le phénomène sonore à un son harmonique.

de rythmes répétitifs, etc.: le « mot » élémentaire de la chaîne d'information doit être identifiable afin de percevoir l'évolution de celle-ci). Le système sériel et les autres écoles esthétiques des années 50 et 60 ont donc permis un travail exceptionnel des compositeurs sur les autres paramètres musicaux en inactivant la prépondérance des hauteurs.

Dans les années 70 et 80, parallèlement au retour du « sujet » dans les disciplines scientifiques d'inspiration structurale (Dosse [1992]), les compositeurs ont réintroduit la perception verticale des hauteurs en tant que critère poïétique de leur composition, mais ont pris parallèlement conscience de la crise de la réduction d'un timbre en une hauteur (cf. partie A) dans la musique occidentale. La psychoacoustique, discipline cherchant à établir scientifiquement des invariants naturels de perception, devient en conséquence, dans les années 80, une sphère d'intérêt pour les compositeurs. L'Institut de Recherche et de Coordination Acoustique/Musique -IRCAM- est créé en 1974. Les leaders de la musique sérielle généralisée abandonnent la densité douze au profit de polarisations de hauteurs plus affirmées. D'autres compositeurs s'engagent vers le postmodernisme et la musique néo-tonale (K. Penderecki, L. Andriessen, A. Pärt). Helmut Lachenmann, avec la « musique concrète instrumentale », se détourne totalement de la nature harmonique des sons instrumentaux. Enfin, un jeune mouvement, la « musique spectrale » naît sous l'impulsion de deux compositeurs français, G. Grisey et T. Murail, et du compositeur roumain H. Radulescu. Dans une approche totalement pythagoricienne, cette école tente de créer, entre autres, une nouvelle grammaire de hauteurs issue de considérations acoustiques (la théorie des harmoniques explicitée par Sauveur et la théorie de leur mise en résonance explicitée par Helmholtz) et d'analyse/fusion du son (paradoxes de Risset). Le souci musical est double : calculer scientifiquement des « spectres » afin d'obtenir, généralement dans l'approximation du quart, du sixième ou du huitième de ton, le maximum de fusion des agrégats en tant que corps sonores ; en déduire une grammaire compositionnelle nouvelle, issue de considérations acoustiques et scientifiques, afin d'échapper aux fonctionnalités harmoniques de la musique tonale et aux mécanismes combinatoires de la musique sérielle. On peut cependant regretter que la science acoustique n'ait pas développé ces trente dernières années une réflexion plus approfondie sur le son inharmonique et bruité, qui aurait permis d'avancer dans l'élaboration de procédures d'association de sons complexes. Réalité acoustique ou pseudo-justification scientifique des principes spectraux ? Comme pour de nombreux précédents historiques

(Rameau, Schönberg), l'œuvre dépasse la théorie, que celle-ci soit ou non scientifiquement valable, ce qui annule cette interrogation épistémologique.

C'est dans ce paradigme pythagoricien que nous plaçons ce chapitre, même si nous pouvons parfois, sur un plan compositionnel, nous en méfier. L'approche pythagoricienne rationaliste a tenté depuis le VIème siècle avant J.-C. de construire une grammaire des hauteurs à partir de considérations scientifiques, basées sur le nombre. Notre démarche reste ici résolument pythagoricienne, dans le sens où elle utilise les rapports de fréquences qui engendrent les intervalles. Toutefois, nous tenterons de défendre la thèse qu'aucune approche pythagoricienne ni aucune approche acoustique ne peuvent procurer de conclusion universaliste sur l'aperception des intervalles. En avançant des arguments mathématiques de topologie (« densité d'un sous-ensemble des fractions dans l'ensemble des réels »), nous opterons en effet pour des modèles où l'écriture numérique des intervalles propose une information sur la culture et sur une aperception non universelle. Pour paraphraser Derrida, nous avons ici un exemple concret où le signe (l'écriture de l'intervalle sous forme de fraction) est l'epistemé.

A travers ces exemples, ce chapitre propose plus généralement une critique du postulat naturaliste et normatif présent dans certaines sciences étudiant la consonance, notamment la psychoacoustique expérimentale (qui tente souvent d'expliquer la psychologie par des phénomènes acoustiques et universalistes) ou une certaine musicologie systématique normative. Ce chapitre plaide au contraire pour une science de la perception dont le but serait de fournir plutôt des concepts réfutables et/ou prospectifs pour les compositeurs et la théorie musicale. La méthode scientifique en musique doit rester consciente et soucieuse des présupposés culturels qui fondent ses axiomes de départ.

2) Introduction épistémologique : Quelle science pour la consonance ?

Que ce soit dans les rapports pythagoriciens de fréquences exprimés en fractions rationnelles (2/1, 3/2, 4/3), dans les différentes catégories harmoniques d'Aristote propices soit au repos, soit aux personnes âgées, soit à la guerre (Moutsopoulos [1989] p.68, Fubini [1983] p.31), dans les théories de Zarlino ou de Rameau, dans l'approche plus métaphysique de l'harmonie par Fétis, dans les travaux scientifiques de Helmholtz, Riemann, Stumpf ou

Ambros, dans la contestation du positivisme Helmholtzien par Combarieu, ou dans les théories récentes de Terhardt, la recherche de critères de consonance traverse toute l'histoire de la théorie musicale. On peut néanmoins regrouper les théories de la consonance en trois catégories :

a) Les théories métaphysiques de la consonance

Elles mettent en rapport la musique et l'homme. La dissonance y est interprétée, en simplifiant, dans un sens historico-social (Adorno, Lukacs, Marcuse), ou par analogie à la linguistique et à la grammaire (Combarieu, S. Länger, D. Cooke). Cette démarche ne sera pas abordée ici.

b) Les théories empiriques de la consonance

Leur légitimation réapparaît depuis les années 1970. Ces théories s'appuient sur des méthodes issues des sciences physiques appliquées (acoustique) et de la psychologie expérimentale : expérimentations, sondages sur échantillons représentatifs d'auditeurs, tests psychoacoustiques. Les modèles sont parfois élaborés à partir de théories rationnelles ou d'intuitions et d'inductions mais sont validés uniquement par l'expérience. Ces intuitions sont parfois incorporées dans des compositions afin d'être testées dans un contexte réellement musical (par exemple *Streamlines* du compositeur J. Fineberg « testé sur auditeur » après concert (Pressnitzer & alii [1996])). Robert Francès entreprit en 1958 un certain nombre de tests par sondage sur la musique, notamment sur la justesse des tempéraments, la perception des degrés tonals, la perception des séries dodécaphoniques. Cependant chacune de ses expériences soulignait la limite culturelle de l'échantillon et la recherche de différences de perception entre les groupes (par exemple l'expérience XVI : Effets physiologiques de la dissonance sur des sujets de différents groupes). Une volonté plus universaliste et normative réémerge dans les années 80, notamment dans les pays anglo-saxons, et des expériences sur la perception de la consonance comme celles de Plomp et Levelt, ou de Kameoka et Kuriyagawa (qui comparent des auditeurs japonais, considérés comme « non-occidentaux » et des auditeurs occidentaux) font aujourd'hui référence (Plomp [1976]).

Cette méthodologie fondée sur l'empirisme est donc assez récente en théorie musicale, alors qu'elle est pratiquée depuis longtemps dans d'autres sciences humaines, telles que l'économie ou la sociologie, confrontant une intuition inspirée par des théories abstraites à des

statistiques, des comportements ou des opinions. Outre que nous favorisons le principe *d'apriorisme* dans notre démarche, cette méthodologie présente selon nous trois limites lorsqu'elle est appliquée à la musique :

i) La confrontation d'une théorie à un test statistique sur échantillon ne peut que la réfuter ou en définir ses limites, et non confirmer son exactitude de façon universelle. L'approche par confirmation, prônée par les philosophes du Cercle de Vienne (Carnap, Hahn, Schlick, Wittgenstein, etc.), cherche à montrer qu'une majorité suffisante de cas dérivés du modèle s'accordent aux faits. Au contraire, selon Karl Popper qui défend l'approche par réfutation, un modèle scientifique est dit réfutable si l'ensemble des énoncés testables qui le contredisent est non vide. Dans l'approche par réfutation, le modèle ne doit jamais être réfuté face aux faits pour être valide. Certes, si l'approche par confirmation est généralement trop laxiste, celle par réfutation est trop sévère (Walliser [1994], p.135). Dans une science empirique comme la psychoacoustique, il est difficile de rassembler un échantillon confirmant les énoncés à la fois suffisamment large, irréfutablement représentatif (« tous les hommes »), et homogène dans ses comportements de perception, notamment pour les énoncés à fort contenu culturel. La validation par sondage est donc plus une mesure de la taille du groupe pour lequel l'énoncé n'est pas encore réfuté que la confirmation de sa validité universelle.

ii) L'expérimentation en musique n'objective ni ne démontre une intuition personnelle (paradoxe de Duhem). Lorsqu'il s'agit de musique et non de son, le modèle initial à tester est souvent issu d'une convention de pensée propre au concepteur du modèle (des archétypes de musique tonale par exemple), du fait de l'inexistence de vérité objective dans ce domaine. En effet, la théorie musicale n'est pas une science exacte fondée sur des principes issus de la biologie ou de la physique, mais une science humaine fondée sur des facteurs majoritairement culturels. Les modèles théoriques en musique sont scientifiques uniquement parce qu'ils sont réfutables et testables au sens de Popper, sans être empiriquement vrais partout (Popper [1972])[179]. L'expérimentateur qui n'admet pas ce constat épistémologique s'expose à négliger les facteurs culturels de son énoncé et est conforté

[179] Cette définition n'est pas propre aux sciences humaines. Le mathématicien G. Cantor, inventeur de la théorie des ensembles, écrivait à la fin du XIXème siècle : « *La mathématique est entièrement libre de son développement*

dans sa conviction de pseudo-objectivité par l'échantillon d'auditeurs sur lequel il effectue les tests, échantillon qui partage généralement les mêmes conventions d'écoute que lui (même pays, même époque). Ce problème, intitulé *paradoxe de Duhem* en épistémologie, dénonce ainsi la construction par induction d'une théorie sur des faits que l'on teste ensuite à la lumière de ces mêmes faits (Duhem[1911] p.275), ou plus généralement à la lumière d'échantillon qui partage les mêmes convictions. Pour l'exprimer autrement, l'induction n'est pas un raisonnement par déduction. Le paradigme empiriste, encore présent chez de nombreux psychoacousticiens, fausse parfois la destination théorique de certains énoncés scientifiques pourtant souvent remarquables.

iii) La théorie musicale, même expérimentale, n'est pas une discipline normative. La psychoacoustique ne peut dicter comme vraie aux compositeurs une observation moyenne valable à une certaine époque, pour une certaine classe et dans un certain lieu géographique. Par exemple, selon certaines études, l'auditeur moyen ne percevrait pas, dans un contexte particulier, certaines subtilités harmoniques, mais plutôt le contour mélodique. Le compositeur doit-il contraindre son écriture selon ces comportements, ou chercher au contraire à en être dissident, marginal, tels Scriabine et ses quartes superposées (en simplifiant), Janacek et ses quintes à vide, Moussorgsky et ses modulations étranges, différentes marginalités obtenues par refus de conventions ambiantes et par un long et patient travail sur soi ? Certes, la psychoacoustique a réussi à mettre en évidence nombre de résultats importants sur la perception, mais cette discipline ne fonde pas une théorie de la composition (ce que la plupart des psychoacousticiens admettent volontiers). Elle reste plutôt une sociologie rationnelle et empirique de la musique étudiant les divers comportements d'une catégorie donnée d'auditeurs, sans prétention normative.

c) Les théories conceptuelles de la consonance

- Le troisième type de théories de la consonance, **les théories conceptuelles,** trouve son fondement dans des (pseudo)-raisonnements scientifiques d'origines acoustiques et empiristes (battements entre deux notes, fondamentale virtuelle, etc.) ou numérique et rationaliste (ratios de fréquence). Si le raisonnement tend à être rigoureux et réfutable, il ne doit

---

et ses concepts ne sont liés que par la nécessité d'être non contradictoires et coordonnés aux concepts antérieurement introduits par des définitions précises ».

pas chercher, contrairement aux théories empiriques, à être démenti ou approuvé par l'expérience (propriété d'*apriorisme* de Cairnes et Senior). La plupart de ces théories, fondées sur des principes inductifs et déductifs rigoureux, ont elles-aussi prétendu à des conclusions universalistes, du fait de l'universalisme de la méthode déductive : 'Pythagore' baserait ses constructions théoriques sur la triade, Zarlino sur la *senario* et les six premiers harmoniques, Ptolémée et Al-Farabi sur la singularité des rapports épimores, Helmholtz sur la notion acoustique de battements, l'indice de Terhadt/Stumpf/Pressnitzer sur celle de fusion spectrale. Certaines hypothèses implicites, culturelles, influent pourtant fortement ces résultats. Selon nous, ces théories conceptuelles sur la perception de consonance restent au contraire scientifiquement valables tant qu'elles ne prétendent pas à une quête de vérité absolue, et qu'elles insistent fortement sur leurs hypothèses culturelles de départ, ce qui permet de « marquer » l'ambition du modèle. Comme d'autres sciences humaines (par exemple l'économie, la linguistique ou la sociologie mathématique), les théories conceptuelles sur la consonance fondent en effet leur validité scientifique en présentant des concepts testables, réfutables, formels et prospectifs, c'est-à-dire des modèles logiques abstraits de perception culturelle. Elles sont des représentations formalisées d'une certaine culture, décrivant par le modèle scientifique les conventions contenues dans leurs hypothèses de départ et leur construction.

Contrairement aux théories métaphysiques de la dissonance, les théories conceptuelles présentent une méthodologie cartésienne et scientifique : problème divisible et simplifiable en problèmes plus petits ; concept formel globalisant, donc nécessairement réducteur, appelant à être étendu et nuancé musicalement ; énoncés réfutables. Ces modèles conceptuels peuvent aussi devenir de nouveaux outils prospectifs pour les compositeurs, de nouvelles représentations musicales, et être alors à l'origine de nouveaux espaces sonores. Ainsi, la basse chiffrée de Rameau est inspirée de la représentation zarlinienne de l'harmonie et des découvertes des harmoniques par Sauveur. Les maquamat turcs exposés par Safiyu-d-Din sont issus de combinaisons de positions sur des frettes qui permettent de jouer les intervalles conseillés par Al-Farabi sur le modèle aliquote des échelles de Ptolémée. Les spectres calculés de *Vortex Temporum* de G. Grisey sont issus de la représentation spectrale apprise dans la classe d'acoustique de Leipp, et les transcriptions métriques et tempérées de chants d'oiseaux ont permis l'invention de nouvelles figures chez O. Messiaen. Plus généralement, c'est le

détournement grammatologique d'un système de transcription et de représentation (c'est-à-dire d'un modèle, d'une écriture) et non sa duplication qui créé le nouvel espace particulier au compositeur. Nous ne nous intéresserons donc qu'aux modèles conceptuels, en en étudiant certains des plus célèbres et en en montrant leur relativité culturelle. Nous tenterons ensuite l'ébauche d'une théorie modélisant la perception culturelle de la consonance, en la testant sur différentes cultures et en montrant ses possibilités prospectives pour les compositeurs.

3) Quelques modèles universalistes de consonance

Pythagore fut l'un des premiers en occident à s'intéresser à la notion de consonance des intervalles de hauteurs. Selon Nicomaque (II^{e} siècle de notre ère), Pythagore a su comprendre que l'harmonicité de deux sons dépendait des rapports de multiplicité en valeur entière entre certains paramètres sonores (comme les longueurs des cordes d'un instrument) (Chailley [1967]). Contrairement au modèle d'Archytas de Tarente et son héritage dans la théorie musicale arabe, les pythagoriciens occidentaux issus de l'école de Philolaos admettaient uniquement comme intervalles les rapports des quatre premiers entiers: 4/3 (quarte), 3/2 (quinte), 2/1 (octave), 3/1, 4/1, et leurs composés (Limma, etc..). La quarte était consonante (elle était même la première consonance pour Aristoxène), mais ni les tierces, ni les sixtes ne l'étaient (Boethius [524], p.19). Du fait de l'importance de la théorie de Pythagore chez ses successeurs et de l'importance religieuse des chiffres [1, 2, 3, 4] par rapport au 5, la tierce majeure n'a pu être admise comme scientifiquement consonante qu'à partir des travaux de Zarlino à la Renaissance, en 1558, qui a cherché avec le principe de *senario* à légitimer ce qui se passait dans la pratique polyphonique de son époque.

En 1722, Rameau, s'inspirant des travaux de Descartes, propose dans le premier livre de son *Traité de l'Harmonie, Du rapport des raisons et proportions harmoniques* (Rameau [1722]), de bâtir l'harmonie et les rapports de consonance à partir des concepts de basse fondamentale et de rapports harmoniques naturels (il sera conforté dans sa démarche par la publication des *corps sonores* de Sauveur en 1726). La plupart de ses successeurs (Catel, Riemann, Helmholtz, Bitsch, Schönberg, Hindemith) ont ensuite construit leur traité d'harmonie, d'acoustique ou de composition sur des considérations d'imitation de la nature et de lois physiques : « *Notre gamme majeure (...) s'explique en tant qu'élément trouvé par imitation de la nature* » (Schönberg [1922], p.42).

Les théoriciens épris de sciences physiques ont souvent négligé les biais culturels qui se sont creusés à travers les âges. L'oreille occidentale s'est pourtant peu à peu écartée du spectre acoustique pour accepter la gamme tempérée, et même avoir des difficultés, parfois, à s'accommoder de systèmes harmoniquement plus « justes »[180].

Octave /2e harm.	Quinte /3è harm.	Tierce /5è harm.	Sept.min. /7è harm.	Neuvième /9è harm.	Onzième /11è harm.	Treizième dim. (=do-la b) /13 harm.
O%	0,113%	-O,787%	-1,785%	+0,226%	-2,773%	+2,369%
O cents	2 cents	-14 cents	-32 cents	4 cents	-48 cents	40 cents

Figure IV-1 : Ecart entre les harmoniques justes et les intervalles tempérés (en % et en cents)

Notre oreille s'est de plus accoutumée à des intervalles issus d'harmoniques de rang de plus en plus élevé : octave et quinte dans l'antiquité grecque, tierce et sixte au début du XV^{e} siècle (Dunstable), stabilité des septièmes et des neuvièmes avec Debussy, etc[181]. Enfin, les lois de superposition des intervalles se sont rapidement écartées du seul « ordre spectral » en nombres entiers. La quarte coexiste simultanément avec la quinte et l'octave pendant l'antiquité et le Moyen Age. Lorsque l'intervalle de tierce intervient comme élément harmonique stable à la fin du XIII^{e} siècle, dans les parallélismes du gymel anglais ou dans le *codex de Montpellier*, puis à la fin du XIV^{e} siècle en position finale d'une phrase (Tenney [1988] p.25, Gut [1969] p.189), il apparaît simultanément sous une forme majeure ou mineure, donc sans rapport avec le cinquième harmonique. D'ailleurs, Philippe de Vitry définit dans son *Ars Nova* les tierces à partir des rapports pythagoriciens (32/27 et 81/64) et non à partir des rapports liés au chiffre cinq (5/4, 6/5) (Vitry [1320 trad.1964] p.35 et 42).

Cette éducation culturelle de l'oreille à travers l'histoire minimise le postulat naturaliste d'universalité de la consonance. On s'aperçoit en étudiant certaines musiques extra-occidentales que leurs intervalles « consonants » peuvent être très éloignés des nôtres (la musique des Iatmul en Papouasie Nouvelle-Guinée ponctue par exemple chaque élément de

[180] Pour avoir un aperçu des problèmes de perception des intervalles et notamment du lien entre hauteur et timbre dans certaines cultures, lire Arom, Léothaud, Voisin [1997]

[181] cependant, ce n'est pas selon ce principe « d'avancement » dans le spectre que ces compositeurs ont trouvé ces principes. Cet argument aux sous-entendus normatifs était celui de Chailley. Zarlino était par exemple un rationaliste et non un acousticien. Il ne connaissait pas encore la notion d'harmoniques, établie deux siècles plus tard par Sauveur.

phrase par une seconde, intervalle de détente)[182]. Dans sa théorie de la tonalité, Hugo Riemann s'appuie sur l'acoustique et les mathématiques, tout en privilégiant le concept d'aperception sur celui de perception, et le théoricien Fétis favorise une approche plus métaphysique de la dissonance, liée aux notions culturelles de tension/détente et de stabilité tonale (Dahlhaus [1967] p.10). Hugo Riemann évoque en effet une perception « conscientisée » des hauteurs dépassant la simple perception du phénomène acoustique et cherchant selon le contexte culturel à entendre un intervalle dans sa décomposition en intonation juste[183], ce que Vogel, reprenant Leibniz et Kant, appelle le concept riemanien *d'Aperception* des hauteurs (Noll [2002], p.2). La psychoacoustique expérimentale moderne tente de s'adapter à ces nuances culturelles. Ainsi, le psychoacousticien Steve McAdams différencie la « dissonance sensorielle » de la « dissonance cognitive » (McAdams & Deliège [1989]). La « dissonance sensorielle » correspond à une réalité du phénomène physique, alors que la « dissonance cognitive » dépend de nombreux phénomènes psychologiques et culturels.

a) La dissonance sensorielle

La dissonance sensorielle est liée à la perception de battements entre deux fréquences (McAdams [1994] p.308). Cette dissonance est plus forte lorsque les deux fréquences ou leurs multiples sont proches, ou bien lorsque l'une des fréquences provoque elle-

---

[182] E. von Hornbostel écrit en 1910 « *Les chants des Iles de l'Amirauté appartiennent au groupe le plus intéressant et le plus inhabituel que l'ethnologie de la musique ait vu. Tous les chants des danses de Baluan (enregistré par le Dr. Thurnwald) ont une structure bipartite. Pour être précis, les lignes sont en intervalles de seconde, et, en général, les finales sont sur cet intervalle : Des harmonies dissonantes sont en conséquence presque exclusivement utilisées, à l'exception de rares unissons et d'intervalles larges très isolés. Alors que toutes les musiques sont à l'origine monophoniques, et que la polyphonie a commencé de se développer assez tardivement, on peut s'attendre à ne trouver que les premiers harmoniques proches de l'unisson : premièrement des octaves, ensuite des quintes et des quartes,enfin des tierces et des sixtes. Ceci parait être le développement usuel. C'est pourquoi les séquences de secondes des Iles de l'Amirauté présentent un problème nouveau dans les domaines de l'Histoire evolutionariste, de la théorie de la musique, et de la psychologie. Et surtout, c'est une énigme pour l'esthétique générale de la musique. Cette utilisation de seconde n'est pas totalement isolée, dans les deux sens du terme. Elle peut également être trouvée dans les chants populaires d'istrie, et dans des exemples limités et isolés avec les Maku d'Afrique de l'Est et les Wolof de Senegambia. Franchinus Gafurius (*Praticae musicae, 1496*), raconte que dans la litanie ambrosiane de la mort à Milan, les secondes étaient entendus parmi d'autres intervalles. (...) [*Pour les Baluan,*] on ne peut pourtant conclure à une impression de dureté ou de manque de fusion que ces dissonances ont chez nous.* » Propos rapportés par l'ethnomusicologue allemand Richard Thunnrwald, en 1910, qui effectua les premiers enregistrements de cette musique, dans « Im Bismarckarchipel und auf den Salomoinseln 1906-1909 », *Zeitschrift für Ethnologie,* 42(1) :140-1, Berlin.

Notons aussi que les intervalles de seconde majeure 9/8 et de seconde mineure 16/15 sont considérés comme consonants dans la représentation Ptoléméenne, reprise par Al-Farabi : « ***Quand à l'autre intervalle qui se rapproche du reste, c'est celui dont les degrés extrèmes, grave et aigu, ont pour rapport 1+1/15. Sa consonance est si évidente qu'elle est acceptée par tous.*** » (Al-Farabi in D'erlanger[1938], T.I, p.67, et p.101 pour le ton pythagoricien 9/8).

[183] Riemann, H.: "Ideen zu einer Lehre von den Tonvorstellungen" in: *Jahrbuch der Musikbibliothek Peters 21/22,* Leipzig 1914/15. 1-26

même des battements (fréquences graves). On identifie, dans le cas de deux fréquences supérieures à 500 Hertz, le seuil de « consonance sensorielle » à un intervalle d'environ un demi-ton à un ton (Helmholtz [1868] p.218, P.Rash & R.Plomp in Deutsch [1982] p19). Cette notion de dissonance sensorielle, visible dans le médium et l'aigu, est intitulée par Helmholtz « *rugosité psychoacoustique* » et a été étendue par Plomp et Levelt et par Kameoka et Kuriyagawa (L.A. Dewitt & R.G. Crowder [1987]). La prise en compte des harmoniques permet d'expliquer en partie la dissonance sensorielle pour des intervalles plus grands que la tierce.

b) La dissonance sensorielle de Helmholtz

Dans la deuxième partie de son principal ouvrage, Helmholtz, un des fondateurs de l'acoustique moderne, s'intéresse à la consonance des intervalles (Helmholtz [1868 réed. 1968] p.253 à 382 et Helmholtz [1868, trad.1990] p.191 à 305). La difficulté de cette étude réside pour Helmholtz dans le fait que la consonance est un problème de perception humaine, et non d'acoustique. Helmholtz va donc modéliser une oreille *physiologique* comme combinaison de résonateurs indépendants (Chouvel [1998], p.132). La méthode de Helmholtz a été longtemps discutée, critiquée (Francès [1958] p.364), réactualisée (Sethares, Plomp & Levelt, Kameoka & Kuriyagawa). Nous revenons cependant sur cette méthode plus que centenaire, basée sur des constats acoustiques et des raisonnements purement déductifs, pour tenter d'expliciter quelques hypothèses culturelles cachées et inconscientes, héritées de la musique tonale dont Helmholtz était naturellement impregnée, qui relativisent la normativité et l'universalité du modèle sans en contester sa force opératoire.

La démonstration d'Helmholtz sur la consonance débute par le constat que deux sons purs légèrement désaccordés l'un de l'autre engendrent des battements acoustiques. Il schématise ensuite inductivement la notion acoustique de battement à travers le concept de *dureté* : « *la dureté disparaît quand le nombre de battements est égal à zéro, elle atteint son maximum pour 33 battements, et décroît ensuite pour un nombre croissant de battements* » ([trad.1990] p.216). Pour Helmholtz, 33 battements correspondent en effet au maximum de dureté (33 vibrations par seconde serait selon lui la limite entre rythme et fréquence ([trad.1990], p.225)). Helmholtz calcule ensuite les battements provoqués par chacun des partiels de deux sons harmoniques : deux sons harmoniques en relation de fausse quinte de

type [200Hz-301Hz], par exemple, engendrent deux séries de partiels harmoniques [200, 400, 600, 800, 1000, etc...] et [301, 602, 903, ...]. Ces partiels provoquent deux à deux des battements dont l'effet s'additionne selon un « chiffre d'influence » lié à l'enveloppe spectrale du son et provoque la dureté globale de l'intervalle. Ce chiffre d'influence s'accroît pour des partiels bas (par exemple le 3^{e} harmonique du premier son, [600 Hz], engendre des battements avec le 2^{e} harmonique du second son, [602 Hz]). Helmholtz prend en fait comme hypothèse un son harmonique à enveloppe spectrale régulièrement décroissante et se limite dans la pratique à un son harmonique à neuf partiels. Fixant la fondamentale du premier son sur do et faisant évoluer le second sur deux octaves, Helmholtz calcule enfin pour chaque position du second son les battements engendrées par les partiels de ce son avec les partiels du premier son. L'addition des effets de battements engendre, en prolongeant les points, une courbe de « consonance » ([éd. allemande 1975] p.318 et courbe reprise p.537, [trad.1990] p.247 et reprise p.437, voir figure IV-2).

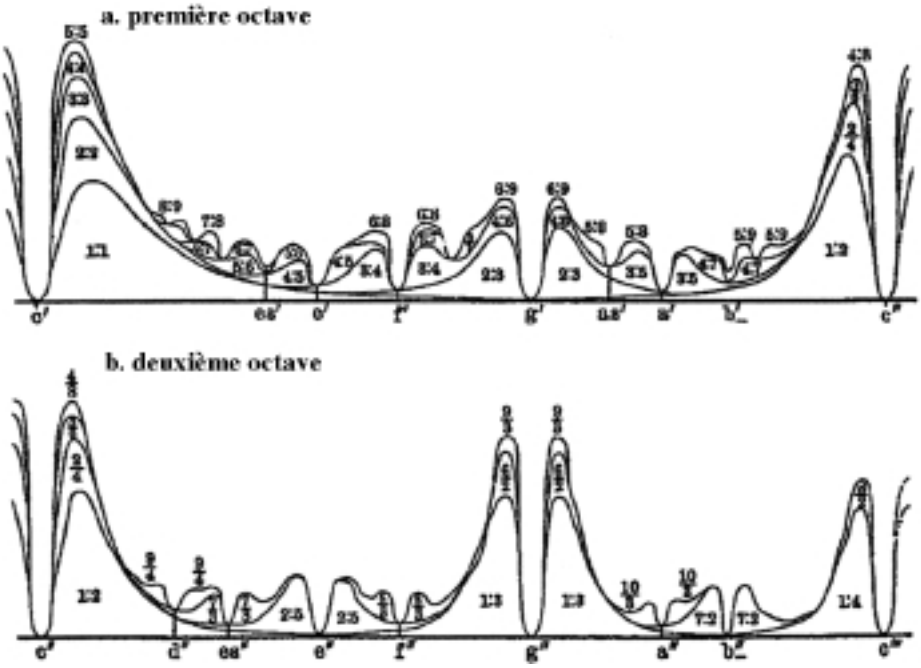


Figure IV-2 : Courbe de dissonance d'Helmholtz

Helmholtz conclut de sa courbe une hiérarchie des consonances, qui correspond relativement aux réalités de la perception tonale : l'unisson, l'octave, la douzième et la double octave sont, selon la typologie d'Helmholtz, des *consonances absolues*, la quinte et la quarte des *consonances complètes*, les tierces et sixtes majeures des *consonances moyennes*, les tierces et sixtes mineures des *consonances incomplètes* ([éd. allemande. 1975], p.320). Helmholtz reconnaît certes que cette hiérarchie ne correspond pas totalement à celle établie par

Francon de Cologne au XII^{e} siècle, ou celle de Philippe de Vitry et Jean de Murs au XIV^{e} siècle, mais constate la scientificité de son approche déductive et sa validité a posteriori par rapport aux hiérarchies de consonance établies dans la musique tonale de son époque (p.322).

Plusieurs remarques peuvent faites :

i) Hypothèse explicite sur le son de départ.

Comme le reconnaît Helmholtz lui-même, les calculs ont été réalisés dans le cas d'un son harmonique d'enveloppe spectrale régulièrement décroissante (les calculs d'intensités des battements de son annexe XV sont calculés pour des sons apparentés à ceux d'un violon, Helmholtz[1975], p.651). Sethares a calculé avec la même méthode des courbes de dissonance très différentes pour des sons inharmoniques (flûte de pan, spectre octophonique de Pierce, spectres contractés, cloches virtuelles, etc.) (Sethares [1998], p.97 à 111).

ii) Superposition des courbes de battement

La forme de la courbe de consonance est déterminée empiriquement par la forme de chacune des courbes de battement et par les pondérations prises pour chaque partiel (« chiffres d'influence »). Une autre forme de courbe de battement donnerait d'autres résultats[184]. De plus, pour Helmholtz, les courbes de battement sont additionnables, c'est-à-dire qu'à une position précise située entre deux unissons de partiels se superposent les deux différents battements. En Mib, par exemple, sont additionnés les restes du battement issu du presque-unisson des deux fondamentales sur do, celui entre les deux seconds partiels des deux fondamentales sur do, du battement entre le 5^{e} partiel de do et le 4^{e} partiel de mi, du reste du battement entre le 5^{e} partiel de mib et le 6^{e} partiel de do, et de l'amenuisement des battements entre la 7^{e} harmonique de do et le 6^{e} harmonique d'un Mib. C'est cette superposition pondérée de ces différents effets qui dessine la forme générale de la courbe de consonance, et établit finalement une hiérarchie des consonances (sommets et vallées plus ou moins hautes).

iii) Choix des points et prolongement par continuité de la courbe de battement

Cette superposition de courbes n'est rendue possible que parce que Helmholtz, qui part d'un phénomène extrêmement local (battements à l'adhérence[185] d'un unisson), fait

[184] Plomp & Levelt ont montré que la forme et le maximum de la courbe de battement perçue étaient en particulier dépendants de la fréquence des deux sons purs.

[185] Le terme *adhérence d'un point* signifie, en topologie mathématique, l'espace dans la proximité de ce point

l'hypothèse d'une courbe de battement continue, qu'il prolonge d'un trait continu dans une région de moyenne proximité avec le point de battement. Observons par exemple le point Mi (e', tierce). La « vallée » qu'on observe sur la courbe consonance de Helmholtz est issue de la superposition du battement provoqué par le presque-unisson entre le 4e harmonique de Mi et le 5e harmonique de Do (courbe de battement pour Mi, ratio 4 :5), mais également de la prolongation par continuité jusqu'au mi bécarre de la courbe de battement en Mib, issu du presque-unisson de son 5e harmonique avec le 6e harmonique de Do.

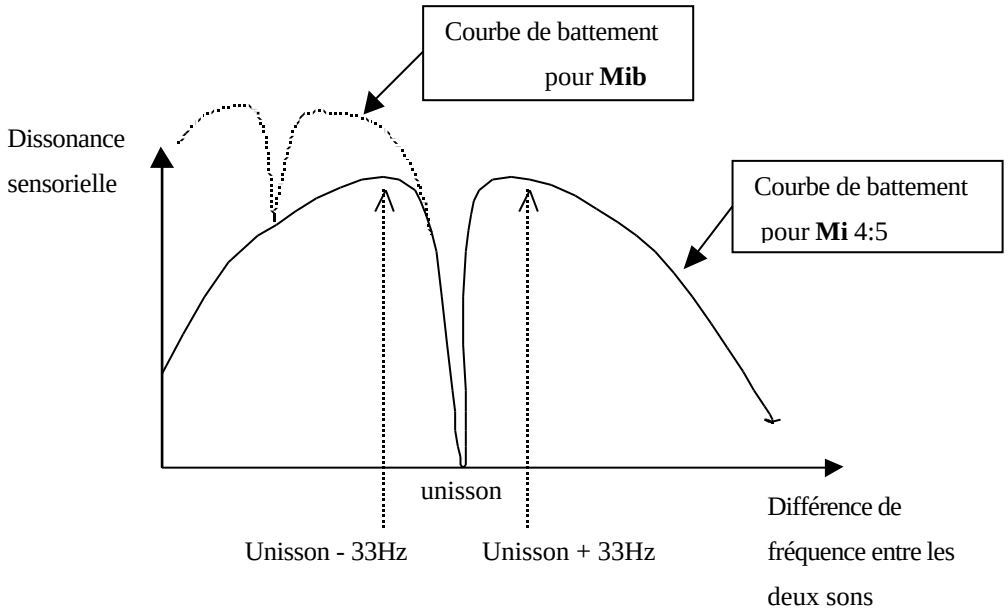


Figure IV-3 : superposition de deux courbes de battement continues

Cette pratique de prolonger un phénomène local par une courbe continue est traditionnelle en physique mais n'est valable mathématiquement que si le phénomène étudié, ici des battements, est de nature continue. Or, que signifie une courbe de battement ? En modélisant le phénomène de battement à l'adhérence d'un unisson de partiels par une courbe continue de forme simple (nulle à l'unisson, croissante à son adhérence pour atteindre son maximum autour de 33Hz de différence puis redécroitre), Helmholtz a en fait schématisé un phénomène de battement acoustique complexe qui concerne dans la réalité plusieurs dimensions psychoacoustiques de perception du son, en particulier le sentiment que deux sons fusionnent subitement en un seul (phénomène discontinu), l'apparition psycho-acoustique subite d'un battement d'amplitude sur ce son (phénomène discontinu, pas nécessairement aux mêmes paliers que la sensation de fusion), et une élévation de sa fréquence. La sensation de battements est donc un phénomène perceptif discontinu et chaotique (voir encadré

mathématique ci-dessous), et l'énergie qui en résulte n'est temporellement pas stable. Il en découle que la schématisation du battement par une courbe prolongée par continuité dans la proximité moyenne du point de battement reste une hypothèse forte et orientée, et que la superposition de plusieurs courbes de battement prenant origine à des positions différentes sur l'axe des fréquences est, selon nous, contestable.

Note math. : mathématiques des battements

Si on note un son sinusoïdal pur par la formule $A.\sin(\varpi t+\phi)$ avec A l'amplitude, ϖ la fréquence et ϕ la phase, deux sons sinusoïdaux purs de fréquence proche susceptibles de provoquer des battements engendrent un signal :

$$[A.\sin(\varpi t+\phi) + A.\sin((\varpi+\Delta\varpi)t+\phi)] = 2\ .A.\cos[(\Delta\varpi/2)t].\sin[(\varpi+(\Delta\varpi/2))t]$$

Lorsque $\Delta\varpi$ est petit, le signal obtenu est équivalent à un son sinusoïdal unique de fréquence quasiment identique mais un peu fausse ($\varpi+(\Delta\varpi/2)$), et d'amplitude deux fois plus grande (2.A), qui vibre très lentement en amplitude du fait du terme en cosinus ($2.A.\cos[(\Delta\varpi/2)t]$).

Lorsque $\Delta\varpi$ devient plus grand (partie décroissante de la courbe d'Helmholtz après son maximum), la modulation d'amplitude (terme $2.A.\cos[(\Delta\varpi/2)t]$) et la sensation de « désaccord » (terme $\sin[(\varpi+(\Delta\varpi/2))t]$) deviennent plus perceptibles, à une fréquence similaire. A ces deux phénomènes s'ajoutent d'autres phénomènes perceptifs discontinus, comme la sensation de séparation des deux sons.

La perception de « battements » est donc liée à la fois à une sensation de fréquence « fausse », á une sensation de modulation d'amplitude, et à une sensation de fusion/séparation de deux sons. Elle est donc assez chaotique et dépend de plusieurs phénomènes psychoacoustiques indépendants,

Le phénomène de battement est une caractéristique liée à un point discret et à son adhérence. Or, du fait qu'à tout nombre réel on peut associer une fraction rationnelle aussi proche que l'on veut[186], le problème des battements intervient en tout point, et non seulement en quelques points isolés (mib, mi). Certes, les pondérations ne sont pas les mêmes, mais un point de battement avec des partiels de pondération faible peut avoir plus d'impact qu'un point de battement avec des partiels de pondération forte si on se trouve pour les partiels de pondération faible au maximum de leur courbe de battement, et pour ceux à pondération forte à une valeur faible de la courbe de battement (alors que Helmholtz ne calcule sa courbe que pour les neuf premiers partiels, faisant l'hypothèse qu'ensuite, les maxima des courbes de battement avec des partiels de rang plus élevés restent négligeables).

[186] On dit en mathématiques que l'ensemble des rationnels est dense dans celui des réels

Par exemple, un intervalle irrationnel car tempéré [do-Fa 1/4 bémol] de première approximation 1,29683955..., qui peut aussi s'approximer par le ratio 341/263, engendrera un phénomène de battement entre la 263^{e} harmonique du do et la 31^{e} harmonique du Fa# (11^{e} harmonique). À l'adhérence de cette position peut éventuellement se prolonger le battement pour l'intervalle 1,3=13/10 (entre la 13^{e} harmonique de do et l'octave de la 5^{e} harmonique du $fa_{1/4\ bémol}$). Dans cette zone apparaît aussi la fin de la prolongation du battement de la quarte zarlinienne 4/3=1.3333. La courbe de battement globale dans cette zone sera donc influencée par la forme de ces prolongations de courbe. La « courbe » d'Helmholtz, outre les hypothèses acoustiques qui la sous-tendent (son harmonique à enveloppe spectrale décroissante), est donc une généralisation par continuité de différentes sensations de discontinuité en tout point, que l'on réduit à quelques points seulement, alors qu'il faudrait peut-être considérer le phénomène de battement pour toute position, au seul point de battement et dans son adhérence très proche[187].

On verra ci-après que les indices d'Hellegourch et d'Euler, qui ne considèrent que l'écriture des ratios de chaque intervalle sans les exprimer en nombre réel, reprennent en fait le principe d'Helmholtz sans chercher à généraliser le phénomène de battement d'un point aux points environants les plus proches. Ces indices ne s'intéressent à aucune propriété acoustique de ce son « théorique » indéfini (ce qui pose problème, parmi d'autres).

iv) Pourquoi la courbe d'Helmholtz est-elle presque « tonale » ?

Même si Helmholtz décrit souvent, dans les pages précédant et suivant sa courbe, les différents intervalles selon des ratio zarliniens (Helmholtz [ed. all. 1975] p.306, 312, 316, ...), qui fondent théoriquement les hiérarchies de consonance de la musique tonale, et que sa conclusion (p.320) est une comparaison avec les consonances tonales, sa courbe de consonance n'est issue que du rapport de partiels harmoniques jusqu'au neuvième partiel. Cette courbe n'a donc a priori aucun présupposé tonal. Or, le résultat est très proche du paradigme tonal. La raison est subtile : elle réside selon nous dans le type de son que Helmholtz prend en compte. Helmholtz considère en effet un son harmonique à neufs partiels seulement afin de simplifier les calculs, et d'influence décroissante. Ce choix en apparence anodin a pour conséquence, dans

[187] Une courbe de battement pour un son idéal est, selon nous, topologiquement discontinue en tout point.

les faits, d'être optimal pour que la courbe de consonance obtenue soit la plus proche des conventions de la musique tonale.

Nous avons calculé dans la figure IV-4, pour la première octave, les différents unissons de partiels pour un son possédant différents nombres d'harmoniques : Pour un son à trois partiels, il y a trois battements possibles : à l'unisson, à l'octave, et lorsque le deuxième partiel du second son rencontre l'octave du premier (3/2). Pour un son à cinq partiels, il y a six positions de rencontre, pour un son à sept partiels dix positions, etc[188]...

Nous avons plus généralement comparé les positions des battements obtenus pour un son comportant un nombre variable de partiels avec un échelle zarlinienne classique[189] sans tenir compte des intervalles considérés comme « dissonants » (demi-ton et triton). Les deux dernières lignes du tableau calculent la proportion de positions « recouvrant l'échelle » zarlinienne, et inversement le nombre de positions de battements qui sont de types zarliniennes. On s'aperçoit alors qu'un calcul de battements pour un son harmonique de neuf partiels pertinents permet le premier de retrouver les positions de toute la gamme zarlinienne « consonante » (100% de zarliniens présents), et que la plupart des positions sont de type zarlinienne (une majorité de positions, 66%, sont zarliniennes pour un son à neuf partiels, alors qu'une minorité de positions, 45%, sont zarliniennes pour un son à onze partiels). En regardant plus en détail, on s'aperçoit que les battements de type non zarlinien pour un timbre à neuf partiels[190] sont d'écriture fractionnelle élevée (avec des 7) et donc de pondérations faibles (8/7, 7/6, 9/7, 7/5, 7/4), c'est-à-dire qu'ils interviennent peu sur la courbe de battement résultante (« chiffre d'influence » faible). De façon optimale, Helmholtz prend d'ailleurs un son où les cinq premiers harmoniques, qui fondent le principe zarlinien, ont des pondérations fortes et les harmoniques supérieures une pondération plus faible.

---

[188] on notera la similarité du tableau avec la suite de Farey (plus exactement, avec la [(suite de Farey)+ 1]). La suite n'est cependant pas complète. Il manque en effet certains éléments, notamment dans le bas du tableau.

[189] [ut=1, ré=9/8, Mib=6/5, Mi=5/4, Fa=4/3, sol=3/2, lab=8/5, la= 5/3, sib=9/5]

[190] Une courbe avec un son de sept harmoniques recouvre assez bien, également, les principes tonals issus de l'échelle zarlinienne. Paradoxalement, alors que l'échelle de Zarlino est basée sur la tierce juste, donc a posteriori sur la considération des cinq premiers partiels, et non du 7^{e}, considérer un son à cinq harmoniques n'aurait pas été un bon candidat.

3e harm.	*5e harm.*	*7e harm.*	*9e harm.*	*11e harm.*	*13e harm.*	*15e harm.*	*(pour mémoire : éléments communs à la gamme chromatique de Zarlino)*
1	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**Ut**
						15/14	
						14/13	
					13/12	13/12	
					12/11	12/11	
				11/10	11/10	11/10	
				10/9	10/9	10/9	
			9/8	**9/8**	**9/8**	**9/8**	**Ré**
			8/7	8/7	8/7	8/7	
						15/13	
		7/6	**7/6**	7/6	7/6	7/6	
					13/11	13/11	
		6/5	**6/5**	**6/5**	**6/5**	**6/5**	**Mib**
				11/9	11/9	11/9	
	5/4	**5/4**	**5/4**	**5/4**	**5/4**	**5/4**	**Mi**
						14/11	
			9/7	9/7	9/7	9/7	
					13/10	13/10	
	4/3	**4/3**	**4/3**	**4/3**	**4/3**	**4/3**	**Fa**
						15/11	
				11/8	11/8	11/8	
		7/5	**7/5**	7/5	7/5	7/5	
				10/7	10/7	10/7	
					13/9	13/9	
3/2	**3/2**	**3/2**	**3/2**	**3/2**	**3/2**	**3/2**	**Sol**
						14/9	
				11/7	11/7	11/7	
			8/5	**8/5**	**8/5**	**8/5**	**Lab**
					13/8	13/8	
	5/3	**5/3**	**5/3**	**5/3**	**5/3**	**5/3**	**La**
					12/7	12/7	
		7/4	**7/4**	7/4	7/4	7/4	
			9/5	**9/5**	**9/5**	**9/5**	**Sib**
				11/6	11/6	11/6	
					13/7	13/7	
						15/8	Si
2	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**	**Do**
22%	***55%***	***86%***	***100%***	***100%***	***100%***	***100%***	***Zarliniens présents***
100%	***100%***	***80%***	***66%***	***45%***	***27%***	***27%***	***Fractions de type zarlinien***

Figure IV-4 : Coïncidences de partiels selon le rang harmonique atteint, et comparaison avec l'échelle de Zarlino

Un son à neuf partiel est donc optimal pour obtenir une courbe de type de consonance quasiment « tonal ». Helmholtz nuance d'ailleurs ses conclusions dans la troisième partie de son ouvrage en essayant de placer sur sa courbe les intervalles d'autres échelles ([1990] p.247), comme les tierces mineures pythagoriciennes, qui restent assez dissonantes dans son modèle.

v) Généralisation et extension des travaux d'Helmholtz

Le travail de généralisation de la courbe d'Helmholtz à d'autres spectres, effectué par Sethares (Sethares [1998]), a constitué une relativisation culturelle essentielle des conclusions d'Helmholtz. Les psychoacousticiens Plomp et Levelt ont de leur côté repris expérimentalement les travaux d'Helmholtz, en testant par sondage les différentes hypothèses et en les affinant et les relativisant. Chez Plomp & Levelt, la courbe de battement n'a d'ailleurs plus un maximum fixe à 33 Hz mais dépend de la fréquence de la fondamentale.

Dans une approche également proche, a priori, de celle d'Helmholtz et de Plompt & Levelt, Jean-Marc Chouvel propose une théorie de la *concordance harmonique* fondée sur l'énergie et la concordance résultant de la fusion de deux partiels (phénomène de « couplage ») (Chouvel [1998], p.125 à 175). Notons que cette théorie est purement acoustique, alors qu'Helmholtz construit sa courbe de dissonance sensorielle sur une sensation psychoacoustique de battement. Dans la théorie de Chouvel, deux partiels proches ont une courbe d'énergie maximale à leur concordance, qui décroit ensuite lorsqu'ils s'éloignent l'un de l'autre (la courbe d'énergie forme une courbe de Gauss « en cloche » dont le maximum est à l'unisson, contrairement aux courbes de battement de Helmholtz ou de Plomp & Levelt qui ont une valeur nulle lorsque les deux fréquences sont égales, puis croissent rapidement jusqu'au maximum de battements et rediminuent ensuite). Les deux partiels passent ainsi de la fusion à la discordance, puis à la séparation. Par cette théorie de la *concordance harmonique*, Jean-Marc Chouvel montre que plus le son a un rang élevé de partiels, plus la courbe devient irrégulière (fig. 42, p158), c'est-à-dire qu'elle possède un nombre élevé de positions de battement, corroborant les résultats du tableau IV-4 ci-dessus. De plus, plus l'indice d'indétermination spectrale ("épaisseur" de chaque harmonique) est petit, plus cette courbe est irrégulière. Pour un spectre théorique fait d'harmoniques pures, on obtiendrait une courbe de concordance *discontinue* partout (Chouvel [1998], figure 43, p. 160), ce qui coïncide avec la remarque sur l'aspect « local » du phénomène de battement (le modèle d'Hellegouarch

présenté ultérieurement serait a posteriori un cas limite, utopique, de la théorie de Chouvel pour des sons « purs »). Cette théorie d'essence acoutique relativise fortement le modèle d'Helmholtz, tout en proposant des modèles propres aux particularités acoustiques du son étudié, quelles qu'elles soient, contrairement aux modèles d'Euler et d'Hellegouarch.

c) La dissonance spectrale

Plutôt que de considérer les battements entre les partiels de deux sons, certains psychoacousticiens ont privilégié à la fin des années 70, à la suite de Stumpf, une autre conception de la consonance, plus conforme à une pensée de l'agrégat plutôt que de l'intervalle : un accord est consonant s'il s'insère à l'intérieur d'un spectre harmonique. Cette démarche, qui évacue elle aussi les facteurs culturels et considère une équivalence entre consonance et harmonicité, est appelée **consonance cognitive spectrale**, bien que nous contestons, nous le verrons avec la définition de Festinger, l'adjectif « cognitif »**.** Sa méthode de calcul évalue dans la pratique la distance entre un agrégat sonore et le spectre harmonique le plus proche, en tentant de « caler » le maximum de composantes de cet agrégat à l'intérieur d'un spectre harmonique et d'en chercher sa fondamentale virtuelle (Terhardt [1974]), appelée parfois fondamentale résiduelle (Schaeffer [1966], p.181)[191]. On mesure ensuite la dissonance cognitive spectrale en considérant que plus la fondamentale virtuelle de l'agrégat est basse, plus celui-ci est inharmonique.

Afin d'approfondir notre plaidoyer pour une plus grande prise en compte de la culture dans les méthodes scientifiques traitant de la dissonance musicale, nous relevons pour cette autre méthode « naturaliste » trois contradictions techniques relativisant un possible universum de la consonance :

i) Sensibilité aux paramètres internes

L'algorithme d'Euclide que ce modèle utilise demande à fixer un intervalle de tolérance ε arbitraire. Or le choix de ce nombre influe le calcul de la fréquence fondamentale résiduelle. Cet ε correspond en fait à la marge d'acception que l'on se donne lorsqu'on cherche à « caler » l'agrégat avec les harmoniques d'un spectre (épaisseurs des « tiges du peigne » représentant le spectre, voir figure IV-5 ci-dessous) :

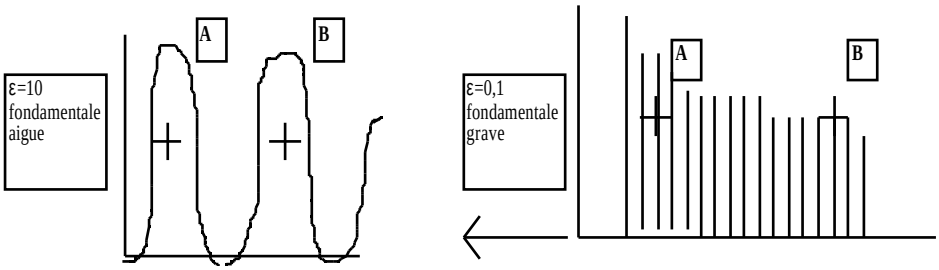


*Figure IV-5 : lien entre la détermination de la fondamentale résiduelle et la valeur d'*ε

Si ε *est faible (figure de droite), les bandes du « peigne spectral » sont très étroites, et seules quelques fréquences rigoureusement multiples entre elles « entrent » dans ce spectre, sauf dans le haut du spectre (les harmoniques sont plus serrés). Pour un agrégat assez inharmonique, l'algorithme détermine alors une fréquence résiduelle extrêmement grave, afin de « caler » le maximum de fréquences de l'agrégat sur ce « peigne harmonique». Au contraire, si* ε *est élevé (figure de gauche), les lames du « peigne spectral » sont beaucoup plus larges, et deux fréquences quelconques A et B se calent plus facilement à l'intérieur de deux bandes, même dans le bas du spectre, c'est-à-dire pour une fondamentale résiduelle aiguë. Mais dans ce cas, la multiplicité des deux fréquences avec la fondamentale résiduelle est approximative.*

Le tableau IV-6 ci-dessous présente par exemple le calcul de la fréquence fondamentale résiduelle, (considérée comme indice de consonance spectrale), pour un intervalle composé d'une note de fréquence 65,5 Hz, et d'une note de fréquence variable. Le calcul a été effectué selon l'algorithme d'Euclide pour trois valeurs différentes d'ε. Leur valeur influe le calcul de la fréquence de la fondamentale virtuelle obtenue pour chaque intervalle [A, B].

Fréquence note B (arrondie au Hz)	**262 (do3)**	**269 (do♯)**	**277 (do#)**	**285 (ré♭)**	**294 (ré)**	**308 (ré♯)**	**311 (ré#)**	**320 (mi♭)**	**330 (mi)**	**339 (mi♯)**	**349 (fa)**	**359 (fa♯)**	**370 (fa#)**
epsilon = 0,1	65,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
epsilon = 1	65,5	2	1,5	1,5	1,5	1,5	16	1,5	2,5	3,5	21,5	1,5	1,5
epsilon = 10	65,5	65,5	15	19,5	32	19,5	16	58	65,5	11,5	21,5	31,5	19,5

Fréquence B (Hz)	**381 (sol♭)**	**392 (sol)**	**403 (sol♯)**	**415 (sol#)**	**427 (la♭)**	**440 (la3)**	**453 (la♯)**	**466 (la#)**	**480 (si♭)**	**494 (si)**	**508 (si♯)**	**524 (do4)**	**1318 (do5)**	**45 (fa♭)**
epsilon = 0,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	65,5	0,5	0,5
epsilon = 1	5,5	64,5	4,5	21,5	1,5	1,5	5	1,5	21,5	2,5	1,5	65,5	1,5	4
epsilon = 10	12	64,5	65,5	21,5	31,5	18,5	60	65,5	21,5	30	16	65,5	65,5	20,5

*Figure IV-6 : Détermination selon différentes valeurs d'*ε *de la fondamentale virtuelle (en Hz) pour un agrégat de deux notes : A=65,5 Hz (=Do1) et l'autre variable.*

[191] Dans la pratique, on détermine la fondamentale résiduelle en calculant le Plus Grand Commun Diviseur (P.G.C.D.) des fréquences de l'agrégat, que l'on obtient par l'algorithme d'Euclide (cf. annexe A).

Un deuxième exemple (figureIV-7, 2a) présente la fondamentale virtuelle d'un accord. En changeant légèrement l'indice ε (de 24 à 25 sur une échelle [1-99]), celle-ci baisse d'environ une neuvième. Ces deux exemples montrent que l'indice de consonance spectrale est dépendant des variables internes à l'algorithme de calcul.

ii) Contradiction avec certaines conventions culturelles

La méthode de détermination de la dissonance cognitive spectrale se heurte également à plusieurs habitudes culturelles de l'oreille occidentale. Un agrégat et son renversement ont par exemple, selon cette méthode, deux fondamentales distantes d'au moins une octave (donc d'indice de consonance très différent) (figure IV-7-2b). De plus, une résolution cadentielle V-I accroît la dissonance spectrale (figure 2c).

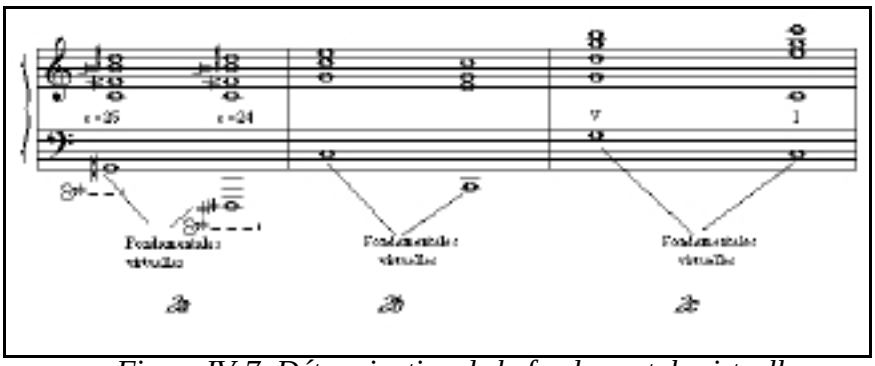


Figure IV-7: Détermination de la fondamentale virtuelle.

2(a) : *Pour un même accord, une légère modification de ε (25 à 24 sur le logiciel Patchwork) abaisse d'environ une neuvième la fondamentale virtuelle.*

2(b) : *Un accord et son renversement possèdent deux fondamentales virtuelles distantes d'une octave. Ainsi, lorsque celle-ci est considérée comme indice de dissonance, un accord et son renversement sont de dissonance différente.*

2(c) : *La dissonance s'accroît selon cette méthode lors d'une résolution cadentielle.*

Le calcul de la dissonance d'un agrégat par la méthode de la fondamentale virtuelle, issu d'une réflexion sur le spectre acoustique, ne prend donc pas en compte les mécanismes cognitifs d'ordre culturel tonal de perception des intervalles : les renversements ne sont pas pris en compte ; la tierce mineure est relativement dissonante ; des mécanismes culturels tels que les mouvements cadentiels, les accords sur pédale, les accords altérés de Liszt ou de Wagner, ou les retards harmoniques échappent à cette conception de la consonance. Ces contradictions n'invalident cependant pas la méthode. Il faut simplement prendre conscience que celle-ci n'élabore pas une définition universelle de la dissonance, mais une représentation

de la dissonance attachée au paradigme esthétique sous-jacent aux théories de Stumpf (fusion spectrale).

d) Une définition relativiste de la consonance

Nous avons tenté de relativiser certains modèles universtalistes de consonance, notamment la courbe d'Helmholtz et l'indice de consonance spectrale. Ces deux indices sont basés sur des hypothèses fortes concernant le son étudié (sons harmoniques entretenus), l'universalité de l'écoute (l'oreille est un récepteur acoustique sans biais), et des hypothèses plus subtiles, parfois implicites, qui orientent les résultats dans le sens des paradigmes auxquels appartiennent inconsciemment leur inventeur (spectraux, tonals, etc.).

Afin de dépasser une définition acoustique et universaliste de la consonance, nous postulons que la dissonance concerne un processus cognitif de haut-niveau biaisé par des conventions monocentrées. Ceci signifie en particulier que la culture prime sur une universalité de perception et que la perception d'un intervalle est cognitive. C'est pourquoi nous privilégierons les concepts de « consonance cognitive » et d'« aperception ». Selon le théoricien du behaviorisme Jean-Pierre Poitou, reprenant les théories de la dissonance cognitive du psychologue Festinger, « *il y a consonance* [cognitive] *entre deux notions si l'une des deux découle de l'autre, ou autrement dit, si l'une des deux implique psychologiquement l'autre* » (Poitou[1974] p.11). Si on considère que l'écoute d'un agrégat renvoie à une représentation mentale de schèmes cognitifs virtuels, assimilés culturellement, intuitivement, ou physiologiquement par l'auditeur, cette définition s'applique à la musique. Les travaux psychoacoustiques traitant de la dissonance cognitive gardent d'ailleurs cette approche de la confrontation d'une réalité à une notion mentale, même si les schèmes mentaux sont parfois réduits à des mécanismes acoustiques.

Epistémologiquement, cette définition relativiste implique qu'il faut considérer les différents modèles positifs de consonance et de calcul des intervalles comme une **représentation formelle d'une convention culturelle.** Toute argumentation universaliste, acoustique ou mathématique, n'est qu'une légitimation a posteriori de ce modèle, mais sa réelle justification est sa proximité avec la convention culturelle qu'il tente de décrire. Le système zarlinien s'est par exemple imposé et justifié parce qu'il représentait mieux que le système

pythagoricien, à partir du XV^e siècle, l'intégration culturelle de la tierce majeure dans les relations de consonance (musique polyphonique de la Renaissance). Le fait qu'il se base sur les six premiers entiers (*senario*) ou a posteriori sur une tierce « juste » ne le rend pas plus « consonant » ou universel[192]. L'apparition du système tempéré, pourtant construit sur aucun constat acoustique, s'est imposé comme plus consonant[193], dans la culture occidentale, parce qu'il favorisait, plus que le système de Zarlino, le principe de transposition dans tous les tons. Cette position relativiste est aussi celle qui nous permet de défendre la propriété *d'apriorisme inductif* de Cairnes, un modèle étant a posteriori justifié par sa consonance avec la culture qu'il formalise (ou par l'intérêt de l'œuvre qu'il engendre, dans le cas de modèles prospectifs).

Nous allons montrer ci-après qu'il est possible de construire des indices scientifiques (de sciences dures) de dissonance cognitive intégrant plus de facteurs culturels. Certes, la méthode devient beaucoup moins universelle, plus difficilement implémentable sur un ordinateur du fait de l'existence de paramètres subjectifs exogènes. Cette méthode peut aussi perdre auprès des partisans d'une « musique-science exacte » son irréfutabilité scientifique, ce que nous contestons en considérant que la science de la musique est une science humaine (comme nous l'avons indiqué ci-dessus, l'indice de Terhardt, la courbe de Helmholtz ou l'échelle de Zarlino sont attachés à des paradigmes esthétiques en tant que représentations formelles de ces paradigmes). Il faut aussi rappeler qu'aucune démarche positive n'a pu ni ne pourra à notre avis appréhender les notions complexes de tension/détente, de stabilité harmonique, de consonance mélodique, ou d'autres concepts discursifs. L'indice mathématique qui suit n'est donc qu'un paradoxe et un essai de formalisation primitive tentant de montrer qu'une approche scientifique peut aussi s'interroger sur la notion de culture, sans la cerner évidemment totalement.

4) Un modèle formel d'aperception culturelle des intervalles

La première contrainte scientifique est de construire un indice selon une méthode « popperiene » rigoureuse, conceptuelle et réfutable mais aussi évidemment très réductrice

[192] « §*14 : Avec le nombre 6, on peut expliquer beaucoup de la nature et de l'art. »*, Gioseffo Zarlino[1573], titre du 14^e chap. Ière partie, p.83. Zarlino y remarque que 6 est contenu dans les douze signes du zodiaque, qu'il y a six planètes (Saturne, Jupiter, Mars Venus, Mercure et la Lune), qu'il y a six qualités pour les éléments, six fonctions naturelles, six directions de mouvement, six arrêtes dans une pyramide à trois faces et six faces dans un cube, six ages dans la vie, six niveaux d'humanité, etc.

d'une réalité musicale pleine de subtilités et d'exceptions. Nous nous intéresserons ici à l'expression d'un intervalle en fraction rationnelle et non en nombre, c'est-à-dire, « à l'expression de l'intervalle à travers le système utilisé dans une culture donnée ». Un système d'intervalle énonce en effet en partie, lorsqu'il correspond à une certaine réalité culturelle (mode d'accordage des instruments à cordes, construction issue d'une pratique culturelle), la façon dont une culture donnée considère aperceptivement cet intervalle (schéma III-8). Certes, aucune écriture mathématique ne peut appréhender l'évolution historique et culturelle de la consonance. Quel indice pourrait par exemple expliquer la perception de l'accord de Tristan par ses contemporains ? En revanche, l'expression fractionnelle des intervalles intègre des considérations cognitives liées aux conventions d'écoute, permettant de mieux prendre en compte les mécanismes cognitifs de compréhension mentale des intervalles[194], ce que nous nommerons **chemins d'aperception** (Noll & Netske [2002]).

a) La construction d'une échelle en fractions rationelles comme principe d'aperception culturelle d'un intervalle

Les différentes échelles (Zarliniennes, Pythagoriennes, d'Euler, Srutis indiens, échelles arabes) ont un principe commun : elles décomposent un intervalle en une combinaison d'intervalles simples et connus, intégrés par la culture (tierce juste, quinte juste, octave juste, etc...). Sur un plan perceptif, C. Stumpf a avancé que les auditeurs mélomanes décomposaient l'écoute d'une dissonance selon des combinaisons des premiers harmoniques (octave, quinte, tierce, septième) et que les instruments accordés suivant la stricte gamme tempérée ($2^{n/12}$) sonnaient à leurs oreilles plus faux que ceux respectant la quinte et l'octave justes (gamme de Pythagore), ou la tierce, la quinte et l'octave justes (gamme de Zarlino). Dans le cas où les échelles ne sont pas purement théoriques, mais endogénéisés par la culture et explicitant une

---

[193] Aujourd'hui, pour beaucoup, un intervalle de septième juste somme plus « faux » que celui de septième mineure

[194] ***Note mathématique annexe :*** *L'idée mathématique de la démarche consiste à plonger la gamme dans un sous-groupe G multiplicatif des rationnels Q_+*. En effet, tout sous groupe de Q_+* de rang supérieur à 1 est dense dans Q_+*, donc dans R_+*.* ***Dém*** *: Si G est de rang supérieur à 1, il existe deux éléments r et s de G multiplicativement indépendants. Donc ln(r) et ln(s) sont linéairement indépendants dans Q. Or le théorème de Kronecker-Hardy affirme que l'ensemble des nombres de la forme m.ln(r)+n.ln(s) pour (m,n) de Z^2 est dense dans R. Donc $<r,s>=(r^m.s^n$; (m,n) de Z^2) est dense dans R_+*. (c.q.f.d.)*

pensée de l'intervalle, nous prendrons l'écriture de l'intervalle dans les système de fraction rationnelle comme un signe reflétant l'aperception culturelle d'un intervalle.

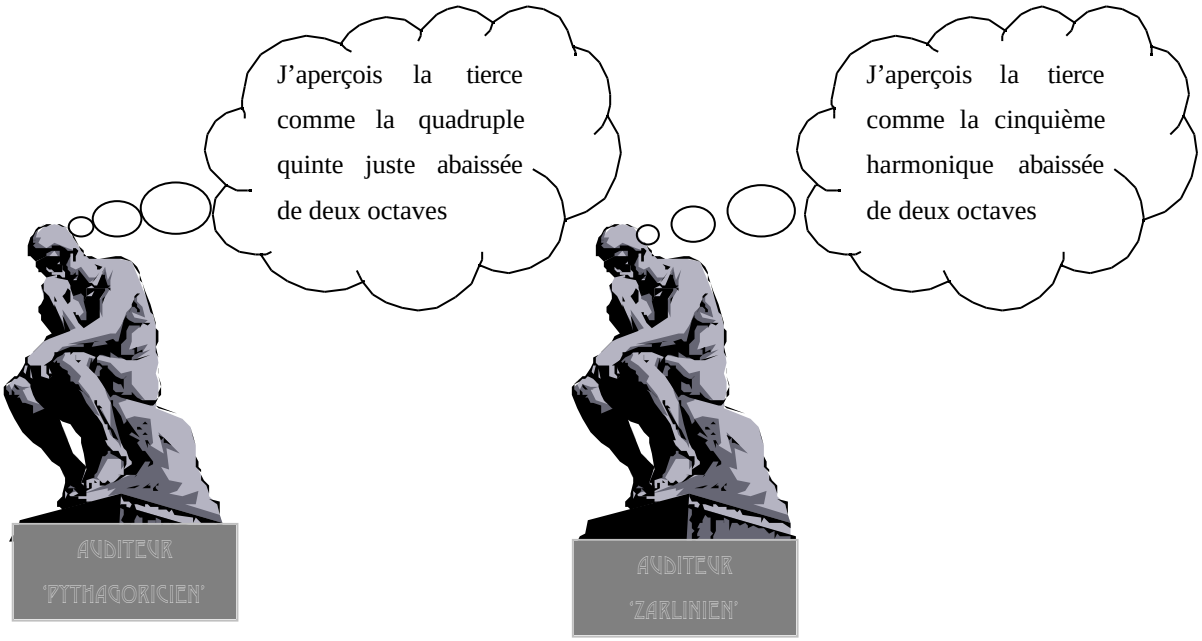


Figure IV-8 : Principe d'aperception d'une tierce par un auditeur « pythagoricien » (tierce =81/64=[(3/2)^4/2^2]) et par un auditeur « zarlinien » (tierce =[5/2^2])

Les deux tableaux ci-dessous (tableaux 9a et 9b) présentent quatre échelles à intervalles "justes" par rapport à do, ainsi que la gamme tempérée, construits à partir de principes différents, et représentant quatre comportements culturels d'aperception des hauteurs :

Dans «l'**échelle spectrale**», chaque note est considérée comme un harmonique de la fondamentale (ici do), désoctavié plusieurs fois. Par exemple, fa est défini comme le 21ème harmonique de do abaissé de quatre octaves (fa= 21/2^4). Pour plus de commodité de lecture, les noms des notes sont approximés au quart de ton mais cette approximation n'intervient pas dans les calculs des dissonances. Sur le plan perceptif, un auditeur d'audition cognitive de type « spectral » aperçoit tout intervalle comme l'harmonique exacte d'une fondamentale abaissée de plusieurs octaves.

Note approximative		**do**	**do#**	**ré**	**mib**	**mi**	**fa**
Valeur exacte		1	17/2^4	9/2^3	19/2^4	5/2^2	21/2^4
fa+1/4#	**fa+3/4#**	**sol**	**sol+1/4#**	**sol+3/4#**	**la+1/4#**	**si**	**do**
11/2^3	23/2^4	3/2	25/2^4	13/2^3	7/2^2	15/2^3	2

***Figure IV-9a** : Valeur relative des intervalles de «l'échelle spectrale»*

L'**échelle de Pythagore** interprète les intervalles à un degré cognitif plus élevé : l'auditeur pythagoricien reconstitue un intervalle quelconque par des combinaisons de quintes et d'octaves justes. Ainsi, dans le chemin d'aperception de l'intervalle [do/la], *la* est trois fois la quinte octaviée de *do* (numérateur : 3^3), désoctaviée quatre fois pour rester dans la même octave que do ($3^3/2^4$).

	do	**do# /ré b**		**ré**	**mi b**	**mi**	**fa**
Echelle de Pythagore	1	**(do #)** $3^7/2^{11}$	**(ré b)** $2^8/3^5$	$3^2/2^3$	$2^5/3^3$	$3^4/2^6$	$2^2/3$
Echelle de Zarlino	1	**(do 1/4#)** $5^2/3.2^3$	**(ré -1/4b)** $3^3/5^2$	$3^2/2^3$	2.3/5	$5/2^2$	$2^2/3$
Echelle des septièmes	1	**(do #)** 3.5/2.7	**(ré b)** $3^3/5^2$	$2^3/7$	2.3/5	$5/2^2$	$2^2/3$
Tempérament égal	1,000	1,059		1.1225	1.1892	1.2600	1.3348

	fa#/sol b		**sol**	**la b**	**la**	**si b**	**si**	**do**
Echelle de Pythagore	**(fa #)** $3^6/2^9$		3/2	$2^7/3^4$	$3^3/2^4$	$2^4/3^2$	$3^5/2^7$	2
Echelle de Zarlino	**(fa+1/4#)** $5^2/2.3^2$	**(solb)** $5.3^2/2^5$	3/2	$2^3/5$	5/3	$3^2/5$	$3.5/2^3$	2
Echelle des septièmes	**(solb)** 7/5		3/2	$2^3/5$	5/3	**(la+1/4#)** $7/2^2$	$3.5/2^3$	2
Temp. égal	1.4142		1.4983	1.5874	1.6818	1.7818	1.8877	2,00

Figure IV-9b : Valeur relative des intervalles dans les échelles de Pythagore, Zarlino, des septièmes et à tempérament égal.

(D'après Lattard [1988]); le nom des notes (do ré ...) est ici purement symbolique. Pour obtenir la vraie fréquence des notes, il suffit de multiplier chaque fraction par la fréquence de do à l'octave désirée (cf. annexe B.II).

Notons que, mathématiquement, aussi complexe et divers puisse être un système pythagoricien d'échelle basé sur un principe de quintes (3/2) successives, de demi-tons pythagoriciens diatoniques (limma $2^8/3^5$), chromatiques (apotome $3^7/2^{11}$), et d'intervalles corrigés par des commas pythagoriciens ($3^{12}/2^{19}$), l'écriture de chacun des degrés sera toujours sous forme de fractions composées exclusivement de puissances de 3 et de 2. En d'autres termes, une oreille culturelle de type « pythagoricienne » apercevra toujours un intervalle comme combinaison de quintes et d'octaves[195].

Avec l'**échelle de Zarlino,** un auditeur idéal de type « zarlinien » assimile comme l'auditeur idéal de type « pythagoricien » les octaves justes (x2) et les quintes justes (x3), mais aussi les tierces justes (x5). Par exemple, l'intervalle [do/la] zarlinien (=5/3), différent de celui Pythagoricien ($=3^3/2^4$), correspond à la tierce abaissée d'une quinte (5/3), que l'on peut aussi

[195] Un système d'échelle construit sur un nombre fini de nombres premiers (pythagoricien, zarlinien, basé sur des septièmes) définit un sous-groupe propre du groupe des rationnels, dense dans l'espace des réels.

apercevoir comme la tierce de la quarte (4/3 x 5/4=5/3). Pour [do/fa]=4/3, do est la quinte octaviée de fa ; [do/fa#]=$5^2/(3^2.2)$ est tel que sol #, deux fois la tierce de do (5^2 au numérateur), est également deux fois la quinte de fa # à l'octave ($3^2.2$ au dénominateur). Pour [do/si bémol]=$3^2/5$, ré est deux fois la quinte de do (3^2 au numérateur), et la tierce de si bémol (5 au dénominateur). Dans [si do], *si* est cinq fois la quinte de *do*, ramenée à l'octave ; etc. Mathématiquement, tous les degrés d'une échelle exprimée selon un principe zarlinien seront, comme pour des intervalles pythagoriciens, exclusivement constitués de fractions à base de puissances de 2, et de 3, et pour les « zarliniens » uniquement, de 5.

L'**échelle des « septièmes »** ajoute les septièmes justes (x7) aux autres intervalles endogénéisés (incorporés dans les mécanismes d'aperception) des échelles précédentes (tableau 3b). Plus généralement, on appelle *genre d'Euler* le principe de chercher à exprimer tout intervalle selon des fractions décomposables en un nombre fini de nombres premiers (Lattard [1988], p.33).

Si cette vision des intervalles paraît a priori complexe, cette méthode respecte la manière dont Zarlino ou les disciples occidentaux de Pythagore ont construit leur échelle, et correspond assez bien à l'intuition que nous avons des intervalles (la quarte est une quinte renversée ; *la* est la tierce de la quarte de do, et aussi la quarte de la tierce ; ré est un doublement de quinte, etc...). Les tableaux 9a et 9b présentent des échelles à douze degrés mais cette méthode de calcul s'applique également à d'autres divisions de l'échelle. Dans son étude, Yves Hellegouarch présente par exemple une gamme pythagoricienne à quarante et un degrés (Hellegouarch [1983]).

b) Un indice de complexité aperceptive d'un intervalle : la distance harmonique d'Hellegouarch comme longueur des chemins d'aperception

La représentation précédente de l'aperception cognitive d'un intervalle induit un chemin d'aperception propre à une culture : l'auditeur idéal « zarlinien » aperçoit une tierce majeure comme le cinquième harmonique abaissé de quatre octaves, alors que l'auditeur idéal « pythagoricien » aperçoit la tierce majeure comme la quadruple quinte juste abaissée de deux octaves. Le chemin d'aperception de la tierce majeure parcouru par l'auditeur idéal « pythagoricien » est donc plus long que celui parcouru par l'auditeur idéal « zarlinien ». En définissant la complexité d'aperception d'un intervalle comme la longueur de ce chemin

d'aperception, l'aperception d'une tierce majeure par un auditeur idéal « zarlinien » sera en conséquence moins *complexe*, moins « dissonante », que celle d'un auditeur idéal « pythagoricien ». Ainsi, pour cet indice, comme pour la complexité de Kolmogorov-Chaitin, **ce n'est pas l'objet mais sa représentation mentale qui engendre une complexité aperceptive**. Il existe ensuite de nombreux indices pour calculer la longueur du chemin d'aperception, et nous en étudierons trois : l'indice d'Hellegouarch, celui d'Euler et celui de Tenney.

Dans son travail sur les échelles culturellement interprétatives, le mathématicien français Yves Hellegouarch (Hellegouarch [1983]) élabore une méthode de calcul de la distance harmonique d'un intervalle[196] que l'on peut assimiler à une longueur du chemin d'aperception, donc à un indice de consonance harmonique (et non mélodique) de l'aperception de cet intervalle. Appliquée à la représentation mentale des intervalles de chaque échelle, cette formule permet ensuite une hiérarchisation des différents intervalles selon leur complexité aperceptive, pour chaque échelle et leur culture associée (cf. tableau IV-10 page suivante).

Les résultats obtenus par le calcul de cet indice semblent assez conformes à certains comportements culturels : Pour l'échelle « spectrale » par exemple, c'est-à-dire, plus précisement, pour une « oreille idéale spectrale», la hiérarchie des consonances correspond à l'ordre des harmoniques. Le classement des dissonances est différent pour les trois autres catégories culturelles d'écoute : pour les échelles de Pythagore, de Zarlino et des septièmes, les trois intervalles les plus consonants sont d'abord l'octave, la quinte puis la quarte (on retrouve les intervalles fondateurs de la pensée pythagoricienne). L'échelle dite « de Pythagore » privilégie ensuite l'intervalle de seconde, (le ton pythagoricien 9/8 [do/ré] et [do/si b]), c'est-à-

---

[196] La distance harmonique $d(f_1,f_2)$ entre deux fréquences f_1 et f_2 est calculée, selon ce mathématicien, en prenant le logarithme népérien de la hauteur (définie comme celui du numérateur ou du dénominateur qui est le plus grand) d'une fraction irréductible, fraction obtenue en simplifiant f_1/f_2 :

$$d(f_1,f_2)=ln[h(f_1/f_2)] \text{ avec } h(f_1/f_2)= sup(f_1,f_2) \text{ et } f_1 \text{ et } f_2 \text{ premiers entre eux}$$

L'écriture logarithmique de cette distance signifie, sur un plan psychoacoustique, que la combinaison cognitive d'un grand nombre d'intervalles basiques (octave, quinte) est plus ardue à percevoir ou imaginer que la combinaison d'un petit nombre d'intervalles moins basiques (tierce, septième,...). Par exemple, la représentation mentale de la combinaison de cinq quintes (3^5) est relativement plus difficile que celle de trois tierces (5^3).
Pour anecdote, Hellegouarch a élaboré cette distance en travaillant sur le théorème de Fermat. La distance d'Hellegouarch est en fait le logarithme de la « hauteur naïve » (ou hauteur de Weil) d'un point rationnel de l'espace projectif.

dire la quinte de la quinte abaissée d'une octave, bien avant les tierces majeures et mineures. La hiérarchie des consonances de l'échelle de Pythagore correspond en fait au cycle des quintes. Ceci reste conforme au fait que les théoriciens grecs et le Moyen-Age excluaient la tierce comme intervalle consonant et favorisaient la quarte. On peut également remarquer que les sept premiers degrés de consonance de l'échelle de Pythagore correspondent au mode dorien (qui favorise la tierce mineure sur la tierce majeure), très en vogue au Moyen-âge.

Distance harmonique D'Hellegouarch	**Echelle de Pythagore**	**Echelle de Zarlino**	**Echelle des septièmes**	**Echelle spectrale**
ln[2187]	DO #			
ln[729]	FA #			
ln[256]	RE b			
ln[243]	SI			
ln[128]	LA b			
ln[81]	MI			
ln[45]		SOL b		
ln[32]	MI b			
ln[27]	LA	RE -1/4b	RE b	
ln[25]		FA+1/4# et DO+1/4#		SOL+1/4#
ln[23]				FA+3/4#
ln[21]				FA
ln[19]				RE #
ln[18]				
ln[17]				DO #
ln[16]	SI b			
ln[15]		SI	DO # et SI	SI
ln[14]				
ln[13]				LA-1/4b
ln[12]				
ln[11]				FA 1/4#
ln[10]				
ln[9]	RE	SI b et RE	LA b et RE	RE
ln[8]		LA b		
ln[7]			SOL b et SI-3/4b	SI -3/4b
ln[6]		MI b	MI b	
ln[5]		LA et MI	LA et MI	MI
ln[4]	FA	FA	FA	
ln[3]	SOL	SOL	SOL	SOL
ln[2]	DO2	DO2	DO2	DO2
ln[1]	DO	DO	DO	DO

Tableau IV-10 : Hiérarchie de dissonance des intervalles selon la distance harmonique d'Hellegouarch

L'aperception de l'échelle de Zarlino et de celle des septièmes admet au contraire assez rapidement les tierces et les sixtes comme consonances, que celles-ci soient majeures ou mineures. Ceci respecte les habitudes perceptives apparues dans la praxis polyphonique à partir du XV^{e} siècle. On remarquera également que la hiérarchie des consonances calculée pour

l'échelle de Zarlino par la distance harmonique d'Hellegouarch reste très proche des tests empiriques sur auditeurs effectués par différents psychoacousticiens (Mamberg, Hutchinson & Knopoff, Kameoka & Kuriyagawa ; cf. Krumhansl [1990] p.58 pour plus de détails). On retrouve ici que l'oreille occidentale « tonale » moyenne est assez proche du paradigme zarlinien.

c) Quelques indices similaires de dissonance cognitive d'aperception des intervalles

Dans son ouvrage sur la géométrie dans la musique, Guerino Mazzola cite succinctement, dans le chapitre consacré à la dissonance théorique, la fonction d'Euler[197] (Mazzola [1990]). Cette fonction mathématique est proche de la distance harmonique d'Hellegouarch pour calculer une longueur de chemin d'aperception, et peut s'y substituer.

Valeur de la fonction d'Euler	Echelle spectrale	Echelle de Pythagore	Echelle de Zarlino	Echelle des septièmes
30				
29	SOL+1/4#			
28				
27	FA+3/4#			
26		DO #		
25				
24				
23	RE #			
22	DO # et FA	FA #		
21				
20				
19		RE b		
18	SI	SI		
17				
16	LA-1/4b	LA b		
15		MI	RE -1/4b	RE -1/4b
14	FA 1/4#		**FA#,SOLb,DO#**	DO #
13				
12	RE	MI b		
11		LA		SOL b
10			SI	SI et RE
9	SI -3/4b	SI b	SI b	SI -3/4b
8		RE	RE, MIb, LAb	LA b et MI b
7	MI		LA et MI	LA et MI
6				
5		FA	FA	FA
4	SOL	SOL	SOL	SOL
3				
2	DO 8ve	DO 8ve	DO 8ve	DO 8ve
1	DO	DO	DO	DO

Tableau IV-11 : Hiérarchie de dissonance des intervalles selon la fonction d'Euler

[197] **La fonction d'Euler** se définit comme suit :
Soit un nombre premier a que l'on peut décomposer en facteurs premiers :

$$a = p_1^{e1} \cdot p_2^{e2} \cdot p_3^{e3} \cdots p_n^{en}$$

la fonction d'Euler Γ se définit par $\Gamma(a) = 1 + \sum_{k=1}^{n} e_k.(p_k-1)$

Plus généralement, pour un nombre rationel x/y, la fonction d'Euler présente la propri été suivante qui permet son calcul : $\Gamma(x/y) = \Gamma(x.y)$
Une table est présentée en annexe pour les intervalles les plus utilisés

Cet indice ne présente pas de changement majeur dans la hiérarchie des dissonances par rapport à celui d'Hellegouarch, sauf pour les intervalles les plus dissonants de l'échelle des septièmes (triton, sixte mineure, seconde). De plus, on s'aperçoit que plus l'échelle s'éloigne d'un comportement auditif « naturaliste » (de type « spectral ») et induit un comportement cognitif, plus les chemins d'aperception eulériens sont courts pour les intervalles les plus dissonants. En d'autres termes, selon ce modèle comme pour Hellegouarch, les « raccourcis culturels » qui consistent à décomposer tout intervalle en combinaison d'intervalles plus simples endogonéisés (tierce, quinte, ...) simplifient l'écoute et réduisent les dissonances (il est plus court d'effectuer une combinaison de courts chemins d'aperception que quelques longs chemins d'aperception).

Compl. Intervallique de Tenney	**Echelle de Pythagore**	**Echelle de Zarlino**	**Echelle des septièmes**	**Echelle spectrale**
ln[4478976]	DO#			
ln[373248]	FA#			
ln[248832]	SI			
ln[10368]	LA b			
ln[7776]	RE b			
ln[5184]	MI			
ln[2880]		SOL b		
ln[864]	MI b			
ln[675]		RE –1/4b	RE b	
ln[600]		DO+1/4#		
ln[450]		FA+1/4#		
ln[432]				
ln[400]	LA			SOL+1/4#
ln[368]				FA+3/4#
ln[336]				FA
ln[272]				DO#
ln[256]				MI b
ln[210]			DO#	
ln[144]	SI b			
ln[120]		SI	SI	SI
ln[104]				LA-1/4b
ln[88]				FA+1/4#
ln[72]	RE	RE		RE
ln[56]			RE	
ln[45]		SI b	SI b	
ln[40]		LA b	LA b	
ln[35]			SOL b	
ln[30]		MI b	Mi b	
ln[28]				SI-3/4b
ln[20]		MI	MI	MI
ln[15]		LA	LA	
ln[12]	FA	FA	FA	
ln[6]	SOL	SOL	SOL	SOL
ln[2]	DO2	DO2	DO2	DO2
ln[1]	DO	DO	DO	DO

Tableau IV-12 : Hiérarchie de dissonance des intervalles selon la complexité intervallique de Tenney

Notons que le compositeur James Tenney (Tenney [1988]) a également proposé une formule similaire à celles d'Euler et de Hellegouarch, plus facile à calculer que la fonction

d'Euler, et plus symétrique que l'indice d'Hellegouarch (elle prend en compte le dénominateur au même titre que le numérateur) [198]. On retrouve avec cet indice des résultats identiques à ceux obtenus avec la distance d'Hellegouarch, et quasiment identiques à ceux fournis par la distance d'Euler (tableau IV-12 ci-dessus).

Ces indices de consonance cognitive basés sur l'expression des intervalles en fraction rationnelle présentent cependant plusieurs inconvénients : **i)** ils sont sans fondement acoustique réel, mais seulement établis à partir d'un raisonnement à base de « complexité du chemin d'aperception entre deux fondamentales », ou deux sons sinusoïdaux purs. Ils ne prennent donc pas en compte les propriétés acoustiques des instruments. On pourrait cependant imaginer une généralisation timbrale de l'indice, en calculant, partiel par partiel, comme pour Helmholtz, l'indice, et en trouvant une loi de superposition liée à l'influence du partiel dans le spectre. **ii)** Le calcul de la longueur des chemins d'aperception n'est pas proprement établi (il n'est pas unique : Euler, Hellegouarch, Tenney,...). Si tous les indices privilégient les combinaisons simples d'intervalles moyens (la tierce zarlinienne est moins complexe que la tierce pythagoricienne), mais également les combinaisons nombreuses d'intervalles simples (sixte mineure $2^7/3^4$ moins complexe que 11/7), ils le font avec des formules un peu différentes. En particulier, l'indice d'Hellegouarch ne prend en compte que le numérateur. Cependant, on obtient par les formules d'Euler, d'Hellegouarch et de Tenney, des hiérarchies assez similaires, dépendantes de la culture. De plus, ces modèles présentent des logiques d'aperception cognitive (chemins courts multiples ou longs en petits nombres) cohérents avec le constat psychoacoustique de Stumpf. **iii)** Un indice d'Hellegouarch généralisé à un accord se calculerait intervalle par intervalle[199]. Remarquons plus généralement qu'il existe peu de modèles scientifiques de consonance d'un accord, à part celui de la résonance naturelle issue de Stumpf (consonance cognitive spectrale). Comme pour l'indice

---

[198] La complexité d'un intervalle a/b, avec a^b, est, selon Jammes Tenney le ln(a.b) .

[199] Hellegouarch a cependant proposé (article « Propriétés élémentaires des hauteurs », 1981) un mode de calcul pour un accord, basé sur cette « distance de Weil » qui n'est pas réduite à deux points. Selon Hellegourch, « *l'idée de base est que la consonance d'un accord est une "notion projective":elle ne dépend que du point projectif de coordonnées homogènes (f1,f2,....,fn), c'est-à-dire qu'elle ne concerne que l'oreille relative. Lorsque les fréquences f1, f2;...,fn sont des nombres rationnels (échelle naturelle), le point projectif (f1,f2,...fn) est le mème que le point projectif (n.f1,... n.fn) pour tout n différent de zéro. Si l'on prend pour n le plus petit dénominateur commun de f1,...., fn, alors le dernier point possède des coordonnées entières. Par définition la hauteur de Weil de ce point est la plus grande de ses coordonnées : c'est un entier. Lorsque n=2* (intervalle de deux notes) *le logarithme de cette hauteur de Weil est la distance harmonique des deux notes de l'intervalle. Lorsque N est quelconque* (accord)*, ce logarithme est un candidat tout trouvé pour définir la consonance de l'intervalle* » (mail privé du 6/12/01)

d'Hellegouarch, la courbe d'Helmholtz est pensée seulement pour un intervalle et non pour un agrégat, mais est généralisable intervalle par intervalle.

Remarquons que la distance d'Hellegouarch, bien que de principe différent, car rationaliste et non empiriste, se rapproche a posteriori du principe de la courbe d'Helmholtz, puisque la dissonance cognitive augmente plus le plus nombre premier du numérateur ou du dénominateur est élevé (plus on va chercher une harmonique élevée). D'ailleurs, en cherchant à calculer l'indice de consonance cognitive d'Hellegouarch pour les seuls intervalles des échelles zarlinienne et pythagoricienne, et en reliant entre eux ces points, on retrouve à peu près la courbe d'Helmholtz (figure IV-12 ci-dessous).

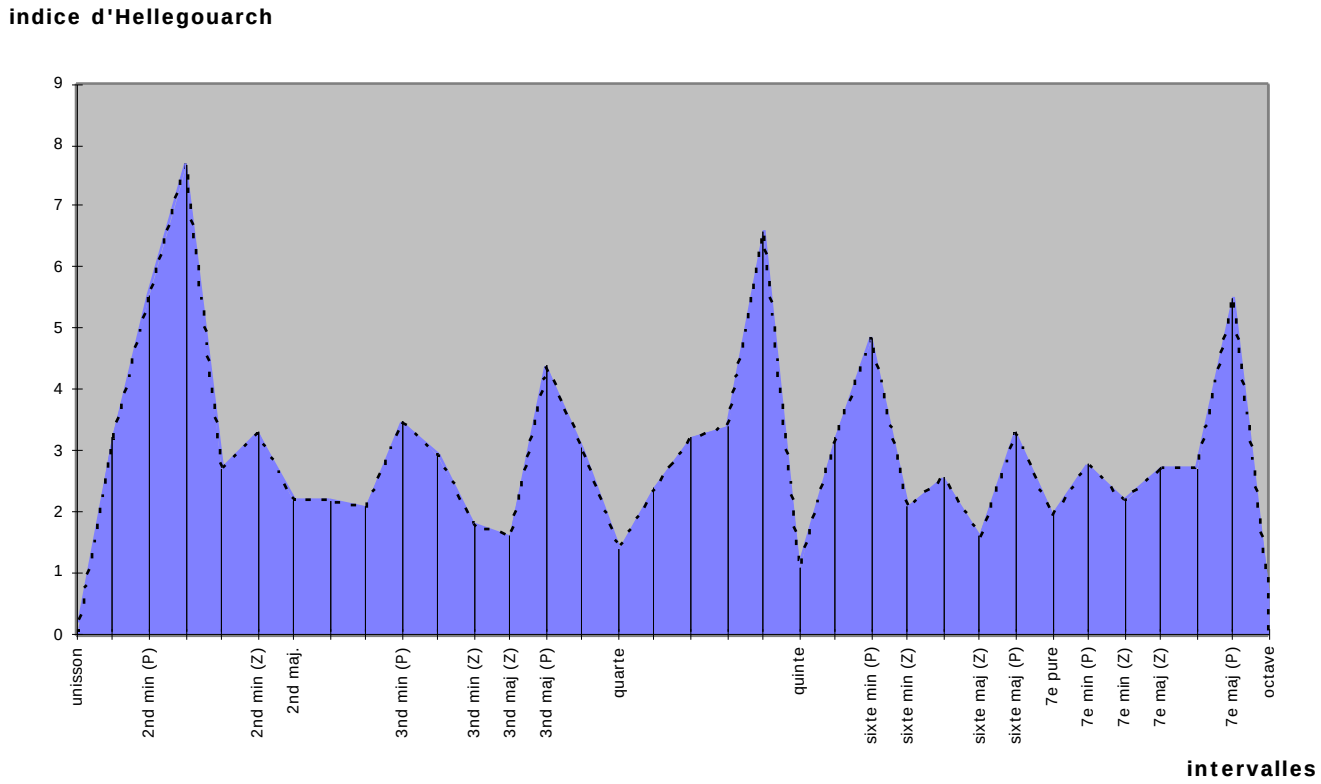


Figure IV-13 : Indices d'Hellegouarch calculés pour tous les intervalles des échelles pythagoricienne et zarlinienne, et reliés par commodité visuelle par continuité : on retrouve alors à peu près les inflexions et hiérarchies de la courbe d'Helmholtz

5) Application des modèles de consonance cognitive aux intervalles théoriques des musiques arabo-persanes

Les modèles de consonance cognitive présentés ci-dessus ne fonctionnent qu'à partir de la représentation des gammes et échelles en fractions rationnelles, c'est-à-dire avec une écriture qui transcrit la conception culturelle théorique de l'intervalle (« *l'intervalle de tierce est*

la quadruple quinte juste abaissée de deux octaves »), considérée ici comme « l'écriture mentale » inconsciente, le chemin d'aperception de cet intervalle chez un auditeur dont l'écoute est biaisée par des conventions. Pour réfuter ce modèle, il nous faut trouver d'autres représentations mentales éprouvées. Or peu de musiques ont théorisé leurs systèmes d'intervalles sous forme de fraction rationnelle. De plus, les quelques modèles qui existent sont parfois des constructions théoriques indépendantes de la pratique musicale.

Nous avons cependant recensé quelques systèmes d'intervalles extra-occidentaux exprimés en fraction rationnelle afin de dépasser les systèmes des seules cultures occidentales associés aux représentations de Pythagore[200] et de Zarlino. Les gammes arabes présentent un intérêt pour notre étude, car, bien que spéculatives et héritées de la représentation grecque du tétracorde (cf. partie A-I), leur construction telle que présentée par différents théoriciens (Ibn Al-Munajjim, Al-Kindi, Al-Farabi, Safiyu-d-Din, Mishaqa, etc.) a évolué pour se rapprocher des pratiques culturelles. Elles forment ainsi un modèle, certes inabouti, de la perception cognitive des intervalles dans ces cultures, alors que celles-ci ont pourtant résisté plus que la culture occidentale à établir des représentations musicales notées.

a) Le système d'intervalle de la musique arabe : entre théorie et pratique

Comme le note le baron D'Erlanger ([1938], T.V, p.5), il existe autant d'échelles musicales pratiques dans les pays arabo-turcs que de pays de cette large zone et même de musiciens. Les différentes tentatives de catégoriser ces échelles, notamment le congrès du Caire de 1932, se sont révélées infructueuses. Presque indépendamment des pratiques solides, des théoriciens arabes ont rédigé des traités issus initialement de traductions et d'adaptations des systèmes d'échelles de Ptolémée[201] et de la Grèce byzantine. D'Erlanger note que « *les traités écrits au cours de cet age d'or de la civilisation islamique semblent plutôt avoir été composés en vue d'une vulgarisation des doctrines musicales grecques, et non pas dans le but de codifier les règles de la vraie musique arabe, celle qui est cultivée par les artistes arabes en dehors de toute contrainte doctrinaire* » (D'Erlanger [1935] T.V, p.X). Yahya ibn 'Ali affirmait que « *les*

[200] On pense que Pythagore (-579, -470) aurait passé 27 ans en Égypte puis aurait été emmené en captivité à Babylone où il se serait fait initier aux sciences par les chaldéens. C'est ensuite à Sybaris (Sicile) et à Crotone (sud de l'Italie), qu'il professa, avant de mourir à Tarente (Italie).

[201] Ptolémée (128-168) passe la plus grande partie de sa vie à Alexandrie. Son influence dans le monde arabe est considérable. Les théoriciens arabes ont par exemple traduit et utilisé son grand traité d'astronomie *Syntaxe mathématique* ou *Almageste*

maîtres de la musique arabe (gina) restaient étrangers aux maîtres de la musique grecque (Musiqi) » (cité par Manik [1969], P.11). Cependant, nous l'avons vu, le modèle grec ptoléméen du partage du tétracorde en rapports épimores reste suffisament large pour englober une catégorie infinie d'intervalles. L'intéret des théoriciens comme Al-Farabi, Ibn al-Munajim, al-Kindi, al-Farabi, Safiyu d-Din et al-Urmawi est de construire des systèmes de partage du tétracorde (les genres) sur ce modèle, mais aussi d'en dégager une sélection d'une trentaine de gammes qui semblent respecter les échelles pratiques (tierce neutre, 3/4 de ton, tiers de ton, etc.), et de proposer ensuite, chacun, un système de positions sur les cordes du luth qui puisse jouer facilement ces gammes théoriques (échelle de 24 degrés chez Al-Farabi, échelle de 17 degrés chez Safiyu-d-Din trois siècles plus tard). Or, si ces systèmes de position sur le luth diffèrent d'un auteur à l'autre et d'une époque à l'autre, les gammes, et leur représentation en système de fraction restent les mêmes, et nous pouvons penser que nous avons là une représentation assez fidèle et formalisée des échelles utilisées et aperçues par les musiciens arabes de tradition orale.

Nous utiliserons plusieurs sources croisées : nous reprendrons pour l'étude des textes originaux les échelles proposées par l'un des plus grands théoriciens arabes de la musique, Al-Farabi (872-950), dans son traité, le *Kitabu L-Musiqi Al-kabir*, traduit par D'Erlanger ([1938], TI, pp.1-328 et TII, pp.1-101), et celles construites trois siècles plus tard par Safiyu d-Din (1230-1294) dans son traité *al-Risalah as-Sarafiyyah*, toujours dans la traduction de référence, également auprès des théoriciens arabes, du Baron D'Erlanger ([1936], TIII, p1-182). De plus, nous utiliserons un certain nombre de littératures secondaires, notamment les écrits de spécialistes tels que Henry-George Farmer, Amnon Shiloah, Liberty Manik, et Shireen Maalouf, afin de confronter les traductions, les modèles et les théories interprétatives anciennes et plus récentes. Enfin, dans la mesure du possible, nous tenterons de croiser ces sources avec les mesures pratiques des échelles jouées dans les différents pays de cette large zone culturelle. Comme le note E. Tarr (article *Egypte*, encyclopédie Grove, T.VIII p.9), l'influence occidentale a malheureusement (dés-)orienté les échelles arabes modernes vers un système tempéré actuel à 24 degrés (quart de ton). Des cinquante-deux Maqamat encore recensés à la conférence sur la musique arabe de 1932, il n'en reste aujourd'hui qu'une vingtaine. Shireen Maalouf évoque les travaux de Yusuf Batraqui Mishaqa (1800-1888) qui a cherché à réformer l'échelle par un tempérament égal à 24 tons (Maalouf [2002], p.201, voir

aussi D'Erlanger [1935], T.V, p.32). Safiyu-d-Din remarquait déjà le décalage entre la représentation mentale des intervalles par les théoriciens et les simplifications de ces intervalles chez les musiciens pratiques *: « Quand aux maitres de l'art, ils ne connaissent, en pratique, que trois intervalles emmèles* [=intervalles épimores inférieurs à la quarte 4/3]*. 1+1/8 est le plus grand des trois* (ton pythagoricien 9/8, 204 cents)*; 1+1/13 est le moyen* (tiers de ton, 128 cents)*, et la fadlah* (limma pythagoricien, 90 cents) *le plus petit. Les mélodies fortes, que nous définirons en temps utile, se composent presque exclusivement de ces trois intervalles. Les intervalles emmèles se ressemblent, en effet, à l'oreille, et leurs valeurs se rapprochent beaucoup. Aussi les maîtres de l'art emploient-ils 1+1/8 au lieu de 1+1/7, ou 1+1/9 ; quand à l'intervalle 1+1/13, ils s'en servent à la place de tous les emmèles moyens ; et la fadlah leur sert à remplacer tous les petits*. » (Safiyu-d-Din*, Musique pratique,* §XXIII, in d'Erlanger [1935] T.III, p.28).

A défaut de trouver d'autres sources, nous comparerons les échelles théoriques avec les trois mesures du mode *Rast* recensées lors de la conférence du Caire de 1932 (celle de Idris Ragib Bey, d'Alexandre Salfun et de l'académie Egyptienne), et avec les intervalles singuliers communément admis comme essentiels dans les musiques arabo-persanes (trois quarts de ton comme partage aliquote de la quarte en deux, 7/6 = 266¢, 8/7 =232¢ ; tierce neutre de Zalzal - ou Zulzul-, 11/9=347 ¢, 27/22 =354 ¢, 16/13 =359 ¢ ; majeur perse 81/68 = 302¢ ; cinq-quarts de ton de Al-Hwarizmi 81/70 = 252¢ ; ton pythagoricien 9/8 = 204 ¢ ; tiers de ton 14/13 = 128 ¢ ; limma pythagoricien 256/243 = 90¢). Nous garderons également en arrière-pensée que les échelles trouvées et sélectionnées par Al-Farabi et Safiyu-d-Din ont comme objectif de se rapprocher d'un « modèle » des échelles musicales pratiquées et aperçues par leurs concitoyens de Bagdad à leur époque respective .

b) Les échelles théoriques d'Al-Farabi et de Safiyu-d-din

Dans le *Kitabu L-Musiqi Al-kabir,* Al-Farabi (872-950) reprend la définition et la classification de Ptolémée du partage de la quarte en tétracorde par espèce de genre (*Genera* en grec, *gins* en arabe) (Al-Farabi, tI, p.57-59[202]) vu dans le chapitre B-I. Cette définition large

[202] Les citations bibliographiques (Al-Farabi t.I, p57), ou (Safi-d-Din, t.III, p.50) renvoient systématiquement à la traduction de leur traité par d'Erlanger en 1938, considérée encore aujourd'hui par de nombreux spécialistes (Manik, Shiloah, Farmer, Maalouf) comme fidèle. Shiloah, qui a traduit de nombreux traités, n'a jamais cherché à retraduire Al-Farabi ou Safi-d-Din.

ne s'intéresse qu'à la classification des intervalles en taille relative, et non, comme dans la définition pythagoricienne, à la valeur absolue des intervalles (tons et demi-tons pythagoricien)[203]. Pour trois intervalles d'un tétracorde classé par ordre décroissant, un genre est dit *fort* (= diatonique) lorsque « *la somme de l'intervalle central et du dernier est supérieure au premier* » et *doux* lorsque « *la somme des deux derniers intervalles est inférieure au premier* ») (p.60). Al-Farabi classe ensuite les genres doux selon la taille de leur intervalle en *lawini* (chromatique) ou *nadhim* (enharmonique) (p.61).

Pour Al-Farabi, les mathématiques lui permettent de retrouver « *une représentation des notes par des nombres,* [et ainsi une] *idée théorique et pratique des notes* » (p.65). « *La théorie musicale ne nous fait remonter que jusqu'à la cause formelle et à la cause essentielle, celle qui nous indique ce qu'est la chose. (...) Il nous importe seulement de savoir que la pratique musicale est antérieure de beaucoup à la théorie. Cette dernière n'est apparue que lorsque la pratique avait déjà atteint tout son développement, lorsque déjà existaient des mélodies, des compositions musicales complètes, dont la sensation paraissait naturelle, ainsi que beaucoup d'autres choses concernant la musique »* (Al-Farabi, t.I, p.29). Ce qui nous paraît intéressant, en ce qui concerne les modèles d'aperception des consonances, c'est que, contrairement aux théories occidentales des échelles qui se sont construites à partir d'un modèle du partage du tétracorde basé uniquement sur des puissances des nombres 1, 2, 3, (puis à partir de Zarlino sur les nombres 1 à 6 de la senario), Al-Farabi n'a contraint, comme Ptolémée, sa représentation mathématique en fraction des intervalles à aucun chiffre, sauf aux rapports épimores (rapports de la forme [n+1]/n ; ils sont dits *emmèles* lorsqu'ils sont inférieurs à la quarte 4/3).

Voici comment Al-Farabi décrit lui-même sa méthode de partage du tétracorde, héritée des Grecs :

> « *Le nombre des intervalles* ***emmèles*** *combinés à l'intérieur de la quarte doit donc être limité. On en comptera deux, trois ou davantage ; mais s'il y en a plus de trois, ce sera un excès. (...). Certains se trompent, cependant, quand ils croient que*

[203] Le système de Ptolémée tel que décrit par Boèce (Boèce [524], par.20, p.181) est exactement celui que reprend Al-Farabi (construction en épimores, genres doux et forts, etc.). Manik, après avoir établi l'héritage des grecs dans la classification des genres arabes, écrit : « *Le fait, que le partage du tétracorde semble différent chez les théoriciens arabes et chez les grecs (où ce que nous en connaissons par les sources occidentales* [i.e. Philolaos/Boèce]*) est dû au fait que, soit les arabes possédaient des sources différentes et peut-être meilleures, soient ils ont développé plus avant la théorie musicale grecque »* (Manik[1969], p.9).

c'est par sa nature même ou par la nature des intervalles que la quarte ne peut être divisée qu'en trois intervalles. Nous pouvons bien, en effet, partager la quarte en plus de trois intervalles ou en moins, mais nous préférons nous en tenir à trois, parce que ce partage est plus simple, donne des nombres plus faciles à trouver et à retenir, et suffit, comme nous le montrerons, à nous fournir tous les petits intervalles consonants.

Les mathématiciens de l'antiquité ont appelé genre *la quarte partagée en trois intervalles. Dans un genre, le rapport de l'un des trois intervalles peut être ou supérieur ou inférieur à celui de la somme des deux autres. Un genre qui ne compte pas d'intervalle dont le rapport soit supérieur à celui de la somme des deux autres est dit* ***genre fort*** *; quand il en comporte, le genre est dit* ***doux.***

Le plus grand des intervalles d'un genre doux peut se trouver intercalé entre les deux autres, ou placé de côté soit au grave, soit à l'aigu ; dans le premier cas, le genre sera appelé par nous ***doux non-ordonné*** *et dans le second* ***doux ordonné****. Ce dernier se subdivise suivant que le plus grand des deux autres intervalles occupe le centre ou l'une des extrémités de la quarte ; dans le premier cas, le genre sera dit* ***doux ordonné consécutif*** *et dans le second* ***doux ordonné non-consécuti****f.*

Nous ne tiendrons pas compte des genres doux non ordonnés, car leurs espèces sont fort peu consonantes à l'oreille. (...) La division des intervalles peut se faire de plusieurs manières, mais nous n'en adopterons qu'une seule. C'est celle qui consiste à enlever à chaque fois à la quarte un intervalle tel que sa soustraction laisse un reste dont le rapport est inférieur à celui de l'intervalle soustrait et à partager ensuite ce reste en deux.» (p.102-103). *»*

Al-Farabi ne conserve ensuite du calcul du partage de la quarte que douze genres conjoints (six diatoniques, six doux), auxquels il adjoint quelques genres disjoints (fin du premier discours, Al-Farabi, T.I, p.103-114). Puis il enchaîne deux tétracordes de genre identique sur deux octaves pour engendrer un groupe (gamme).

Safiyu d-Din (1230-1294) fut, à travers les traités *al-Risalah as-Sarafiyyah* et *Kitab al-Adwari,* le promoteur de *l'*échelle *des systématistes* et du partage du monocorde en dix-sept degrés (Safiyu-d-Din, T.III, p.221). Cette échelle est en fait une construction théorique rigoureuse de détermination de toutes les « ligatures » (les positions) des touches de luth (T.III, quatrième discours, p.127 à 150), en particulier celles que les musiciens ajoutaient jusqu'alors artificiellement pour combler certaines lacunes du système de Al-Farabi[204] (D'Erlanger, t.III, p.591). Safiyu-d-Din déduit de cette échelle à dix-sept degrés douze

[204] Il s'agit de l'ajout de trois touches supplémentaires au luth, appelées *mujannab,* médius à la persane et médius à la Zalzal. Contrairement à certaines idées préconçues du XIXème siècle, cette échelle n'est pas la division en tiers de ton (notes de Henry-George Farmer dans la préface posthume de d'Erlanger [1938], t.II, pIX). Al-Farabi écrivait à propos de son système : « *Il serait possible de superposer d'autres genres à ceux que nous venons de fixer, et d'en déduire d'autres ligatures ; cela n'offre pas de difficulté pour celui qui voudrait le faire. Il est cependant peu utile de multiplier les ligatures du luth. Nombre de musiciens savent, en effet, se servir de notes dont la place sur les cordes du luth n'est pas déterminée par une ligature spéciale pour compléter ou orner leurs compositions ; ces notes se placent entre les touches déjà fixées, soit au-dessous de la ligature de l'auriculaire, soit au-dessus de celle de l'index* »(Al-Farabi, tI p.174). Safiyu-d-Din cherche au contraire à ce que les positions permettant de jouer les genres soit toutes théoriquement calculées.

combinaisons d'intervalles particulières, les Maqamat (modes) de la musique arabo-persane (T.III, p376). La méthode de détermination des genres de Safiyu-d-Din est, par contre, pour l'essentiel, reprise à Al-Farabi (T.III, troisème discours : *les genres*, p.33 à 64).

Nous avons ci-dessous décrit (en cents et en fraction par rapport à un pôle) les échelles issues de chacun de ces genres pour une octave, calculées en fraction épimore par Al-Farabi. Par soucis d'économie, nous ne présenterons à chaque fois qu'une permutation des genres (groupe, ou gamme), dans la combinaison de l'intervalle du plus grand au plus petit. C'est la combinaison qu'adoptent Al-Farabi et Safiyu-d-Din dans leur présentation des gammes (par exemple Safiyu-d-Din, t.III, p.86 à 107). Les échelles issues d'autres combinaisons se déduisent facilement. Nous avons également omis la plupart des gammes issues des genres disjoints, par souci d'économie.

Nous avons de plus calculé pour chaque intervalle un indice de distance cognitive d'aperception des intervalles (Euler), en prenant seulement par soucis d'économie les intervalles par rapport au pôle Yegâh (ce qui reste tout de même un transposition ethnocentrique forte de l'idée occidentale de la modalité polaire). Le lecteur doit garder en tête toutes les limitations d'un tel indice, du fait de sa fragilité intrinsèque, et du fait qu'il s'agit ici de musique modale, avec pôle (*tabaqah*) propre pour chaque mode et même parfois fluctuant[205], avec mutations et mélanges de genres. Précisons qu'Al-Farabi a consacré lui-même un chapitre (livre 3, T.II pp.6 à 17) à la consonance des intervalles pour chaque note de chacun de ces groupe. Ce classement diffère de la hiérarchie obtenue par le calcul d'une distance cognitive, car la classification des consonances d'Al-Farabi est rationaliste, liée aux seules propriétés épimores : « ***en premier rang, la consonance de l'octave ; à sa suite viennent la quinte et la quarte. Ces consonances donnent naissance à d'autres ; l'octave peut, en effet, s'ajouter à elle-même, ou à l'un des deux intervalles que nous venons de citer »*** (T.I, p.68). Plus généralement sont consonants pour Al-Farabi tous les rapports superparticularis (épimores) et ceux-là seulement, bien qu'il ne le dise pas explicitement, certainement par sens de la nuance et par éthique relativiste[206]. Safiyu-d-Din écrit plus

[205] « *Tu pourras attribuer aux cycles n'importe quelle note comme point de départ* », Safi-d-Din, T.III, p408

[206] Voir Al-Farabi T.I, p.220 et d'Erlanger, T.I, note 1 p.323. Al-Farabi écrit notamment « *Quand à l'autre intervalle qui se rapproche du reste, c'est celui dont les degrés extrèmes, grave et aigu, ont pour rapport 1+1/15. Sa*

directement : « *Le rapport le plus noble est donc celui du double* (octave). *Puis vient celui de 3 à 2, soit celui qui ouvre la série des rapports superpartiels* (épimores)*; nous avons déjà expliqué que le rapport de 3 à 2 est 1+1/2. Viennent ensuite le rapport 1+1/3 puis 1+1/4, puis tous les autres dans cet ordre* » (§XIV, T.III, p.19)[207].

« L'impossibilité » relative d'appliquer des indices de consonance cognitive de type Euler ou Hellegouarch aux systèmes théoriques arabes d'intervalles reste somme toute logique : un système d'intervalle est une représentation théorique de la construction cognitive, analytique mais aussi aperceptive, des intervalles. De la même façon, les indices de consonance cognitive sont des constructions représentatives de la perception analytique, scientifique, que le théoricien se fait de la consonance. Les indices de consonance cognitive d'Hellegouarch ou d'Euler, basés sur l'analyse de l'écriture des intervalles sous forme de fraction, présentaient des résultats très acceptables dans le cadre de systèmes d'échelles (systèmes pythagoriciens, zarliniens) basés eux-mêmes sur une représentation fractionnelle décomposable en puissances de nombres entiers simples (2 à 7) des intervalles. En effet, cette représentation fractionnelle est signifiante par rapport à la représentation cognitive que les théories musicales occidentales se font des intervalles. De même, les modèles de Helmholtz, de Chouvel ou de Terhardt/Pressnitzer restent cohérents avec une représentation acoustique ou psycho-acoustique de l'accord. Le « schisme » entre les deux disciples de Pythagore, Philolaos et Archytas, tient justement au fait que chez Philolaos, c'est la valeur absolue des intervalles et sa décomposition en puissance de nombres premiers simples qui prime, alors que chez Archytas prime la nature épimore de l'intervalle. Cette distinction subsitera entre les conceptions occidentales et arabes des intervalles. Nous avons également calculé, en plus de l'indice d'Euler, un indice cognitif annexe basé sur la relation épimore de l'intervalle, nommé

---

consonance est si évidente qu'elle est acceptée par tous. Elle est supérieure à celle de l'intervalle reste.(...). Tout en tenant compte de ce que nous venons de dire, il ne faut cependant pas considérer les mélodies comme des lois ou des dogmes. Une loi, un dogme, sont des choses qui ont été imposées, à une certaine époque, à tous ou à la plupart des hommes. Ces derniers se les transmettent les uns aux autres par voix d'imitation ; ils les admettent et les trouvent satisfaisants, tout comme on est satisfait d'une chose à laquelle on est habitué ; il en va autrement de ce qui est naturel en musique. Si telle ou telle chose est adoptée ou rejetée dans cet art, elle ne l'est pas sans considération ; mais nous la jugeons bonne ou mauvaise selon d'autres choses qui lui sont associées, et qui durent un certain temps. » (p.69).

[207] Safi-d-Din ajoute un peu plus loin : « *Quant aux intervalles emmèles, le plus consonant d'entre eux est celui dont le rapport est de 1+1/7 (8/7) ; vient ensuite 1+1/8 (9/8) ; puis à mesure que les intervalles deviennent plus petits, leur consonance s'affaiblit jusqu'à atteindre une limite où la différence entre les deux notes constituant l'intervalle cesse d'être perceptible.* » (*§XXVI, p.30)*

ICGE[208]. Comme pour l'indice d'Euler, l'indice ICGE n'a été calculé que par rapport au pole Yegah, par souci d'économie, mais sans beaucoup de sens pour ces musiques modales aux poles fluctuants.

i) Genres diatoniques (forts) étudiés par Al-Farabi et Safiyu d-Din

* **Genre fort, conjoint premier**. « *Ce genre est l'un des deux qui convient le mieux au jeu du Tunbur de Bagdad* » écrit Al-Farabi (T.II, p.8). Les secondes et tierces sont ici très hautes. Noter que, dans cette combinaison (groupe), les chemins d'aperception sont relativement forts. Il faut cependant observer ces chemins intervalle par intervalle, et non par rapport au pôle Yegâh. Tous les ratios sont ici épimores.

NOTES	**A**=Yegâh	**B**='Asîrân	**J**='Iraq	**D=Râst**	**H**=Dûgah	**W**=Sîgâh	**Z=Gehârgâh**	**H**=Nawâh
Notes	DO	RE+1/6	Mi+1/6	FA	SOL+1/6	La+1/6	SIb	DO
Intervalles	8/7	9/8	28/27	8/7	9/8	28/27	9/8	
Int%A	1	8/7	9/7	4/3	32/21	12/7	16/9	2
(cents)	0	232	436	498	730	934	996	1200
Ind.Euler	*1*	*10*	*11*	*5*	*14*	*11*	*9*	*2*
ICGE	*0*	*7,0*	*7,1*	*3,0*	*21,9*	*7,2*	*9,6*	*1,0*

Lecture : les notes de l'échelle ont été approximées au quart de ton dans une notation occidentale pour une meilleure représentation auditive de l'intervalle. Les intervalles ont ensuite été notés d'abord en fraction rationnelle entre deux notes consécutives de l'échelle (c'est ainsi que Al-Farabi et Safiyu d´Din présentent les genres), puis par rapport au degré A=Yegah, d'abord en fraction rationnelle, puis en cents. Pour chaque indice exprimé par rapport à Yegâh, deux indices ont été calculés, l'indice d'Euler et l'indice ICGE.

*** Genre fort, redoublement premier.** *« C'est là le second des deux genres qui conviennent le mieux au jeu du Tunbur de Bagdad* ». Les chemins d'aperception paraissent assez grands par rapport au genre précédent. Il faut cependant observer ces chemins intervalle par intervalle, et non par rapport au pôle Yegâh.

NOTES	**A**=Yegâh	**B**='Asîrân	**J**='Iraq	**D=Râst**	**H**=Dûgah	**W**=Sîgâh	**Z=Gehârgâh**	**H**=Nawâh
Notes	DO	RE+1/6	MI+1/3	FA	SOL+1/6	La+1/3	SIb	DO
Intervalles	8/7	8/7	49/48	8/7	8/7	49/48	9/8	
Int% A	1	8/7	64/49	4/3	32/21	256/147	16/9	2
(cents)	0	232	462	498	730	960	996	1200
Ind.Euler	*1*	*10*	*17*	*5*	*14*	*23*	*9*	*2*
ICGE	*0*	*7,0*	*49,9*	*3,0*	*21,9*	*147,8*	*9,6*	*1,0*

*** Genre fort, deuxième (moyen) conjoint .** Cette échelle correspond, cinq siècles avant Zarlino, à l'échelle zarlinienne occidentale. Al-Farabi écrit *« ce genre doit être employé dans le*

[208] Pour calculer l'indice de consonance cognitive epimore (ICGE), l'intervalle I sera écrit sous la forme (1+(a/n)), où a sera compris entre 1 et n (a=1 dans le cas des fractions epimores), et où n representera cet indice. Acoustiquement, n représente le rang du partiel harmonique qui puisse former la note inferieure de l'intervalle I de

jeu du luth au lieu du diatonique » (T.II p.6). En effet, en inversant l'ordre des intervalles, on obtient le diatonique dur de Ptolémée et celui de Didymos. D'Erlanger précise : « *les degrés 'Iraq et Sah-gah qui déterminent dans leurs tétracordes respectifs des tierces naturelles de dix-sept commas (5/4) ne semblent pas satisfaire en pratique l'oreille des artistes turcs. Les violonistes et joueurs de luth que nous avons pu observer ne laissent pas leur doigt reposer franchement aux points que la théorie assigne à ces degrés. En usant du « glissando » plus spécialement sur ces notes, ils manifestent une certaine indécision quant à la valeur absolue à leur attribuer »*(t.VI, p.26).

NOTES	**A**=Yegâh	**B**='Asîrân	**J**='Iraq	**D**=**Râst**	**H**=Dûgah	**W**=Sîgâh	**Z**=**Gehârgâh**	**H**=Nawâh
Notes	DO	RE	Mi	FA	SOL	La	SIb	DO
Intervalles	9/8	10/9	16/15	9/8	10/9	16/15	9/8	
Int% A	1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	16/9	2
(cents)	0	204	386	498	702	884	996	1200
Ind.D'Euler	*1*	*8*	*7*	*5*	*4*	*7*	*9*	*2*
ICGE	*0*	*8,0*	*4,0*	*3,0*	*2,0*	*3,1*	*9,6*	*1,0*

*** Genre fort, deuxième à redoublement.** Il s'agit de l'échelle pythagoricienne occidentale. Al-Farabi écrit : *« Ce genre est employé sur le luth et la plupart des instruments en faveur chez nous* »(p.7). Safiyu-d-Din le nomme diatonique (p.90)

NOTES	**A**=Yegâh	**B**='Asîrân	**J**='Iraq	**D**=**Râst**	**H**=Dûgah	**W**=Sîgâh	**Z**=**Gehârgâh**	**H**=Nawâh
Notes	DO	RE	Mi	FA	SOL	La	SIb	DO
Intervalles	9/8	9/8	256/243	9/8	9/8	256/243	9/8	
Int% A	1	9/8	81/64	4/3	3/2	27/16	16/9	2
(cents)	0	204	408	498	702	906	996	1200
Ind.D'Euler	*1*	*8*	*15*	*5*	*4*	*11*	*9*	*2*
ICGE	*0*	*8,0*	*64,9*	*3,0*	*2,0*	*16,9*	*9,6*	*1,0*

Une autre permutation est parfois employée (tierce mineure pythagoricienne), qui inverse entre l'Iraq et le Sîgâh les longueurs des chemins d'aperception :

NOTES	Yegâh	'Asîrân	'Iraq	**Râst**	Dûgah	**Sîgâh**	**Gehârgâh**	**Nawâh**
Notes transcr	DO	RE	Mib	FA	**SOL**	lab	SIb	DO
Intervalles	9/8	256/243	9/8	9/8	256/243	9/8	9/8	
Interv% A	1	9/8	32/27	4/3	3/2	128/81	16/9	2
(cents)	0	204	294	498	702	792	996	1200
Ind. D'Euler	*1*	*8*	*12*	*5*	*4*	*16*	*9*	*2*
ICGE	*0*	*8,0*	*27,0*	*3,0*	*2,0*	*81,9*	*9,6*	*1,0*

telle façon que cet intervalle s'insère exactement entre deux partiels d'un spectre harmonique (partiels consécutifs uniquement dans le cas d'un intervalle epimore).

*** Genre fort, conjoint troisième (régulier)** (tIII, p.88)**.** Selon D'Erlanger, « *cette formule est à la base de l'échelle fondamentale de la musique arabe moderne, uniquement composée de tons entiers et d'intervalles de 3/4 de ton ayant approximativement pour rapport 11/12* » (d'Erlanger [1935] note 7, p.248). Noter également la beauté du partage aliquote du tétracorde, et la tierce neutre 11/9.

NOTES	**A**=Yegâh	**B**='Asîrân	**J**='Iraq	**D=Râst**	**H**=Dûgah	**W**=Sîgâh	**Z=Gehârgâh**	**H**=Nawâh
Notes	DO	RE-1/8	Mi-1/4	FA	SOL#-1/8	La-1/4	SIb	DO
Intervalles	10/9	11/10	12/11	10/9	11/10	12/11	9/8	
Int% A	1	10/9	11/9	4/3	40/27	44/27	16/9	2
(cents)	0	182	348	498	780	846	996	1200
Ind.D'Euler	*1*	*10*	*15*	*5*	*14*	*19*	*9*	*2*
ICGE	*0*	*9,0*	*9,1*	*3,0*	*27,8*	*27,9*	*9,6*	*1,0*

*** Genre fort, troisième à redoublement.** Safiyu-d-Din écrit : « *Il donne, comme tu le sais déjà, une impression semblable à celle du groupe basé sur le genre à redoublement deuxième, avec une tendance vers le relâchement, la mollesse* » (T.III, p.91). Les chemins d'aperception sont très différenciés.

NOTES	**A**=Yegâh	**B**='Asîrân	**J**='Iraq	**D=Râst**	**H**=Dûgah	**W**=Sîgâh	**Z=Gehârgâh**	**H**=Nawâh
Notes	DO	RE-	Mi-1/6	FA	SOL	La-1/6	SIb	DO
Intervalles	10/9	10/9	27/25	10/9	10/9	27/25	9/8	
Int% A	1	10/9	100/81	4/3	40/27	400/243	16/9	2
(cents)	0	182	364	498	690	862	996	1200
Ind.D'Euler	*1*	*10*	*19*	*5*	*14*	*23*	*9*	*2*
ICGE	*0*	*9,0*	*81,9*	*3,0*	*27,9*	*243,9*	*9,6*	*1,0*

*** Genre fort, disjoint premier.**

NOTES	**A**=Yegâh	**B**='Asîrân	**J**='Iraq	**D=Râst**	**H**=Dûgah	**W**=Sîgâh	**Z=Gehârgâh**	**H**=Nawâh
Notes	DO	RE+1/6	MI+	FA	SOL+1/6	La+	SIb	DO
Intervalles	8/7	10/9	21/20	8/7	10/9	21/20	9/8	
Int% A	1	8/7	80/63	4/3	32/21	320/189	16/9	2
(cents)	0	232	414	498	730	912	996	1200
Ind.D'Euler	*1*	*10*	*19*	*5*	*14*	*23*	*9*	*2*
ICGE	*0*	*7,0*	*63,9*	*3,0*	*21,9*	*189,9*	*9,6*	*1,0*

*** Genre fort, disjoint second**. Ce genre présente une seconde pythagoricienne et une tierce neutre. C'est le système accepté par de nombreux membres du congrès du Caire de 1932, et par le dominicain Colangettes, l'un des premiers chercheurs occidentaux à s'être intéressé aux gammes arabes (cf. Manik [1969], p.130). L'intervalle 12/11 permet de retrouver la ligature du médius de Zalzal sur le luth (27/22). Les chemins d'aperception sont de longueur faible.

NOTES	Yegâh	‘Asîrân	‘Iraq	**Râst**	Dûgah	**Sîgâh**	**Gehârgâh**	**Nawâh**
Notes transcr	DO	RE	Mi-1/4	FA	**SOL**	La-1/4	SIb	DO
Intervalles	9/8	12/11	88/81	9/8	12/11	88/81	9/8	
Interv% A	1	9/8	27/22	4/3	3/2	18/11	16/9	2
(cents)	0	204	354	498	702	852	996	1200
Ind. D’Euler	*1*	*8*	*18*	*5*	*4*	*16*	*9*	*2*
ICGE	*0*	*8,0*	*22,4*	*3,0*	*2,0*	*11,6*	*9,6*	*1,0*

* **Genre fort, disjoint troisième.** Il correspond en fait au conjoint troisième après permutations. C’est presque cette gamme que préconisait le professeur Mansur Awad, de l’Institut du Caire, lors du congrès de 1932 (D’Erlanger T.VI, p.37 ; le deuxième tétracorde est cependant modifié chez ce théoricien pour atteindre une quinte juste). 10/9 est le ton mineur zarlinien.

NOTES	**A**=Yegâh	**B**=‘Asîrân	**J**=‘Iraq	**D**=**Râst**	**H**=Dûgah	**W**=Sîgâh	**Z**=**Gehârgâh**	**H**=Nawâh
Notes	DO	RE-	MIb+	FA	SOL-	Lab+	SIb	DO
Intervalles	10/9	12/11	11/10	10/9	12/11	11/10	9/8	
Int% A	1	10/9	40/33	4/3	40/27	160/99	16/9	2
(cents)	0	182	334	498	690	832	996	1200
Ind.D’Euler	*1*	*5*	*20*	*5*	*14*	*24*	*9*	*2*
ICGE	*0*	*9,0*	*33,6*	*3,0*	*27,9*	*99,9*	*9,6*	*1,0*

ii) Genres doux (chromatiques et enharmoniques) de Al-Farabi et Safiyu-d-Din

Les genres chromatiques, bien que moins courants, ont fortement influencé les pratiques arabo-persanes[209].

*** Genre chromatique-mou, ordonné consécutif ferme.**

NOTES	**A**=Yegâh	**B**=‘Asîrân	**J**=‘Iraq	**D**=**Râst**	**H**=Dûgah	**W**=Sîgâh	**Z**=**Gehârgâh**	**H**=Nawâh
Notes	DO	RE+1/6	MI+	FA	SOL+1/6	La+	SIb	DO
Intervalles	7/6	12/11	22/21	7/6	12/11	22/21	9/8	
Int% A	1	7/6	14/11	4/3	28/18	56/33	16/9	2
(cents)	0	266	418	498	764	916	996	1200
Ind.D’Euler	*1*	*10*	*18*	*5*	*14*	*22*	*9*	*2*
ICGE	*0*	*6,0*	*11,2*	*3,0*	*18,9*	*33,9*	*9,6*	*1,0*

[209] Ce que l’on nomme d’ailleurs réductivement « échelle arabe » dans la musique occidentale est un genre chromatique avec mutation du solb (do do# mi-fa-***sol-***lab-si do).

*** Genre chromatique-mou, ordonné consécutif faible, dit Mulawwan fort**

NOTES	**A**=Yegâh	**B**=‘Asîrân	**J**=‘Iraq	**D**=**Râst**	**H**=Dûgah	**W**=Sîgâh	**Z**=**Gehârgâh**	**H**=Nawâh
Notes	DO	RE+1/6	MI+	FA	SOL+1/6	La+	SIb	DO
Intervalles	7/6	15/14	16/15	7/6	15/14	16/15	9/8	
Int% A	1	7/6	5/4	4/3	14/9	5/3	16/9	2
(cents)	0	266	386	498	764	884	996	1200
Ind.D’Euler	*1*	*10*	*7*	*5*	*12*	*4*	*9*	*2*
ICGE	*0*	*6,0*	*4,0*	*3,0*	*9,4*	*3,1*	*9,6*	*1,0*

Noter la tierce « juste », et la justesse de tous les autres intervalles (complexité d’aperception très faible de tous les intervalles par rapport à Yegah)

*** Genre chromatique-dur, ordonné non-consécutif ferme, dit Mulawwan modéré** (uniquement Al-Farabi)

NOTES	**A**=Yegâh	**B**=‘Asîrân	**J**=‘Iraq	**D**=**Râst**	**H**=Dûgah	**W**=Sîgâh	**Z**=**Gehârgâh**	**H**=Nawâh
Notes	DO	Mib	MI	FA	Lab	La	SIb	DO
Intervalles	6/5	20/19	19/18	6/5	20/19	19/18	9/8	
Int% A	1	6/5	24/19	4/3	8/5	32/19	16/9	2
(cents)	0	316	404	498	818	902	996	1200
Ind.D’Euler	*1*	*8*	*24*	*5*	*8*	*24*	*8*	*2*
ICGE	*0*	*5,0*	*19,4*	*3,0*	*5,2*	*19,9*	*9,6*	*1,0*

Notons que Safiyu-d-din utilise un autre genre Lawini **ferme, consécutif,** commençant également par une tierce mineure zarlinienne, et de chemins aperceptifs plus courts. On retrouve la tierce haute du genre diatonique conjoint premier :

NOTES	**A**=Yegâh	**B**=‘Asîrân	**J**=‘Iraq	**D**=**Râst**	**H**=Dûgah	**W**=Sîgâh	**Z**=**Gehârgâh**	**H**=Nawâh
Notes	DO	Mib	MI+	FA	Lab	La+	SIb	DO
Intervalles	6/5	15/14	28/27	6/5	15/14	28/27	9/8	
Int% A	1	6/5	9/7	4/3	8/5	12/7	16/9	2
(cents)	0	316	436	498	814	934	996	1200
Ind.D’Euler	*1*	*8*	*11*	*5*	*8*	*11*	*8*	*2*
ICGE	*0*	*5,0*	*7,1*	*3,0*	*5,2*	*7,4*	*9,6*	*1,0*

*** Genre chromatique-dur, ordonné consécutif faible, dit Mulawwan relaché**

NOTES	**A**=Yegâh	**B**=‘Asîrân	**J**=‘Iraq	**D**=**Râst**	**H**=Dûgah	**W**=Sîgâh	**Z**=**Gehârgâh**	**H**=Nawâh
Notes	DO	Mib	MI	FA	Lab	La	SIb	DO
Intervalles	6/5	19/18	20/19	6/5	19/18	20/19	9/8	
Int% A	1	6/5	19/15	4/3	8/5	76/45	16/9	2
(cents)	0	316	410	498	814	908	996	1200
Ind.D’Euler	*1*	*8*	*25*	*5*	*8*	*29*	*9*	*2*
ICGE	*0*	*5,0*	*15,3*	*3,0*	*5,2*	*45,9*	*9,6*	*1,0*

*** Genre enharmonique ferme, ordonné consécutif relaché**

NOTES	**A**=Yegâh	**B**=‘Asîrân	**J**=‘Iraq	**D**=**Râst**	**H**=Dûgah	**W**=Sîgâh	**Z**=**Gehârgâh**	**H**=Nawâh
Notes	DO	Mi-1/6	MI+1/4	FA	La-1/6	La+1/4	SIb	DO
Intervalles	5/4	24/23	46/45	5/4	24/23	46/45	9/8	
Int% A	1	5/4	30/23	4/3	5/3	40/23	16/9	2
(cents)	0	386	460	498	884	958	996	1200
Ind.D’Euler	*1*	*7*	*30*	*5*	*4*	*30*	*9*	*2*
ICGE	*0*	*4,0*	*23,8*	*3,0*	*3,1*	*23,9*	*9,6*	*1,0*

*** Genre enharmonique ordonné consécutif faible**

NOTES	**A**=Yegâh	**B**=‘Asîrân	**J**=‘Iraq	**D**=**Râst**	**H**=Dûgah	**W**=Sîgâh	**Z**=**Gehârgâh**	**H**=Nawâh
Notes	DO	Mi-1/6	MI+1/4	FA	La-1/6	La+1/4	SIb	DO
Intervalles	5/4	31/30	32/31	5/4	31/30	32/31	9/8	
Int% A	1	5/4	31/24	4/3	5/3	31/18	16/9	2
(cents)	0	386	444	498	884	942	996	1200
Ind.D’Euler	*1*	*7*	*36*	*5*	*4*	*36*	*9*	*2*
ICGE	*0*	*4,0*	*24,6*	*3,0*	*3,1*	*18,9*	*9,6*	*1,0*

En conclusion, on s’aperçoit que les trois genres forts seconds (conjoint/Zarlino, à redoublement/Pythagore, disjoint/Colangettes) ont des chemins d’aperception courts lorsque ceux-ci sont calculés par rapport au pôle Yegah. Bien que les chemins restent de longueur moyennement longue, ceci est moins le cas pour les trois autres genres forts utilisés dans la pratique musicale arabo-persane (genres premiers conjoint et à redoublement, genre troisième conjoint). Peut-être ces échelles sont-elles moins polaires ? En ce qui concerne les intervalles de la musique arabo-persane pris isolément, outre les intervalles zarliniens et pythagoriciens classiques, le cinq quart de ton épimore 7/6, le demi-ton diatonique 16/15 et la tierce 9/7 ont des chemins d’aperception courts. Les tierces neutres de Zalzal sont de chemin d’aperception de longueur moyenne (indice d’Euler 15, équivalent à la tierce majeure pythagoricienne). D’autres intervalles, comme le cinq-quarts de ton de Al-Hwarizmi 81/70, le majeur perse 81/68, ou le tiers de ton 14/13 de Safiyu-d-Din ont des chemins d’aperception longs, ce qui renforce soit l’hypothèse d’une construction spéculative de ces intervalles, soit, plutôt, celle que ce type d’indice mathématique (ICGE ou Euler) reste encore très éloigné d’une description de l’aperception culturelle des intervalles dans ces cultures. Une expérimentation sur échantillon permettrait peut-être d’avancer la recherche et de préciser les chemins d’aperception.

c) Conclusions

Les indices de distance harmonique ICGE, d'Hellegouarch, d'Euler ou de Tenney présentent une tentative pythagoricienne[210] d'intégrer partiellement la culture dans le calcul de l'aperception de la consonance des intervalles. Par cette méthode, la hiérarchie des consonances n'est ni unique ni pseudo-universelle, mais réfutable. Cette méthode non-naturaliste ne considère plus l'oreille comme un organe biologique passif mais comme une interface d'aperception intelligente, interprétative et subjective. Dans les faits, l'oreille culturelle ne perçoit pas la consonance de façon unique : la tierce, d'abord dissonante, ne s'est affirmée comme consonante (imparfaite) que très progressivement jusqu'au XVème siècle en occident, alors que la quinte, la quarte et l'octave étaient considérées comme « consonance parfaite ». En d'autres termes, son chemin d'aperception s'est réduit. Une oreille idéale « spectrale » mesurerait au contraire le degré d'inharmonicité d'un intervalle en fonction de sa place dans le spectre, et il n'est pas certain qu'elle admetterait facilement la quarte ou la tierce mineure. En revanche, une oreille occidentale traditionnelle de type zarlinienne, s'habituerait à ces deux intervalles. En musique tonale, une tierce [fa/la b] n'a pas la même signification qu'une tierce [la/do], ni qu'une tierce [do/mib] dans le contexte de do majeur. Enfin, la hiérarchie des consonances arabes est décrite autrement que celles en occident.

Ces différentes nuances culturelles sont en partie contenues dans les indices d'aperception culturelle présentés ci-dessus, dans le sens où ces derniers considèrent la représentation modélisée de cet intervalle sous forme de fraction rationnelle comme porteuse d'information sur la culture et permettent le calcul de la longueur du chemin d'aperception. Bien entendu, ces indices ne prétendent pas décrire une vérité universelle de modèle relativiste. Ils doivent aussi être étendus à plus de deux notes afin d'être exploitable pour la musique occidentale, généralisés partiel par partiel afin de considérer la nature spectrale d'un timbre, et les facteurs culturels doivent être étudiés plus en détail. Enfin, même s'ils intègrent la culture ou une échelle exogène construite par le compositeur, ces indices d'essence mathématique restent des formalisations scientifiques, donc nécessairement réductrices mais éventuellement généralisables si elles sont développées plus en détail. La réalité reste évidemment beaucoup plus complexe. Derrière le mot consonance se cache une multitude de significations. Le ton

[210] Terme pris dans le sens large d'une représentation du monde par des rapports numériques.

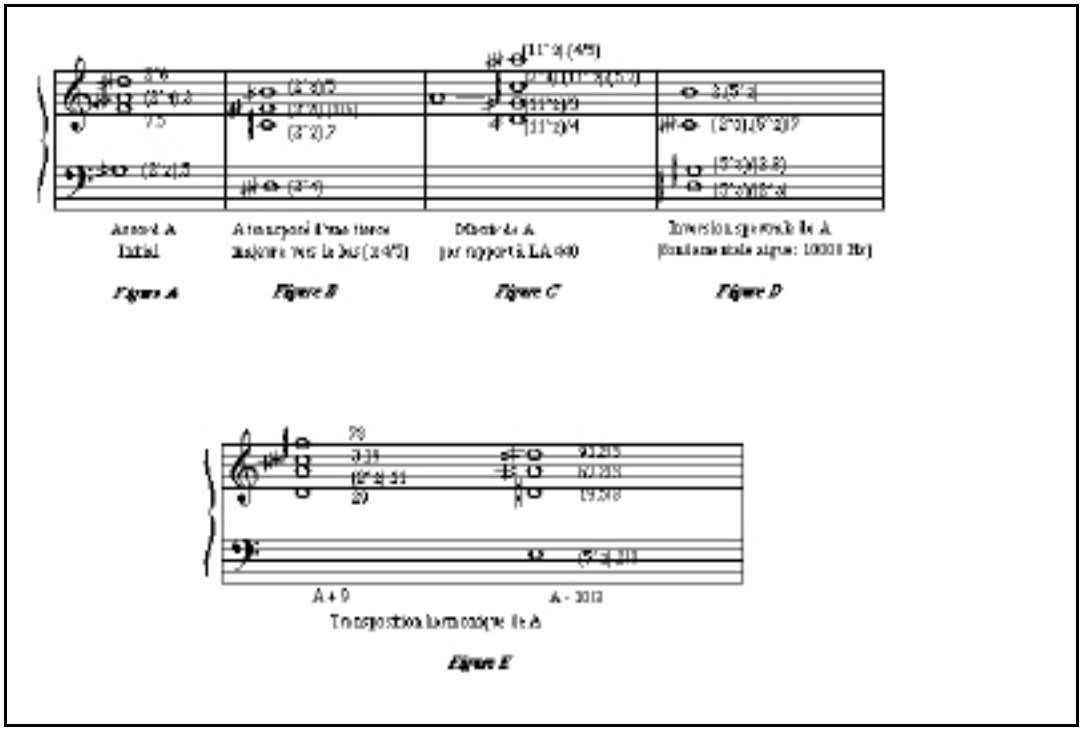
pythagoricien 9/8, dissonant chez Zarlino, sera consonant chez Al-Farabi du seul fait qu'il est un épimore simple, c'est-à-dire une écriture qu'Al-Farabi considère consonante. Voilà pourquoi, à tout indice, nous privilégions la définition de Festinger de la consonance, d'un concept, d'une représentation ou d'un phénomène en adéquation ou en conséquence d'un autre concept ou phénomène culturels.

Ici, l'indice mathématique d'aperception cognitive des intervalles est scientifique au sens de Popper, car testable et réfutable, mais représente seulement, plutôt qu'une vérité, un concept opératoire concernant la compréhension des intervalles. Dans ce sens, plutôt qu'un outil d'analyse et de compréhension objective du passé et de la perception, ce chiffrage de l'aperception d'un agrégat sonore est une représentation, un modèle. En conséquence, il peut éventuellement représenter un outil prospectif pour les compositeurs, de la même façon que la basse chiffrée, apparue chez Viadana et reprise par Monteverdi, a permis aux compositeurs baroques, dans une dimension historique évidemment beaucoup plus importante, de mieux cerner et développer l'écriture harmonique de leur époque.

6) Extension : un outil prospectif pour les compositeurs

La démarche de se concentrer sur le chiffrage des intervalles en fraction rationnelle pour décrire les chemins d'aperception des intervalles rejoint celle qu'a utilisée R. Tanner dans ses travaux sur les « psycharithmes » (Tanner [1972]). Ce physicien a publié au début des années 70 plusieurs études sur une notation originale des agrégats de hauteur. La découverte était cependant passée relativement inaperçue dans le milieu musical. Aujourd'hui, le courant « spectral » réactualise cette nouvelle formalisation des hauteurs qui travaille elle aussi non pas sur des intervalles tempérés mais sur l'espace des fréquences, et qui utilise aussi des opérations de multiplication et de division (le spectre acoustique est obtenu en multipliant une fréquence fondamentale par une suite d'entiers). De plus, on observe aujourd'hui un essoufflement partiel des premières techniques spectrales : ce vocabulaire prospectif utilisant des agrégats verticaux et fusionnés n'a en effet pas encore trouvé totalement sa grammaire généralisée permettant de lier un spectre à un autre. Cette nouvelle notation pourrait peut-être estomper cette absence de fonctionnalité, de la même façon que le chiffrage classique des accords avait permis de construire à partir du XVII^{e} siècle une grammaire d'engendrement des accords (notions explicitées de cadences, de transpositions, de modulations, de degrés des

accords, etc...). Bien entendu, nos prétentions restent plus modestes, et nous n'en sommes qu'à la préhistoire. Nous donnons toutefois ci-dessous quelques exemples de fonctionnalités issues de cette notation.



lecture du chiffrage de Tanner associé aux accords ci-dessus : chaque note de l'accord est exprimée par rapport à une même fondamentale résiduelle. Ainsi, pour l'accord A, la fondamentale résiduelle (10 Hz) est un mi-1/4 situé six octaves en dessous de la note la plus haute de l'accord (notée en conséquence 2^6). Par rapport à cette fondamentale résiduelle, le fa est noté 7 . 5, et le sol+1/4 2^2 . 5 (le signe ^ signifie puissance : 5^2 = 5^2)

Soit un agrégat A de fondamentale résiduelle 10 Hz (mi-1/4b), que l'on chiffre selon la notation de Tanner, c'est-à-dire une écriture liée à son chemin d'aperception cognitive (**fig. A**).

*** La transposition** d'un accord correspond dans cette notation à la multiplication ou à la division de ses composantes. Une transposition de l'accord A d'une tierce majeure vers le bas correspond par exemple à la division par 5/4 de ses composantes dans la notation de Tanner (**figure B**).

* **Le miroir** d'un accord par rapport à une note consiste avec ce chiffrage à diviser le carré de l'expression de cette note par toutes les composantes de l'accord. le miroir de A par rapport à la3 = 440 Hz = 2^2.11.(10Hz) consiste, par exemple, à diviser $(2^2.11)^2$ par toutes les composantes de A (**figure C**).

* **L'inversion de spectre** : Cette opération est perceptivement assez similaire à la précédente. Il s'agit de considérer une fréquence aiguë qui remplace en miroir la basse fondamentale. Pour trouver les coefficients du nouvel agrégat, il suffit de prendre cette fréquence aiguë (exprimée dans la notation de Tanner par rapport à la basse initiale) que l'on divise par les différentes composantes de l'agrégat A (**figure D**).

*** La transposition harmonique[211] :** ce processus est original ; on ajoute ou retranche à toutes les composantes de l'agrégat un nombre rationnel identique. Lorsque ce nombre est entier (par exemple +9), ceci correspond à un déplacement de chaque note selon plusieurs raies d'harmoniques (pour 9, on déplace chaque note, définie harmoniquement par rapport à la fondamentale, de neuf positions sur le spectre de fondamentale 10Hz). On présente ici le cas A+9 et A-10/3 (**figure E**). Ceci correspond musicalement à une transposition accompagnée respectivement d'une dilatation ou d'une contraction (pour une transposition respectivement vers le grave ou vers l'aigu), dans des proportions identiques.

*** La multiplication d'accords** : cette technique a été inventée et fréquemment utilisée par P.Boulez (Boulez [1963] p.89, Boulez [1966]). Nous avions montré dans un précédent chapitre que cette technique, appelée à tort multiplication puisque l'opération n'est pas commutative, est identique à une modulation d'intervalles : cette technique consiste en fait à additionner et soustraire les différents intervalles d'un accord sur les notes d'un autre. La notation de Tanner permet de calculer aisément le résultat de cette « multiplication d'accords »: soient deux accords A [a, b, c] et B [e, d, f] exprimés avec ce nouveau chiffrage. La « modulation d'intervalles » de A sur B correspond à la multiplication de toutes les combinaisons d'intervalles contenus dans A : [1, a/b, b/a, a/c, c/a, b/c, c/b] avec les notes de B [d, e, f,][212]. La formule se généralise aisément pour des agrégats plus importants.

Le chiffrage des agrégats en fractions rationnelles de Tanner présente peut-être l'inconvénient d'être difficile à exploiter et à entendre immédiatement pour celui qui n'est pas habitué à travailler en fréquences (notation non-assimilable implicitement). Toutefois, ceci

[211] Cette technique est utilisée de façon itérée dans plusieurs de mes oeuvres, notamment *Coïncidences* et *Hérédo-Ribotes*

[212] On obtient un accord à 21 notes : [d, e, f, d.a/b, e.a/b, f.a/b, d.b/a, e.b/a, f.b/a, d.a/c, e.a/c, f.a/c, d.c/a, e.c/a, f.c/a, d.b/c, e.b/c, f.b/c, d.c/b, e.c/b, f.c/b]

pourrait s'améliorer avec l'usage de l'informatique, et avec une accoutumance auditive croissante à manier cette notation. D'origine purement acoustique (relation harmonique d'une note par rapport à une autre), dépassant le cadre de l'écriture tempérée, tenant compte de facteurs culturels sur les hauteurs et des chemins d'aperception entre le fondamental virtuel et les notes de l'agrégat, et d'essence pythagoricienne, la notation de Tanner des intervalles permet en effet de mieux comprendre l'architecture perceptive d'un agrégat (lorsqu'il est défini par rapport à un pôle), et, comme nous l'avons montré à travers quelques exemples ci-dessus, de formaliser facilement quelques techniques classiques de composition ou d'en imaginer de nouvelles.

7) Conclusions

Ce chapitre a tenté d'étudier quelques indices scientifiques de calcul de la dissonance culturelle d'un agrégat de notes (les calculs ont été faits pour un intervalle de deux sons purs, mais sont généralisables à un accord et à un timbre), liée à la complexité du chemin d'aperception. Ces indices de complexité aperceptive d'un intervalle sont des indices interprétatifs liés aux conventions d'écoute. Un objectif épistémologique de cette étude était également de montrer la relativité des indices pseudo-universels basés sur des raisonnement acoustiques ou psychoacoustiques qui leur offraient en apparence une légitimité interculturelle.

Plus généralement, on peut classer les indices de consonance selon quatre catégories :

**** Les indices scientifiques de consonance sensorielle***

Ils se basent sur la nature acoustique de l'intervalle, ou sur la sensation physiologique qui en résulte. Trois modèles ont été entrevus :

- **La courbe de consonance d'Helmholtz,** généralisée par Sethares et par Plomp et Levelt, s'intéresse à la notion de battements entre les partiels de deux sons. Elle se fonde sur la nature acoustique du son (enveloppe spectrale, nombre de partiels, harmonicité du son) et sur la sensation physiologique de battements. Cependant, sa généralisation à plus de deux sons ne se fait que dans un espace de plus de deux dimensions (pour trois sons, on obtient une surface de consonance). De plus, la courbe de battement continue qui permet d'obtenir par superposition une courbe de consonance pose problème, du fait de la nature non continue et multicausale de la sensation de battement. Enfin, le passage de la notion de battement à celle de consonance n'est qu'une induction, et le modèle de Helmholtz est fondé sur des sons

particuliers (son harmonique à neuf partiels avec enveloppe décroissante). Ceci permet à la courbe de consonance déduite du modèle d'être assez similaire aux hiérarchies de la musique tonale, et de rester conforme à un paradigme culturel pregnant.

- L'indice de concordance de Chouvel. Il est basé sur l'énergie d'un signal issu des battements de deux sons. Cependant, Jean-Marc Chouvel ne parle pas de « consonance » mais de principe de concordance.

- L'indice de consonance spectrale de Pressnitzer/Terhadt. Contrairement aux deux principes précédents, cet indice est facilement applicable à un accord de plus de deux sons. La démarche considère un accord comme un tout fusionné qui peut s'insérer dans un spectre, et en calcule ensuite, à partir de la fondamentale virtuelle de cet agrégat, son harmonicité. Le passage inductif du concept d'harmonicité à celui de consonance reste pour cet indice un saut problématique. De plus, les résultats sont en contradiction avec certains comportements aperceptifs culturels de la musique tonale, comme par exemple les cadences.

Ces différents modèles de consonances sensorielles restent très opératoires. Cependant, ils restent des constructions scientifiques construits par induction à partir de l'observation de phénomènes acoustiques ou psychoacoustiques, ce qui n'est pas suffisant, selon nous, pour légitimer un universum. La consonance est en effet un phénomène de perception cognitive, et l'oreille semble plus contingentée par le cerveau et la culture que par des phénomènes acoustiques ou physiologiques.

**** Les indices formalisés de consonance cognitive.***

Ces indices tentent de formaliser les chemins d'aperception d'un intervalle dans une culture, une convention ou un comportement donnés. Trois indices particuliers ont été présentés : **l'indice d'Euler, l'indice d'Hellegouarch,** et **l'indice de Tenney**. De fonctionnements similaires (calcul de la longueur du chemin d'aperception), ils fournissent des hiérarchies de consonance assez proches, relativement conformes à ce que l'on connaît historiquement de l'aperception culturelle d'un intervalle. Cependant, la formule de cette longueur n'est pas proprement établie et son calcul n'est possible que lorsque la représentation mentale du chemin d'aperception est préalablement clairement établie sous forme de fraction rationnelle, et lorsque cette représentation schématise efficacement l'aperception d'un intervalle dans une culture particulière. De plus, ces indices ne sont valables

que pour des intervalles de deux sons, et ne prennent pas en compte leur nature acoustique (mais ces deux limites sont facilement dépassables, intervalle par intervalle pour l'agrégat, et partiel par partiel pour le timbre complexe). Enfin, il s'agit d'indices mathématiques, de philosophie pythagoricienne (c'est-à-dire de croyance dans la signification du nombre) qui ne prennent pas non plus en compte les « fantaisies de perception » et autres biais non 'rationnels' (non verbalisés) de chaque culture.

**** Les indices de consonance cognitive culturelle.***

Chaque culture a établi, lorsque le paramètre d'intervalle de hauteur était signifiant, une hiérarchie de ses intervalles. Certaines cultures ont explicité cette hiérarchie, d'autres non (il est possible que les Iatmul de papouasie considèrent la seconde comme « consonante », mais cette hiérarchisation n'est pas à ce jour verbalisée). Dans les hiérarchies explicitées, certaines cultures ont établi des systèmes explicites, scientifiques ou non, de légitimation (la nature épimore des intervalles chez Ptolémée ou Al-Farabi, la signification des chiffres 4 ou 6 chez Pythagore ou Zarlino, les ethos, etc...). La « déconstruction » de ces systèmes de pensée de l'intervalle et des hauteurs fournit un indice assez fidèle de ce que la culture considère comme « consonant ».

**** La consonance cognitive psychologique.***

Le psychologue béhavioristeLéon Festinger donne une définition précise de la consonance et de la dissonance cognitive psychologique : « ***il y a consonance <u>cognitive</u> entre deux notions si l'une des deux découle de l'autre, ou autrement dit, si l'une des deux implique psychologiquement l'autre*** » (Poitou[1974], p.11).. Ce principe relativise les définitions de consonance universelle, construisant une aperception dépendant de nombreux facteurs culturels et psychologiques, et à la clôture de toute epistemé.

CONCLUSION

« *Si le difficile est le beau, c'est un grand homme que Rameau ; Mais si le beau par aventure, n'était que la simple nature, quel petit homme que Rameau !* ». Dans cette épigramme, publiée par le Mercure de France après la première représentation de *Hippolyte et Aricie* en 1733, se concentre une des interrogations esthétiques majeures relative à la complexité, qui traverse l'histoire, lui attribuant tantôt une valeur laudative (Ars Subtilior, sérialisme généralisé, école actuelle de la « nouvelle complexité »), tantôt péjorative (condamnation de la complexité de l'Ars Nova dans la bulle papale de 1322, Concile de Trente, école de la « nouvelle simplicité » de Carl Orff, puis aujourd'hui de Rihm, école minimaliste, *easy listening,* etc...). Cependant, de quelle complexité parlent ces artistes et ces critiques ? Admirent-ils la richesse de techniques ingénieusement agencées ou celle d'une œuvre perceptivement foisonnante ? S'étonnent-ils de l'accumulation des procédures ou de l'audition laborieuse d'une oeuvre inouïe heurtant les habitudes d'écoute ? Critiquent-t-ils une surenchère de techniques compositionnelles qui ne s'entendraient pas ou se réfèrent-ils par opposition à ces œuvres dont la beauté émerge de passages économes ? Il s'agit de séparer clairement les notions de complexité analytique et de complexité perceptive. Il convient ensuite, en ce qui concerne la complexité analytique, de différencier la complexité de l'algorithme de représentation de la procédure, la complexité en tant qu'accumulation de procédures, et la complexité de la pensée sous-jacente à une procédure. Il faut enfin, en ce qui concerne la complexité perceptive, distinguer la complexité due au seul résultat sonore de celle induite par un conditionnement culturel de l'auditeur, et séparer la complexité perceptive d'un auditeur au comportement « rationnel » et « mécaniste » des biais introduits par des conventions d'écoute et une culture.

Explorons le fossé séparant la complexité analytique de la complexité aperceptive. Il découle d'une traduction imparfaite et interprétative lorsqu'on passe du « langage » musical, a priori ineffable, au métalangage logico-textuel, et vice-versa. À partir de signes réducteurs et discrétisés représentant certaines qualités sonores (par exemple des hauteurs, des dynamiques et des rythmes), résultats d'une pensée logico-textuelle de la fonctionalisation et de la

séparation des paramètres, il s'agit de créer, de combiner, de modifier, et de distancier le matériau de l'émotion musicale (l'activité de composition). Il s'agit aussi, a posteriori, d'analyser et de repenser dans un métalangage logico-textuel la source musicale (la phase d'analyse). Pour ces deux activités, composition et analyse, ce passage par un méta-langage logico-textuel est essentiel. Certes, il ne s'agit pas toujours de noter la musique ou d'élaborer des esquisses sur papier. La grammatologie nécessaire à l'engendrement du matériau peut être fournie par des combinaisons de doigtés (c'est l'exemple des Harpes Nzakara de Marc Chemillier), par des pas de danse, des gestes endogénéisés de la main et de l'oreille (cas de l'improvisation), des métaphores symboliques ou lyriques, des représentations graphiques ou formalisées (les spectres, par exemple), etc... Mais, d'une part, parce que la création comme la compréhension sont cognitives, la grammatologie musicale passe par une archi-écriture. D'autre part, le créateur souscrit inconsciemment à un principe d'économie poïétique qui l'incite à privilégier des procédures de complexité analytique relativement faible générant des résultats musicaux de complexité perceptive relativement forte.

De plus, dans les deux cas, composition ou analyse, on peut montrer qu'il n'y a que peu de relations entre les degrés de complexité grammatologique et les degrés de complexité aperceptive. Deux procédures de même complexité algorithmique et porteuses d'un signifié analytique identique peuvent engendrer deux résultats sonores de complexités aperceptives totalement différentes (le paradoxe des gamelans rythmiques, par exemple). C'est le principe de non-bijection entre les complexités. Une procédure analytiquement déterminée peut induire un résultat sonore qui paraîtra perceptivement, selon les cas, banal, complexe, ou inintelligible (principe de saturation cognitive), si ce n'est parfois aléatoire (théorème de la complexité et de l'aléatoire, établi à partir du théorème de Kolmogorov-Chaitin). Deux procédures compositionnelles issues de logiques analytiques différentes, et donc de complexités grammatologiques éventuellement diverses, peuvent engendrer deux résultats sonores proches (les techniques de multiplication d'accords et de modulations de fréquence, par exemple). Deux techniques d'analyse distinctes peuvent proposer des descriptions diverses d'un même matériau (les diverses analyses du Sacre du Printemps, par exemple). Une technique de jugement analytique scientifiquement éprouvée, comme l'application de la seconde méthode de Descartes à l'étude un à un des paramètres musicaux d'une œuvre (analyse harmonique, rythmique, mélodique, formelle, etc.) peut forger des jugements perceptifs erronés sur une

œuvre (paradoxe de Sadaï). Enfin, un même résultat sonore pourra être perçu très diversement selon la culture et les conventions de l'auditeur ou de l'analyste (les cas des consonances d'un intervalle ou de l'aperception d'un motif et de sa transformée en sont quelques exemples).

Les deux activités d'aperception et de travail grammatologique sur le matériau ne sont toutefois pas si indépendantes. La perception est en effet cognitive, c'est-à-dire que l'oreille aperçoit, compresse, et interprète l'information sonore sous forme de schèmes cognitifs (hypothèse cognitiviste). En d'autres termes, la perception est une ré-écriture. En conséquence, la complexité aperceptive peut être définie comme la complexité analytique de l'algorithme inconsciemment réengendré par l'auditeur à l'écoute de la chaîne d'information, algorithme non nécessairement identique à celui utilisé par le compositeur pour engendrer le résultat sonore (principe d'indépendance esthésique). Ce réengendrement, c'est-à-dire le chemin d'aperception emprunté par l'auditeur, est d'ailleurs fortement lié à la culture, les comportements mimétiques, les curiosités et les conventions de l'auditeur (hypothèse relativiste). A contrario, l'écriture musicale, ou plus généralement l'archi-écriture, qu'elle apparaisse sous forme de signes ou sous d'autres représentations réduites du discours musical (doigtés, pas de danse, paroles), n'est pas seulement une transcription, une graphémologie, mais également une grammatologie, une représentation de la pensée, donc une réaperception analytique. L'écriture transfère l'œuvre sonore dans un autre espace de perception, graphique, sensitif, dactyle, ou sémantique, ce qui permet de s'en distancier, de l'observer et de la retravailler. En conséquence, la complexité analytique de l'algorithme engendrant le matériau peut aussi se définir en tant que complexité d'un mode de représentation, c'est-à-dire en tant que complexité de la formalisation d'une réception orientée vers un objectif de signification. L'écriture est donc aussi une perception. En conclusion, l'écriture musicale est une aperception analytique du musical, et l'aperception une ré-écriture cognitive.

Entre l'écriture cognitive qui découle de l'aperception et celle qui découle d'une grammatologie logico-textuelle s'établissent donc des ponts, bordés d'un fossé, d'une différence. De cette différence surgissent diverses complexités analytiques ou perceptives : les complexités algorithmiques, logiques, sociologiques, statiques, culturelles, mimétiques, dynamiques, physiologiques, etc.. Or c'est la diversité même de ces complexités qui motive la confrontation nécessaire entre 'langage' musical et métalangage logico-textuel. La

grammatologie pure sur le signe a par exemple permis, en Occident, d'atteindre des horizons perceptifs qui seraient restés inabordés sans elle. Ces jeux sur le signe, spéculations et autres gématries[213], sont devenus des moyens économiques et fructueux de création, car une transformation analytique simple, parfois anecdotique et musicalement insensée, peut aboutir à des résultats perceptifs inouïs que l'intuition auditive n'aurait pu seule imaginer. Inversement, l'induction de l'oreille d'un artiste l'entraîne souvent dans des recherches considérés comme scientifiquement ridicules mais porteuses de musicalité. Le dialogue biaisé et incomplet entre le monde logico-textuel et le monde musical reste donc fructueux et stimulant, et légitime parfois jusqu'aux grammatologies les moins musicales.

La grammatologie n'est cependant jamais totalement abstraite, et la perception jamais totalement acculturée. Elles sont chacune contraintes par des environnements culturels et esthétiques, qui s'échafaudent au gré de pratiques artistiques et de réflexions conscientes et inconscientes sur le musical. Comme l'avait déjà brillamment montré Max Weber dans sa *sociologie de la musique* (Weber[1972]), malgré une documentation ethnomusicographique à l'époque encore précaire, nos manières de percevoir et d'écrire la musique ne sont ni des hasards, ni des universaux. Les grammatologies digitales des N'Zakara de Centrafrique, les consonances de seconde des Iatmuls de Papouasie, les intervalles épimores des systèmes d'échelles arabes, ou la notation musicale discrétisée et paramétrisée de l'Occident sont révélateurs de la façon dont la musique se pense et s'aperçoit dans ces cultures respectives. Afin de mieux déchiffrer les complexités grammatologiques et aperceptives des musiques en Occident, il est alors nécessaire de se pencher sur leurs présupposés et leurs épistémologies. La musique occidentale est basée depuis ses origines grecques pythagoriciennes sur une tradition rationaliste, dont la notation et les sciences en sont les révélateurs. On attribue aujourd'hui, dans cette culture, plus de valeur à ce qui est quantifiable et échangeable qu'à ce qui est inexprimable et inqualifiable. On remarque que les théories économiques par exemple, qui ne font que formaliser les comportements rationnels des agents, ont progressivement abandonné des notions liées à la valeur de l'indicible et de l'ineffable, en particulier à la valeur d'une œuvre d'art en dehors de tout marché. L'économiste Adam Smith (*« Recherches sur la nature et les causes de la richesse des nations »* [1776]), reprenant une remarque d'Aristote,

[213] La gématrie est définie au chapitre B.-III 2)

distinguait encore à l'époque des lumières deux significations dans le mot valeur : la valeur d'usage, qui exprime l'utilité d'un objet particulier, et la valeur d'échange, qui désigne la faculté que donne la possession d'un objet de l'échanger contre d'autres biens (l'eau a par exemple une grande valeur d'usage mais une faible valeur d'échange). Cette distinction sera ultérieurement abandonnée ou modifiée par la théorie économique : Ricardo [1817] limite son analyse aux seules marchandises, c'est-à-dire aux biens à la fois utiles et reproductibles, et la théorie néoclassique (début du XX^{e} siècle) refuse toute distinction entre prix naturel et prix de marché, et entre prix et utilité. Alors que l'analyse Smithienne faisait encore du prix du marché une manifestation phénoménale d'une réalité plus essentielle, mais moins visible, la valeur réelle (ou prix naturel), la théorie néoclassique, au nom d'une nécessité positiviste de quantification pratique, réfute cette analyse essentialiste et métaphysique de la valeur, au profit d'une analyse plus nominaliste. Par la suite, l'école autrichienne de l'économie développera certes une théorie de la valeur (utilité au sens strict), mais en démontrant qu'elle est relative à chaque individu, donc non identifiable intrinsèquement, et visible à travers la seule valeur d'échange. De même, l'analyse marxiste proposera une distinction entre deux valeurs, mais qui repose sur la différence entre la valeur d'usage des marchandises, qui détermine le prix de production, et la valeur née de la force de travail, que le capitaliste achète contre salaire. Les théories économiques ont ainsi clairement abandonné la notion de valeur d'usage, trop peu quantifiable.

L'activité du compositeur n'est pas exempte de cette conformation épistémologique. On croit cerner un phénomène lorsqu'on en fait émerger la structure sous-jacente, et, pour atteindre cet objectif, on privilégie la méthode de la décomposition d'un problème complexe en plusieurs problèmes plus simples , selon des paramètres apparemment indépendants (et qui, en fait, ne le sont que sous la modalité de leur représentation écrite souhaitée) ; on appelle en Occident « musique savante » une musique élaborée ou analysée selon des recherches logico-textuelles, portée par des techniques qu'il faut pouvoir verbaliser, enseigner, échanger, et finalement évaluer scientifiquement. Cette musique savante occidentale s'est appuyée sur une notation qui a atteint, dès le XIVème siècle, sa complétude, c'est-à-dire une stabilité, une compréhension implicite, et une possibilité de transmission. En revanche cette notation complète, favorisant l'analytique, sépare les paramètres sonores et les réduit à des valeurs

discrètes[214] (une fondamentale, une dynamique, et une durée). La grammatologie musicale occidentale s'est donc laissée fasciner par sa graphémologie, les jeux combinatoires que ces signes autorisent, et s'est moins souciée, selon les époques, de l'entre-signe et du transparamétrique, parce que sa graphémologie représentait au mieux la pensée occidentale analytique et réductrice du musical.

Or, si une grammatologie du symbolique, même parfois dénuée de sens musical, est nécessaire, il semble qu'elle atteigne aujourd'hui ses limites, non par sa non-musicalité, mais par les limites de la graphémologie qui la porte. La « boîte de Pandore » fut ouverte, semble-t-il, par la musique concrète, qui, en s'accaparant les nouveaux moyens de transcription de l'enregistrement phonographique, a dégagé de nouvelles possibilités grammatologiques, et également, en conséquence, aperceptives (elle a réorienté la perception de l'auditeur occidental). Certes, ces grammatologies étaient initialement très intuitives et attendent encore des interfaces graphémologiques et grammatologiques aussi complets et intuitivement maniables que la partition de Guido d'Arezzo. Néanmoins, une nouvelle ère, post-structuraliste, s'est ouverte, cherchant au-delà des signes pour aller vers de nouvelles écritures du son, et donc de nouvelles pensées du musical, et engendrant depuis les années 70 une série de problématiques esthétiques (esthétiques « de synthèse instrumentale », « répétitives », « concrètes », « concrètes instrumentales », ...).

Nous citions en exergue de ce travail ce conseil de Derrida : « *La constitution d'une science ou d'une philosophie de l'écriture est une tâche nécessaire et difficile. Mais parvenue à ces limites et les répétant sans relâche, une pensée de la trace, de la différance ou de la réserve, doit aussi pointer au-delà du champ de* l'épistemé ». À la lecture de cette phrase, il semble a priori contradictoire de tenter une recherche scientifique, logico-textuelle, avec ses risques de logocentrisme, sur le rapport entre écriture et entre-écriture[215] en musique. Cependant, nous n'aurions pas effectué cette recherche si elle n'accompagnait et même soutenait un travail plus ineffable dans le domaine de la création musicale, car l'œuvre est finalement le medium optimal

[214] Il est d'ailleurs étonnant que cette séparation des paramètres se soit maintenue dans les grammatologies plus récentes, comme, par exemple, en musique informatique qui a cherché, et réussi grâce au numérique, à séparer à nouveau le temps et la hauteur, alors que l'interdépendance des phénomènes fréquentiels et temporels reste une problématique majeure de l'acoustique et de l'analyse du signal.

pour observer l'autre versant de la clôture, puis la déplacer. De plus, si on relit attentivement ce programme derridien, on réalise combien, de la même façon que les grammatologies musicales même apparemment vaines restent le meilleur moyen pour composer et créer de l'inouï, on n'échappe à cette clôture qu'en la pensant.

[215] Entre-écriture, puisque l'écoute aperçoit à la fois des catégories explicitées par l'écriture en tant que médium de pensée logico-textuelle du musical, mais également des catégories à la brisure de cette pensée.

BIBLIOGRAPHIE

M. ADLER [1985] : « Stardom and Talents », *American Economic Review*, Vol. 75, n°1, mars 1985.

T.-W. ADORNO [1958] : *Philosophie de la nouvelle musique*, Gallimard, Paris.

T.-W. ADORNO [1982] : *Quasi una fantasia*, trad. J.-L. Leleu, Gallimard, Paris.

M. AGLIETTA [1976] : *Régulation et crises du capitalisme. L'expérience des Etats-Unis*, Calmann-Lévy, Paris.

P. ALBERA/P.BOULEZ [1989] : « Entretien avec P. Boulez », propos recueillis par Philippe Albera,, *Musiques en création*; Festival d'automne à Paris.

E. AMIOT [1994] : « La série dodécaphonique et ses symétries », *Quadrature n°19*, III-94, Paris.

M. ANDREATTA [1999] : *La Théorie Mathématique de la musique de Guerino Mazzola et les canons rythmiques*, Mémoire de DEA, Université Paris IV, EHESS, Ircam, Paris.

S. AROM [1985] : *Polyphonies et polyrythmies instrumentales d'Afrique Centrale*,deux tomes, SELAF éd., Paris.

S. AROM, G. LÉOTHAUD, F. VOISIN [1997] : « Experimental ethnomusicology : An interactive approach to the study of musical scales » in *Perception and cognition of music*, sous la dir. de I. Deliège et J. Sloboda, Psychology Press, London.

CH. M. ATKINSON [1998] : « L'évolution modale, une perspective du παραπτερον», *Etudes grégoriennes*, XXVI-1998, p.95-110, Abbaye Saint-Pierre de Solesmes.

J. BAILLET [1993] *Le langage musical d'André Jolivet dans ses oeuvres d'avant-guerre*, Maîtrise de musicologie, Université Lumière Lyon II, sept.93.

J. BAILLET [2000] : *Gérard Grisey, fondement d'une écriture*, l'Itinéraire-l'harmattan, Paris.

J.-P. BARTHELEMY, A.GUENOCHE [1988] : *Les arbres et les représentations de proximité*, Masson, Paris.

H. S. BECKER [1988] : *Les mondes de l'art*, trad. de J. Bouniort, Flammarion éd., Paris.

A. BÉLIS [1986] : *Aristoxène de Tarente et Aristote, le traité d'harmonique*, Klincksieck, Paris.

I. BENT [1987] : *l'analyse musicale, histoire et méthodes*, trad. A. Coeurdevey et J. Tabouret, éd ; Main d'Oeuvre, Paris.

L. BERIO [1983] : *Entretiens avec Rossana Dalmonté*, traduit par M.Kaltenecker, J.C.Lattès éd, Paris.

H. BERLIOZ [1852, rééd. 1968] : *Les soirées de l'orchestre*, CNRS/Gründ éd., Paris.

J. J. BHARUCHA [1987] : "Music Cognition and Perceptual Facilitation : A connectionist Framework", *Music Perception*, automne 1987 vol 5 n°1, p.1-30, Université de Californie.

A. M. S. BOECE [524 trad 1989] : *de institutione musica*, (Fundamentals of Music), trad. C.Bower, Yale University Press, New Haven.

S. BOUCHERON [1992] : *Théorie de l'apprentissage, de l'approche formelle aux enjeux cognitifs*, Hermès éd, Paris.

L. BOUCKAERT [1998] : *La production de la musique concrète à Paris de 1948 à la fondation du GRM en* 1958 ; Mémoire de maîtrise sous la dire. De J.-M. Chouvel, Université de Lille III.

P. BOULEZ [1963] : *Penser la musique aujourd'hui,* Tel Gallimard éd, Paris.

P. BOULEZ [1964] : « Nécessité d'une orientation esthétique », *Mercure de France*, n°1206, avril 1964, Paris.

P. BOULEZ [1966] : *Relevés d'apprenti*, Seuil éd, Paris.

P. BOULEZ [1975] : « Donc on remet en question », *La musique en projet*, IRCAM/Gallimard, Paris.

P. BOULEZ [1986] : « Le système et l'idée », *Inharmonique n°1: Le temps des mutations*, IRCAM/Christian Bourgeois, Paris.

P. BOULEZ [1989] : *Jalons (pour une décennie),* Christian Bourgeois éd, Paris.

P. BOULEZ [2001] : « Prenons garde à la démagogie », *Revue des deux mondes : à quoi sert la musique contemporaine*, janvier 2001, Paris.

P. BOULEZ/J. CAGE [1990] : *Correspondance et documents,* Paul Sacher Stiftung éd, Basel.

N. BOURBAKI [1968] : « Groupes et Algèbres de Lie, fasc. XXXIV », *Eléments de Mathématiques,* Hermann éd, Paris.

P. BOURDIEU [1979] : *La distinction, critique sociale du jugement,* éditions de Minuit, Paris.

A. BOUVIER, D. RICHARD [1974] : *Groupes: observation, théorie, pratique,* Hermann éd, Paris.

C. BOYER [1989] : *a history of Mathematics,* John Wiley & sons, New-York

C. BRAILOIU [1973] : *Problèmes d'ethnomusicologies*, Minkoff Reprint, Genève.

B. BRIL [1991] : « Apprentissage et culture », *Savoir faire et Pouvoir transmettre*, sous la dir. de D.Chevallier; éd. de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris.

E. BUCH [1994] : *Histoire d'un secret. À propos de la* Suite *Lyrique d'Alban Berg,* Actes sud ed., Arles.

C. BUCI-GLUCKSMANN & M. LEVINAS [1993] : *L'idée musicale,* P.U.V, Saint-Denis.

M. BUKOFZER [1947] : *La musique baroque*, Agora Presses Pocket ed., trad. 1988, Paris.

P.-A. CASTANET [1990] : « Impacts et échos des événements de 1968 dans la musique populaire et la musique savante », *Cahiers du CIREM n°14-15,* déc89-Mars90, Univ. de Rouen.

J. CHAILLEY [1960] : *L'imbroglio des modes,* A.Leduc éd, Paris.

J. CHAILLEY [1967] : *Expliquer l'harmonie,* Editions d'Aujourd'hui, Paris.

M. CHEMILLIER [1990] : *Structure et Méthode algébriques en informatique musicale (thèse),* L.I.T.P., Institut Blaise Pascal, Paris.

N. CHOMSKY [1979] : *Structures syntaxiques,* Point-seuil éd, Paris.

N. CHOMSKY [1985] : *Règles et représentations,* Flammarion éd, Paris.

N. CHOMSKY [1987] : *Generative grammar : its basis, development and prospects*, Studies in englisch linguistiques and literature, spécial issue, Kyoto University of foreign studies, Kyoto, Japan.

J.-M. CHOUVEL [1998] : *Esquisses pour une pensée musicale, les Métamorphoses d'Orphée*, L'harmattan éd, 1988, Paris.

J.-M. CHOUVEL & F. LÉVY (textes réunis par) [2002] : *Observation, analyse, modèles : peut-on parler d'art avec les outils de la science ;* actes du deuxième colloque international d'épistémologie musicale; Les cahiers de l'Ircam, L'Harmattan/Ircam, Paris.

J. CHOWNING [1988] : *livret du disque monographique -Turenas, Stria, Phoné, Sabelithe*. Disque Wergo 2012-50, Schott.

C.N.R.S. [1992] : « Dossiers scientifiques : Sciences Cognitives », *Le courrier du C.N.R.S.*, n°79, oct.92, Paris.

COLLECTIF [1989] : « *L'économie des conventions* », numéro spécial de la *Revue Economique*, n°2, mars.

M.-N. COLETTE, M. POPIN, P. VENDRIX [2003] : *Histoire de la notation du Moyen-âge à la Renaissance*, Minerve, Paris.

COLLOQUE DE CERISY [1991] : *Les théories de la complexité; Autour de l'oeuvre d'Henri Atlan*, Sous la direction de Françoise Fogelman Soulié**,** Seuil éd, Paris.

J. COPEAUX [1999] : Draft de maîtrise et mémoire d'analyse du CNSMDP sur *une comparaison des analyses de la Danse Sacrale par Messiaen et par Boulez*, non publié, Paris.

M.-A. DALBAVIE [1989] : « Notes sur Gondwana », in *Entretemps n°8 consacré à Grisey et Murail*, sept. 89, Genève.

C. DAHLHAUS [1967 trad. 1993] : *La tonalité harmonique, étude des origines*, Pierre Mardaga éd., Liège.

C. DAHLHAUS [1985] : « Plaidoyer pour une théorie actuelle de la musique », in *Quoi, Quand, Comment, La recherche musicale*, Christian Bourgeois IRCAM éd.

A. DANHAUSER [1929] : *Théorie de la musique*, Editions Henry Lemoine, Paris.

J. DAÖN [1994] : « Historique et perspective de l'Intelligence artificielle», *Quadrature n°19*, III-94.

C. DEBUSSY [1987] : *Monsieur Croche et autres écrits*, Gallimard, Paris.

J.-P. DELAHAYE [1994] : *Information, complexité et hasard*, Hermes, Paris.

C. DELIEGE, C. HELFFER, E. AMIOT, Y. SADAI, et alii [1992] : "Logique et Musique" in *Analyse Musicale n°28, juin 92.*

C. DELIEGE [1984] : *structures de la musique tonale*, Jean-Claude Lattès, Paris.

C. DELIEGE [1985] : « Variables historiques du concept de recherche musicale », in *Quoi, Quand, Comment, La recherche musicale*, Christian Bourgeois/IRCAM éd, Paris.

C. DELIEGE [1995] : « En exil d'un jardin d'Eden, essai sur la relation entre l'invention musicale et ses théories », *Revue de musicologie, n°81/1*, 1995, Paris.

S. DEMARQUEZ [1958] : *André Jolivet*, Ventadour éd., Paris.

D. DEUTSCH [1982] : *The psychology of Music.* Academic Press Inc. London.

J. DERRIDA [1967] : *De la grammatologie.* Les éditions de minuit. Paris.

R. DESCARTES [1637, éd.1989] : *Discours de la méthode.* Librairie J. Vrin éd., Paris.

L. A. DEWITT & R. G. CROWDER [1987] : «Tonal fusion of consonant musical intervals : The oomph in Strumpf », *Perception and Psychophysics n°41(1),* pp.73-84.

F. DOSSE [1992] : *Histoire du structuralisme,* La Découverte, Paris.

W. J. DOWLING [1972] : "Recognition of Melodic Transformations. Inversion, Retrograde and Retrograde-Inversion", *Perception and Psychophysics n°12, P417-421.*

H. DUFOURT [1986] : « Pierre Boulez, musicien de l'ère industrielle », *Inharmonique n°1: Le temps des mutations,* IRCAM/Christian Bourgeois, Paris.

H. DUFOURT [1979, rééd.1991] : « musique spectrale », *Musique, pouvoir, écriture,* Christian Bourgeois éd., Paris.

H. DUFOURT [1998] : «Les origines grecques du concept d'Harmonie», *Les cahiers des philosophies du Langage,* n°3 « Philosophie et Musique », ouvrage collectif sous la direction de A. Soulez, Y. Sebestik, F. Schmitz, Paris.

P. DUHEM [1911 rééd. 1993] : *La théorie physique, son objet, sa structure.* Librairie philosophique J. Vrin, Paris.

J.-P. DUPUY [1989] : "Convention et Common Knowledge", in *L'économie des conventions,* numéro spécial de la *Revue Economique*, n°2, mars.

U. ECO [1971] : « Pensée structurale et pensée sérielle », in *Musique en jeu n°5, « sémiologie de la musique », 1971/IV,* Seuil éd, Paris.

R. D'ERLANGER [1936], ***La musique Arabe,*** Librairie orientaliste Paul Geuthner, Paris

B. FERNEYHOUGH [1987] : *Entretemps n°3,* Paris.

B. FERNEYHOUGH [1988] : *Contrechamps n°8,* éditions l'age d'homme, Lausanne.

B. FERNEYHOUGH [1995] : *Collected* writing, édité par James Boros et Richard Toop, Hardwood academic Publishers, Amsterdam.

B. FERNEYHOUGH [1999] : Textes réunis par Peter Szendy, L'Ircam/L'Harmattan éd., Paris.

P. FLAGOLET, R.SEDGEWICK [1996] : *Introduction à l'analyse des algorithmes,* trad. de C. Chabaud, International Thomson Publishing (France) éd., Paris.

A. FORTE [1973] : *The Structure of Atonal Music,* Yale University Press, New Haven and London

A. FORTE [1978] : *The harmonic Organization of the Rite of Springs,* Yale University Press, New Haven and London

P. FRAISSE [1974] : *Psychologie du rythme,* PUF éd, Paris.

R. FRANCES [1958] : *La perception de la musique,* Vrin éd, Paris.

R. H. FRANK [1988] : *Passions within Reason, The strategic Role of the Emotions,* Norton éd.

E. FREIDSON [1986] : "L'analyse sociologique des professions artistiques", *Revue française de sociologie XXVII-3, pp.445-479.*

C. FROIDEVAUX, M.-C. GAUDEL, M. SORIA [1990] : *Types de données et algorithmes,* McGraw-Hill.

E. FUBINI [1983] : *Les philosophes et la musique,* trad. D. Pistone, Honoré Champion éd, Paris.

D. GIGUE [1994] : *Etude pour les sonorités opposées : une méthode de saisie et d'évaluation des dimensions complexes de l'écriture musicale.* Thèse pour le doctorat en musique et musicologie du XXème siècle, EHESS/IRCAM, Paris.

M.-D. GINESTE [1997] : *Analogie et cognition. Etude expérimentale et simulation informatique,* PUF éd., coll Psychologie et sciences de la pensée, Paris.

P.-Y. GOMEZ [1994] : *Qualité et théorie des conventions,* Economica éd, Paris.

J. GOODY [1977] : *The domestication of the savage Mind,* Cambridge University Presse, Cambridge & New York.

J. GOODY [1987] : *The Interface between the Written and the Oral,* Cambridge University Presse, Cambridge & New York.

H. GÖTZE, R. WILLE (sous la direction de)[1984] : *Musik und Mathématique, Salzburger Musikgespräch 1984 unter Vorsitz von Herbert Von Karajan,* Springer-Verlag, Berlin.

J. GOGUEN [1977] : « Complexity of hierarchically organized systems and the structure of musical experiences », *Int. Journal of General systems,* 1977, vol.3, pp.233-251, Gordon and Breach Science Publishers, London.

G-G. GRANGER [1967]: *Pensée formelle et science de l'homme,* Paris, Aubier-Montaigne, Paris

G. GRISEY [1983] : « Tempus ex machina », *Neuland Jahrbuch n°3 (1982-1983)* repris dans *Contemporary Music review,* 1987 Vol2, part.1, et dans *Entretemps n°8,* sept.89, Genève.

G. GUERIN [1995] : *Réflexions sur la notion de complexité,* La pyrasphère éd, Paris.

G. GUILBERT [1998] : *Les nouveaux courants musicaux : simples produits des industries culturelles* . éd. Mélanie Séteun, Nantes, 1998.

S. GUT [1969] : *La tierce harmonique dans la musique occidentale, origines et évolution.* Heugel et Cie éd., Paris.

S. GUT [1977], *Le groupe jeune France,* Paris, Champion éd.

C. HASTY [1997], *Meter as Rhythm,* Oxford University Press, Oxford.

X. HAUTBOIS [1998] : « La mélodie solide ou le mythe de la caverne revisité », *Musicae Scientae,*Revue de la société européenne de sciences cognitives, autom 1998, vol II n°2, 171-197.

Y. HELLEGOUARCH [1983] : « Gammes naturelles », *Musique et Mathématiques,* revue de l'Assoc.des Professeurs de Math. de l'Enseignement Public, N°53.

H. L. F. von HELMHOLTZ [1868, réd.1968] : *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik,* Georg Olms Verlagsbuchandllung, Hildesheim. Aussi : **H. L. F. von HELMHOLTZ [1868, trad.1990]** : *Théorie physiologique de la musique,* éditions Jacques Gabay, Sceaux.

D. HOFSTADTER [1985] : *Gödel, Escher, Bach, Les Brins d'une Guirlande Eternelle,* Interéditions éd, Paris.

M. IMBERTY [1979] : *Entendre la musique,* Dunod, Paris.

IRCAM [1985] : *Quoi, Quand, Comment, La recherche musicale*, Christian Bourgeois IRCAM éd, Paris.

R. JAKOBSON [1963] : *Essais de linguistique générale*, éd. de Minuit, Paris.

D. JAMEUX [1980] : *Berg*, Solfèges/Seuil éd, Paris.

V. JANKELEVITCH [1961] : *La musique et l'ineffable*, Seuil éd, Paris.

J.-M. KLINKENBERG [1996] : *Précis de sémiotique générale*, De Boeck & Larcier éd., coll. Points Essais, Paris.

L. KOBLYAKOV : "P. Boulez, Le marteau sans maître, Analysis of pitch structure".

L. KOBLYAKOV : "Notes préliminaires au sujet de la musique nouvelle".

Y. KODRATOFF, R.S.MICHOLSKI, J.G.CARBONEK, T.M. MITCHELL [1993] : *Apprentissage symbolique : une approche de l'intelligence artificielle*, Traduit par Y.Kodratoff. Cepadues éd, Paris.

C. KOECHLIN [1926] : *Précis des règles du contrepoint*, Heugel éd, Paris.

J. KORNAÏ [1980] : *Economics of shortage*, North Holland publishers company.

J. KRAMER [1994] : « Quatre Conférences », *Séminaire d'été des jeunes compositeurs*, 12-15 sept. 1994, Kazimierz Dolny, Pologne.

C.-L. KRUMHANSL [1990] : *Cognitive foundations of musical pitch*. Oxford University Press éd. New York.

H. LACHENMANN [1996] : *Musik als existentielle Erfahrung*. Écrits (1966-1995), Breitkopf und Härtel, Wiesbaden.

J. LATTARD [1988] : *Gammes et tempéraments musicaux*. éd. Masson, Paris.

C.-S. LEE [1985] : « The rhytmic Interpretation of Simple Musical Sequences : Toward a Perceptual Model », *Musical Structure and Cognition*, sous la dir. de I.Cross et R.West, Academic Press Inc.Ltd, Londres.

R. LEIBOWITZ [1949] : *Introduction à la musique de douze sons*, L'arche éd, Paris.

F. LERDAHL, R. JACKENDOFF [1983] : *A generative theory of tonal music*, Cambridge, The MIT press.

P. LESTAGE [1994] : « Complexité et structures cérébrales : Piaget et Prigogine » *Les défis de la complexité. Vers un nouveau paradigme de la connaissance*, Sous la direction de D.De Bechillon; L'harmattan éd, Paris.

C. LÉVI-STRAUSS [1963] : *Le cru et le cuit*, Plon éd, Paris.

C. LÉVI-STRAUSS [1967] : *Les Structures élémentaires de la Parenté*, 2è édition, Mouton and Co et Maison des Sciences de l'homme éd., Paris.

F. LÉVY [1994] : « Trente ans d'évolution des théories économiques à l'épreuve des faits », *Cahiers de Sociologie et de Démographie Médicale, XXXIV/4 (oct.-déc.94)*, C.S.D.M., Paris.

F. LÉVY [1997] : « Le tournant des années 70 : De la perception induite par la structure aux processus déduits de la perception. » L'Harmattan/L'Itinéraire, À paraître.

F. LÉVY [1998] : « Plaidoyer pour une oreille subjective et partisane. Une approche 'pythagoricienne' de la perception culturelle des intervalles » *cahiers des philosophies du Langage*, n°3 *« Musique, rationalité, langage »*, ouvrage collectif sous la direction de A. Soulez, Y. Sebestik, F. Schmitz, L'harmattan éd. 1998, Paris.

F. LÉVY (textes réunis par) [2001] : *Les écritures du temps, (musique, rythme, etc.)* ; Les cahiers de l'Ircam, L'Harmattan/Ircam, Paris, 2001.

K. LEVY [1998] : *Gregorian chant and the carolingians*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

L. LÉVY-BRUHL [1910] : *Les fonctions mentales dans les sociétés inférieures*, Felix Alcan éd., Paris.

D.-K. LEWIS [1969] : *Convention : A philosophical study*, Harvard University Press.

A. MACHABEY [1955] : *Guillaume de Machault*, Richard Masse éd., Paris.

S. McADAMS, I. DELIEGE (sous la direction de) [1988] : *La musique et les Sciences Cognitives*, Mardaga éd., Liège.

S. McADAMS [1994] : « Audition :physiologie, perception et cognition » *Traité de psychologie expérimentale*, sous la dir. de M.Richelle, J.Requin et M.Robert, PUF éd, Paris.

T. A. S. MANI [1991] : *Sogusuga Hridanga Taalamu-A reference book on South Indian Percussion Mridangam*, K.C.P. Publications, Bangalore (Inde).

S. MAALOUF [2002] : *History of arabic Music Theory : Change and continuity in the tone Systems, genres, and scales.* CEDLUSEK, Université Saint-Esprit de Kaslik ed. Jounieh, Liban.

L. MANIK [1969] : *Das arabische Tonsystem im Mittelalter*, E.J.Brill éd., Leiden, Pays-Bas.

G. MAZZOLA [1990] : *Geometrie der Töne. Elemente des Mathematishen Musiktheorie*. Birkhaüser Verlag, Berlin.

N. MEEÙS, I. DELIEGE, J. SLOBODA, K. MIKLOSZEWSKI [1992] : "Analyse Musicale et Sciences Cognitives" in *Analyse Musicale n°26, fév. 92.*

M. MESNAGE, A. RIOTTE [1994] : *Formalisation de la musique*, séminaire du 04/05/94, IRCAM, Paris.

P.-M. MENGER [1986] : "L'oreille spéculative : consommation et perception de la musique contemporaine", *Revue française de sociologie XXVII-3, pp445-479.*

O. MESSIAEN [1944] : *Technique de mon langage musical*, Leduc éd, Paris.

O. MESSIAEN [1995] : *Traité de rythme, de couleur et d'ornithologie*, Leduc éd., Paris

H.-K. METZGER (sous la dir. de) [1988] : *Musik-Konzept n°61/62*, numéro consacré à « Helmut Lachenmann », oct.88, Münich.

L. MEYER [1956]: *Emotion and Meaning in Music*, University of Chicago Press

L. MEYER [1998] : « Un univers d'universaux », in *L'objet musical et l'universel, Philosophie*, n°59, sept.98, Les éditions de Minuit, Paris.

P. MOATI [1993] : "Rationalités et marchés des biens culturels" in *Problèmes économiques n°2339, 1/09/93.*

A. MOLES [1958] : *Théorie de l'information et perception esthétique*, Flammarion éd, Paris.

A. MOLES [1964] : « Théorie informationnelle de la musique », *Bulletin du Groupe d'Acoustique Musicale n°5, 25/05/64,* Université de Paris éd, Paris.

E. MOUTSOPOULOS [1989] : *La musique dans l'œuvre de Platon,* P.U.F.éd, 1ère éd. 1959, Paris.

E. NARMOUR [1990] : *The analysis and cognition of basic melodic structures. The implication-realization model,* The University of Chicago Press, Chicago.

J.-J. NATTIEZ [1975] : *Fondements d'une sémiologie de la musique,* 10/18 éd, Paris.

J.-J. NATTIEZ [1987] : *Musicologie générale et sémiologie,* Christian Bourgeois éd, Paris..

T. NOLL & A. NESTKE [2002] : « L'aperception des hauteurs », trad. F. Lévy, à paraître dans un ouvrage sur les *Mathématiques et la musique,* Ircam.

R. NONNENMANN [2000] : *Angebot durch Verweigerung, die Ästhetik instrumentalkonkreten Klangkomponierens in Helmut Lachenmanns Orchesterwerken,* Schott ed., Mainz, Allemagne.

A. ORLEAN (sous la dir.)[1994] : *Analyse économique des conventions*, P.U.F. éd, Paris.

I. OSWALD [1986] : *Théorie de l'information ou analyse diacritique des systèmes,* Masson éd, Paris.

F. PACHET & J. CARRIVE [1998] : « Intervalles temporels circulaires et application à l'analyse harmonique », *Recherches et applications en informatique musicale,* Sous la dir. de M. Chemillier et F. Pachet., Hermes éd., Paris, pp.17-30.

F. PACHET [2000] : « Computer analysis of Jass chords séquences : is Solar a blues ? », *Readings in music and artificial intelligence,* Sous la dir. de E. R. Miranda., Harwood academic publishers, Amsterdam, pp.85-114.

R. PARNCUTT & H. STRASBURGER [1994] : « Applying psychoacoustics in composition : 'Harmonic' progressions of 'Non harmonic' sonorities », *Perspectives of New Music,* vol 32 n°2, summer 1994, pp.88-129.

J. PIAGET [1975] : *L'équilibration des structures cognitives. Problème central de développement,* Presses Universitaires de France, Paris.

J. PIAGET [1987] : *Le structuralisme,* Presses Universitaires de France, Paris.

J. PIERCE [1984] : *Le son musical,* Belin, Paris.

R. PLOMP [1976] : *Aspects of Tone Sensation,* Academic Press, London.

J.-P. POITOU [1974] : *La Dissonance Cognitive,* Librairie Armand Colin, Paris.

J.-P. PONSSARD [1994] : "Formalisation des connaissances, apprentissage organisationnel et rationnalité interactive", *Analyse économique des conventions,* sous la dir. d'A. Orlean, PUF éd, Paris.

K. POPPER [1972] : *La Connaissance objective,* Aubier éd, Paris.

R. POSNER [1988] : « Balance of Complexity and Hierarchy of Precision : two Principles of Economy in the Notation of Language and Music » *Semiotic Theory and Practice,* Proceedings of the third international Congress of the IASS, 1984, pp.909-919, Mouton de Gruyter, Berlin.

D. PRESSNITZER et alii [1996] : D.Pressnitzer, S. Mc Adams, S. Winsberg, J. Fineberg, « Tension et rugosité dans la musique non-tonale », *Les cahiers du GREYC,* 1996 N°4, C.N.R.S.-URA 1526 éd., Caen.

I. PRIGOGINE & I.STENGERS [1988] : *Entre le temps et l'éternité*, Fayard éd, Paris.

C. PTOLEMEE [203, trad. 1999] *harmonics*, trad. Jon Solomon, , Brill éd., Leiden, Pays-Bas.

J.-P. RAMEAU [1722, rééd. 1986] : *Traité d'harmonie,* Fondation Singer-Polignac, Méridiens-Klincksieck éd., Paris.

A. RIOTTE [1983] : *Formalisations des structures musicales,* Université de Paris VIII, Département d'informatique, Paris.

A. RIOTTE [1994] : *Enseignement sur les formalisations des structures musicales,* cours de DEA « musique et musicologie du XXème siècle », Ircam.

J.-C. RISSET [1969 rééd.1995] : *An introductory catalogue of Computer Synthesized Sounds,* CD + livret Wergo, Computer Music Currents.

J.-C. RISSET [1978] : *Paradoxes de hauteurs*. rapport IRCAM n°10/1978.

J.-C. RISSET [1988] : « Perception, environnement, musiques », *Inharmonique n°3: Musique et perception*, IRCAM/Christian Bourgeois, Paris.

J.-C. RISSET [1997] : « Problèmes d'analyse : quelques clés pour mes premières pièces numériques, Little Boy et Mutations ». In *Analyse en musique électroacoustique,* Actes de l'Académie internationale de Musique Electroacoustique 1996, Bourges.

J.-C. RISSET [1998] : " Contacts with Edgard Varese ", *Contemporary Music Review, Special issue on Varèse,* à paraître.

C. ROSEN [1988] : *Sonata forms*, Norton éd..

C. ROSTAND [1952] : *La musique française contemporaine*, Presses Universitaires de France, Paris.

G. RÖTTERS [1985] : « Zeit- und Rhythmuswahrnehmung », in *Handbuch der Musikpsychologie*, Texte réunis par Helga de la Motte-Haber, Laaber-Verlag, Laaber, Allemagne.

Y. SADAI [1992] : « Le musicien-cognitiviste face au cognitiviste-musicien » *Analyse Musicale n°26*, février 1992.

Y. SADAI [1995]: « De l'analyse pour l'analyse et du sens de l'intuition (quelques réflexions sur le paradigme d'une science de la musique) », *Musurgia*, 1995, vol. II, n°4, Paris.

D. SAGOT-DUVAUROUX [1995] : « Incertitude qualitative et fonctionnement des marchés artistiques », *Colloque « Approches comparatives en économie de la culture »*, 28-30 mai 1995, IGREC-ADDEC.

P. SCHAEFFER [1966] : *Traité des objets musicaux*, Seuil éd, Paris.

P. SCHAEFFER [1973] : *La musique concrète*, Que sais-je, PUF éd, Paris.

A. SCHÖNBERG [1922, rééd. 1983] : *Traité d'harmonie*. Traduit par Gérard Gubisch, M&Méd., Lattès éd, Paris.

J. SEBSTIK, A. SOULEZ [1986] : *Le cercle de Vienne, doctrines et controverses*, Méridiens Klincksieck éd, Paris.

W. SETHARES [1998] : *Tuning, timbre, spectrum, scalee*, Springer Verlag, Londres.

J. SLOBODA [1988] : *L'esprit musicien : la psychologie cognitive de la musique*, traduit par M.I. Callart, P.Mardaga éd, Paris.

J. STERN [1990] : *Fondements mathématiques de l'informatique*, Mc Graw-Hill, Paris.

I. STRAVINSKY [1913, rév. 1947] : *Le Sacre du Printemps*, version révisée 1947, Boosey and Hawkes éd.

I. STRAVINSKY [1969] : *Le Sacre du Printemps, sketches 1991-1913* (esquisses de composition), Boosey and Hawkes.

I. STRAVINSKY [1982 rééd.] : *Poétique musicale*, Plon éd, Paris.

I. STRAVINSKY, R. CRAFT [1959] : *Expositions and Developpments*, Faber éd.

I. STRAVINSKY, R. CRAFT [1980] : *Conversations with Igor Stravinsky*, University of California Press, Los Angeles.

R. TANNER [1972] : « La différenciation qualitative des psycharithmes et des intervalles musicaux », *La Revue Musicale, numéro spécial*, éd. Richard Masse, Paris.

J. TENNEY [1988] : *A history of 'consonance' and 'dissonance'*. Excelsior Music Publishing Company, New York.

E. TERHARDT [1974] : « Pitch, consonance, and harmony », *Journal of Acoustical Society of America*, vol.55, n°5, May 1974, pp.1061-1069.

R. TOOP [2000] : « Contre une théorie de la (nouvelle) complexité musicale », *textes d'étude du Séminaire de l'ESCOM : Musique contemporaine : théorie et Philosophie*, Bruxelles 18-19 mars 2000.

M. VALLESPIR [2002] : *l'effet d'exorcisme produit par des oeuvres poétiques et musicales de la guerre et du direct après-guerre (1939-1950)*, thèse de doctorat sous la direction de G. Molinié, Université de Paris-IV, rédaction en cours.

M. VALLESPIR, L. KURTS, A. MASSON & A. WATINE [2002] : « Trame pour une trans-sémiotique de l'artistisable », groupe trans-, recherche en transsémiotique des arts, Draft, Paris.

J. VAN BENTHEM [2001] : « La magie des cris trenchantz : Comment le vray trésorier de musique échappe à la trappe du très terrible satrappe », *Théorie et analyse musicales 1450-1650*. Actes du Colloque international de Louvain la Neuve, Université catholique de Louvain.

P. C. VAN DEN TOORN [1987] : *Stravinsky and the Rite of the Spring : the beginning of a musical language*, Oxford University Press.

A. VEITL [1997] : *Politiques de la musique contemporaine*. L'Harmattan éd, Paris.

Abbé VOGLER [1776 rééd.1970] : *Tonwissenschaft und Tonsezkunst*, Georg Olms Verlag, Hildesheim.

Abbé VOGLER [1776b], *Gründe der Kuhrpfählzichen Tonschule*, Livre des exemples, Microfilm Fot. 33618, bibliothèque d'État de Berlin.

J. VIRET [1999] : « La notation du chant grégorien, écriture et oralité, des rapports problématiques», in *Noter la musique, cahiers de musiques traditionnelles* Georg éd.

P. de VITRY [1320 trad. 1964] : *Ars Nova*, American Institute of Musicology, Hänssler Verlag, Stuttgart.

B. WALLISER [1995] : *A spectrum of Equilbration Processes in Game Theory*, Working Paper, CERAS/ENPC, mars 1995.

B. WALLISER [1994] : *L'intelligence de l'économie*, Odile Jacob éd., Paris.

M. WEBER [1972 trad.1998] : *Sociologie de la musique. Les fondements rationnels et sociaux de la musique.* Trad. Par J. Molino et E. Pedler, Editions Métailié, Paris.

A.-G. WERSINGER [1998] : « les mesures de l'infini (remarques sur la musique grecque ancienne)», in *L'objet musical et l'universel, Philosophie*, n°59, sept.98, Les éditions de Minuit, Paris.

U. WILL [1999] : « la baguette magique de l'ethnomusicologue. Repenser la notation et l'analyse de la musique », in *Noter la musique, cahiers de musiques traditionnelles* Georg éd.

I. XENAKIS [1963] : *Musiques formelles*, Stock Musique, Paris.

G. ZARLINO [1573] : *Istitutioni harmoniche*,trad. allemande par Michael Fend, Peter Lang éd., Frankfurt

TABLE DES MATIERES

CARTE D'IDENTITÉ DE LA THÈSE....4

PRÉSENTATION....5

SECTION A - L'ECRITURE EN TANT QUE PENSÉE : LA COMPLEXITE ANALYTIQUE DU PROCESSUS MUSICAL....13

I- QUELQUES PRINCIPES DE LA PENSÉE ANALYTIQUE DANS LA MUSIQUE OCCIDENTALE....14

1) RATIONALITÉ ET PARAMÉTRISATION....14

a) Logos, rationalité, archi-écriture....14

b) L'invention d'une notation en paramètres musicaux discrétisés....17

c) Discrétisation en alphabets finis d'éléments : le cas du partage du tétracorde et de la fixation des intervalles....18

2) NOTER LA MUSIQUE....23

a) Fonctions d'une notation....23

b) Principes graphémologiques et grammatologiques des premières notations musicales....24

c) Les écritures musicales comme opérateurs de nouvelles rationalités....27

d) Quelques propriétés analytiques propres à la notation musicale moderne....31

3) JOUER ET COMPOSER AVEC L'ÉCRITURE....33

a) Propriétés grammatologiques d'une écriture....34

b) L'Ars Nova : un exemple de grammatologie extrême de l'écriture....36

c) Des techniques d'écriture pérennes....42

4) COMPOSER LE SIGNE, COMPOSER LE SENS....45

a) Du signe au sens....45

b) Les clôtures de la pensée analytique....48

c) Peut-on parler d'ineffable en musique ?....54

II.- CALCUL DE LA COMPLEXITÉ ANALYTIQUE D'UN PROCESSUS MUSICAL....58

1) LES PRINCIPES DE LA PENSÉE FONCTIONNELLE DE LA MUSIQUE : VARIABLES, GRAMMAIRES, PROCÉDURES ET AUTOMATES....58

a) Propriétés mathématiques de l'espace des inputs et des structures de transformation....59

b) L'écriture des inputs : chaîne d'information et alphabet....60

c) Règles, procédures, algorithmes....61

d) Quelques notions de théorie des graphes....66

2) COMPLEXITÉ STATIQUE D'UN GRAPHE....70

a) La complexité statique cyclomatique de McCabe....70

b) La complexité statique géographique....71

c) La complexité statique globale....72

3) COMPLEXITÉ DYNAMIQUE D'UN ALGORITHME....72
a) Décomposition en processus musicaux élémentaires....73
b) Complexité de Kolmogorov d'une chaîne d'information....74
4) COMPLEXITÉ ANALYTIQUE DES PROCESSUS MUSICAUX ÉLÉMENTAIRES....75
a) Propriétés d'une transformation musicale élémentaire....75
b) Transformations simples en valeur....77
c) Transformations combinatoires simples....78
d) Récapitulation....79
5) COMPLEXITÉ DYNAMIQUE DE PROCESSUS SINGULIERS....80
a) Marche harmonique, technique de prolifération de Barraqué, et autres processus itératifs....81
b) La multiplication d'accords....82
c) Autres processus particuliers....84
d) Un exemple naïf et pédagogique : complexité dynamique des incises de la Cinquième Symphonie de Beethoven....85
e) La complexité analytique est une complexité perceptive....88
III.- LA CRISE DE LA GRAMMATOLOGIE MUSICALE TRADITIONNELLE....90
1) LA DEUXIÈME MOITIÉ DU XX^E SIÈCLE EN FRANCE : DE L'APOGÉE DU STRUCTURALISME MUSICAL AUX GRAMMATOLOGIES DU SONORE....90
a) L'après-guerre, terreau fertile pour une pratique d'ordre structural....92
b) Le structuralisme, une nouvelle démarche artistique....93
c) Structuralisme et musique : un débat ancien....96
d) Perception des structures et premiers doutes structuralistes....97
2) PIERRE SCHAEFFER ET HERBERT EIMERT, PRÉCURSEURS DE NOUVELLES ÉCRITURES....104
a) Génèse d'un style....104
b) Outils et grammaires de la musique concrète....106
c) La musique électronique....108
3) MUTATIONS DE RISSET : UNE ÉCRITURE DÉJOUÉE PAR DES PARADOXES....110
a) Genèse d'une pensée oblique sur le son....112
b) Mutations (1969) : entre procédures traditionnelles et paradoxe de l'analytique....113
c) Une grammatologie nouvelle à l'intérieur du son....119
d) Une pensée du paradoxe....129
4) FERNEYHOUGH : UN JEU SUR LES SIGNES....130
a) Une écriture revendiquant la complexité....131
b) Une pensée analytique volontairement contradictoire....133
c) Ferneyhough : post-moderne ou post-structuraliste ?....141
5) LACHENMANN ET GRISEY : DEUX TENTATIVES DE DÉPASSER LA COMBINATOIRE TRADITIONNELLE DE LA NOTE....143
a) Construire l'inharmonique par la « musique de synthèse instrumentale »....144
b) La « musique concrète instrumentale », ou comment composer des bruits....149
6) CONCLUSION....157

SECTION B - DE L'ECRITURE QUI PENSE À LA PENSEE QUI S'INSCRIT : LA COMPLEXITE, ENTRE PROCEDURE ET PERCEPTION.....160

I.- DE LA PROCEDURE À SA PERCEPTION : CONCEPTS THEORIQUES.....160

1) LA THÉORIE DE L'INFORMATION 160

a) L'intelligence artificielle.....160

b) La théorie de l'information.....161

c) La machine universelle, dite machine de Turing.....162

d) Le contenu brut en information.....163

e) La densité diacritique d'un langage.....166

2) THÉORIES DE LA COMPLEXITÉ INFORMATIONNELLE.....168

a) La complexité de Kolmogorov-Chaitin.....169

b) La complexité de Bennett.....169

3) LIMITES DE LA COMPLEXITÉ ANALYTIQUE FACE À LA COMPLEXITÉ PERCEPTIVE 171

a) Un paradoxe.....171

b) Huit conclusions.....174

II- APPLICATION 1 : COMPLEXITÉS ANALYTIQUE ET PERCEPTIVE DU PROCESSUS RYTHMIQUE.....178

1) L'ÉCRITURE D'UN RYTHME 178

a) Le rythme et son alphabet.....178

b) Temps transcrit, temps perçu.....179

c) Le mètre noté, conscientisation du rythme.....182

2) MÉCANISMES COGNITIFS DE PERCEPTION DU RYTHME 184

a) Pulsations internes.....185

b) Anticipation et mémorisation.....185

c) Pulsations fondamentales.....186

d) Adaptation locale (focalisation) et groupement.....187

e) Etapes cognitives supérieures.....189

3) COMPLEXITÉ PERCEPTIVE ET COMPLEXITÉ ANALYTIQUE 189

a) Complexité perceptive d'un rythme.....191

b) Jeux sur le signe.....192

c) Complexités non-bijectives.....195

III.- APPLICATION 2 : COMPLEXITÉS ANALYTIQUE ET PERCEPTIVE D'UNE TRANSFORMATION DES HAUTEURS D'UN MOTIF.....199

1) COMPLEXITÉ PERCEPTIVE D'UNE TRANSFORMATION DE HAUTEURS.....199

2) JEUX SUR LE SIGNE 200

a) Graphémologie adéquate.....201

b) Cryptographie et gématrie.....201

3) PRINCIPE DE NON-BIJECTION ENTRE LES COMPLEXITÉS 204

4) Complexité analytique et complexité perceptive 205

IV.- APPLICATION 3 : QUAND DEUX PROCÉDURES AUX INTENTIONS GRAMMATOLOGIQUES ÉLOIGNÉES INDUISENT UN RÉSULTAT PERCEPTIF SIMILAIRE. 208

1) Une combinatoire de l'intervalle : la technique de multiplication d'accords.....208
2) Une procédure acoustique : les techniques de modulation d'onde 209
a) La modulation d'amplitude.....210
b) Le modulateur en anneau.....211
c) La modulation de fréquence.....211
3) Généralisation de la modulation.....212
4) C.Q.F.D.....214

V.- APPLICATION 4 - DU RESULTAT À LA PROCEDURE : FASCINATION DU SIGNE ET DE LA FIGURE REMARQUABLE EN ANALYSE MUSICALE.....216

1) L'analyse musicale : du son au signe.....216
2) Une analyse célèbre d'une oeuvre célèbre.....220
a) Une oeuvre énigmatique.....220
b) Stravinsky demeure.....224
c) Signes et figure remarquable.....225
d) Boulez demeure.....228
3) Une analyse informationnelle de l'écriture du temps.....229
4) Du sens au signe, au signe, au sens : l'analyse est une traduction.....234

VI.- APPLICATION 5 : QUELQUES IMPLICATIONS PROSPECTIVES DE LA PROBLEMATIQUE DU SIGNE ET DU SENS.....237

1) Cadre de la problématique.....237
a) Parler de l'inexplicitable.....237
b) Une génération du paradoxe.....238
2) Techniques prospectives.....239
a) Inflexions transparamétriques.....239
b) Le rapport du tout à la partie.....240
c) Mélodies de formants.....243
d) Glissando paradoxal.....245
e) Formes et structures contradictoires.....245
f) Les canons de Vuza : quand l'addition polyphonique de voix engendre une monodie.....247
g) Une grammatologie issue du son et non du signe.....248
3) Conclusions de la section B.....249

SECTION C – L'ÉCOUTE EN TANT QUE RE-ÉCRITURE COGNITIVE : LA COMPLEXITÉ DE L'APERCEPTION CULTURELLE.....250

INTRODUCTION 250

I.- ECOLOGIE DE LA PERCEPTION : COMPLEXITE, ASSIMILATION, SURPRISE..251

1) CONNAISSANCES COMMUNES, ÉCOUTES INTERPRÉTATIVES 251
2) TYPOLOGIE DES MÉCANISMES COGNITIFS D'ÉCOUTE 253
a) Anticipation, accommodation et assimilation.....253
b) Mécanismes d'écoute par induction.....255
c) Mécanismes d'écoute par analogie.....258
d) Mécanismes d'écoute par accoutumance.....260
e) Apprentissage par ajout de connaissances.....262
f) Analogie avec les processus créatifs.....263
3) FORMALISATION DES MÉCANISMES D'APPRENTISSAGE ET DE SURPRISE.....265
a) Modèle d'adaptation de Valiant (compression et apprentissage).....266
b) Formalisation bayésienne du modèle de Valiant.....266
c) Les catégories de Moles et le modèle d'anticipation et de surprise de Valiant.....267
4) L'ADAPTATION À COURT ET À LONG TERME.....268
a) Typologie computationnelle des mécanismes d'écoute cognitive.....269
b) Application à l'écoute en musique.....270
5) ADAPTATION ET COMPLEXITÉ D'ÉCOUTE 270

II.- COMPLEXITÉ PERCEPTIVE ET CONVENTIONS D'ÉCOUTE 272

1) THÉORIE DES CONVENTIONS.....272
a) Définition.....272
b) Propriétés d'une convention.....273
2) CONVENTIONS ET INERTIES DE PERCEPTION.....274
a) Inertie culturelle.....274
b) Incertitude et délégation.....275
c) Mimétismes et snobismes.....277
d) Adaptation mécaniste et adaptation mimétique.....278

III.- APPLICATION 1 : UN SIMULATEUR D'APERCEPTION CULTURELLE D'UN PROCESSUS DE TRANSFORMATION SÉRIELLE 280

1) PRINCIPE DE LA SIMULATION.....280
a) Présentation.....280
b) Fonctionnement du simulateur.....282
2) SIMULATIONS.....283
a) Exemple 1 : séries du paragraphe B-III-3.....283
b) Exemple 2 : séries du Klavierstück X de Stockhausen.....285

c) Exemple 3 : Séries dérivées dans Lulu de Berg.....287
3) CONCLUSIONS 291
IV.- APPLICATION 2 : UN MODÈLE D'APERCEPTION CULTURELLE DE LA CONSONANCE DES INTERVALLES 293
1) INTRODUCTION HISTORIQUE : LE PARAMÈTRE DES HAUTEURS DANS LA DEUXIÈME MOITIÉ DU XX^{E} SIÈCLE 294
2) INTRODUCTION ÉPISTÉMOLOGIQUE : QUELLE SCIENCE POUR LA CONSONANCE ?.....297
a) Les théories métaphysiques de la consonance.....298
b) Les théories empiriques de la consonance.....298
c) Les théories conceptuelles de la consonance.....300
3) QUELQUES MODÈLES UNIVERSALISTES DE CONSONANCE 302
a) La dissonance sensorielle.....304
b) La dissonance sensorielle de Helmholtz.....305
c) La dissonance spectrale.....314
d) Une définition relativiste de la consonance.....317
4) UN MODÈLE FORMEL D'APERCEPTION CULTURELLE DES INTERVALLES.....318
a) La construction d'une échelle en fractions rationelles comme principe d'aperception culturelle d'un intervalle.....319
b) Un indice de complexité aperceptive d'un intervalle : la distance harmonique d'Hellegouarch comme longueur des chemins d'aperception.....322
c) Quelques indices similaires de dissonance cognitive d'aperception des intervalles.....325
5) APPLICATION DES MODÈLES DE CONSONANCE COGNITIVE AUX INTERVALLES THÉORIQUES DES MUSIQUES ARABO-PERSANES.....328
a) Le système d'intervalle de la musique arabe : entre théorie et pratique.....329
b) Les échelles théoriques d'Al-Farabi et de Safiyu-d-din.....331
c) Conclusions.....342
6) EXTENSION : UN OUTIL PROSPECTIF POUR LES COMPOSITEURS.....343
7) CONCLUSIONS 346
CONCLUSION 349
BIBLIOGRAPHIE.....356
TABLE DES MATIERES.....367
TABLE DES NOMS DES MUSICIENS ET DES THÉORICIENS CITÉS.....374
ANNEXE I : PROGRAMME DU SIMULATEUR D'APERCEPTION CULTURELLE DES TRANSFORMATIONS D'UN MOTIF.....379
ANNEXE II : VALEURS DE L'INDICE HARMONIQUE D'EULER POUR CERTAINS INTERVALLES PARTICULIERS.....385

RÉSUMÉ DE LA THÈSE.....386

SUMMARY.....387

TABLE DES NOMS DES MUSICIENS ET DES THÉORICIENS CITÉS

Adorno, Theodor, 138, 139, 142, 148, 149, 153, 181, 298
Aglietta, Michel, 93
Albera, Philippe, 133, 142, 229, 356
Al-Farabi, 21, 22, 25, 301, 304, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 336, 337, 339, 340, 343, 348, 372
Amiot, Emmanuel, 80
André, Mark, 7
Andreatta, Moreno, 247
Andriessen, Louis, 296
Archytas de Tarente, 15, 20, 21, 22, 302, 335
Aristote, 15, 16, 20, 21, 130, 256, 297, 352, 356
Aristoxène de Tarente, 19, 20, 21, 22, 302, 356
Arom, Simha, 14, 73, 124, 182, 184, 187, 236, 265, 303, 356
Ars Nova, 23, 28, 29, 36, 37, 38, 40, 42, 106, 303, 349, 365, 367
Artusi, Giovanni Maria, 44
Asprage, 40
Assayag, Gérard, 4, 58
Atkinson, Charles, 26
Babbitt, Milton, 111, 118
Bach, Johann-Christian, 202
Bach, Johann-Sebastian, 40, 66, 67, 68, 71, 72, 200, 206, 360
Baillet, Jérome, 4, 112, 117, 146, 147
Barbaud, Pierre, 94, 113, 118, 167
Bardi, Giovanni de', 44
Barraqué, Jean, 81, 82, 94, 100, 109, 148, 368
Becker, Howard, 91
Beethoven, Ludwig van, 40, 57, 85, 86, 88, 176, 220, 228, 261, 295, 368
Benjamin, Walter, 47, 142, 218, 265
Bennett, C.-H. (complexité de), 158, 169, 170, 369
Bent, Ian, 254
Benveniste, Emile, 60
Berg, Alban, 128, 203, 204, 285, 287, 288, 289, 290, 291, 357, 361, 371
Berio, Luciano, 46, 55, 102, 109, 112
Berlioz, Hector, 120, 176
Beyer, Robert, 108
Bharucha, Jamshed, 5, 10, 266
Biancheri, Adriano, 30
Binchois, Gilles, 42
Bitsch, Marcel, 302
Boethius, Anicius Manlius Severinus, 16, 19, 20, 21, 22, 25, 274, 302, 332
Bonelli, Aurelio, 30
Boole, George (logique de), 160
Bouckaert, Laurence, 105
Boulez, Pierre, 32, 82, 83, 93, 94, 95, 100, 101, 102, 109, 112, 134, 139, 142, 148, 149, 176, 183, 187, 193, 194, 208, 214, 218, 220, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 232, 234, 236, 238, 259, 263, 276, 287, 291, 345, 356, 358, 359, 361, 370
Bourbaki, Nicolas, 77, 99, 171
Bourdieu, Pierre, 235, 273, 278
Brahms, Johannes, 45, 77, 95, 264
Braïolu, Constantin, 14
Brown, Earle, 181
Buch, Esteban, 203
Busoni, Ferruccio, 203
Busse-Berger, Anna-Maria, 28, 29
Caccini, Giulio Romalo, 45
Cage, John, 100, 144, 149, 176, 181
Cantor, Georg, 299
Cardine, Eugène, 27
Carter, Elliott, 134
Castanet, Pierre-Albert, 101
Catel, Charles Simon, 302
Chailley, Jacques, 26, 67, 302, 303
Chaitin, Gregory, 8, 9, 74, 99, 142, 169, 170, 171, 173, 177, 185, 249, 251
Charlemagne, 26, 27
Chemillier, Marc, 1, 4, 14, 35, 59, 60, 64, 167, 350, 363
Chomsky, Noam, 49, 64, 65, 99, 159, 175, 188, 253
Chopin, Frédéric, 258
Chouvel, Jean-Marc, 1, 4, 50, 235, 238, 305, 313, 335, 347, 357

Chowning, John, 110, 112, 119, 122, 155, 209, 211, 243
Combarieu, Jules, 298
Copeaux, Julien, 229, 230
Cordier, Baude, 40
Craft, Robert, 229
Crowder, Roger, 305
d'Arezzo, Guido, 27, 36, 106
Dahlhaus, Carl, 157, 304
Dalbavie, Marc-André, 128, 156, 211, 245
Danhauser, Adolphe, 21
Daniel-Lesur, Jean-Yves, 100
David, Nepomuk, 149
de Beldemandis, Prosdocimus, 30
de Cologne, Francon, 28, 31, 37, 180, 307
de Cruce, Petrus, 37
de Liège, Jacobus, 29, 37
de Machault, Guillaume, 38, 39, 40, 192, 362
de Murs, Jean, 28, 37, 180, 307
de Réome, Aurélien, 24
de Saint-Amand, Hucbald, 24, 27
de Séville, Isidore, 25
de Vitry, Philippe, 28, 37, 180, 303, 307
Debussy, Claude, 183, 254, 303
Decarsin, François, 193
Decoust, Michel, 101
Delahaye, Jean-Paul, 4, 177, 269
Deliège, Célestin, 8, 96, 217
Dench, Chris, 7, 130
Derrida, Jacques, 3, 14, 35, 36, 53, 237, 297, 354
Descartes, René, 9, 52, 56, 73, 108, 129, 302, 350, 353
Desprez, Josquin, 42
Deutsch, Diana, 207, 305
Dewitt, Lucinda, 305
Dillon, James, 7, 130
Dosse, François, 93, 97, 98, 296
Dufay, Guillaume, 42
Dufourt, Hugues, 4, 15, 53, 95, 103, 144, 145, 151
Duhem, Pierre, 220, 235, 299
Dunstable, John, 42, 303
Durieux, Fréderic, 156
Durkheim, Emile, 91
Dutilleux, Henry, 102
Eco, Umberto, 48, 96, 97
Eimert, Herbert, 104, 108, 147, 368
Einstein, Albert, 95
Escher, Carl, 126
Euler, Leonard, 16, 73, 279, 310, 314, 319, 322, 323, 325, 326, 327, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 347, 372, 388
Fano, Michel, 109
Feldman, Morton, 144, 181
Ferneyhough, Brian, 7, 90, 103, 110, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 148, 150, 153, 154, 156, 183, 194, 238, 368
Festinger, Leon, 260, 314, 317, 343, 348
Fétis, François-Joseph, 297, 304
Fibonacci (suite de, d'après Leonardo da Pisa), 30, 62, 135
Fineberg, Joshua, 298, 363
Finnissy, Michael, 131
Forte, Alan, 32, 58, 217, 230, 277
Fourier, Charles (transformation de), 212
Fraisse, Paul, 185, 231
Francès, Robert, 102, 199, 204, 256, 294, 298, 305
Francon de Cologne, 28, 37
Frege, Gottlob, 130, 160
Freud, Sigmund, 47
Fubini, Enrico, 16, 38, 44, 45, 297
Fuchs, Hanna, 203
Furrer, Beat, 156
Gabrieli, Giovanni, 30
Galilei, Galileo, 44
Garlande, Jean de, 28, 180
Gavoty, Bernard, 100
Gödel, Kurt, 99, 171, 360
Goeyvaerts, Karl, 109
Goody, Jack, 15, 34, 35
Grisey, Gérard, 4, 90, 110, 112, 125, 139, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 151, 153, 154, 155, 156, 210, 231, 238, 240, 243, 296, 301, 356, 358, 368
GRM (Groupe de Recherche Musicale), 103, 112, 113, 357
Guerin, G., 70, 72
Günther, Ursula, 29, 40, 42

Gut, Serge, 119, 125, 303
Hasty, Christopher, 180, 185
Haydn, Joseph, 95, 183, 257, 262
Hellegouarch, Yves, 4, 16, 313, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 335, 342, 347, 372
Henry, Pierre, 105, 109, 243
Héraclite d'Ephèse, 15, 130
Hilbert, David, 160
Hiller, Lejaren, 111, 118
Hjelmslev, Louis, 46, 92, 93
Holstead, 70
Huber, Klaus, 130
Hurel, Philippe, 156
Husserl, Edmond, 53, 179, 237
Imberty, Michel, 55, 254, 274
IRCAM (Institut de Recherche et de Coordination Acoustique/Musique), 4, 101, 103, 156, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 364
Isaacson, Eric, 111
Jackendoff, Ray, 10, 66, 186, 187, 188, 189, 218
Jakobson, Roman, 61, 93, 162
Jameux, Dominique, 287
Janacek, Leos, 300
Jankelevitch, Vladimir, 56
Jolivet, André, 112, 116, 117, 118, 119, 125, 356, 358
Kagel, Mauricio, 109
Klinkenberg, Jean-Marie, 23, 46, 48, 64
Klüber, Johann, 203
Koenig, Gottfried-Michael, 109, 118, 243
Kolmogorov, Andrej N., 8, 9, 74, 99, 169, 170, 171, 173, 185, 251, 368
Kolmogorov-Chaitin (complexité de), 8, 74, 142, 158, 169, 170, 173, 185, 231, 237, 323, 350, 369
Kornaï, Janos, 99
Kramer, Jonathan, 10, 180
Krenek, Ernst, 109
Krumhansl, Carol, 294, 325
Kuhn, Thomas, 130, 235, 274
Kyburz, Hans-Peter, 156
La Monte Young, 101
Lacan, Jacques, 93, 98
Lachenmann, Helmut, 90, 103, 105, 110, 143, 144, 148, 149, 150, 152, 153, 154, 155, 156, 243, 296, 362, 368
Länger, Suzanne, 298
Lattard, Jean, 321, 322
Lee Whorf, Benjamin, 47
Leibniz, Gottfried Wilhem, 8, 9, 45, 160, 304
Leipp, Emile, 301
Léonin, 37
Léothaud, Gilles, 4, 239, 303, 356
Lerdahl, Fred, 10, 66, 186, 187, 188, 189, 218
Leroux, Philippe, 156
Levinas, Michael, 145
Lévi-Strauss, Claude, 35, 54, 93, 96, 97
Levy, Kenneth, 26
Lévy-Bruhl, Lucien, 35
Lewin, David, 112, 118
Lewis, David, 272, 273
Ligeti, Gyorgy, 7, 102, 109, 128, 144, 156, 183, 245, 260, 265, 295
Liszt, Franz, 203, 316
Lorenz, Konrad, 99, 170
Loulié, Etienne, 180
Lukacs, Georg, 298
Luminet, Jean-Pierre, 148
Maalouf, Shireen, 330, 331
Machabey, Armand, 38
Maelzel, Johann Nepomuk, 180
Mahler, Gustav, 295
Malinvaud, Edmond, 99
Malt, Mikhaïl, 85, 136, 138
Manik, Liberty, 330, 331, 332, 338
Mankopf, Stephan, 7, 131
Manoury, Philippe, 85
Marcuse, Herbert, 298
Martinet, André, 60
Mathews, Max, 110, 112, 113
Mattheson, Johann, 45
Mazzola, Guerino, 325, 356
McAdams, Steve, 207, 235, 294, 304
McCabe, 70, 367
Meeùs, Nicolas, 219
Melchiore, Alessandro, 133, 135, 140
Menger, Pierre-Michel, 4, 275, 276
Mersenne, Marin, 30
Messiaen, Olivier, 82, 85, 94, 103, 105, 109, 144, 181, 192, 193, 219, 224, 227, 229, 230, 233, 258, 263, 301, 358
Metzger, Heinz-Klaus, 150

Meyer, Leonard, 175, 180, 187, 217, 254, 255, 266, 275
Meyer-Eppler, Werner, 104, 108
Milhaud, Darius, 109
Minsky, Marvin, 160
Moles, Abraham, 112, 148, 161, 162, 171, 176, 185, 231, 251, 252, 265, 267, 268, 371
Molinié, Georges, 56, 365
Molino, Jean, 5, 147, 218, 366
Monteverdi, Claudio, 44, 45, 343
Motte-Haber, Helga de la, 364
Moulu, Pierre, 42, 43
Moussorgsky, Modeste, 120, 121, 300
Moutsopoulos, Evanghélos, 16, 297
Murail, Tristan, 110, 112, 121, 144, 145, 146, 147, 148, 151, 155, 210, 211, 231, 243, 296, 358
Nancarrow, Conlon, 7
Nattiez, Jean-Jacques, 6, 96, 99, 147, 218, 219, 234
Nicolas, François, 141, 142
Noll, Thomas, 73, 279, 304, 319
Nonnenmann, Rainer, 150, 153
Obrecht, Jacob, 42
Ockeghem, Jean, 42, 202
Orlean, André, 272, 363
Osborne, Nigel, 7, 130
Pachet, François, 14, 363
Palestrina, Giovanni pierluigi da, 44, 45
Pape Etienne II, 26
Pape Grégoire, 24
pape Jean XXII, 37
Parmegiani, Bernard, 103
Pärt, Arvo, 296
Pauset, Brice, 7, 131
Peano, Giuseppe, 160
Peirce, Charles, 46, 47, 219, 254, 256
Penderecki, Karol, 102, 296
Pépin le Bref, 24, 26
Perotin, 37
Pesson, Gérard, 156
Petrus de Cruce Voir
Philippot, Michel, 94, 118
Philolaos, 15, 16, 20, 21, 22, 302, 332, 335
Piaget, Jean, 92, 97, 159, 253, 256, 262, 361
Pierce, John, 110, 121, 256, 307
Platon, 15, 16, 21, 45, 185, 363
Plomp, Reiner, 298, 305, 307, 313, 346
Poitou, Jean-Pierre, 317, 348
Popin, Marielle, 28
Popper, Karl, 10, 51, 299, 343
Population Pygmée (Afrique Centrale), 73
Populations Iatmuls (Papouasie), 303, 348
Pound, Ezra, 268
Pousseur, Henry, 94, 109
Praetorius, Michael, 30
Pressnitzer, Daniel, 298, 301, 335, 347, 363
Prigogine Ilya, 148, 207, 231, 361
Ptolemée, 16, 20, 21, 22, 25, 301, 329, 331, 332, 337, 348
Pythagore, 15, 16, 19, 20, 21, 45, 53, 130, 301, 302, 319, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 329, 335, 341, 348
Quantz, Johann-Joachim, 45
Radulescu, Horatiu, 296
Rameau, Jean-Philippe, 16, 297, 301, 302, 349
Ramsey, Frank (théorème de), 204, 220, 228
Ravel, Maurice, 120, 256, 264
Redgate, Roger, 7, 131
Reger, Max, 203
Riemann, Hugo, 92, 297, 302, 304
Rihm, Wolfgang, 349
Riley, Terry, 103, 231, 295
Rimsky-Korsakov, Nicolaï, 203
Riotte, André, 66, 72
Risset, Jean-Claude, 4, 18, 90, 102, 103, 110, 111, 112, 113, 116, 117, 119, 120, 121, 122, 125, 127, 128, 129, 130, 139, 143, 147, 154, 155, 156, 171, 238, 243, 245, 296, 364, 368
Rötter, Günther, 185
Rousseau, Jean-Jacques, 170
Russel, Bertrand, 160
Ruwet, Nicolas, 96, 97, 99
Sadaï, Yizhak, 4, 56, 57, 219, 351
Safiyu d-Din 'Abd al-Mu'min, 330, 333, 336
Sageot-Duvaurot, Dominique, 4
Saint-Augustin, 25, 38, 45
Sapir, Edward, 47
Sartre, Jean-Paul, 268

Sauguet, Henry, 109
Saussure, François de, 46, 54, 92, 171, 219
Sauveur, Joseph, 16, 296, 301, 302, 303
Scelsi, Giascinto, 100, 102, 144, 295, 349
Schaeffer, Pierre, 8, 35, 37, 90, 104, 105, 106, 108, 109, 111, 112, 113, 144, 150, 154, 155, 156, 243, 314, 368
Schenker, Heinrich, 219
Schönberg, Arnold, 94, 95, 119, 120, 140, 142, 143, 202, 219, 228, 240, 278, 295, 297, 302, 364
Schubart, Christian Friedrich Daniel, 30
Schubert, Franz, 220
Schumann, Robert, 40, 202, 203, 264, 295
Sciarrino, Salvatore, 110, 144, 155
Scriabine, Alexandre, 300
Seelig, Thomas, 248
Sethares, William, 305, 307, 313, 346
Shannon, Claude Elwood, 5, 50, 160, 161, 166, 167, 231
Shepard, Roger (paradoxe de), 103, 126, 127
Simon, Herbert Alexander, 160
Sloboda, John, 207, 356
Solage, 40, 41
Soljenitsyne, Alexandre, 98
Solow, Robert, 99
Soulez, Antonia, 359, 362
St-Augustin, 45
Steiger, Rand, 136
Stockhausen, Karlheinz, 94, 100, 102, 104, 107, 108, 109, 112, 118, 121, 128, 144, 147, 149, 155, 176, 193, 209, 211, 229, 238, 239, 243, 259, 285, 286, 287, 289, 371
Strauss, Richard, 295
Stravinsky, Igor, 61, 182, 220, 222, 223, 224, 228, 229, 231, 233, 234, 259, 263, 278, 365, 370
Stroppa, Marco, 156
Stumpf, Carl, 297, 301, 314, 317, 319, 327
Szymanski, Pavel, 84
Tallis, Thomas, 42
Tanner, Robert, 243, 343, 344, 345
Tenney, James, 112, 303, 323, 326, 327, 342, 347
Terhardt, Ernst, 102, 298, 314, 318, 335
Texier, Marc, 134, 143
Tinctoris, Johannes, 274
Toop, Richard, 7, 130, 133, 140, 359
Trojahn, Manfred, 128, 245
Türing, Alan, 11, 162, 163, 165, 168, 170, 178, 249, 252, 271, 278, 280, 291
Tuschku, Hans, 84
Valiant (modèle de), 266, 267, 268, 371
Vallespir, Mathilde, 4, 55
Van Benthem, Jaap, 202
Van den Toorn, Pieter, 230
Varèse, Edgar, 107, 109, 112, 144, 295, 364
Veitl, Anne, 113
Vendrix, Philippe, 30
Verdi, Giuseppe, 259
Vicentino, Nicola, 30
Vinci, Leonardo de, 61
Viret, Jacques, 25
Vogler, Georg Joseph, dit Abbé Vogler, 264
von Fricken, Ernestine, 203
von Helmholtz, Hermann Ludwig Ferdinand, 119, 296, 297, 301, 302, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 313, 317, 318, 327, 328, 335, 346, 372
von Hornbostel, Erich, 304
Von Neumann, 5
Vuza, Theodor (canons de), 247, 370
Wagner, Richard, 45, 263, 264, 295, 316
Walliser, Bernard, 4, 274, 299
Weber, Carl Maria Von, 264
Weber, Max, 13, 53, 352
Webern, Anton, 100, 141, 142, 200, 202, 204, 229, 283, 295
Will, Udo, 23, 34, 35, 36
Xenakis, Iannis, 16, 85, 94, 100, 102, 109, 111, 139, 144, 148, 154, 259, 295
Zarlino, Gioseffo, 16, 20, 21, 30, 44, 53, 274, 297, 301, 302, 303, 311, 312, 318, 319, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 329, 332, 336, 341, 343, 348
Zimmermann, Bernd Alois, 181

ANNEXE I : PROGRAMME DU SIMULATEUR D'APERCEPTION CULTURELLE DES TRANSFORMATIONS D'UN MOTIF

```
Program SIMULATION;
Uses crt;
Type vecteur=array[0..40] of integer;
Type matrice=array[0..40,0..40] of integer;
Var notation,n1,n2,a,degretransp,degredeph,degredecal,degresimili,degresimilit:integer;
   ini,image,simili,indicdecal,indictransf,indicsimili:vecteur;

(*****************************************)
(*procedures de lecture et de saisie      *)
(*****************************************)
Procedure saisivect(var u:vecteur; n:integer);
  Var i :integer;
   Begin
       if notation=1 then
       begin
       writeln ('rentrer les notes sous forme numérique : ');
       writeln('do=1,do#=2,r,=3,ré#=4,mi=5,fa=6,fa#=7,sol=8,sol#=9,la=10,la#=11,si=12');
       end;
       for i:=1 to n do
         begin
             write('coordonnée u[',i,']:  ');
             read(u[i]);
             while u[i]>12 do u[i]:=u[i]-12;
             while u[i]<0 do u[i]:=u[i]+12;
         end;
   end;
Procedure affichvect(u:vecteur; n:integer);
  Var i :integer;
   Begin
         write ('(');
         if notation=1 then
         begin
             for i:=1 to n-1 do
             begin
              if u[i]=1 then write('do'); if u[i]=2 then write('do#'); if u[i]=3 then write('ré'); if u[i]=4 then write('ré#'); if u[i]=5 then write('mi');
if u[i]=6 then write('fa'); if u[i]=7 then write('fa#'); if u[i]=8 then write('sol'); if u[i]=9 then write('sol#'); if u[i]=10 then write('la'); if
u[i]=11 then write('la#'); if u[i]=12 then write('si'); write (',');
 end;
 if u[n]=1 then write('do'); if u[n]=2 then write('do#'); if u[n]=3 then write('ré'); if u[n]=4 then write('ré#'); if u[n]=5 then write('mi'); if
u[n]=6 then write('fa'); if u[n]=7 then write('fa#'); if u[n]=8 then write('sol'); if u[n]=9 then write('sol#'); if u[n]=10 then write('la'); if
u[n]=11 then write('la#'); if u[n]=12 then write('si'); write (')');
         end
         else
         begin
 for i:=1 to n-1 do
 begin
 write(u[i]);write (',');
 end;
 write(u[n]);
 write (')');
         end;
   End;

(*****************************************************************************************)
(*Processus musicaux :décalage,transposition, rétrograde, inversus, déphasage           *)
(*****************************************************************************************)
Procedure decalvect(u:vecteur ;n,k:integer; var v:vecteur);
  Var i :integer;
   Begin  for i:=1 to n do
         begin
           v[i]:=u[i+k];
         End;
   end;

Procedure transposvect(u:vecteur ;n,k:integer; var v:vecteur);
  Var i :integer;
   Begin  for i:=1 to n do
         begin
           v[i]:=u[i]-k;
           if v[i]<1  then v[i]:=12+v[i];
           if v[i]>12 then v[i]:=v[i]-12;
         End;
   end;
Procedure retrogradvect(u:vecteur ;n:integer; var v:vecteur);
```

```
 Var i :integer;
  Begin  for i:=1 to n do
       begin
       v[i]:=u[n+1-i];
       end;
  end;
Procedure inversvect(u:vecteur ;n,k:integer; var v:vecteur);
 Var i :integer;
  Begin  for i:=1 to n do
       begin
         v[i]:=(2*k)-u[i];
         if v[i]<1  then v[i]:=12+v[i];
         if v[i]>12 then v[i]:=v[i]-12;
       end;
  end;
Procedure dephasevect(u:vecteur ;n,h:integer; var v:vecteur);
 Var i :integer;
    Begin
    for i:=1 to n do
       begin
         if i<=n-h  then v[i]:=u[i+h]
      else v[i]:=u[i+h-n];
        end;
    end;
(*****************************************************************************************)
(*outils vectoriels :comparaison, extraction de la coordonnée maximale de vecteur ou matrice  *)
(*****************************************************************************************)
Procedure extraimax1(u: vecteur; n:integer; var posmax,vmax:integer);
  Var j: integer;
 Begin
     vmax :=0;
     for j:=1 to n do
       Begin
       if u[j]>vmax then
begin
vmax:=u[j]; posmax:=j;
end;
       end;
 end;
Procedure comparvect1(u,v:vecteur; n:integer; var nsimili:integer);
 Var i,j,l :integer;
  Begin
      l:=0;
      for i:=1 to n do
        begin
        if u[i]=v[i] then
          begin
          if u[i]<>0 then l:=l+1;
          end;
        end;
      nsimili:=l;
  end;
Procedure comparvect(u,v:vecteur; n1,n2:integer; var degredecal,nsimili:integer);
 Var i,j,l,n3 :integer;g,u1,v1,u2,v2:vecteur;
  Begin
   nsimili :=0;
   n3:= n2+n1;
   for j:=1 to n2 do v1[j]:=v[j];
   for j:=n2+1 to n3 do v1[j]:=0;

   for i:=0 to n1 do
   begin
     dephasevect(u,n1,i,u2);
     for j:=1 to n1 do begin u1[j]:=u2[j];end;
     for j:=n1+1 to n3 do begin u1[j]:=0;end;
     comparvect1(u1,v1,n3,g[i+1]);
   end;
   extraimax1(g,n1+1,l,nsimili);
   degredecal:=l-1;
  end;
Procedure extraimax2(u: matrice; n1,n2:integer; var i,j,w:integer);
  Var k,l: integer;
 Begin
     w :=0; i:=0; j:=0;
     for k:=1 to n1 do
     Begin
       for l:=1 to n2 do
         begin
         if w<u[k,l] then
begin
w:=u[k,l]; i:=k;j:=l;
```

```
 end;
          end;
       end;
   end;
(*****************************************************************************************)
(*Effectue tous les retrogrades, transpositions, etc. possibles, et sort le plus proche  *)
(*****************************************************************************************)
Procedure retrograd(u1,u2:vecteur; n1,n2:integer; var degredecal,nsimili:integer; var u3 : vecteur);
   var p:integer;
   Begin
        retrogradvect(u2,n2,u3);
        comparvect(u1,u3,n1,n2,degredecal,nsimili);
   end;
Procedure inversus(u1,u2 : vecteur; n1,n2:integer; var degredecal,nsimili,degreinvers:integer; var u3 : vecteur);
   var k,p,d:integer;v,w,x:vecteur;
   Begin
       for k:=1 to 12 do
       begin
         inversvect(u2,n2,k,v);
         comparvect(u1,v,n1,n2,d,p);
         w[k]:=p;x[k]:=d;
       end;
       extraimax1(w,12,degreinvers,nsimili);
       inversvect(u2,n2,degreinvers,u3);degredecal:=x[degreinvers];
   end;
Procedure transpo(u1,u2 : vecteur; n1,n2:integer; var degredecal,nsimili,degretransp:integer; var u3 : vecteur);
   var k,d,p,deg:integer;v,w,x:vecteur;
   Begin
       for k:=0 to 12 do
       begin
         transposvect(u2,n2,k,v);
         comparvect(u1,v,n1,n2,d,p);
         w[k+1]:=p; x[k+1]:=d;
       end;
       extraimax1(w,13,deg,nsimili);degretransp:=deg-1;
       transposvect(u2,n2,degretransp,u3);degredecal:=x[degretransp+1];
   end;
Procedure dephasage(u1,u2 : vecteur; n1,n2:integer; var degredecal,nsimili,degredeph:integer; var u3 : vecteur);
   var k,p,d,deg:integer;v,w,x:vecteur;
   Begin
       for k:=0 to n2 do
       begin
         dephasevect(u2,n2,k,v);
         comparvect(u1,v,n1,n2,d,p);
         w[k+1]:=p; x[k+1]:=d;
         end;
       extraimax1(w,n2,deg,nsimili);degredeph:=deg-1;
       dephasevect(u2,n2,degredeph,u3);degredecal:=x[degredeph+1];
   end;


(*****************************************************************************************)
(*complex 1: fait toutes les transpo+dephasage et donne la plus proche                   *)
 (*****************************************************************************************)
Procedure complex1(u1,u2:vecteur;n1,n2:integer; var degredecal, nsimili, degretransp, degredeph: integer; var u3:vecteur);
   var d,k,i,p,degretransp1,degredeph1:integer;t,s,v:vecteur;w,x:matrice;
   Begin
       for k:=0 to 12 do
       begin
         for i:=0 to n2 do
         begin
 transposvect(u2,n2,k,t);
 dephasevect(t,n2,i,v);
 comparvect(u1,v,n1,n2,d,p);
 w[k+1,i+1]:=p;x[k+1,i+1]:=d;
         end;
       end;
       extraimax2(w,12,n2,degretransp1,degredeph1,nsimili);
       degretransp:=degretransp1-1;degredeph:=degredeph1-1;
       degredecal:=x[degretransp+1,degredeph+1];
       transposvect(u2,n2,degretransp,s);dephasevect(s,n2,degredeph,u3);
   end;
(*************************************************************)
(*extrait LA transformation la plus proche de l'original     *)
 (*************************************************************)
Procedure optimum1(ini,image:vecteur;n1,n2:integer; var indicdecal,indicsimili,indictransf:vecteur;var simili:vecteur);
Var simili1,simili2,simili3,simili4:vecteur; pos,valsimili:integer;
   Begin
       writeln;writeln ('COMPORTEMENT 1 : L''ANALYSTE.');
       write (' Identification à une transformation unique.');
          writeln;
```

```
        transpo(ini,image,n1,n2,indicdecal[1],indicsimili[1],indictransf[1],simili1);
        write ('Par rapport au 1er vecteur,le vecteur 2 apparait transposé de ');
        write(indictransf[1]);write(' ton(s), d,cal, de ');
        write(indicdecal[1]);write(' notes, ce qui donnerait un vecteur 2 avant transformation: ');
        affichvect(simili1,n2);writeln;
        writeln ('nombre de similitudes avec le vecteur 1: ',indicsimili[1]);
            writeln;
        inversus(ini,image,n1,n2,indicdecal[2],indicsimili[2],indictransf[2],simili2);
        write ('Par rapport au 1er vecteur,le vecteur 2 apparait inversé par rapport au ton ');
        write(indictransf[2]);write(' d,cal, de ');
        write(indicdecal[2]);write(' notes, ce qui donnerait un vecteur 2 avant transformation: ');
        affichvect(simili2,n2);writeln;
        writeln ('nombre de similitudes avec le vecteur 1: ',indicsimili[2]);
            writeln;
        dephasage(ini,image,n1,n2,indicdecal[3],indicsimili[3],indictransf[3],simili3);
        write ('Par rapport au 1er vecteur,le vecteur 2 apparait déphasé à la ');
        write(indictransf[3]);write(' ème position, décalé de ');
        write(indicdecal[3]);write(' notes, ce qui donnerait un vecteur 2 avant transformation: ');
        affichvect(simili3,n2);writeln;
        writeln ('nombre de similitudes avec le vecteur 1: ',indicsimili[3]);
            writeln;
        retrograd(ini,image,n1,n2,indicdecal[4],indicsimili[4],simili4);
        write ('le rétrograde du vecteur 2');
        write(' d,cal, de ');
        write(indicdecal[4]);write(' notes, ce qui donnerait un vecteur 2 avant transformation: ');
        affichvect(simili4,n2);writeln;
        writeln ('nombre de similitudes avec le vecteur 1: ',indicsimili[4]);
            writeln;
extraimax1(indicsimili,4,pos,valsimili);
        indicsimili[5]:=valsimili;
           writeln;
        if pos=1 then
          begin
  write ('la meilleure transformation est la transposition de degré ',indictransf[pos]);
  write (' qui donnerait comme vecteur 2 avant transformation: ');
  simili:=simili1;affichvect(simili,n2);writeln;
  write ('nombre de similitudes avec le vecteur 1 : ',indicsimili[pos]);
          end;
        if pos=2 then
          begin
  write ('la meilleure transformation est l"inversus par rapport au degré ',indictransf[pos]);
  write (' qui donnerait comme vecteur 2 avant transformation: ');
  simili:=simili2;affichvect(simili,n2);writeln;
  write ('nombre de similitudes avec le vecteur 1 : ',indicsimili[pos]);
          end;
        if pos=3 then
          begin
  write ('la meilleure transformation est le décalage par rapportà la position ',indictransf[pos]);
  write (' qui donnerait comme vecteur 2 avant transformation: ');
  simili:=simili3;affichvect(simili,n2);writeln;
  write ('nombre de similitudes avec le vecteur 1 : ',indicsimili[pos]);
          end;
        if pos=4 then
          begin
  write ('la meilleure transformation est le rétrograde qui donne comme résultat le vecteur ');
  simili:=simili4;affichvect(simili,n2);writeln;
  write ('nombre de similitudes avec le vecteur 1 : ',indicsimili[pos]);
          end;
    end;
(*****************************************************************************************)
(* sort la combinaison des TROIS transformations simples -decal, transpo et dephasage    *)
(*****************************************************************************************)
Procedure optimum2(ini,image:vecteur;n1,n2:integer;
var degredecal,degresimili,degretransp,degredeph:integer; var simili:vecteur);
    Begin
        writeln;writeln ('COMPORTEMENT 2 : L"AUDITEUR MOYEN');
        writeln ('identification à la composée des transformations simples : transpositions et décalage.');
        complex1(ini,image,n1,n2,degredecal,degresimili,degretransp,degredeph,simili);
        write ( 'Dans l"approche la plus simple, le vecteur image est apparent, au vecteur initial d,cal, de ');
        write (degredecal);write (', transposé de ',degretransp,' ton(s) et déphasé à la position ',degredeph);
        write (' Ce qui donnerait, si cela ,tait vrai, le vecteur initial ');
        affichvect(simili,n2);writeln;
        writeln ('nombre de similitudes avec le vecteur initial  ',degresimili);
        writeln;
    End;
(*****************************************************************************************)
(* sort la combinaison de transformations dont une réorientant l'espace                  *)
(*****************************************************************************************)
Procedure optimum3(ini,image:vecteur;n1,n2:integer;
var degredecal,degresimili,degretransp,degredeph:integer; var simili:vecteur);
    var l1,l2,j,degresimili1,degresimili3,ntransp1,ntransp3,ndeph1,ndeph3,ndecal1,ndecal3 :integer;
```

```
v1,v2,v3,v4,s1,s3,simili1,simili2,simili3,vdecal,nsimili1,nsimili2,vtransp,vdeph :vecteur;
Begin
    writeln;writeln ('COMPORTEMENT 3 : LE SERIEL');
    writeln ('identification à la composée de transformations dont une symétrie OU un rétrograde.');
    For j:=1 to 12 do
    begin
        inversvect(image,n2,j,v1);
        complex1(ini,v1,n1,n2,vdecal[j],nsimili1[j],vtransp[j],vdeph[j],s1);
    end;
    extraimax1(nsimili1,12,l1,degresimili1);
    inversvect(image,n2,l1,v1);
    complex1(ini,v1,n1,n2,ndecal1,degresimili1,ntransp1,ndeph1,simili1);
    if degresimili1>degresimilit then
    begin
        writeln;
        write ( 'Lorsqu"il en est capable, l"auditeur sériel perçoit le vecteur 2');
        write(' à peu près comme le vecteur 1 décalé de ');
        write (ndecal1);write (', transposé de ',ntransp1,' ton(s), déphasé à la position ',ndeph1);
        writeln(' et inversé par rapport au degré ', l1);
        write (' Ce qui donnerait un vecteur 2 avant transformation ');
        affichvect(simili1,n2);writeln;
        writeln ('nombre de similitudes avec le vecteur 1: ',degresimili1);
        writeln;
        retrogradvect(image,n2,v2);
        complex1(ini,v2,n1,n2,vdecal[13],nsimili1[13],vtransp[13],vdeph[13],simili2);
        if nsimili1[13]>degresimili1 then
        begin
degresimili1:=nsimili1[13];
write ( 'En fait, l"auditeur sériel perçoit plutot le vecteur 2 à peu près');
write (' comme le retrograde du vecteur 1 décalé de ');
write (vdecal[13]);write (', transposé de ',vtransp[13],' ton(s), et déphasé à la position ',vdeph[13]);
write (' Ce qui donnerait un vecteur 2 avant transformation ');
affichvect(simili2,n2);writeln;
writeln ('nombre de similitudes avec le vecteur 1: ',nsimili1[13]);
writeln;
        end;
    end
    else
    begin
    writeln;
    writeln ('l"auditeur sériel a une écoute optimale s"il entend ce qu"entend l"auditeur moyen');
    writeln;
    end;
        For j:=1 to 12 do
        begin
inversvect(image,n2,j,v3);
retrogradvect(v3,n2,v4);
complex1(ini,v4,n1,n2,vdecal[j+13],nsimili2[j],vtransp[j+13],vdeph[j+13],s3);
        end;
        extraimax1(nsimili2,12,l2,degresimili3);
        inversvect(image,n2,l2,v3);retrogradvect(v3,n2,v4);
        complex1(ini,v4,n1,n2,ndecal3,degresimili3,ntransp3,ndeph3,simili3);
    if degresimili3>degresimilit then
    begin
        if degresimili3>degresimili1 then
        begin
        writeln;
        writeln ('COMPORTEMENT 4 : L"HYPERSERIEL');
        write (' S"il en est capable, l"auditeur Hypersériel perçoit même le vecteur 2 à peu près');
        write(' comme le vecteur 1 rétrogradé, décalé de ');
        write (ndecal3);write (', transposé de ',ntransp3,' ton(s), déphas, à la position ',ndeph3);
        writeln(' et invers, par rapport au degr, ', l2);
        write (' Ce qui donnerait un vecteur 2 avant transformation ');
        affichvect(simili3,n2);writeln;
        writeln ('nombre de similitudes avec le vecteur 1: ',degresimili3);
        writeln;
        end
        else
        begin
        writeln;
        writeln ('l"auditeur hyperseriel a une écoute optimale s"il entend ce qu"entend le sériel');
        end;
    end;
End;
```

```
(*********************************)
(*      PROGRAMME PRINCIPAL   *)
(*********************************)
BEGIN
Clrscr;
writeln('Notation numérique ou en notes ?; notes=1,nombres=2');read(notation);
Writeln('Entre n1: dimension du premier vecteur de référence');  read(n1);
While n1>40 do
    begin
        write ('n1 trop grand : prendre n1 inférieur … 40 : '); read(n1);
    end;
Writeln('Entre n2: dimension du deuxième vecteur à comparer.');  read(n2);
While n2>40 do
    begin
        write ('n2 trop grand : prendre n2 inférieur … 40 : '); read(n2);
    end;
writeln ('vecteur de comparaison ?'); saisivect(ini,n1);affichvect(ini,n1);writeln;
writeln ('vecteur image ?'); saisivect(image,n2);affichvect(image,n2);
Clrscr;
write ('vecteur de comparaison : ');affichvect(ini,n1);writeln;
write ('vecteur image : '); affichvect(image,n2);writeln;
optimum1 (ini,image,n1,n2,indicdecal,indicsimili,indictransf,simili);writeln;
write ('continue au niveau 2? oui=1, non=2'); writeln; read(a);
if a=1 then
begin
    clrscr;
    optimum2 (ini,image,n1,n2,degredecal,degresimilit,degretransp,degredeph,simili);
    writeln;
    write ('continue au niveau 3? oui=1,non=2'); writeln; read(a);
    if a=1 then
    begin
      clrscr;
      optimum3 (ini,image,n1,n2,degredecal,degresimili,degretransp,degredeph,simili);
      writeln;WRITELN('taper sur une touche numérique');read (a);
    end;
end;
END.
```

ANNEXE II : VALEURS DE L'INDICE HARMONIQUE D'EULER POUR CERTAINS INTERVALLES PARTICULIERS

1 : 1 (unisson)
2 : 2 (octave)
3/2 : 4 (quinte juste)
4/3 : 5 (quarte juste)
5/3 : 4 (sixte majeure zarlinienne)
5/4 : 7 (tierce majeure zarlinienne)
7/4 : 9 (« septième harmonique »)
6/5 : 8 (tierce mineure zarlinienne)
8/5 : 8 (sixte mineure zarlinienne)
9/5 : 9 (septième mineure zarlinienne)
7/6 : 10 (cinq quart de ton épimore)
8/7 : 10 (seconde complémentaire du genre fort premier)
9/7 :11 (tierce du genre fort conjoint premier)
12/7 : 11 (sixte du genre fort conjoint premier)
9/8 : 8 (ton pythagoricien)
11/8 : 14 (« quarte harmonique »)
15/8 : 10 (septième majeure zarlinienne/harmonique)
10/9 : 10 (ton mineur zarlinien)
11/9 : 15 (tierce neutre de Zalzal)
14/9 : 12
16/9 : 9 (septième mineure pythagoricienne)
11/10 : 16 (deuxième intervalle du partage aliquote de la quarte)
12/11 : 15 (troisième intervalle du partage aliquote de la quarte)
14/11 : 18
18/11 : 16
14/13 : 20 (tiers de ton de Safiyu-d-Din)
16/13 : 15 (variante de la tierce neutre)
16/15 : 11 (demi-ton majeur/diatonique)
19/15 : 25
17/16 : 21 (« demi-ton harmonique »)
19/16 : 23 (« tierce mineure harmonique »)
27/16 : 11 (sixte majeure pythagoricienne)
28/18 : 14
31/18 : 36
24/19 : 24
32/19 : 24
32/21 : 14
27/22 : 18 (variante de la tierce neutre)
30/23 : 30
40/23 : 30
25/24 : 14 (demi-ton mineur/chromatique)
31/24 : 36
32/27 : 12 (tierce mineure pythagoricienne)
40/27 : 14
44/27 : 19
40/33 : 20
56/33 : 22
76/45 : 29
64/49 : 17
80/63 : 19
81/64 : 15 (tierce majeure pythagoricienne)
81/68 : 27 (majeur perse)
81/70 : 20 (cinq-quarts de ton de Al-Hwarizmi)
81/80 : 17 (comma syntonique)
100/81 : 19
128/81 : 16 (sixte mineure pythagoricienne)
160/99 : 24
128/125 : 20 (comma enharmonique)
243/128 : 18 (septième majeure pythagoricienne)
256/147 : 23
320/189 : 23
256/243 : 19 (limma pythagoricien/demi-ton diatonique)
400/243 : 23
2187/2048 : 26 (apotome ou demi-ton chromatique)

COMPLEXITE GRAMMATOLOGIQUE ET COMPLEXITE APERCEPTIVE EN MUSIQUE,

Étude esthétique et scientifique du décalage entre la pensée de l'écriture et la perception cognitive des processus musicaux sous l'angle des théories de l'information et de la complexité.

Fabien Lévy

Thèse de doctorat pour l'obtention du titre de *docteur en musicologie de l'EHESS*

Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, 2004

RÉSUMÉ DE LA THÈSE

Mots clefs : Complexité musicale, grammatologie, aperception, procédures compositionnelles, musique du XX^{e} siècle

Résumé : Derrière la notion de complexité musicale se cachent de nombreuses définitions que l'on regroupe en deux catégories : les **complexités grammatologiques**, qui désignent la complexité de la pensée d'une écriture (par exemple, la complexité algorithmique d'un processus musical) et les **complexités aperceptives**, qui concernent les difficultés psychologiques ou culturelles de perception. On montre alors que les mécanismes de ces deux types de complexités sont différents : deux procédures de même complexité grammatologique peuvent produire deux résultats sonores de complexités aperceptives dissemblables ; inversement, deux procédures analytiquement éloignées peuvent engendrer des résultats perceptifs proches, de même complexité aperceptive.

Cependant, l'écriture musicale n'est pas une simple graphémologie. Elle porte en elle une façon de penser la musique. L'Occident favorise par exemple une notation de la musique en paramètres indépendants, discrétisés, et réducteurs. Étudier la complexité grammatologique musicale nécessite en conséquence d'étudier notre perception analytique de la musique. Inversement, la perception d'une oeuvre est cognitive, c'est-à-dire que l'auditeur cherche à comprendre et à compresser la chaîne d'information sonore en des schèmes inconscients. En d'autres termes, la perception est une écriture mentale, et étudier la complexité aperceptive requiert d'étudier la complexité analytique de l'algorithme réengendré par l'auditeur.

Ce travail est une réflexion approfondie sur ces différentes complexités, leur décalage, et leur similitude. La recherche s'appuie à la fois sur des applications musicales concrètes (étude des procédures d'écriture et des mécanismes de perception concernant les rythmes, les transformations motiviques, la consonance d'un intervalle, etc..), mais aussi sur l'élaboration de concepts théoriques opératoires issus des sciences humaines formalisées (analyse musicale, théories de l'information et de la complexité, sémiologie, psychoacoustique), et sur la construction de modèles et de paradoxes musicaux de l'écriture et de la perception.

GRAMMATOLOGICAL COMPLEXITY AND APPERCEPTIVE COMPLEXITY IN MUSIC

Scientific and aesthetic study on the gap between the cognitive perception and the thinking of the writing of musical processes under informational and complexity theories

Fabien Lévy

Ph.D. in Musicology

Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (EHESS), 2004

SUMMARY

Key-words : Musical complexity, grammatologie, apperception, compositionnel process, 20th Century Music

Summary : A multitude of definitions can be applied to the notion of musical complexity. Two categories can however be distinguished: the **grammatological complexities,** which mean the complexity of the thought of a writing (algorithmic complexity of a musical process for instance) and the **apperceptive complexities**, designating the psychological or cultural difficulties of perception. It is shown that the mechanisms of these two types of complexities are distinct : two procedures with identical grammatological complexity can result in dissimilar apperceptive complexities ; conversely, two analytically distant procedures can generate close perceptive results with the same apperceptive complexity.

However, the musical writing is not only a transcription, a graphemology. It carries a way of thinking the music. Western civilisation emphasizes for instance a musical notation with independent, discrete, and reduced parameters. Hence, studying the musical grammatological complexity requires a study of our analytical perception of the music. Conversely, the perception of the music is cognitive, which means that the listener seeks to understand and compress the musical information in unconscious schemes. In a way, the perception is a mental writing, and studying the apperceptive complexity requires a study of the analytical complexity of the algorithm reprocessed by the listener.

This work studies carefully these various complexities, their gap, and their similarity. This research uses concrete musical applications (the study of different processes and mechanisms of perception concerning rhythms, motivic transformations, consonance of an interval, etc.), but also the elaboration of theoretical concepts taken from the formalized social sciences (musical analysis, information and complexity theories, semiology, psychoacoustics), and the construction of musical models and paradoxes on writing and perception.