

**Rapport sur le dossier soumis par M. Moreno Andreatta pour l'HDR
en vue de la soutenance du 22 octobre 2010**

M. Moreno Andreatta présente en vue de l'HDR un dossier réunissant un ensemble de travaux qui portent sur la théorie mathématique de la musique. Il a donné à son dossier le titre à la fois beau et révélateur de *Mathematica est exercitium musica* (« la mathématique est un exercice musical ») qui prend le contre-pied, en la renversant, de la proposition de Leibniz *Musica est exercitium arithmetica* (« la musique est un exercice arithmétique »). Ce changement de perspective est caractéristique de la conception de Moreno Andreatta, pour qui la discipline « mathémusicale », ainsi qu'il la nomme, ne se définit pas seulement (et comme on a l'habitude de l'envisager) comme une application des mathématiques à la théorie de la musique — où le mathématicien, par conséquent, aurait peu à apprendre — mais aussi comme le champ d'émergence de nouveaux problèmes mathématiques posés par la musique — lesquels sont dès lors d'intérêt aussi pour le spécialiste de mathématiques.

Il est courant de faire remonter à Pythagore le lien intime entre mathématique et musique ; néanmoins, le rapport entre spéculation théorique et pratique effective n'est pas toujours très étroit, que ce soit dans l'Antiquité ou au Moyen Âge. La constitution d'une intersection rigoureuse entre théorie musicale et formalisation mathématique, en relation directe avec la pratique compositionnelle d'une part et la branche systématique de la musicologie d'autre part, apparaît comme un phénomène beaucoup plus récent ; en effet, celui-ci s'est développé essentiellement à partir des années 1950 dans certaines universités américaines pour se généraliser dans le monde académique nord-américain de la *music theory* avec les années 1970. Cette origine explique le vocabulaire largement anglophone de ce domaine d'application des mathématiques, qui implique plus spécifiquement la théorie des ensembles (*musical set theory*, que l'on pourrait désigner par « théorie musico-ensembliste »), la théorie des groupes (exploitée par la *transformational theory*) et celle des graphes (à l'œuvre dans les *transformational networks* et le cas particulier des *K-nets*). À celles-ci s'ajoutent encore la théorie des systèmes formels et celle des catégories, cette dernière étant illustrée notamment en Europe par le mathématicien Guerino Mazzola, avec qui Moreno Andreatta a collaboré.

C'est dans cette relation analyse-théorie-composition que se situe la démarche de Moreno Andreatta. Cela s'explique à la fois par son appartenance institutionnelle à l'Ircam, dont le rôle dans la création musicale est une mission fondamentale, mais également par l'origine du renouveau de la démarche mathématique en musique qui est historiquement liée au mouvement sériel, et donc à la musique contemporaine de l'après-guerre. Le travail théorique de Moreno Andreatta est donc en prise à la fois avec le regard musicologique cherchant à expliquer l'existant, mais aussi avec le présent de la composition auquel il fournit des outils et des modes de pensée. Ceci montre bien l'intérêt et l'impact de telles recherches du côté de la musique, sans préjuger de ceux qu'elles peuvent présenter du point de vue mathématique, ou encore cognitif.

Moreno Andreatta est un chercheur qui bénéficie d'une excellente réputation internationale, notamment en France, en Italie et aux États-Unis. Il a le privilège d'une double formation approfondie à la fois en musique et en mathématique, ce qui lui permet d'aborder ces domaines et de les réunir sans les approximations, les incompréhensions, ou les limitations qui gâtent bien souvent les travaux interdisciplinaires. Notons que le dossier de Moreno Andreatta s'inscrit dans la continuité de l'HDR soutenue en 2007 à l'ancienne université Marc-Bloch de Strasbourg par Franck Jedrzejewski, travail qui fut probablement le premier présenté à un tel niveau dans l'université française dans le champ de la théorie mathématique de la musique.

Il ne fait aucun doute que Moreno Andreatta maîtrise, au plus haut niveau, la spécialité qui est la sienne. Il ne fait pas non plus de doute que son apport y est original et substantiel. Avec plus de vingt articles dans des revues à comité de lecture ou chapitres d'ouvrage collectifs, un nombre équivalent de communications à des colloques publiées, la direction d'un ouvrage en deux versions, française et anglaise, et celle de numéros spéciaux de revues internationales, une activité de conférencier invité en France et à l'étranger, ainsi qu'une participation très abondante à des séminaires et ateliers divers, Moreno Andreatta a fait la preuve quantitative de son engagement non seulement dans la recherche, ce qui serait déjà plus que satisfaisant du point de vue de sa candidature à l'HDR, mais aussi dans la dissémination de celle-là ainsi que dans l'enseignement et la formation des jeunes chercheurs. La preuve qualitative est fournie quant à elle par la valeur de ses travaux, leur reconnaissance, et l'image extrêmement positive dont, avec leur auteur, ceux-ci bénéficient.

Moreno Andreatta a de surcroît le souci de s'intéresser au cadre épistémologique de sa recherche de même qu'à sa mise en perspective du point de vue de l'histoire des sciences. L'ancrage original de la réflexion théorique mathématico-musicale dans le positivisme logique est ainsi dégagé de manière pertinente, de même que l'opposition entre cette réflexion et les approches inspirées de la linguistique et de la sémiotique qui ont, en Europe et plus particulièrement en France, tiré à elles la couverture structuraliste. Cette curiosité a conduit Moreno Andreatta à se tourner du côté de la philosophie pour analyser le tournant menant d'une épistémologie positiviste à une « épistémologie systémique » associée à un renouvellement de la phénoménologie, devenue structurale, qui invite à déchiffrer le monde sur le mode d'une « connaissance projective » créatrice de sens.

Il n'en reste pas moins que l'adoption d'une démarche systématisée et mathématisée pour l'interprétation d'objets aussi lourdement subjectifs que peuvent le sembler, aussi bien dans leur conception que leur perception, les œuvres musicales, pose des problèmes aigus en relation avec la définition même de l'approche scientifique et de ses critères fondamentaux (ne serait-ce que celui de la falsification). Or, un discours tel que celui de Babbitt privilégiant la seule cohérence des propositions et de leurs déductions, malgré la suggestion de la « testabilité » des énoncés sur les œuvres, reste insatisfaisant pour fonder valablement une démarche théorico-analytique testable au sens inter-subjectif de Popper, et ce d'autant si l'on considère la complexité et la multiplicité des processus qui coexistent au sein de la musique. Autrement dit, tant que la théorie musicale reste abstraite, sa mathématisation ne lui nuit en rien et lui confère au contraire une rigueur et une élégance qu'elle n'aurait pas sans cela. Dans son passage à l'application analytique, la théorie mathématique de la musique peine bien souvent à recueillir l'adhésion des musicologues car les schémas qu'elle propose paraissent impuissants à restituer ce que

l'on pourrait nommer un processus d'engendrement de l'œuvre convaincant. Ajoutons qu'une articulation d'une théorie musicale mathématisée et axiomatisée avec une démarche historique tenant pour acquis un certain nombre de résultats dégagés par celle-là pour expliquer à son tour la singularité des œuvres individuelles n'existe pour le moment pas.

De fait, contrairement aux mathématiques, la théorie musicale doit affronter une diversité fondamentale de son objet, éclaté en styles musicaux variables aussi bien dans le temps que l'espace, et donc dépendants de l'histoire et de la culture, pour lesquels une théorie globale et unique paraît illusoire. Moreno Andreatta n'évade pas cette difficulté et propose de la surmonter par le biais de ce qu'il nomme le choix du « paradigme » théorique le plus adéquat pour interpréter un problème musical concret donné. Bien que du point de vue kuhnien l'on pourrait dire que la théorie musicale se trouve encore à un stade d'immaturité, et que la notion de paradigme ainsi désignée renvoie davantage à une coexistence d'outils et de concepts parallèles, adaptés à des objets différents plutôt que s'inscrivant dans une dialectique de dépassement et constituant une sorte de *Weltanschauung* disciplinaire global, la conception proposée n'en est pas moins judicieuse et sans doute une des meilleures dont nous disposons.

Comme cela a été évoqué plus haut, l'un des intérêts de la démarche de Moreno Andreatta est de s'emparer d'une question musicale et de montrer comment elle pose en réalité un problème mathématique. L'un des problèmes qui l'ont préoccupé de manière récurrente est celui des canons rythmiques qu'il traite comme un pavage de l'axe des entiers et qu'il résout élégamment en faisant intervenir la théorie des groupes de Hajós ; musicalement, ce problème est redevenu actuel depuis l'apparition de ces canons dans l'œuvre d'Olivier Messiaen. La relation \simeq entre des collections de classes de hauteurs non équivalentes à une transposition ou à une inversion suivie d'une transposition près, mais possédant un même vecteur intervallaire, est bien connue en théorie musicale depuis la publication de *The Structure of Atonal Music* d'Allen Forte en 1973 ; Moreno Andreatta a su analyser mathématiquement ce phénomène en faisant appel à la transformée de Fourier discrète utilisée d'ordinaire en traitement du signal ; il propose également des perspectives de généralisation de cette relation pour un tempérament égal donné. Les K -réseaux ont fait leur apparition dans la théorie musicale dans les années 1990 avec les articles du mathématicien et théoricien de la musique américain David Lewin. En collaboration avec Guerino Mazzola, Moreno Andreatta a réinterprété la construction des K -réseaux et le problème des isographies dans le cadre de la théorie des catégories, aboutissant notamment à un théorème d'énumération des isographies fortes. Il faut également mentionner, dans le domaine informatique, que Moreno Andreatta a participé au développement du logiciel *OpenMusic* qui est une des réalisations de pointe de l'Ircam.

Dans son mémoire original, Moreno Andreatta présente (fig. 1.2, p. 10) les différentes classes canoniques auxquelles une même collection de classes hauteurs peut appartenir selon la relation d'équivalence considérée : transpositionnelle, inversionnelle, multiplicative, permutationnelle (correspondant respectivement à l'action du groupe cyclique, diédral, affine et symétrique sur l'espace chromatique). Ce schéma présente une anomalie : l'accord exprimé en notation musicale symbolique {ré, si, ré, fa, mi, si, do}, correspondant à la c.c.h. {11, 0, 2, 4, 5}, ne peut être ramené par équivalence à aucune des classes montrées. Sa structure intervallaire <1 2 2 1 6> montre en effet deux intervalles de classe 1 et un intervalle de classe 6 qui ne sont pas compatibles avec le reste de la figure. Il suffit d'échanger la note la plus aiguë de l'accord, le do, contre un la pour corriger cette erreur. Celle-ci passe inaperçu parce que

ce *do* est placé dans le registre suraigu, sur la neuvième ligne supplémentaire : le seul problème posé ici est le rapport inconfortable avec la notation musicale proposé par le logiciel informatique, paradoxalement (ou étonnamment) responsable de cette erreur. Alors que les représentations géométriques sont clairement lisibles, la représentation musicale n'est pas conçue pour être lue, mais tout juste déchiffrée. Il n'y a d'ailleurs rien là qui mette en cause le travail de Moreno Andreatta : ce détail peut tout juste être considéré symptomatique d'un danger possible pour la mathématique musicale, celui de trop s'éloigner de la musique.

Du point de vue du vocabulaire, le terme de « mode » utilisé à propos de la définition de la multiplication d'accords boulézienne (p. 13) est générateur de confusion : alors qu'un mode correspond à l'une des permutations possibles d'une échelle donnée en fonction d'une certaine règle — et donc à une structure intervallaire plutôt qu'un ensemble de sons — il aurait sans doute été préférable ici de parler de classe de hauteur, de paire (ou dicorde), de tricorde, etc. et plus généralement de n -corde (c'est-à-dire de c.c.h. de cardinal n , $n \geq 1$). De même, la qualification de cloche « diatonique » (p. 31) — dont Moreno Andreatta n'est pas responsable puisqu'il la reprend de son auteur, Pierre Audétat — est inexacte : il s'agit en réalité d'une cloche heptatonique (ou heptacordale), le diatonisme dénotant une échelle heptatonique à la fois réduite et dont la répartition des intervalles présente une régularité maximum. Encore à propos de modes, la propriété concernant la nécessaire redondance de la structure intervallaire des modes de Messiaen (p. 15) se trouve en réalité déjà exposée dans la *Mathematical Theory of Music* de Franck Jedrzejewski (p. 59, théorème 83).

Un point de discussion plus important est soulevé par les réseaux de Klumpenhouwer (p. 17-19). Sans qu'il y ait à légiférer là-dessus, il semblerait préférable de réserver l'appellation de K -réseaux aux réseaux comportant à la fois des arêtes représentant des opérations de transposition et des arêtes représentant des opérations d'inversion et/ou de multiplication. (Les réseaux uniquement transpositionnels ne présentent pas d'intérêt spécifique.) Du point de vue musico-analytique, la récursivité n'est considérée que si non seulement la configuration de sommets et d'arêtes est similaire, mais également si la disposition des opérateurs t , i et/ou m est identique, et si leurs valeurs obéissent à certains rapports. Ce n'est pas le cas de la figure 1.10, où le réseau de niveau supérieur n'est pas constitué des mêmes opérateurs que ceux du niveau inférieur. L'observation de cette divergence n'est pas l'expression d'une désapprobation, mais interroge la pertinence analytique des K -réseaux et ouvre de ce fait un questionnement théorique intéressant.

La possibilité de valuer une ou plusieurs arêtes d'un réseau par l'opérateur m est effectivement admise dès l'origine par Lewin dans la définition des K -réseaux, malgré la rareté de son occurrence dans le contexte de l'analyse, au moins jusqu'ici. La figure 1.11 pose néanmoins un problème, puisque si l'opération m_7 est une involution sur l'espace chromatique, il n'en va pas de même pour sa composition par t_7 : ainsi, alors qu'on a bien, dans le premier réseau, $t_7 m_7(Eb) = E$, en revanche $t_7 m_7(E) = B$ et non pas Eb . La double flèche entre ces deux sommets est donc erronée, et il en est de même pour les doubles flèches équivalentes des autres réseaux de la figure. Il suffit évidemment de corriger cette erreur, qui reste sans importance par rapport au raisonnement d'ensemble ; le seul détail troublant est toutefois que toutes les classes de hauteurs concernées, occupant le sommet supérieur droit des réseaux, soit Eb , Gb , A et C , sont exactement celles pour lesquelles i_7 donne un résultat identique à $t_7 m_7$ — à la différence près que i_7 est une involution et que la double flèche serait dans ce cas justifiée.

Une évolution que l'on considère comme très importante chez Moreno Andreatta et d'autres chercheurs impliqués dans le même champ est leur rapprochement avec les sciences cognitives. Ce rapprochement est sans doute bénéfique de tous les points de vue : aux sciences cognitives, et particulièrement la psychologie de la musique, il permet de renouveler leurs conceptions musico-théoriques datées et souvent peu pertinentes, ou simplement insuffisantes ; à la théorie, il ouvre la possibilité d'effectuer certaines formes de tests, mais aussi d'intégrer des données relevant de la cognition musicale ; enfin, comme le suggère Moreno Andreatta, les neurosciences peuvent fournir aux mathématiques de nouveaux problèmes en particulier « via la musique » (p. 45). C'est dans ce rapport aux sciences cognitives que Moreno Andreatta voit de façon intéressante une possibilité de résoudre la difficulté signalée plus haut de la testabilité de l'analyse, en lien avec la notion de connaissance projective qui l'intéresse du point de vue philosophique. Il a raison (p. 47) de mettre en avant les K -réseaux comme un exemple de la manière dont l'analyse permet de proposer un parcours à la perception. Signalons que Moreno Andreatta a été cette année le rédacteur invité d'un numéro spécial de *Musicae scientiae*, revue de la Société européenne pour les Sciences cognitives de la musique, consacré à la théorie générative de Lerdahl et Jackendoff.

La bibliographie confirme l'étendue remarquable des lectures de Moreno Andreatta, dont on voit que la curiosité s'étend au-delà du double domaine (déjà difficile à maîtriser) qui est le sien. L'introduction d'une démarche de type scientifique dans un champ tel que la musique, fortement historicisé, n'est pas, on l'a vu, une tâche aisée et pose de nombreux questionnements épistémologiques. Moreno Andreatta ne s'est pas retranché derrière une attitude de technicien pour les ignorer mais a, au contraire, choisi de s'y confronter.

En plus d'être un chercheur estimé et reconnu, Moreno Andreatta est un organisateur remarquable. Ses réalisations les plus saillantes sont le colloque franco-américain Autour de la *Set Theory* qui s'est tenu à l'Ircam-Centre Pompidou en 2003 ; la co-fondation du *Journal of Mathematics and Music* chez l'éditeur Taylor & Francis ; la création de la collection « Musique/Sciences » chez Delatour France, en collaboration avec la Société française d'Analyse musicale ; la création de la collection « Computational Music Sciences » chez Springer Verlag. Moreno Andreatta est de plus impliqué dans l'organisation de multiples rencontres dans son domaine, à commencer par le séminaire MaMuX qu'il anime à l'Ircam depuis de nombreuses années, le séminaire MaMuPhi de l'ENS-Ulm, et l'École mathématique pour musiciens et autres non-mathématiciens, liée à ces deux séminaires.

Moreno Andreatta est impliqué dans la codirection de deux thèses de doctorat (dont l'une a été soutenue récemment avec succès) et la direction ou codirection de plusieurs mémoires de master et de travaux de mastère ou de magistère. Il enseigne dans le cadre du master Atiam (Ircam-UPMC), et de masters à Brest et Grenoble ; il assure également un cours de mathématique et musique à l'université de Pise. Enfin, il prend part régulièrement à des stages, ateliers et conférences de vulgarisation. Les travaux d'étudiants qu'il a dirigés et dont la liste est donnée après chaque point théorique montre bien sa capacité à encadrer des jeunes chercheurs.

Pour toutes ces raisons, le dossier présenté par Moreno Andreatta répond pleinement à toutes les exigences de l'HDR et le candidat est assurément digne de se voir décerner ce diplôme.

Fait à Strasbourg, le 1-10-2010.

Xavier A. Hascher

Xavier Hascher

E. WESTHOF

Vice-Président Recherche
et Formation Doctorale

