

## **RAPPORT D'ACTIVITES DE**

Moreno ANDREATTA

présenté pour le concours DR2 (07/01)

**IRCAM/CNRS/UPMC**

**UMR 9912 (STMS)**

**Sciences et Technologies de la Musique et du Son**

**1, place I. Stravinsky**

**75004 Paris**

**<http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/moreno/>**

## Table de matières :

<b>1</b>	<b>Référents</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Curriculum Vitæ</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Activité de recherche</b>	<b>7</b>
3.1	<b>Domaine de recherche, résumé des travaux antérieurs et leur impact scientifique et technologique</b>	<b>7</b>
3.1.1	Période 1990-1998	7
3.1.2	Période 1998-2003	8
3.1.3	Période 2003-2010	8
3.1.4	Bilan des publications	9
3.1.5	Bilan encadrement de thèses et mémoires de master	10
3.1.6	Bilan organisation de colloques et séminaires d’études	10
3.2	<b>Activité de recherche sur les méthodes algébriques en musicologie computationnelle (période 1998-2010)</b>	<b>10</b>
3.2.1	Ensembles des classes de hauteurs et théorie transformationnelle	12
3.2.2	Mosaïques et pavages en théorie et composition musicales	14
3.2.3	Suites périodiques et le calcul des différences finies	17
3.2.4	Relation Z, ensembles homométriques et transformée de Fourier discrète	17
3.2.5	Théories diatoniques et ensembles maximalement repartis	19
3.2.6	Block-designs en composition algorithmique	20
<b>4</b>	<b>Valorisation et transmission des connaissances</b>	<b>21</b>
4.1	<b>Création d’un contexte favorable pour les publications en mathématique/musique</b>	<b>21</b>
4.1.1	Journal of Mathematics and Music	21
4.1.2	Collection « Musiques/Sciences » (Ircam/Delatour France)	21
4.1.3	Collection « Computational Music Science » (Springer)	22
4.2	<b>Actions pédagogiques pour renforcer l’axe mathématique/musique</b>	<b>22</b>
4.2.1	Séminaire MaMuX	22
4.2.2	Séminaire <i>mamuphi</i>	23
4.2.3	Ecole mathématique pour musiciens et autres non-mathématiciens	23
<b>5</b>	<b>Enseignement, formation et diffusion de la culture scientifique</b>	<b>23</b>
5.1	<b>Participation à l’enseignement et responsabilités</b>	<b>23</b>
5.2	<b>Direction de travaux d’étudiants</b>	<b>24</b>
5.2.1	Encadrement de thèses de doctorat (4, dont 2 en cours)	24
5.2.2	Direction de mémoires de master, magistère ou autres travaux (13)	24
5.3	<b>Organisation de conférences et de colloques</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>Collaborations scientifiques et artistiques</b>	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>Animation et gestion de la recherche</b>	<b>28</b>
7.1	<b>Responsable du projet « Mathématiques/Musique &amp; Cognition »</b>	<b>28</b>
7.2	<b>Responsable du projet « Géométrie de l’Interaction et Musique » (GdIM)</b>	<b>29</b>
7.3	<b>Responsable de l’environnement informatique « MathTools »</b>	<b>31</b>
7.4	<b>Participation à des travaux d’expertise</b>	<b>31</b>
<b>8</b>	<b>Références</b>	<b>32</b>

# 1 Référents

Les personnes suivantes ont accepté d’être mes référents et peuvent être directement contactées afin d’obtenir un avis sur ma candidature<sup>1</sup>.

*Pour l’intégration du projet de recherche au sein des activités de l’UMR 9912 (STMS) :*

- Gérard ASSAYAG, responsable équipe Représentations musicales IRCAM et directeur de l’UMR 9912 (STMS). Lettre de recommandation jointe au dossier<sup>2</sup>.  
*Contact : Gerard.Assayag@ircam.fr*
- Hugues VINET, directeur scientifique de l’IRCAM. Lettre de recommandation jointe au dossier<sup>3</sup>.  
*Contact : Hugues.Vinet@ircam.fr*
- Henri MAÎTRE, directeur de la recherche de Télécom ParisTech et directeur adjoint de l’école doctorale EDITE de Paris.  
*Contact : henri.maitre@Telecom-ParisTech.fr*

*Pour les aspects informatiques :*

- Jean-Paul ALLOUCHE, directeur de recherche CNRS, Équipe Combinatoire et optimisation, université de Paris 6.  
*Contact : allouche@math.jussieu.fr*
- Marc CHEMILLIER, directeur d’études au CAMS/CNRS (EHESS) et rapporteur pour ma thèse de doctorat en musicologie computationnelle.  
*Contact : chemilli@free.fr*
- Jean-Louis GIAVITTO, directeur de recherche CNRS, équipe Représentations Musicales de l’IRCAM.  
*Contact : Jean-Louis.Giavitto@ircam.fr*

*Pour les aspects mathématiques :*

- Athanase PAPADOPOULOS, directeur de recherche CNRS, Institut de Recherche Mathématique Avancée, Université de Strasbourg. Garant de mon habilitation à diriger des recherches.  
*Contact : athanase.papadopoulos@math.unistra.fr*
- José-Francisco RODRIGUES, Professeur, CMAF/FC Université de Lisbonne, Portugal.  
*Contact : rodrigue@ptmat.fc.ul.pt*
- Fabrizio BROGLIA, Professeur, département de mathématique, Université de Pise, Italie. Rapporteur de mon habilitation à diriger des recherches.  
*Contact : broglia@dm.unipi.it*

*Pour les aspects musicologiques :*

- Guerino MAZZOLA, Professeur, département de musique, Université de Minnesota, Etats-Unis, co-directeur de la collection « Computational Music Sciences » (Springer). Président du jury de ma thèse de doctorat en musicologie computationnelle.  
*Contact : mazzola@umn.edu*

---

<sup>1</sup> Les différents rapports concernant mes recherches passées (rapport de soutenance de thèse de doctorat, rapport du garant soumis au conseil scientifique de l’Université de Strasbourg en vue de l’acceptation du dossier de candidature pour mon habilitation à diriger des recherches et les trois rapports sur le dossier d’habilitation à diriger des recherches) sont disponibles à l’adresse :  
<http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/moreno/MorenoANDREATTA-prod2011.html>

<sup>2</sup> LettreRecANDREATTA\_Assayag\_STMS.pdf

<sup>3</sup> LettreRecANDREATTA\_Vinet\_STMS.pdf

- Xavier HASCHER, professeur, département de musique, Université de Strasbourg. Rapporteur de mon habilitation à diriger des recherches.  
*Contact : xhascher@unistra.fr*
- John RAHN, Professeur, Université de Washington à Seattle et rédacteur en chef de la revue *Perspectives of New Music*. Rapporteur de ma thèse de doctorat en musicologie computationnelle.  
*Contact : jrahn@u.washington.edu*

*Pour les aspects cognitifs, épistémologiques et philosophiques :*

- Andrée C. EHRESMANN, professeur émérite à l'Université de Picardie-Jules Verne et conceptrice du modèle catégoriel des systèmes évolutifs à mémoire.  
*Contact : andree.ehresmann@u-picardie.fr*
- Frédéric PATRAS, directeur de recherche CNRS, Laboratoire J. A. Dieudonné, Université de Nice Sophia-Antipolis. Rapporteur de mon habilitation à diriger des recherches.  
*Contact : Frederic.Patras@unice.fr*
- Hugues DUFOURT, directeur de recherche CNRS, philosophe, compositeur.  
*Contact : hugues.dufourt@gmail.com*

## 2 Curriculum Vitæ

**Nom :** ANDREATTA **Prénom :** Moreno **Nationalité :** Italienne

**Date et lieu de naissance :** 28.04.1971 Schaffhausen (Suisse)

**Adresse professionnelle :** IRCAM, 1 Place I. Stravinsky, 75004 Paris – Tél. : 01 44 78 16 49

**Mail :** Moreno.Andreatta@ircam.fr

**Adresse personnelle :** 4, rue Charles Lebeau, 92160 Antony

**Etat civil :** marié avec deux enfants

**Situation actuelle :** chargé de recherche CNRS 1<sup>ère</sup> classe ; codirecteur des collections « Computational Music Sciences » (Springer) et « Musiques/Sciences » (Ircam/Delatour) ; vice-président de la SMCM (Society for Mathematics and Computation in Music).

### Diplômes :

- *Octobre 2010* : Habilitation à Diriger des Recherches en mathématiques à l'IRMA (Institut de Recherche Mathématique Avancée), Université de Strasbourg, avec un mémoire intitulé *Mathematica est exercitium musicae : la recherche mathémusicale et ses interactions avec les autres disciplines*. Président du jury : Gérard Assayag ; Rapporteurs : Fabrizio Broglia, Frédéric Patras et Xavier Hascher ; Examineur : José Francisco Rodrigues. Mention : très honorable.
- *Décembre 2003* : Doctorat en Musicologie computationnelle avec une thèse intitulée *Méthodes algébriques en musique et musicologie du XX<sup>e</sup> siècle : aspects théoriques, analytiques et compositionnels*. Président du jury : Guerino Mazzola ; Directeur : Alain Poirier ; Rapporteurs : Marc Chemillier, John Rahn ; Examineurs : Gérard Assayag, Jean Petitot. Mention : très honorable avec les félicitations du jury.
- *Juin 1999* : DEA en Musique et Musicologie du XX<sup>e</sup> siècle avec un mémoire intitulé *La théorie mathématique de la musique de Guerino Mazzola et les canons rythmiques* (sous la direction de H. Dufourt et de M. Chemillier). Mention : très bien.
- *Septembre 1998* : Prix de XX<sup>e</sup> année de piano, Conservatoire de Novara, Italie.
- *Mai 1996* : Maîtrise (« Tesi di Laurea ») en mathématiques auprès de l'Université de Pavie avec en mémoire portant sur les méthodes algébriques en musique intitulé *Gruppi di Hajos, Canoni e Composizioni*. Résultat : 110/110.

### Etudes scientifiques, musicales et formations complémentaires :

- *Déc. 2006 / Avril 2011* : Ecole de mathématique pour musiciens et autres non-mathématiciens à l'IRCAM (par Y. André, ENS/CNRS et Pierre Cartier, IHES).
- *19-26 Septembre 2006* : Ecole thématique du CNRS « Logique et interaction : vers une géométrie de la cognition » (Centre Culturel International de Cerisy-La-Salle) organisée par Jean-Baptiste Joinet (Université Paris 1, Panthéon-Sorbonne).
- *29 Mai - 5 Juin 2005* : « Summer School on Topos Theory » (Haute-Bodeux) organisée par Francis Borceux, Peter Johnstone (président du comité scientifique), Steve Awodey, Peter Freyd, Bill Lawvere, Ieke Moerdijk and Myles Tierney.
- *Oct. 1999 / Déc. 2003* : Formation doctorale « Musique, Histoire, Société » (EHES, IRCAM, ENS, CNSMDP).
- *21-24 Juin 2003* : Cours de perfectionnement sur les théories transformationnelles en musicologie (Mannes Institute, New York). Participation avec le soutien du CNRS UMR 9912.
- *Oct. 2000 / Juin 2001* : DEA Méthodes algébriques, Université Paris VI (auditeur libre).
- *Oct. 1998 / Juin 1999* : DEA en Musique et Musicologie du XX<sup>e</sup> siècle (EHES, IRCAM).
- *Nov. 1997 / Juin 1998* : composition (M<sup>o</sup> A. Solbiati) et Musique électronique (Prof. A. Vidolin) auprès de la Civica Scuola di Musica de Milan.
- *Oct. 1996 / Juin 1997* : *Visiting Student* auprès de l'Université de Sussex (Brighton). Cours de composition (J. Johnson et D. York), esthétique et sociologie de la musique du XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècle

(Prof. D. Osmond-Smith) et cours de perfectionnement en algèbre sur les groupes de Coxeter (Prof. R. Fenn).

- *Juillet 1996* : Stage de composition et Atelier d'improvisation avec Martial Solal au Centre Acanthes (Chartreuse de Villeneuve-lez-Avignon).
- *Juin 1996* : Académie d'été à l'IRCAM.
- *Nov. 1994 / Mai 1995* : Musique électronique, Milan (Prof. G. Haus).
- *Déc. 1993 / Juin 1995* : Composition et Direction d'orchestre, Trente (M<sup>o</sup> F. Valdambri).
- *Nov. 1990 / Mai 1996* : Collegio Ghislieri, Pavie. Département de mathématiques.

### **Bourses et prix :**

- *Année 2004-2005* : mention spéciale du prix de thèse ASTI (Association Française des Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication) pour la qualité du travail.
- *Année 2000-2001* : Lauréat de la Fondation « Marcel Bleustein-Blanchet » pour la Vocation (Bourse Européenne pour des recherches dans le domaine des rapports Mathématiques/Musique).
- *Année 1999-2000* : Bourse de perfectionnement de l'Université de Padoue (Italie).
- *Année 1998-1999* : Bourse de trois mois du Ministère des affaires étrangères (programme scientifique) et Bourse *Maria Rossi* du Collegio Ghislieri de Pavie.
- *Année 1996-1997* : Bourse du Collegio Ghislieri de Pavie pour une année de perfectionnement auprès de l'université de Sussex à Brighton.
- *Juillet 1995* : Premier Prix au Concours de Piano « O. Giulotto » de Pavie et concert donné dans le cadre du Festival « Pavia Musica 1995 ».
- *Été 1995* : Bourse d'étude auprès du St. John's College (Cambridge).

### **Participation à des travaux d'expertise et appartenance à des sociétés savantes :**

- Membre invité pour le meeting d'experts sur « Creativity », FET (Future and Emerging Technologies) Proactive – FP7, Bruxelles, 28 novembre 2011
- Membre du comité de pilotage pour la demande de création d'un GDR « Esthétique Arts & Sciences » (2012-2015). En cours d'évaluation.
- Membre invité pour le comité de sélection pour un poste MCF avec chaire CNRS, section 27, informatique au LaBRI (mai 2011)
- Reviewer pour des conférences internationales (*International Computer Music Conference, Sound and Music Computing, Mathematics and Computation in Music*)
- Reviewer pour des revues à comité de lecture (*Journal of Mathematics and Music, Journal of New Music Research, Musimédiane, Advances in Complex Systems*).
- Membre fondateur et membre du comité éditorial du *Journal of Mathematics and Music*
- Membre fondateur et vice-Président de la *Society of Mathematics and Computation in Music*.
- Membre du conseil d'administration de la SFAM (Société Française d'Analyse Musicale)
- Membre de l'AFIM (Association Française d'Informatique Musicale) et de la SidAM (Société Italienne d'Analyse Musicale).

### 3 Activité de recherche

On trouvera dans la première section un court descriptif de mon domaine de recherche ainsi qu’un résumé de mes travaux de recherche jusqu’à ce jour et de leur impact scientifique et technologique. Mes travaux de recherche sont ensuite détaillés à la **section 3.2**.

#### 3.1 Domaine de recherche, résumé des travaux antérieurs et leur impact scientifique et technologique

Ma recherche s’inscrit dans un domaine que l’on pourrait appeler, de façon générale, celui des relations entre **mathématiques, informatique et musique**. Elle consiste à formaliser de problèmes théoriques, analytiques ou compositionnels à l’aide d’outils algébriques et intégrer ces modèles dans de langages de programmation originales pour la musique en vue d’une application en théorie, analyse et/ou composition musicales. Depuis ma « Tesi di Laurea » en mathématiques appliquées à la musique (1996), je n’ai cessé de m’engager dans la recherche « mathémusicale » à la fois en travaillant sur plusieurs problèmes théoriques (*Set Theory* et théorie transformationnelle, pavages musicaux, suites périodiques, homométrie, théories diatoniques et *block-designs*) avec des contributions qui ont fait l’objet de publications dans les meilleurs revues à comité de lecture dans le domaine. Mes méthodes s’appuient principalement sur le calcul algébrique (théorie des groupes, algèbre des polynômes, factorisations, combinatoire algébrique, ...) mais intègrent également l’approche catégorielle (catégorie des graphes dirigés, réseaux transformationnels, isographies) dans une démarche résolument computationnelle visant à implémenter les résultats théoriques dans des environnements informatiques originaux pour l’analyse et la composition musicales assistées par ordinateur.

Mes travaux ont ainsi un impact à la fois dans le domaine de la recherche mathématique (théorie du pavage des entiers et liens avec la conjecture spectrale, théorèmes de décomposition des suites périodique à valeur dans des groupes finis) mais aussi en informatique, notamment via l’intégration systématiques des résultats obtenus dans « MathTools », une librairie spécialisée du langage de programmation graphique *OpenMusic*<sup>4</sup> que j’ai conçue et développée en relation étroite avec Carlos Agon (chercheur en informatique dans l’équipe Représentations Musicales de l’IRCAM). Ce langage de programmation visuelle, développé par l’Equipe Représentations Musicales de l’Ircam, était initialement conçu pour la composition assistée par ordinateur mais il est de plus en plus employé comme outil analytique, comme nous aurons l’occasion de le montrer en présentant notre approche paradigmatique en ce qui concerne la classification d’accords et des rythmes. En particulier, l’environnement « MathTools » offre une palette d’outils théoriques utilisés dans la recherche mathémusicale contemporaine et susceptibles d’être appliqués à la fois en composition et en analyse musicales.

Mon engagement dans le domaine des rapports entre mathématiques et musique a été un facteur décisif dans le processus d’institutionnalisation progressive de ce domaine, avec une contribution majeure dans la constitution d’une société savante (*Society for Mathematics and Computation in Music*), la création de la première revue internationale à comité de lecture sur mathématiques/musique (*Journal of Mathematics and Music*), le lancement de deux collections d’ouvrages dont j’assure la co-direction (« Computational Music Sciences » chez Springer et « Musique/Sciences » chez Ircam-Delatour) ainsi que dans l’organisation d’une centaine de séminaires d’études qui ont élargi le spectre des sujets de recherche et fédéré la communauté des chercheurs travaillant dans ce domaine émergent.

##### 3.1.1 Période 1990-1998.

L’intérêt pour les rapports entre les mathématiques et la musique remonte à ma « tesi di laurea » (équivalent Master 2) en mathématiques à l’université de Pavie en Italie (Andreatta 1996), où j’avais

---

<sup>4</sup> Pour une présentation d’*OpenMusic* voir Agon (1998), Assayag (1999) ainsi que la documentation disponible à l’adresse <http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/OpenMusic/>.

travaillé sur un problème posé initialement par Minkowski (1907) sur le pavage de l’espace  $n$ -dimensionnel par des cubes unité (Conjecture de Minkowski), problème résolu par Hajos une quarantaine d’années plus tard grâce à une formulation de type algébrique en termes de factorisations de groupes (Hajos, 1942). J’ai étudié les liens entre la théorie des groupes de Hajos et un problème compositionnel que le mathématicien Dan Vuza avait décrit dans une série d’articles parus dans la revue *Perspectives of New Music* (Vuza, 1991-93), et qui n’avaient aucunement intéressé les musicologues, sans doute à cause de leur caractère très technique (utilisation, entre autres, de la transformée de Fourier discrète sur des groupes localement compacts). Une fois établi le lien entre groupes de Hajos et construction des canons rythmiques réalisant un pavage (*Tiling canons* ou canons mosaïques), j’ai commencé à m’intéresser aux aspects computationnels (à savoir, l’étude de l’espace combinatoire des solutions d’un tel problème musical), tout en approfondissant la recherche sur les structures algébriques et sur leur applications en musicologie et en composition.

J’ai poursuivi cette recherche dans le cadre initialement d’un programme d’échange (*Visiting Student*) entre l’université de Pavie et l’université de Sussex (Brighton), où j’ai pu à la fois approfondir l’étude des structures algébriques (groupes de Coxeter, par Roger Fenn) ainsi que les aspects musicologiques et compositionnels des méthodes algébriques (esthétique et sociologie de la musique du XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècle par David Osmond Smith et composition par Julien Johnson et David York). Cette première longue expérience à l’étranger s’est achevée avec deux dissertations, l’une sur la théorie de l’information en musicologie (Andreatta, 1997a) et l’autre sur la théorie des groupes en musique (Andreatta, 1997b). Cette dernière a été ensuite publiée, en version remaniée et intégrée avec tous les aspects computationnels, dans Andreatta (2004).

### 3.1.2 Période 1998-2003.

La recherche sur les rapports entre mathématiques et musique s’est poursuivie en France dans le cadre d’un DEA dans la formation « Musique musicologie du XX<sup>e</sup> siècle » organisée par l’IRCAM et l’EHESS (Andreatta, 1999), suivi par un doctorat en musicologie computationnelle (Andreatta, 2003), période pendant laquelle j’ai intégré l’équipe Représentations musicales de l’Ircam en proposant les premiers modèles informatiques des problèmes de pavage que j’avais étudiés. Ces modélisations ont permis d’établir les premiers catalogues exhaustifs des solutions pour le problème de la construction des canons rythmiques mosaïques issus d’une factorisation d’un groupe cyclique en somme directe de deux sous-ensembles non périodiques (cas des « bad groups » ou groupes n’ayant pas la propriété de Hajos). J’ai également intégré la théorie des canons mosaïques à l’intérieur de la théorie mathématique de la musique de Guerino Mazzola, ce qui m’a conduit à collaborer à la rédaction de l’ouvrage *Topos of Music*, qui fait désormais référence dans le domaine (Mazzola 2002). Pendant ma thèse j’ai élargi le spectre des problèmes posés par la musique et susceptibles d’une formalisation algébrique, en étudiant à la fois les aspects théoriques, analytiques et compositionnels. L’étude mathématique des différents problèmes s’est toujours accompagnée d’une modélisation informatique constructive et de l’implémentation correspondante en *OpenMusic*. Cela a ouvert le champ à des collaborations multiples avec les compositeurs, tout en consolidant les collaborations avec des mathématiciens et des informaticiens.

### 3.1.3 Période 2003-2010.

A mon entrée au CNRS mon domaine de recherche, à savoir celui de la formalisation algébrique et modélisation informatique des structures musicales dans ses aspects à la fois théoriques, analytiques et compositionnels, était donc bien structuré. A partir d’octobre 2004 j’ai orienté ma recherche selon les grandes lignes contenues dans le projet **MISA** (Modélisation Informatique des Structures Algébriques : aspects cognitifs, épistémologiques et philosophique) retenu par le CNRS en intégrant progressivement la composante cognitive et une réflexion épistémologique sur les applications informatiques du rapport mathématiques/musique.

L’activité de recherche a été également envisagée comme un moment précieux pour la mise en place d’actions spécifiques nouvelles en ce qui concerne le processus d’« institutionnalisation » du

domaine des relations entre mathématique, informatique et musique en tant que discipline académique. Parmi ces actions, on citera en particulier :

- l’organisation de séminaires d’études (MaMuX et *mamuphi*) ;
- le lancement de deux collections dédiées aux rapports entre sciences et musique (Collection « Musique/Sciences », Ircam/Delatour France et « Computational Music Science », Springer) ;
- la création d’une revue de mathématiques à comité de lecture sur les liens mathématiques/musique (*Journal of Mathematics and Music*) ;
- la création d’une société savante (*Society of Mathematics and Computation in Music*) dont je suis à présent le vice-président.
- la création d’un groupe de travail sur « Mathématiques/Musique & Cognition », sous l’égide de l’AFIM (Association Française d’Informatique Musicale), dont la thématique est désormais intégrée de façon permanente dans les axes de recherche de l’UMR 9912 (STMS).

Le projet **MISA** étant en continuité avec les recherches menées dans le cadre de la thèse, dans ce rapport je décrirai dans une seule section les sujets sur lesquels j’ai travaillé pendant la période 1998-2010 ainsi que les résultats obtenus et les problèmes toujours ouverts (**section 3.2**). Les aspects liés à la valorisation et transmission des connaissances dans l’objectif d’une institutionnalisation progressive du domaine des relations entre mathématiques, informatique et musique seront traités dans la **section 4**. Une partie importante de mon activité de recherche ayant été consacrée aux aspects pédagogiques, la **section 5** décrira en détail les activités liées à l’enseignement, la formation et la diffusion de la culture scientifique. Les différentes collaborations, à la fois scientifiques et artistiques, ayant donné lieu à de publications, communications collectives, projets artistiques, codirection de thèses et mémoires d’étudiants et coorganisation de Symposia, Workshops et séminaires d’études, sont listées dans la **section 6**. La **section 7** conclusive sera consacrée aux activités liées à l’animation et au management de la recherche scientifique, en particulier dans le cadre des projets « Mathématiques/Musique et Cognition » (**section 7.1**) et « Géométrie de l’Interaction et Musique » (**section 7.2**).

### 3.1.4 Bilan des publications.

Mes publications depuis le début de ma carrière comprennent :

- **2** directions de collections (*Computational Music Sciences*, Springer ; *Musiques/Sciences*, Ircam/Delatour France)
- **3** directions de numéros de revues avec comité de lecture (dont **2** revues internationales)
- **10** revues internationales avec comité de lecture (*Journal of Mathematics and Music*, *Perspectives of New Music*, *Soft Computing*, *Journal of New Music Research*, *Tatra Mountains Mathematical Publication*)
- **8** revues nationales avec comité de lecture (*InCognito*, *Cahiers Romains de Sciences Cognitives*, *Paris Sciences et Lettres*, *Musurgia*, *Il Monocordo*)
- **8** chapitres de livres (dont **3** en anglais)
- **4** éditions d’ouvrages collectifs (dont **2** en anglais)
- **13** actes de colloques internationaux à comité de lecture
- **5** actes de colloques nationaux à comité de lecture
- **7** notes de lecture de livres et travaux de traduction parus dans des revues à comité de lecture ou dans des ouvrages collectifs
- **12** articles de vulgarisation, articles de presse et interventions dans la presse (*Sciences Actualités*, *Pour la science*, *L’Ouvert*, ...)
- **19** conférences invitées (dont **14** dans des congrès internationaux)
- Environ **40** workshops et séminaires
- **8** conférences de vulgarisation
- **5** publications dans des revues sans comité de lecture
- **6** travaux inédits
- **2** ouvrages en préparation.

La liste complète de mes publications apparaît dans un autre document<sup>5</sup>. Ces travaux ont été publiés avec une vingtaine de co-auteurs (voir **section 6**).

### 3.1.5 Bilan encadrement de thèses et mémoires de master

**4** thèses (dont deux en cours) et **12** mémoires de master ou équivalents. Je suis à présent responsable de l’unité d’enseignement « Musique et Science depuis 1945 » dans le cadre du Master ATIAM de l’Ircam. Voir la **section 5.2** pour la liste détaillée des travaux encadrés.

### 3.1.6 Bilan organisation de colloques et séminaires d’études

**9** colloques (dont **7** internationaux), une **centaine** de séminaires d’études (dans le cadre du séminaire MaMuX, *mamuphi*, groupe de travail « Mathématiques/Musique et Cognition » et projet PEPS Math/ST2I « Géométrie de l’Interaction et Musique »). Pour plus de détails, voir aux **sections 4.2, 5.3** et **7**.

## 3.2 Activité de recherche sur les méthodes algébriques en musicologie computationnelle (période 1998-2010)

Bien que mon activité de recherche sur la formalisation algébrique des structures musicales ait commencé au début des années 1990, ce n’est qu’avec mon arrivée en France en 1998 que la recherche théorique a pu trouver un ancrage computationnel avec un travail d’implémentation systématique des outils mathématiques employés en vue d’une intégration en *OpenMusic*, le langage de programmation visuelle développé par l’équipe Représentations musicales de l’IRCAM. Ce travail de modélisation informatique a commencé lors que j’étais étudiant en DEA en musique et musicologie du XX<sup>e</sup> siècle (IRCAM-EHESS), période pendant laquelle j’ai intégré l’équipe Représentations musicales de l’IRCAM en proposant les premiers modèles informatiques des problèmes de pavage que j’avais étudiés.

Ces implémentations, réalisées en collaboration étroite avec Carlos Agon (chercheur en informatique à l’IRCAM), ont permis d’établir les premiers catalogues exhaustifs des solutions pour le problème de la construction des canons rythmiques mosaïques dits de Vuza, i.e. des canons issus d’une factorisation d’un groupe cyclique en somme directe de deux sous-ensembles non périodiques (cas des « bad groups » ou groupes n’ayant pas la propriété de Hajos). J’ai également intégré la théorie des canons mosaïques à l’intérieur de la théorie mathématique de la musique de Guerino Mazzola, ce qui m’a conduit à collaborer à la rédaction de l’ouvrage *Topos of Music*, qui fait désormais référence dans le domaine (Mazzola 2002). Ces deux aspects, à savoir l’implémentation d’algorithmes d’engendrement de canons rythmiques mosaïques ainsi que l’interprétation de ces constructions musicales au sein de la théorie de Guerino Mazzola, ont fait l’objet d’un mémoire de DEA intitulé *La Théorie Mathématique de la musique de Guerino Mazzola et les canons rythmiques* (juin 1999) contenant le premier catalogue exhaustif des canons de Vuza de période 72. Le problème de la recherche d’un catalogue exhaustif des toutes les factorisations d’un groupe non-Hajos en somme directe de deux sous-ensembles non périodiques demeure, à ce jour, ouvert (voir **section 3.2.2**).

Bien que toujours intéressé aux algorithmes de constructions des canons rythmiques mosaïques, pendant ma thèse j’ai élargi le spectre des problèmes théorique susceptibles d’une formalisation algébrique, en étudiant à la fois leurs aspects formels et computationnels, en vue d’une application aussi bien en analyse musicale qu’en composition assistée par ordinateur. L’étude mathématique des différents problèmes s’est toujours accompagnée d’une modélisation informatique via l’implémentation en *OpenMusic*. Cela a ouvert le champ à des collaborations multiples avec les

---

<sup>5</sup> Ce document, joint au dossier (PublicationsANDREATTA\_ConcoursDR07-01.pdf), est également disponible en ligne à l’adresse : <http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/moreno/MorenoANDREATTA-prod2011.html>

compositeurs, autour de nombreux projets compositionnels, tout en consolidant les collaborations avec de mathématiciens et des informaticiens (voir **section 6**).

A partir de 2004, j’ai orienté mes recherches selon les grands axes du projet **MISA** (« **Modélisation Informatique des Structures Algébriques** en musique et musicologie : aspects cognitifs, philosophiques et épistémologiques »). Ce projet s’inscrit dans l’axe thématique « Musicologie computationnelle » qui constitue, avec les paradigmes de programmation pour la musique, les systèmes d’interaction symbolique et l’articulation signe-signal, l’un des quatre domaines de recherche principaux de l’équipe Représentations Musicales de l’IRCAM (Fig. 1).

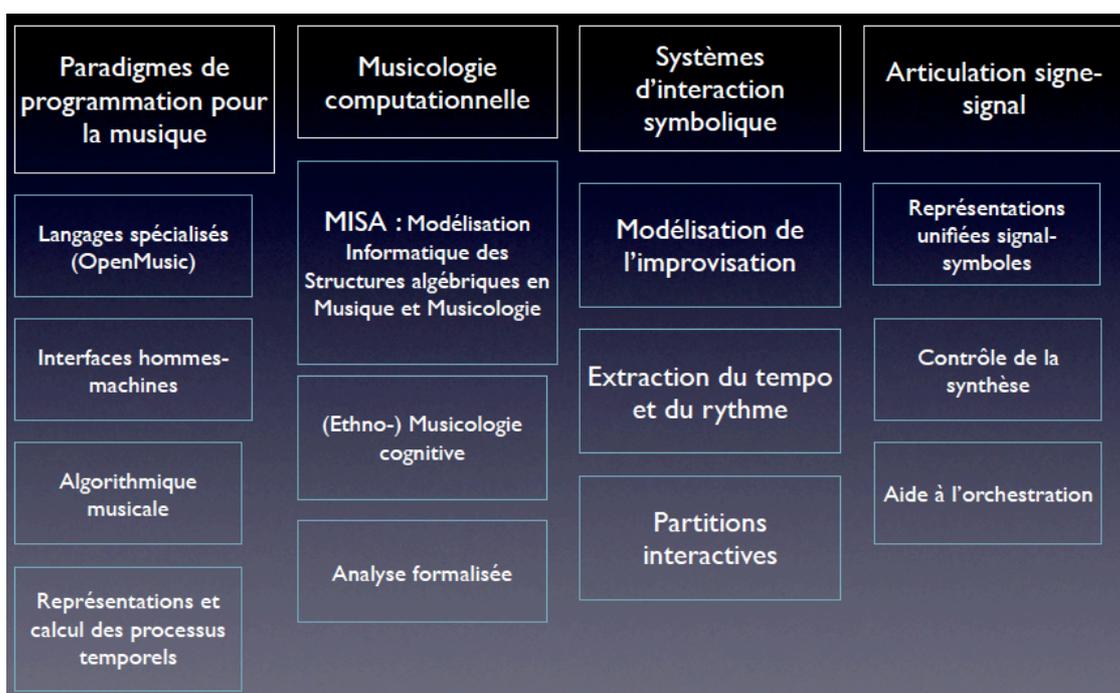


Fig. 1 : Positionnement du projet **MISA** dans l’organigramme des activités de recherche de l’équipe Représentations Musicales de l’IRCAM (responsable : Gérard Assayag).

Avec l’objectif ambitieux d’arriver à aborder également le problème du rapport entre mathématiques, musique et sciences cognitives, tout en proposant une nouvelle perspective philosophique couplée d’une réflexion épistémologique sur l’application des modèles algébriques en informatique musicale, j’ai concentré mon activité de recherche sur six problèmes que j’ai abordés à la fois d’un point de vue mathématique et informatique :

- La théorie des ensembles des classes de hauteurs et la théorie transformationnelle ;
- La construction des mosaïques et des pavages en théorie et composition musicales ;
- La théorie des suites périodiques et le calcul des différences finies ;
- La relation  $Z$  en musique, la transformée de Fourier discrète (DFT) et l’homométrie ;
- Les théories diatoniques et les ensembles maximalelement repartis ;
- La théorie des block-designs en composition algorithmique.

Dans la partie suivante je vais décrire brièvement les six problèmes ainsi que les résultats obtenus et les questions ouvertes. Pour une description plus exhaustive de ces six problèmes théoriques, dans une perspective de recherche « mathémusicale », je renvoie à mon mémoire d’habilitation à diriger des recherches intitulé « *Mathematica est exercitium musicae : la recherche ‘mathémusicale’ et ses interactions avec les autres disciplines*<sup>6</sup> » (Andreatta 2010).

<sup>6</sup> Le mémoire est disponible en ligne à l’adresse : <http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/moreno/TexteHDR.pdf>

### 3.2.1 Ensembles des classes de hauteurs et théorie transformationnelle

#### Contexte de cette recherche et problématique générale

Le travail de l’équipe Représentations musicales de l’Ircam se fonde sur une activité de recherche et de développement dans le domaine des langages et paradigmes informatiques adaptés à la musique, je me suis tout d’abord intéressé aux aspects mathématiques de la théorie des ensembles des classes de hauteurs ou *Set Theory* (Forte, 1973) et de la théorie transformationnelle (Lewin 1987 ; 1993), deux parmi les approches formelles les plus utilisées en musicologie computationnelle. D’un point de vue musicologique, les outils de représentations et de modélisation informatique permettent une approche véritablement expérimentale qui dynamise de manière significative la discipline. Ainsi des hypothèses peuvent être testées et validées en s’appuyant sur la puissance de calcul symbolique et combinatoire.

D’un point de vue plus informatique, les modèles computationnels, dotés d’une certaine généralité, visent l’élaboration de langages (langages visuels, langages multi-paradigmes incluant les aspects fonctionnels, objet et logiques) et d’architectures (architectures à composants, environnement mixtes de programmation et d’édition visuelle de données). Les modèles musicaux visent à définir des représentations et des algorithmes susceptibles de capturer des aspects importants du phénomène musical (Assayag *et al.*, 2009). Dans le cas de la *Set Theory* et des théories transformationnelles, ces aspects concernent surtout l’organisation des hauteurs dans l’espace tempéré, leur représentation et leur classification.

#### Résultats obtenus et impacts de la recherche

En ce qui concerne la théorie des classes de hauteurs, ma contribution principale a été de donner une formalisation algébrique s’appuyant des la théorie des actions des groupes et d’intégrer cette formalisation à l’environnement informatique *OpenMusic* (le langage de programmation visuelle développé par l’équipe Représentations musicales). En effet, à la différence des présentations traditionnelles de la *Set Theory* (Forte 1973, Rahn 1980 ou Morris 1987), la théorie des ensembles de classes de hauteurs se prête très bien à être décrite à l’aide d’une approche algébrique qui utilise pleinement la puissance combinatoire de la structure de *groupe cyclique* sous-jacente à toute division de l’octave musicale en un nombre  $n$  de parties égales (Andreatta et Schaub, 2003 ; Andreatta *et al.*, 2008).

L’implémentation, réalisée en *OpenMusic*, se déploie dans une architecture « paradigmatique<sup>7</sup> » basée sur l’action de certains groupes sur l’espace tempéré (le groupe cyclique en tant qu’ensemble dépourvu de structure algébrique). L’implémentation permet à l’analyste de choisir son propre critère d’équivalence entre structures d’accords en utilisant comme « paradigmes » d’analyse les différents groupes que l’on peut choisir de faire opérer sur l’espace musical. En particulier, nous avons obtenu les catalogues d’accords induits par l’action de quatre groupes sur un tempérament musical choisi : le groupe *cyclique* (ou paradigme de l’équivalence à une transposition musicale près), le groupe *diédral*

<sup>7</sup> Le terme « paradigmatique » a été choisi pour souligner la portée philosophique de l’approche algébrique en analyse musicale. Les groupes algébriques jouent le rôle des « paradigmes » dans un sens très proche à celui utilisé par Thomas Kuhn dans son analyse de la structure des révolutions scientifiques (Kuhn, 1962). L’idée sous-jacente est celle de l’intérêt, pour un analyste ou un musicologue, de choisir le « paradigme » le mieux approprié pour décrire de façon pertinente un phénomène musical observé. Par exemple, dans l’analyse de la musique tonale, le « paradigme » du groupe cyclique (équivalence à une transposition près) sera sans doute plus pertinent du paradigme du groupe diédral (utilisé avec succès dans l’analyse de la musique atonale) ou du groupe affine (qui semble le mieux approprié pour aborder des techniques musicales typiques du répertoire jazz, comme, par exemple, la substitution d’accords). Le terme « paradigmatique » avait également été adopté en musicologie par Nicolas Ruwet dans son approche structuraliste de l’analyse musicale fortement influencée par la linguistique (Ruwet 1966). Notre approche « paradigmatique », basé sur la théorie des groupes de transformations, suggère une nouvelle interprétation de la démarche structurale en analyse musicale, indépendamment de toute considération sur le rapport entre musique et langage (voir, en particulier, la **section 3.4** du projet de recherche).

(paradigme de la *Set Theory*, i.e. équivalence à une transposition et/ou une inversion musicale près), le groupe *affine* (équivalence à une multiplication ou application affine près) et le groupe *symétrique* (équivalence à une permutation près). L’architecture paradigmatique de cet environnement est décrite dans la figure suivante (Fig. 2) qui montre les représentations circulaires et les structures intervalliques associées aux différentes classes d’équivalence d’un même accord.

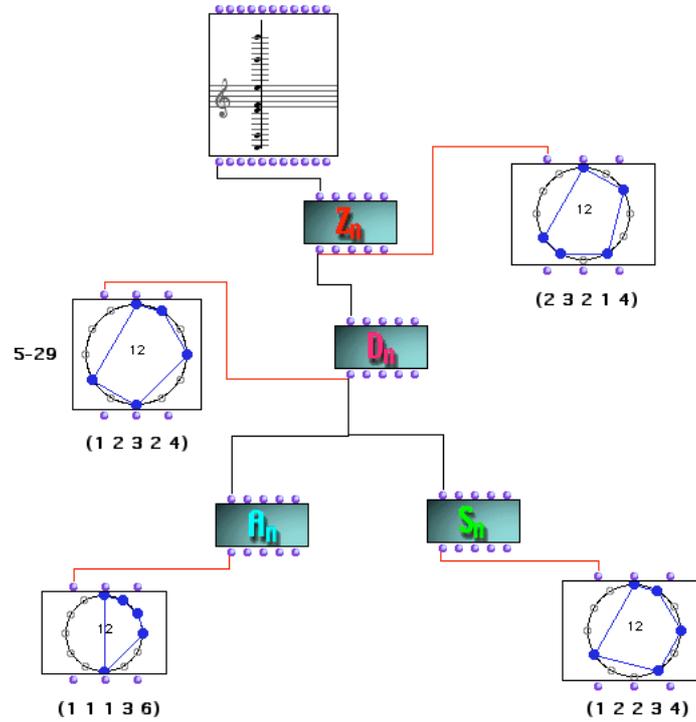


Fig. 2 : Architecture « paradigmatique » pour la théorie, l’analyse et la composition assistées par ordinateur basée sur le concept d’action d’un groupe (cyclique, diédral, affine et symétrique) sur un tempérament égal donné.

J’ai également entrepris un travail de généralisation de la *Set Theory* et de l’analyse transformationnelle via la théorie des catégories, une approche qui n’avait pas pu être approfondie pendant la thèse de doctorat et dont l’intérêt à la fois mathématique et musical est au cœur du projet **MISA**. Ce travail, mené en collaboration avec le mathématicien Guerino Mazzola, est décrit dans un article<sup>8</sup> qui montre que les réseaux de Klumpenhouwer, outil très sophistiqué de la théorie transformationnelle américaine, sont des exemples de « limite », au sens de la théorie des catégories. En effet, en formalisant la famille des *K*-réseaux en tant que catégorie des graphes dirigés on peut étudier d’un point de vue catégoriel les isomorphismes entre deux *K*-réseaux ainsi que les principes récursifs permettant de construire un réseau de réseaux de réseaux et ainsi de suite.

La formalisation catégorielle des *K*-réseaux a deux grands avantages. D’un côté elle permet de donner un résultat d’énumération des *K*-réseaux en relation d’isographie forte (*strong isography*), c’est-à-dire ayant la même configuration de flèches. D’autre part elle intègre, de par sa nature même, le principe de récursivité. La famille des réseaux en relation d’isographie forte avec un *K*-réseau donné est isomorphe à un sous-groupe du groupe  $(\mathbf{Z}/n\mathbf{Z})^m$  ou  $m$  est le nombre de composantes connexes du graphe. La figure suivante (Fig. 3) donne, par exemple, les quatre *K*-réseaux en relation d’isographie forte, un résultat qui découle directement de la notion de limite d’un diagramme.

<sup>8</sup> Mazzola et Andreatta (2006).

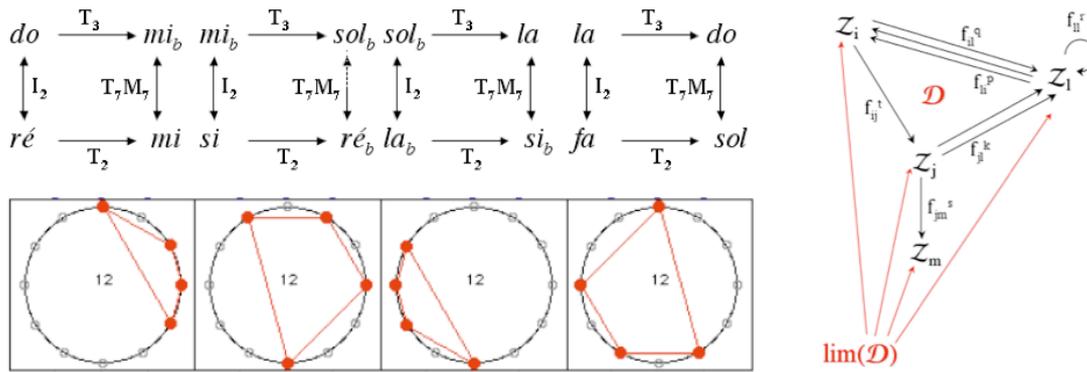


Fig. 3 : Quatre réseaux en relation d’isographie forte ( $T_k$ ,  $I_h$  et  $M_s$  indiquant les opérations de transposition, inversion, et application affine) et limite d’un diagramme catégoriel.

D’autre part, il est tout à fait naturel d’abstraire chacun des réseaux précédents et les transformer dans des sommets d’un potentiel réseau de réseaux, ayant comme flèches les transformations isographiques entre des réseaux sous-jacents. La construction s’applique dans des cas beaucoup plus généraux de façon tout à fait naturelle, car l’un des avantages de la théorie des catégories est précisément de pouvoir construire des transformations entre catégories (*foncteurs*) ainsi que des transformations entre foncteurs (*transformations naturelles*). Cette démarche ouvre également la voie à une théorie nouvelle des « gestes », que nous avons esquissée dans un article publié dans le premier numéro du *Journal of Mathematics and Music* qui soulève des perspectives tout à fait nouvelles pour l’étude des retombées cognitives et des aspects philosophiques des modèles catégoriels en informatique musicale<sup>9</sup>.

### Collaborations :

Guerino Mazzola (MultiMedia Lab de Zürich / Université de Minnesota), Emmanuel Amiot (mathématicien, Professeur CPGE à Perpignan), Franck Jedrzejewski (CEA-Saclay), Thomas Noll (ESMuC, Barcelone), Carlos Agon (équipe Représentations Musicales, IRCAM/CNRS/UPMC).

### Direction de travaux d’étudiants sur ce sujet :

- Gracienne Benoit, *Terminologie. La Set Theory*, mémoire de fin d’études en traduction, I.S.T.I. (Institut supérieur de traducteurs et interprètes de Bruxelles), 31 mai 2005.
- Yun-Kang Ahn, *Aspects théoriques et informatiques de l’analyse transformationnelle*, mémoire d’ingénieur et de master ATIAM de l’Ircam/Université de Paris VI, spécialité SARS, Mai 2005.
- V. FamourZadeh, *La musique persane, Formalisation algébrique*, mémoire de Master, Université du Maine, 2005 (codirection avec Mondher Ayari).
- Yun-Kang Ahn, *L’analyse musicale computationnelle*, thèse en informatique, Ircam/Université de Paris 6, 2005-2009 (codirection avec Carlos Agon).
- Leone Slavich, *Strutture algebriche e topologiche nella musica del XX° secolo*, tesi di laurea in matematica, Università di Pisa, 2010 (codirection avec Francesca Acquistapace).

## 3.2.2 Mosaïques et pavages en théorie et composition musicales

### Contexte de cette recherche et problématique générale

Le problème de la construction de canons musicaux rythmiques réalisant un pavage de l’axe du temps a été à l’origine de mon intérêt pour le domaine des relations entre mathématiques et musique<sup>10</sup>. Musicalement il s’agit de construire un canon rythmique, i.e. une forme musicale obtenue par

<sup>9</sup> Mazzola et Andreatta (2007). Voir le projet de recherche pour une analyse plus détaillée des retombées cognitives et des aspects épistémologiques et philosophiques du rapport mathématiques/musique.

<sup>10</sup> Andreatta (1996).

translation temporelle d’un pattern rythmique, ayant la propriété de réaliser un pavage de l’axe du temps. Le pattern rythmique, translaté d’un nombre fini de fois, pave l’axe des entiers de telle façon que chaque instant du temps est rempli par une (et une seule) pulsation du rythme de base. Le mathématicien Dan Vuza a proposé un modèle de canon rythmique réalisant un pavage de l’axe du temps obtenu par factorisation d’un groupe cyclique en somme directe de deux sous-ensembles non-périodiques (que l’on a appelé par la suite « Canon de Vuza »).

### Résultats obtenus et impacts de la recherche

Ce problème a donné lieu à de nombreux résultats et constitue l’un des axes de recherches autour duquel nous avons su fédérer une communauté de mathématiciens, informaticiens, théoriciens de la musique et compositeurs<sup>11</sup>. Notre recherche a été d’abord de replacer ce problème dans le cadre de la théorie des groupes de Hajos ou *good groups*, i.e. les groupes pour lesquels pour toute factorisation en somme directe de  $k$  sous ensembles, au moins l’un de ces sous ensembles est périodique<sup>12</sup>. Cela nous a permis de montrer les liens entre ce problème musical et la conjecture de Minkowski sur le pavage de l’espace  $n$ -dimensionnel par des cubes unité ainsi qu’une série d’autres conjectures dont certaines sont toujours ouvertes (telles la conjecture quasi-périodique de Hajos et la conjecture spectrale de Fuglede)<sup>13</sup>. Nous avons ensuite abordé les aspects computationnels en étudiant l’espace combinatoire des solutions pour une période donnée (i.e. par un ordre donné du groupe cyclique sous-jacent). L’implémentation de ce modèle, ainsi que des modèles plus généraux obtenus par augmentations des voix du canon (*Augmented Canons*) ou par produit de polynômes cyclotomiques (*Cyclotomic Canons*), a été intégrée dans *OpenMusic* et elle est disponible à partir de la version 5.0 de ce logiciel.

Nous avons donné une classification exhaustive des solutions dans le cas de la factorisation du groupe cyclique  $\mathbf{Z}/72\mathbf{Z}$  en deux sous-ensembles non périodiques, cet ordre étant le plus petit pour un groupe n’ayant pas la propriété de Hajos. Cette classification a été établie en suivant une approche « paradigmatique », i.e. basée sur l’utilisation de plusieurs groupes dont l’action sur les sous-ensembles  $R$  et  $S$  d’une factorisation permet de réduire de façon structurelle le catalogue des solutions. En particulier cette approche tient compte de l’action de trois groupes différents sur le groupe cyclique d’ordre 72, considéré en tant qu’ensemble : le groupe cyclique, le groupe diédral et le groupe affine. Le résultat surprenant que nous avons obtenu concerne la réduction du catalogue des solutions à deux seuls canons rythmiques mosaïques à une application affine près (Fig. 4).

Les canons de Vuza représentent des objets mathématiques remarquables car ils sont la clé pour la résolution d’une conjecture toujours ouverte en analyse fonctionnelle : la conjecture de Fuglede ou conjecture spectrale. Cette conjecture affirme qu’un domaine de l’espace euclidien  $n$ -dimensionnel admet un *spectre* ssi il pave  $\mathbf{R}^n$  par translation. Sans perte de généralité, on peut tout d’abord se réduire au cas du pavage de l’axe des réels au pavage du groupe cyclique  $\mathbf{Z}/n\mathbf{Z}$ . On peut ensuite montrer que s’il existe un sous-ensemble  $R$  de  $\mathbf{Z}/n\mathbf{Z}$  qui pave le groupe cyclique d’ordre  $n$  sans être spectral, alors  $R$  est essentiellement le rythme de base d’un canon de Vuza. D’où l’intérêt d’avoir une classification exhaustive des canons de toute factorisation d’un groupe cyclique non-Hajos en somme directe de deux sous-ensembles non-périodiques, un contre-exemple de la conjecture spectrale ne pouvant qu’appartenir à la classe des canons de Vuza. Nous avons consacré un numéro spécial du *Journal of Mathematics and Music* aux rapports entre la construction des canons rythmiques mosaïques et la conjecture spectrale (Andreatta et Agon, 2009).

<sup>11</sup> Voir en particulier l’adresse :

<http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/mamux/IrcamTilingResearch.html>.

<sup>12</sup> Un sous ensemble  $H$  d’un groupe  $G$  est périodique s’il existe un élément non nul  $g \in G$ , tel que  $g+H=H$ , ou bien, ce qui est équivalent, s’il existe un sous-groupe normal (non vide)  $K$  de  $G$  tel que  $K+H=H$ .

<sup>13</sup> Andreatta (2004).

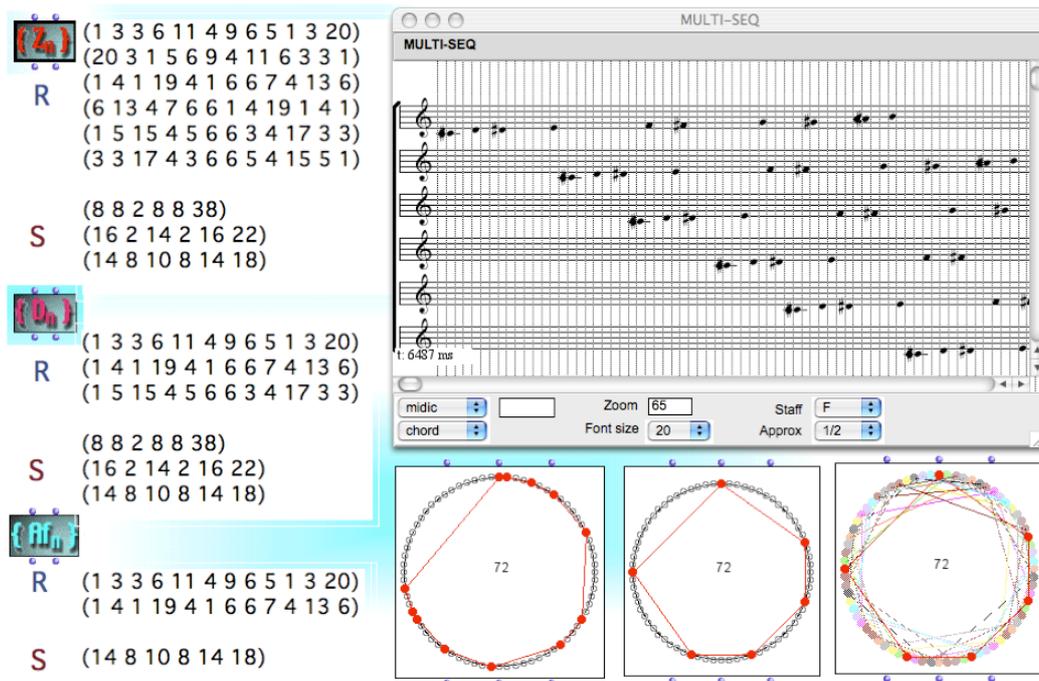


Fig. 4 : Classification « paradigmatique » des canons mosaïques de Vuza d’ordre 72 (par rapport à l’action du groupe cyclique, diédral et affine).

D’un point de vue musical, ce travail a fourni le modèle formel pour plusieurs compositions. Le travail mené avec le compositeur Georges Bloch, par exemple, est emblématique en ce qui concerne les directions parfois très inattendues qu’une recherche théorique peut prendre lorsqu’elle est soumise à la singularité de la pensée compositionnelle (Bloch, 2007). Les enjeux de cette collaboration interdisciplinaire ont été présentés et discutés en détail lors d’un Workshop qui s’est déroulé à Dublin sous invitation de l’association *Seed* « Art & Science » et organisé sous l’égide de la Irish Royal Academy (Andreatta et Bloch, 2007). Le problème des pavages et mosaïques en musique est sans doute l’un des axes de recherche parmi les plus actifs en théorie mathématique de la musique. L’un des objectifs des prochaines années sera d’impliquer un nombre croissant de mathématiciens travaillant sur le problème de la factorisation de groupes finis afin d’essayer d’apporter quelques résultats nouveaux en direction de la solution de la conjecture spectrale.

#### Collaborations<sup>14</sup> :

Carlos Agon (Equipe Représentations Musicales, IRCAM/CNRS/UPMC), Emmanuel Amiot (mathématicien, Professeur CPGE à Perpignan), Georges Bloch (compositeur, CNSMDP), Harald Friepertinger (Université de Graz, Autriche), Franck Jedrzejewski (CEA Saclay), Tom Johnson (compositeur), Fabien Lévy (compositeur, Université de Columbia, New York), Thomas Noll (Escola superiore de musica de Catalunya, Barcelona), Andranik Tangian (Fern Universität Hagen, Allemagne), Dan Tudor Vuza (Institute of Mathematics of the Romanian Academy), Jon Wild (Université de McGill).

#### Direction de travaux d’étudiants sur ce sujet :

- Hugues Zuber, *Vers une arithmétique des rythmes?*, mémoire de magistère, ENS Cachan, 2005.
- Giulia Fidanza, *Canoni ritmici a mosaico*, tesi di laurea, Università degli Studi di Pisa, Corso di laurea in Matematica, 2008 (codirection avec F. Acquistapace, Univ. Pise).

<sup>14</sup> Liste non exhaustive. Pour une présentation plus détaillée des collaborations dans le cadre de cette recherche, voir à l’adresse :

<http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/mamux/IrcamTilingResearch.html>

- Edouard Gilbert, *Polynômes cyclotomiques, canons mosaïques et rythmes k-asymétriques*, mémoire de Master ATIAM, mai 2007.
- Emmanuel Amiot, *Modèles algébriques et algorithmiques pour la formalisation mathématique de structures musicales*, thèse, université de Paris 6 / Ircam, 2010 (codirection avec Carlos Agon).

### 3.2.3 Suites périodiques et le calcul des différences finies

#### Contexte de cette recherche et problématique générale

Cette technique musicale est à la base de la théorie du compositeur roumain Anatol Vieru (1926-1998). Dans sa formulation originelle, une suite périodique est une succession ordonnée et finie d'éléments d'un groupe cyclique  $\mathbf{Z}/n\mathbf{Z}$ . A cette séquence on applique un procédé de différences successives qui permet d'engendrer une première séquence « dérivée » dans laquelle chaque élément est obtenu en faisant la différence (modulo 12 ou modulo  $n$  en général) de deux éléments consécutifs de la séquence d'origine. On peut réitérer ensuite ce procédé de différence afin d'obtenir une série de séquences musicales qui seront toutes liées à la séquence de départ par itération de l'opérateur différence  $D$  défini par l'expression  $Df(x) = f(x+1) - f(x)$ . La formalisation algébrique permet de donner une caractérisation générale de toute suite périodique à travers deux grandes familles : les suites réductibles et les suites reproductibles. Une suite périodique  $f$  est dite *réductible* s'il existe un entier  $k$  tel que  $D^k(f) = 0$ . Elle est *reproductible* s'il existe un entier  $k$  tel que  $D^k(f) = f$ .

#### Résultats obtenus et impacts de la recherche

Le résultat général que nous avons établi est un théorème de décomposition affirmant que toute séquence modale est décomposable de façon unique comme une somme d'une séquence réductible et d'une séquence reproductible (Andreatta et Vuza, 2001). Il ne s'agit pas d'un résultat nouveau en mathématiques car on peut montrer que le théorème de décomposition est un cas particulier du Lemme de Fitting (qui vaut, plus généralement, pour tout module  $M$  de longueur finie). On peut également donner une version généralisée du théorème de décomposition (Andreatta *et al.*, 2004) mais dans ce cas il est difficile d'en donner une interprétation musicale. La formalisation algébrique que nous avons proposée de la théorie d'Anatol Vieru a également l'avantage de permettre de donner de critères de réductibilité et reproductibilité pour les suites périodiques sans recourir au calcul explicite de ses dérivés. Par exemple on peut montrer que si  $p$  est un nombre premier, toute séquence de période  $p^n$  à valeur dans  $\mathbf{Z}/p\mathbf{Z}$  est réductible pour tout  $n$  positif ou bien que toute séquence de  $p-1$  éléments à valeurs dans  $\mathbf{Z}/p\mathbf{Z}$  est reproductible. Nous détaillons dans (Andreatta *et al.*, 2004) les algorithmes que nous avons intégrés dans *OpenMusic*.

#### Collaborations :

Dan Tudor Vuza (Institute of Mathematics of the Romanian Academy), Guerino Mazzola (MultiMedia Lab de Zürich / Université de Minnesota), Fabrizio Broglia (département de mathématiques, université de Pisa), Francesca Acquistapace (département de mathématiques, université de Pise).

### 3.2.4 Relation $\mathbf{Z}$ , ensembles homométriques et transformée de Fourier discrète

#### Contexte de cette recherche et problématique générale

En travaillant sur certains aspects combinatoires des structures musicales, plusieurs compositeurs et théoriciens de la musique ont essayé d'établir les bons *invariants* par rapport au problème de la classification « paradigmatique » (dans le sens de l'utilisation de l'action de différents groupes sur l'ensemble des parties d'un groupe cyclique  $\mathbf{Z}/n\mathbf{Z}$  et de la relation d'équivalence qu'en découle).

Dans le problème de la classification d'accords modulo l'action du groupe diédral, l'outil de base

est ce qu’on appelle le « contenu intervallique ». Etant donné un accord  $A = \{0, a_1, a_2, \dots, a_k\}$ , son contenu intervallique (indiqué par CI) est le multiset  $CI(A) = [b_0, b_1, \dots, b_{11}]$  dans lequel l’élément  $b_i$  indique combien de fois l’intervalle de  $i$  demi-tons est contenu dans l’accord. Le contenu intervallique compte ainsi le nombre d’occurrences de chaque intervalle (de 0 jusqu’à 11) dans un accord. Le contenu intervallique s’exprime comme produit de convolution de fonctions caractéristiques:  $CI(A) = 1_A * 1_{-A}$ .

Le contenu intervallique n’est pas un *invariant* dans le problème de la classification d’orbites par rapport à l’action du groupe diédral. En effet, deux accords sont dans la même orbite auront le même contenu intervallique mais il se peut que deux accords aient le même CI sans être dans la même orbite. C’est ce qu’on appelle la relation  $Z$  en théorie des ensembles des classes de hauteurs (*Set Theory*) et qu’on indiquera avec  $\sim_Z$ . Cette relation formelle entre les accords musicaux constitue, à présent, un domaine qui a été relativement peu exploré dans ses aspects mathématiques, mais dont le caractère mystérieux continue à susciter des nombreuses réflexions au sein des communauté des théoriciens de la musique, analystes et compositeurs<sup>15</sup>.

### Résultats obtenus et impacts de la recherche

En formalisant la relation  $Z$  d’un point de vue algébrique, nous avons pu tout d’abord montrer que cette relation pertinente d’un point de vue musical est en réalité un cas particulier de la théorie des ensembles homométriques<sup>16</sup>. De plus, en introduisant la transformé de Fourier discrète (DFT) d’un sous-ensemble d’un groupe cyclique  $\mathbf{Z}/n\mathbf{Z}$ , on arrive à une formalisation élégante de la relation  $Z$  (et donc des ensembles homométriques). Etant donné deux sous-ensembles  $A$  et  $B$  de  $\mathbf{Z}/n\mathbf{Z}$ ,  $A \sim_Z B$  ssi les modules de la DFT de  $A$  et  $B$  coïncident. Ceci ouvre la question de la récupération de la phase (*phase retrieval*) en théorie mathématique de la musique, autrement dit comment reconstruire une structure musicale (accord, pattern rythmique, ...) à partir de son contenu intervallique. Il s’agit d’un problème qui reste ouvert, comme d’ailleurs celui d’une énumération exhaustive de toutes les parties de  $\mathbf{Z}/n\mathbf{Z}$  en relation  $Z$  pour un tempérament égal donné<sup>17</sup>. Notre contribution principale a été la présentation de cette approche théorique dans le cadre de la théorie de la mesure ainsi que l’étude computationnelle de la relation  $Z$  généralisée (ou relation  $Z^k$ ) qui nous a permis de montrer l’existence d’ensembles en relation  $Z^4$  (dans le cas du groupe cyclique d’ordre 36). Par définition deux sous-ensembles  $A$  et  $B$  de  $\mathbf{Z}/n\mathbf{Z}$  sont en relation  $Z^k$  si toute orbite de cardinalité  $k$  (par rapport à l’action du groupe diédral) est contenue le même nombre de fois dans les deux sous-ensembles (Mandereau *et al.*, 2011). L’étude des retombées perceptives de l’utilisation de la DFT dans la représentation des patterns rythmiques fait actuellement l’objet d’un projet de recherche en cours en collaboration avec Isabelle Viaud-Delmon (voir **section 3.1.3.1** du projet de recherche).

### Collaborations :

John Mandereau (université de Pisa), Daniele Ghisi (compositeur, département de mathématiques, université de Milan Bicocca), Emmanuel Amiot (mathématicien, Professeur CPGE à Perpignan), Carlos Agon (équipe Représentations Musicales, IRCAM/CNRS/UPMC), Mihalis Kolountzakis (département de mathématiques, université de Crète), Mate Matolcsi (Rényi Institute, Budapest).

### Direction des travaux d’étudiants sur ce sujet :

- John Mandereau, *Etude des ensembles homométriques et leur application en théorie mathématique de la musique et en composition assistée par ordinateur*. Mémoire de Master ATIAM, Ircam/Université Paris 6, juin 2009 (codirection avec C. Agon).
- Guillaume Lachaussée, *Théorie des ensembles homométriques*, Stage de troisième année de l’Ecole Polytechnique, Master 1 de Mathématiques, juin 2010.

<sup>15</sup> comme nous avons pu le constater lors de la séance de décembre du séminaire MaMuX consacrée aux rapports entre relation  $Z$  en musique et théorie de l’homométrie en cristallographie. Voir à l’adresse : <http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/mamux/ProgrDec2010Final.pdf>

<sup>16</sup> Rosenblatt (1984).

<sup>17</sup> Voir le mémoire de Master ATIAM de John Mandereau (2009).

- Pierre Beauguitte, *Transformé de Fourier discrète et structures musicales*, Mémoire de Master ATIAM, Ircam/Université Paris 6, juin 2011 (codirection avec C. Agon et E. Amiot).

### 3.2.5 Théories diatoniques et ensembles maximalement repartis

#### Contexte de cette recherche et problématique générale

Le problème de la généralisation des structures diatoniques traditionnelles (gammes majeures et mineures dans un système tempéré à douze degrés) a été envisagé à travers deux approches différentes : une approche de type géométrique et une deuxième basée sur l'utilisation de la transformée de Fourier discrète. La première approche a été sollicitée par le musicien de jazz, Pierre Audétat. Le point de départ est la « cloche diatonique », une nouvelle représentation géométrique des gammes de 7 notes proposée par Audétat en s'appuyant sur ses techniques d'improvisation. Dans ce modèle les 66 gammes heptatoniques et les 462 modes qui leur sont associés sont disposés autour de la note *ré* comme centre de symétrie en donnant lieu à un espace géométrique à forme de cloche. L'un des premiers problèmes théoriques que l'on s'est posé dans la généralisation des théories diatoniques à d'autres divisions de l'octave a été celui de caractériser pour tout entier  $k$  la gamme jouant le rôle de la gamme diatonique dans le nouveau système micro-intervallique. Une telle gamme correspond à un ensemble « maximalement reparté » (ou *maximally-even set*, en abrégé *ME-sets*) dans la tradition « set-théorique » américaine (Andreatta *et al.*, 2008).

#### Résultats obtenus et impacts de la recherche

A la suite d'une étude systématique du caractère diatonique des 66 gammes heptatoniques réalisée par Julien Junod dans le cadre de son stage de Master ATIAM (Junod 2008), un modèle informatique de la cloche diatonique a été proposé et intégré en *OpenMusic* en généralisant le cas des gammes heptatoniques dans le système tempéré traditionnel à celui des gammes de cardinalité  $k$  dans une division de l'octave en  $n$  parties égales<sup>18</sup>.

En nous appuyant sur la formalisation des *ME-sets* à l'aide de la transformée de Fourier discrète, proposée par Emmanuel Amiot (2007), nous avons étudié les aspects computationnels dans le problème de la classification des gammes diatoniques généralisées (Junod *et al.*, 2009). A l'aide de cette approche nous avons pu, par exemple, donner une justification théorique à l'utilisation par l'un des plus célèbres compositeurs microtonaux, Ivan Wischnegradsky, d'une gamme établie à partir de considérations musicales et jouant le rôle de la gamme diatonique traditionnelle dans son système microtonal de division de l'octave en quart de tons (i.e. en 24 parties égales). Cette gamme de 13 notes est, en effet, celle associée à la meilleure distribution de 13 points sur un cercle divisé en 24 parties. En terme de transformée de Fourier, cette gamme est celle dont le modulo de la DFT calculé en correspondance de la valeur 13 est maximal par rapport au modulo des DFT de tout sous-ensemble de  $\mathbb{Z}/24\mathbb{Z}$  de 13 notes toujours calculé en correspondance de la valeur 13.

#### Collaborateurs :

Pierre Audétat (Conservatoire de Lausanne), Julien Junod (Université de Zürich), Emmanuel Amiot (mathématicien), Carlos Agon (équipe Représentations Musicales, IRCAM/CNRS/UPMC), Isabelle Viaud-Delmon (CNRS, équipe Espaces acoustiques et cognitifs, IRCAM).

#### Direction des travaux d'étudiants :

- Julien Junod, *Etude combinatoire et informatique du caractère diatonique des échelles à sept notes*, Mémoire de Master ATIAM, Ircam/Université Paris 6, juin 2008.

---

<sup>18</sup> Un atlas interactif permettant la visualisation des différentes cloches diatoniques ainsi que l'écoute des 462 modes traditionnels dans la division de l'octave en 12 parties égales est disponible à l'adresse : <http://www.diatonique.ch/>.

### 3.2.6 Block-designs en composition algorithmique.

#### Contexte de cette recherche et problématique générale

Mon intérêt pour la théorie combinatoire des block-designs est très récent et il est principalement le fruit d'une collaboration avec Tom Johnson (compositeur) et Franck Jedrzejewski (théoricien/mathématicien de la musique). Le problème compositionnel posé par Tom Johnson et qui est à l'origine de l'application de la théorie des block-designs en musique est double car il concerne à la fois les propriétés combinatoires d'une collection d'accords mais aussi de nouvelles représentations graphiques issues d'une disposition spatiale de cette même collection. Du point de vue combinatoire, il s'agit d'étudier les possibilités de partitionner un ensemble de  $v$  éléments (représentant les notes musicales) en une collection de sous-ensembles d'une cardinalité donnée  $k$  (les accords de  $k$  notes) de telle façon que, par exemple, chaque couple de notes soit présent exactement en  $\lambda$  accords. Une telle partition représente un cas particulier de block-design traditionnellement noté par  $2-(v, k, \lambda)$ . Dans une définition plus générale et plus rigoureuse, un  $t$ -design  $t-(v, k, \lambda)$  est une paire  $D = (X, B)$  où  $X$  est un ensemble de  $v$  éléments et  $B$  est une famille de sous-ensembles de cardinalité  $k$  de  $X$  appelés *blocks* et pour laquelle tout sous-ensemble de cardinalité  $t$  de  $X$  est contenu en précisément  $\lambda$  blocks.

#### Résultats obtenus et impacts de la recherche

Bien que nous n'ayons pas obtenu de résultats nouveaux dans la théorie des block-designs, le travail avec le compositeur Tom Johnson nous a permis d'aborder différemment certains problèmes classiques dans ce domaine (Jedrzejewski *et al.*, 2009). En particulier, nous nous sommes intéressés à l'espace combinatoire engendré par un block-design ainsi qu'aux multiples représentations d'un block design susceptibles d'être utilisées comme support pour le travail compositionnel. Un problème compositionnel qui découle tout naturellement de telles représentations graphiques concerne l'existence de circuits hamiltoniens, i.e. de chemins qui visitent tous les sommets du graphe en passant par chaque sommet une et une seule fois avant de revenir au point de départ, une propriété qui reste très difficile à établir dans le cas général.

L'application de la théorie des block-designs en musique étant très récente, ils restent évidemment de nombreux problèmes ouverts, non seulement dans les aspects proprement compositionnels mais également en ce qui concerne l'étude théorique. Tout d'abord les block-designs étant des collections de sous-ensembles d'un espace de base, il semblerait naturel d'inscrire cette approche théorique à l'intérieur de la théorie des « compositions globales » au sens de Mazzola (2002). Des outils traditionnels en théorie mathématique de la musique tels les nerfs d'un recouvrement de cartes locales, pourraient ainsi permettre une étude non seulement combinatoire mais également structurale de la théorie des block-designs dont certains problèmes, comme par exemple celui de la classification, à isomorphisme près, des block-designs qui sont « résolubles<sup>19</sup> », restent toujours ouverts.

En ce qui concerne les aspects computationnels, tels le calcul des parcours hamiltoniens dans un block-design, une piste intéressante à explorer consiste à placer la théorie des block-designs dans un espace géométrique et utiliser des approches informatiques issues, par exemple, de la programmation spatiale (Bigo *et al.* 2010). Une telle démarche permettrait également d'inscrire l'utilisation des block-designs en musique dans une perspective plus large visant à caractériser la dimension proprement logique de l'activité de composition musicale (voir, en particulier, les **sections 3.1.2** et **3.2.2** du projet de recherche).

#### Collaborations :

Tom Johnson (compositeur), Frank Jedrzejewski (CEA-Saclay), Reinhard Laue (Universität Bayreuth, Allemagne), Jeff Dinitz (Department of Mathematics and Statistics at the University of Vermont, Etats-Unis).

<sup>19</sup> Un block design est *résoluble* si ses blocks sont constitués d'union de blocks qui partitionnent l'ensemble de base  $X$ .

## 4 Valorisation et transmission des connaissances

Le domaine des rapports entre mathématiques, informatique et musique n’étant pas encore « institutionnalisés », il m’a semblé tout à fait indispensable d’envisager des nouvelles actions visant à unifier les efforts de la communauté scientifique travaillant sur ces sujets. Je voudrais souligner ici deux aspects de ce travail de valorisation : un premier aspect concernant les activités liées aux publications et un deuxième visant des actions spécifiquement pédagogiques.

### 4.1 Création d’un contexte favorable pour les publications en mathématique/musique

#### 4.1.1 Journal of Mathematics and Music

Afin d’augmenter la visibilité des activités « mathémusicales » et attirer de nouveaux chercheurs vers ce domaine émergent, j’ai participé au projet de création de la première revue à comité de lecture sur mathématique/musique. Cette étape, indispensable à la constitution d’une véritable communauté de chercheurs travaillant sur ce domaine émergent, a été discutée à plusieurs reprises à l’occasion des deux dernières rencontres de l’*American Mathematical Society* (Phoenix, Arizona 7-10 janvier 2004 et Evanston, Illinois, 23-24 octobre 2004) auxquelles j’ai été invité à participer.

L’intérêt croissant pour ce champ de recherche de la part de l’AMS, qui depuis 2003 organise des séances spéciales sur les « Méthodes Mathématiques en Analyse Musicale », a donné un élan majeur au projet de création de la revue. Un comité éditorial a été constitué réunissant les plus grands spécialistes du domaine, y compris des personnalités qui soutiennent ce projet à titre honorifique, tels les compositeurs Pierre Boulez en France et Milton Babbitt aux Etats-Unis et les mathématiciens Peter Johnston (Université de Cambridge), Jean-Pierre Bourguignon (IHES), Yves Hellegouarch (Université de Caen).

Le premier numéro du *Journal of Mathematics and Music* (édité par Taylor & Francis) a été présenté officiellement lors du premier Colloque International *Mathematics and Computation in Music* (MCM 2007), à Berlin (18-20 mai, 2007). A cette occasion nous avons posé les bases pour la création d’une société savante, la *Society of Mathematics and Computation in Music*, qui se réunit tous les deux ans à l’occasion de la conférence Internationale MCM. La troisième édition de cette conférence (MCM 2011) a eu lieu à l’IRCAM en juin dernier (voir **section 5.3**, organisation des conférences et de colloques).

#### 4.1.2 Collection « Musiques/Sciences » (Ircam/Delatour France)

Une action similaire a été menée pour encourager la publication d’ouvrages sur la thématique « Mathématique/Musique » et, plus en général, sur les rapports entre la recherche musicale et l’activité scientifique. Grâce à une proposition de Jean-Michel Bardez (Président de la SFAM, Société Française d’Analyse Musicale), j’ai participé à la conception d’une nouvelle collection d’ouvrages intitulée « Musique/Sciences ». Cette collection a été créée en coédition avec l’Ircam et les éditions Delatour France et bénéficie du soutien de la SFAM et du CNRS (UMR 9912). Elle a un caractère pluridisciplinaire et propose des ouvrages aussi bien en français, en anglais qu’en édition bilingue. Depuis 2006 nous avons publié les douze ouvrages suivants<sup>20</sup> :

- Assayag G., F. Nicolas, G. Mazzola dir. (2006), *Penser la musique avec les mathématiques ?*
- Riotte A., M. Mesnage (2006), *Formalismes et modèles musicaux*. Vol. 1 : « Préliminaires et formalismes généraux »
- Riotte A., M. Mesnage (2006), *Formalismes et modèles musicaux*. Vol. 2 : « Exemples de modélisation de partitions musicales »

<sup>20</sup> Plus d’information sur la collection « Musique/Sciences » à l’adresse : <http://www.ircam.fr/598.html>

- Agon C., G. Assayag, J. Bresson, eds (2006), *The OM Composer's Book 1*
- Jedrzejewski F. (2006), *Mathematical Theory of Music*
- Mazzola G. (2007), *La vérité du beau dans la musique* (en collaboration avec Y.-K. Ahn)
- Bresson J., C. Agon, G. Assayag, eds (2007), *The OM Composer's Book 2*
- Andreatta M., J.-M. Bardez, J. Rahn dir. (2008), *Autour de la Set Theory. Rencontre musicologique franco-américaine*
- Andreatta M., J.-M. Bardez, J. Rahn eds (2008), *Around Set Theory. A French/American Musicological Meeting*
- Rix E. et M. Formosa dir. (2008), *Vers une sémiotique générale du temps dans les arts*
- Assayag G. et A. Gerzso eds (2009), *Nouveaux Paradigmes pour l'Informatique Musicale*
- Hirs R. et B. Gilmore eds (2009), *Contemporary compositional techniques and OpenMusic*

#### 4.1.3 Collection « Computational Music Science » (Springer)

J'ai également participé à la création d'une collection chez Springer (*Computational Music Science*), que je codirige avec Guerino Mazzola (University of Minnesota / University of Zürich). Liste d'ouvrages parus<sup>21</sup> :

- Mazzola G. & P.B. Cherlin (2009), *Flow, Gesture, and Spaces in Free Jazz—Towards a Theory of Collaboration* (2009)
- Milmeister G. (2009), *The Rubato Composer Music Software* (2009)
- Mazzola G. (2011), *Musical Performance. A Comprehensive Approach: Theory, Analytical Tools, and Case Studies*.
- Mazzola G., J. Park J. et F. Thalmann (2011), *Musical Creativity. Strategies and Tools in Composition and Improvisation*

## 4.2 Actions pédagogiques pour renforcer l'axe mathématique/musique

Parallèlement à l'organisation du Séminaire MaMuX (Mathématique/Musique et relations avec d'autres disciplines) de l'IRCAM, j'ai également participé à la création en 2004 d'un Séminaire d'étude à l'ENS consacré aux rapports entre mathématiques, musique et philosophie (séminaire *mamuphi*), dont je partage la direction avec François Nicolas (compositeur) et Charles Alunni (philosophe et Directeur du Laboratoire Disciplinaire « Pensée des Sciences »). La synergie entre ces deux séminaires a permis de mettre en place une nouvelle école de mathématiques pour musiciens et d'autres non-mathématiciens, animée initialement par Yves André (ENS/CNRS) et actuellement par Pierre Cartier (IHES). Je vais décrire brièvement ces trois initiatives.

### 4.2.1 Séminaire MaMuX

Depuis 2001 je coordonne le Séminaire MaMuX (Mathématique/Musique et relations avec d'autres disciplines) de l'IRCAM (co-organisé avec Carlos Agon). Le Séminaire MaMuX cherche à développer une réflexion sur le rapport mathématiques/musique à travers une exploration des liens qui se créent avec d'autres disciplines telles l'informatique, les sciences cognitives, la philosophie etc. Les différentes séances qui ont eu lieu depuis 2001 peuvent être regroupées selon sept axes thématiques :

- Formalisation et représentation des structures musicales
- La *Set Theory* et la théorie transformationnelle
- Méthodes mathématiques dans l'analyse musicale
- Mosaïques et pavages dans la musique
- Informatique musicale, logique et calculabilité
- Sciences cognitives et théories de la perception
- Philosophie et sémiotique des mathématiques et de la musique.

---

<sup>21</sup> Plus d'information sur la collection « Computational Music Sciences » à l'adresse : <http://www.springer.com/series/8349>

Comme le montre ce rapport d’activités, ces axes hématiques ont également été des catalyseurs importants dans ma propre activité de recherche et ont permis de consolider les collaborations entre l’IRCAM et des acteurs majeurs dans le domaine des relations mathématiques/musique, tels Guerino Mazzola (Université de Minnesota), Franck Jedrzejewski (CEA, Saclay), Thomas Noll (ESMuC, Barcellona) et Emmanuel Amiot, qui font partie des intervenants réguliers dans le séminaire<sup>22</sup>. Le séminaire MaMuX est soutenu à présent par le réseau RNSC (réseau National des Systèmes Complexes) et par le CNRS (UMR STMS).

#### 4.2.2 Séminaire *mamuphi*

Depuis 2004, et parallèlement au Séminaire MaMuX, je codirige avec François Nicolas et Charles Alunni le Séminaire « Mathématique/Musique et Philosophie » dans lequel nous avons abordé plusieurs sujets, tels les mathématiciens et la musique (2004-2005), les questions de logique musicale (2005-2006) et le problème de l’intellectualité mathématique et musicale (2006-2007). A partir de la saison 2007-2008, nous n’avons pas fixé de thématique précise pour ce séminaire qui est donc ouvert à toutes propositions d’intervention sur les rapports entre mathématiques/musique et philosophe<sup>23</sup>. J’ai participé à ce séminaire avec plusieurs interventions consacrées aux ramifications philosophiques des modèles algébriques appliqués à la musique (voir liste des publications, section **13. Séminaires et Workshops de diffusion locale**). Un numéro spécial de PSL (Paris Sciences et Lettres), une nouvelle revue interdisciplinaire de la Fondation « Paris Sciences et Lettres » (regroupant le Collège de France, l’Ecole Normale Supérieure, l’Observatoire de Paris, l’ESPCI ParisTech et Chimie ParisTech) est actuellement en préparation sous la direction de François Nicolas, Charles Alunni et moi-même (date prévue de publication : été 2011).

#### 4.2.3 Ecole mathématique pour musiciens et autres non-mathématiciens

Parallèlement au Séminaire de l’IRCAM, j’ai parallèlement participé à la mise en place d’une nouvelle école qui est coorganisée par les deux séminaires MaMuX et *mamuphi*. Le principe en est tout à fait singulier car il s’agit de rendre compréhensible un concept central des mathématiques contemporaines à des non-spécialistes, en tentant de les mener au cœur de la pensée mathématique la plus active, et sans économiser la spécificité de l’écriture mathématique. La première saison de l’école (2006-2009) était animée par Yves André (CNRS/ENS) qui a présenté quelques uns parmi les sujets les plus féconds de la pensée mathématique contemporaine, tels la théorie des topoi, les algèbres d’opérateurs, l’approche galoisienne, les représentations linéaires, les singularités, la dualité et la notion d’infini<sup>24</sup>. Depuis fin 2009 l’école est animée par Pierre Cartier (IHES)<sup>25</sup>.

## 5 Enseignement, formation et diffusion de la culture scientifique

### 5.1 Participation à l’enseignement et responsabilités

J’assure régulièrement des cours de modélisation mathématique pour l’informatique musicale dans le cadre de trois formations doctorales :

- Formation ATIAM coorganisée par l’UPMC, Telecom ParisTech et l’IRCAM (qui en assure la coordination). Cours sur les « Modèles Mathématiques pour l’Informatique Musicale » (en collaboration avec Marc Chemillier). Il s’agit d’une unité d’enseignement relevant de la spécialité SAR du master d’informatique possédant un volume total de 24 heures.

<sup>22</sup> La liste complète des intervenants aux dix premières saisons du séminaire MaMuX est disponible à l’adresse : <http://repmus.ircam.fr/mamux/saisons/intervenants>

<sup>23</sup> Les enregistrements de la plus grande partie des séances, ainsi que la liste complète des intervenants, sont disponibles à l’adresse : <http://www.entretiens.asso.fr/maths/>

<sup>24</sup> Les enregistrements et les textes des différentes séances de l’école sont disponibles à l’adresse : <http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/mamux/EcoleYA.html>

<sup>25</sup> <http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/mamux/EcolePC.html>

- Master ENST Bretagne à Brest. Cours sur les « Méthodes Mathématiques pour la composition musicale » (en collaboration avec Carlos Agon). Volume total de 12 heures.
- Master I.C.A., spécialité « Art, Sciences, Technologies » (INP de Grenoble). Cours sur les « Méthodes mathématiques pour la création musicale : aspects théoriques et cognitifs » (en collaboration avec Carlos Agon, Jean Bresson et Isabelle Viaud-Delmon). Volume total de 12 heures.

Je suis également sollicité pour des cours dans le cadre de formations musicales, aussi bien en France qu’à l’étranger. J’ai assuré, par exemple, pour trois ans un cours de 12 heures annuelles sur la formalisation algébrique des structures musicales au conservatoire d’Adria, en Italie (de 2004 à 2006), plusieurs cours d’introduction aux méthodes algébriques en musique pour les compositeurs du cursus de composition et informatique musicale de l’IRCAM (durée variable) ainsi que pour les élèves du Conservatoire national supérieur de Paris.

Pendant l’année 2008-2009 j’ai été *Visiting Professor* à l’université de Pise (département de mathématiques) et à l’université de Milan (département d’informatique) pour deux cours de niveau doctoral sur les méthodes algébriques en musique respectivement de 30 heures et de 15 heures.

Depuis septembre 2009 je suis responsable de l’unité d’enseignement « Musique et sciences depuis 1945 (MSV) » dans le cadre de la formation ATIAM de l’IRCAM<sup>26</sup>.

## 5.2 Direction de travaux d’étudiants

Depuis mon entrée au CNRS, j’ai assuré la direction ou co-direction d’une série de travaux universitaires, allant du mémoire de magistère en mathématiques jusqu’au mémoire pour l’obtention d’un diplôme de traduction en passant par des mémoires de master (principalement M2), de « tesi di laurea » (équivalent Master 2) et de thèses de doctorat. Voici la liste complète des activités d’encadrement (en ordre chronologique et par type de diplôme)<sup>27</sup> :

### 5.2.1 Encadrement de thèses de doctorat (4, dont 2 en cours)

- Codirection (avec Carlos Agon) de la thèse de doctorat en informatique de Yun-Kang Ahn intitulée *L’analyse musicale computationnelle* (Ircam/Université de Paris 6), 2009.
- Codirection (avec Carlos Agon), de la thèse de doctorat en informatique d’Emmanuel Amiot intitulée *Modèles algébriques et algorithmiques pour la formalisation mathématique des structures musicales*, Ircam/Université de Paris 6, mai 2010.
- Direction de la thèse de doctorat en mathématiques de John Mandereau (en cotutelle Université de Pisa / Université de Paris 6). Titre (provisoire) : *Modélisation informatique des processus musicaux : une étude de la Géométrie de l’Interaction et des Systèmes Evolutifs à Mémoire appliqués à l’informatique musicale*. Date prévue de soutenance : octobre 2012.
- Codirection (avec Olivier Michel, Antoine Spicher et Carlos Agon IRCAM) de la thèse de doctorat de Louis Bigo intitulée *Représentation et analyse topologique de structures temporelles : application à l’analyse et la synthèse musicales symboliques*, Université Paris Est Créteil. Date prévue de soutenance : novembre 2013.

### 5.2.2 Direction de mémoires de master, magistère ou autres travaux (13)

- Direction du mémoire de Hugues Zuber intitulé *Vers une arithmétique des rythmes ?*, diplôme de magistère MMMI, École normale supérieure de Cachan / Université de Rennes 1, 2005.
- Direction du mémoire de Yun-Kang Ahn intitulé *Aspects théoriques et informatiques de l’analyse transformationnelle*, diplôme d’ingénieur et master ATIAM Ircam/Université de Paris 6, spécialité SARS, mai 2005.

<sup>26</sup> Une description détaillée du cours « Musique et sciences depuis 1945 » est disponible à l’adresse :

<http://www.recherche.ircam.fr/equipes/repmus/moreno/PlanningMCV+CMC+descriptif.pdf>

<sup>27</sup> Pour une description détaillée de chaque mémoire, voir l’Annexe du mémoire d’HDR (Andreatta, 2010), en particulier p. 79-82. Les mémoires sont disponibles en ligne à l’adresse :

<http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/moreno/MorenoANDREATTA-prod2011.html>

- Codirection (avec Mondher Ayari) du mémoire de Vedad FamourZadeh intitulé *La musique persane, Formalisation algébrique*, Mastère de l’ingénierie mécanique et acoustique, Université du Maine, 2005.
- Direction du mémoire de fin d’études de Gracienne Benoit intitulé *Terminologie. La Set Theory*, I.S.T.I. (Institut supérieur de traducteurs et interprètes de Bruxelles), 31 mai 2005.
- Direction du mémoire d’Edouard Gilbert intitulé *Polynômes cyclotomiques, canons mosaïques et rythmes k-asymétriques*, Master ATIAM, Ircam/Université Paris 6, mai 2007.
- Codirection (avec Francesca Acquistapace, Département de mathématiques de l’Université de Pise) du mémoire de « tesi di laurea » di Giulia Fianza sur la conjecture de Fuglede et la construction des canons rythmiques mosaïques, avril 2008.
- Direction du mémoire de Julien Junod intitulé *Etude combinatoire et informatique du caractère diatonique des échelles à sept notes*, Master ATIAM, Ircam/Université de Paris 6, juin 2008
- Codirection (avec Carlos Agon) du mémoire de John Mandereau intitulé *Étude des ensembles homométriques et leur application en théorie mathématique de la musique et en composition assistée par ordinateur*, Master ATIAM, Ircam/Université Paris 6, juin 2009.
- Codirection (avec Francesca Acquistapace, Département de mathématiques de l’Université de Pise) du mémoire de « tesi di laurea » de Léone Slavich intitulé *Strutture algebriche e topologiche nella musica del XX° secolo*, mai 2010.
- Direction du mémoire de Guillaume Lachaussée intitulé *Théorie des ensembles homométriques*, Master 1 de mathématiques, Ecole Polytechnique, juin 2010.
- Codirection (avec Carlos Agon, Jean-Louis Giavitto, Antoine Spicher et Olivier Michel) du mémoire de Louis Bigo intitulé *Utilisation de la programmation spatiale pour l’analyse et la représentation symbolique musicale*, Master ATIAM, Ircam/Université Paris 6, septembre 2010.
- Codirection (avec Carlos Agon et Emmanuel Amiot) du mémoire de Pierre Beauguitte intitulé *Transformé de Fourier discrète et structures musicales*, Master ATIAM, Ircam/Université Paris 6, juin 2011.

### 5.3 Organisation de conférences et de colloques<sup>28</sup>

- Conférence « Mathematics and Computation in Music » (MCM 2011). La troisième conférence internationale MCM 2011, dont j’ai assuré l’organisation en qualité de *General Chair*, a eu lieu du 15 au 17 juin 2011 à l’Ircam – Centre Georges Pompidou et a été intégrée dans l’événement le plus important de la saison artistique de l’Ircam, le Festival Agora (8 au 18 juin 2011). Comme pour les deux conférences précédentes (à Berlin en 2007 et à Yale en 2009), la troisième conférence internationale MCM a constitué une plateforme multidisciplinaire dédiée à la communication et aux échanges d’idées entre les acteurs impliqués dans l’application des mathématiques à la musique, l’informatique musicale, la théorie de la musique, la composition, la musicologie et les autres disciplines liées. Les quatre conférenciers invités ont été le compositeur et chef d’orchestre Pierre Boulez, le mathématicien Alain Connes (IHES), médaille Fields de mathématiques et professeur au Collège de France, le philosophe Alain Badiou et le mathématicien et informaticien Stephen Wolfram<sup>29</sup>. La conférence MCM 2011 a donné lieu à une publication chez Springer (LNCS/LNAI 6726).
- Journée interdisciplinaire « Mathématiques et Musique », IRMA, Strasbourg, 7 avril 2011 (en collaboration avec Athanase Papadopoulos)
- Symposium « Sentiers qui bifurquent. Rencontres pluridisciplinaires sur la complexité dans les arts et la science<sup>30</sup> », Ircam, Centre Pompidou, 10-12 juin 2009.
- Symposium « Musique et Cognition. Autour de l’apport de John Sloboda<sup>31</sup> » (Ircam, 23 janvier 2009), co-organisé avec Irène Deliège (European Society for the Cognitive Sciences of Music).

<sup>28</sup> En dehors des Séminaires MaMuX et *mamuphi* (cf. sections 4.2.1 et 4.2.2).

<sup>29</sup> Pour plus d’information sur la conférence MCM 2011, incluant la liste des membres du comité scientifique, voir à l’adresse : <http://mcm2011.ircam.fr/>

<sup>30</sup> <http://agora2009.ircam.fr/symposium.html>

<sup>31</sup> <http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/mamux/ProgramSympSloboda.pdf>

- Workshop MMI 2008 « Matematica/Musica & Informatica » (Université de Pise, 24-25 octobre 2008), co-organisé avec F. Broglia (département de mathématiques de l’université de Pisa), avec le soutien de la Scuola Galilei et de l’université de Pise.
- Symposium « Autour de la théorie générative de la musique tonale de Fred Lerdahl et Ray Jackendoff<sup>32</sup> » (ENS et Ircam, 11-12 janvier 2008).
- Colloque International « Hommage à Elliott Carter (Des ponts vers l’Amérique II)<sup>33</sup> », co-organisé par le Centre de Recherche sur les Arts et le Langage (EHESS-CNRS) et l’Ircam-Centre Pompidou avec le soutien du CNRS et de la Fondation Paul Sacher.
- Colloque International « Mélodie et fonction mélodique comme objets d’analyse<sup>34</sup> » (Ircam 17-18 octobre 2006), organisé en collaboration avec la société française d’analyse musicale.
- Journée d’études et concert en hommage à David Lewin, musicologue et compositeur américain David Lewin<sup>35</sup> (samedi 13 mai 2006, Conservatoire Hector Berlioz de Paris), co-organisée avec Xavier Hascher (Université de Strasbourg) et Jean-Michel Bardez (Société française d’analyse musicale).
- Autour de la *Set Theory*. Rencontre musicologique franco-américaine, Ircam 15-16 Octobre 2003. Les actes du colloque ont été ensuite édités en version bilingue (français et anglais), sous la direction de Moreno Andreatta, John Rahn et Jean-Michel Bardez dans la Collection « Musique/Sciences<sup>36</sup> ».

## 6 Collaborations scientifiques et artistiques<sup>37</sup>

- **Edoardo Acotto**, département d’informatique, université de Turin. Application des modèles mathématiques aux sciences cognitives.
- **Francesca Acquistapace**, département de mathématiques, université de Pise. Codirection de deux travaux d’étudiants au niveau Master 2 (Fidanza, 2008 ; Slavich, 2010).
- **Carlos Agon**, chercheur en informatique, Ircam. Conception et réalisation de l’environnement *MathTools* en *OpenMusic*, le langage de programmation visuelle pour la composition assistée par ordinateur développé à l’Ircam. Ce module logiciel, disponible à partir de la version 5.0 d’*OpenMusic*, présente notamment pour la première fois de façon cohérente les diverses approches algébriques en ce qui concerne les outils set-théoriques (**section 3.2.1**), la construction des canons rythmiques mosaïques (voir **section 3.2.2**), la théorie des suites périodiques et le calcul des différences finies (**section 3.2.3**), l’utilisation de la DFT pour l’étude de l’homométrie (**section 3.2.4**), les approches diatoniques (et en particulier le modèle computationnel de la cloche diatonique (**section 3.2.5**)). Présentation de cet environnement dans le cadre de plusieurs conférences, Workshops et *Tutorials* (voir **section 7.3**).
- **Charles Alunni**, directeur du laboratoire « Pensée des sciences » de l’Ecole normale supérieure. Codirection du séminaire *mamuphi* (Mathématique/Musique et Philosophie). Voir **section 4.2.2**.
- **Emmanuel Amiot**, mathématicien, professeur CPGE à Perpignan. De multiples collaborations autour de différents sujets, en particulier canons rythmiques mosaïques (**section 3.2.2**), utilisation de la DFT pour l’étude de l’homométrie (**section 3.2.4**) et des théories diatoniques (**section 3.2.5**).
- **Gérard Assayag**, chercheur en informatique et responsable équipe représentations musicales de l’Ircam. Mise en place et intégration de la composante musicologique computationnelle au sein de l’équipe Représentations Musicales (en particulier à partir du projet **MISA**, cf. **section 3.2**).
- **Pierre Audétat**, conservatoire de musique de Lausanne. Collaboration autour de l’étude et implémentation de la cloche diatonique en *OpenMusic* (**section 3.2.5**).

<sup>32</sup> <http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/mamux/ProgrammeSympAbstracts.pdf>

<sup>33</sup> <http://recherche.ircam.fr/carter/>

<sup>34</sup> <http://www.ircam.fr/139.html?cycle=101>

<sup>35</sup> <http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/mamux/documents/JourneeDavidLEWIN.pdf>

<sup>36</sup> <http://www.ircam.fr/598.html>

<sup>37</sup> Je liste uniquement les collaborations qui ont donné lieu à de publications, communications collectives dans des conférences internationales, projets artistiques ou musicaux utilisant les modèles développés, codirection de mémoires d’étudiants et co-organisation de Symposia, Workshops et séminaires d’étude.

- **Pierre Audin**, médiateur scientifique au Palais de la Découverte. Collaboration dans la conception et organisation des manifestations grand public sur mathématiques et musique au Palais de la Découverte (dans le cadre de la conférence MCM 2011, cf. **section 5.3**).
- **Georges Bloch**, compositeur, CNSMDP. Utilisation des modélisations des canons rythmiques mosaïques, et en particulier des canons de Vuza, pour plusieurs projets compositionnels (Bloch 2006) et communications dans des Workshops internationaux (voir **section 3.2.2**).
- **Jean Bresson**, informaticien, équipe Représentations musicales de l’Ircam. Modélisations informatiques des structures algébriques en *OpenMusic* et co-organisation des séminaires MaMuX (à partir d’octobre 2011).
- **Fabrizio Broglia**, département de mathématiques, université de Pise. Ouverture du premier cours au niveau doctoral en Italie sur mathématiques et musique (voir **section 5.1**) et coorganisation d’un Workshop international « Mathématiques/Musique et Informatique » (voir **section 5.3**).
- **Claude Bruter**, mathématicien et Président de l’ESMA (European Society for Mathematics and Arts). Collaboration dans la conception de l’exposition « Mathématique et Art » (Palais de la Découverte, juillet-septembre 2011).
- **Irène Deliège**, psychologue de la musique et fondatrice de l’ESCOM (European Society for Cognitive Science applied to Music). Coorganisation de deux colloques internationaux (voir **section 5.3**) et codirection d’un numéro spéciale de revue (Andreatta et Deliège, 2010).
- **Andrée C. Ehresmann**, mathématicienne, professeur émérite à l’université de Picardie-Jules Verne et directeur du journal international *Cahiers de Topologie et Géométrie Différentielle Catégorique*. Co-organisation d’une série d’interventions au séminaire MaMuX sur les systèmes évolutifs à mémoire et leur application en analyse musicale (v.
- **Harald Friepertinger**, mathématicien, université de Graz, Autriche. Collaboration autour du problème de la classification des canons rythmiques mosaïques (voir **section 3.2.2**).
- **Daniele Ghisi**, compositeur, département de mathématiques, université de Milan Bicocca. Collaboration autour des relations entre relation Z en théorie des ensembles des classes de hauteurs et l’homométrie (Mandereau *et al.*, 2011a, b).
- **Jean-Louis Giavitto**, informaticien, équipe Représentations musicales de l’IRCAM. Co-organisation d’une séance du séminaire MaMuX autour de la programmation spatiale, un sujet qui a donné lieu aussi à une codirection d’un mémoire de Master (Bigo, 2010).
- **Franck Jedrzejewski**, mathématicien, CEA Saclay. De multiples collaboration, allant de la classifications des canons de Vuza (**section 3.2.2**, voir Andreatta et Agon, 2009) aux block-designs (**section 3.2.6**, voir Jedrzejewski *et al.*, 2009).
- **Tom Johnson**, compositeur, Paris. Travail de collaboration sur l’étude du « pavage de la ligne » (*tiling of the line*) et des block-designs en composition (Jedrzejewski *et al.*, 2009).
- **Julien Junod**, université de Zürich / Ircam. Etude des théories diatoniques à l’aide de la DFT et modélisation computationnelle de la « cloche diatonique » (Junod *et al.*, 2009).
- **Mihalis Kolountzakis**, département de mathématiques, université de Crète. Recherche de nouveaux algorithmes pour le calcul des factorisations d’un groupe cyclique de type non-Hajos en deux sous-ensembles non-périodiques. Voir Andreatta et Agon (2009).
- **Fabien Lévy**, compositeur et musicologue, université de Columbia, New York. Première utilisation du modèle des canons de Vuza pour une pièce d’orchestre (*Coincidences*, 1999) et utilisation de la théorie du pavage dans le cadre de plusieurs compositions. Voir **section 3.2.2**.
- **John Mandereau**, département de mathématiques, université de Pisa / université Paris 6. Généralisation de la théorie des ensembles homométriques dans le contexte d’un système d’intervalles généralisés (Mandereau *et al.*, 2011). Recherche en cours sur l’application des systèmes évolutifs à mémoire pour l’analyse musicale dans le cadre de sa thèse de doctorat en informatique, dont j’assure la direction.
- **Mate Matolcsi**, Rényi Institute, Budapest. Recherche de nouveaux algorithmes pour les canons de Vuza à partir de la représentation du pavage en termes de transformée de Fourier (Andreatta et Agon, 2009).
- **Guerino Mazzola**, MultiMedia Lab de Zürich / Université de Minnesota. Premières généralisations de l’approche transformationnelle en analyse musicale à l’aide de la théorie des

catégories (Mazzola et Andreatta, 2006). Utilisation du cadre catégoriel pour une ébauche d’une théorie générale des gestes en musique (Mazzola et Andreatta, 2007).

- **François Nicolas**, compositeur (ENS et Ircam). Codirection du séminaire *mamuphi* (Mathématique/Musique et Philosophie) et de l’école de mathématique pour musiciens et autres non-mathématiciens (**sections 4.2.2 et 4.2.3**).
- **Thomas Noll**, professeur de théorie de la musique à l’ESMuC de Barcelone et rédacteur en chef (avec Robert Peck) du *Journal of Mathematics and Music*. Collaboration autour des théories des pavages en musique (en particulier les « canons augmentés », voir Noll et al, 2001).
- **John Rahn**, université de Washington à Seattle, Etats-Unis. Edition des actes du colloque « Autour de la Set Theory », un ouvrage qui fait référence dans le domaine des rapports entre *Set Theory* et théories transformationnelles (Andreatta *et al.*, 2008).
- **Isabelle Viaud-Delmon** (chercheur CNRS, équipe espaces acoustiques et cognitifs de l’Ircam). Collaboration autour de la thématique « Mathématiques/Musique et Cognition » (**section 7.1**) et rédaction de l’entretien à Fred Lerdahl et Ray Jackendoff pour un numéro spécial de la revue *Musicae Scientiae* consacré à la théorie générative de la musique tonale (Andreatta et Deliège 2010).
- **Dan Tudor Vuza**, Institute of Mathematics of the Romanian Academy, Roumanie. Collaborations autour des canons rythmiques mosaïques (**section 3.2.2**) et des suites périodiques (premiers algorithmes pour la factorisation de toute suite périodique en somme directe d’une suite réductible et d’une suite reproductible. Cf. **section 3.2.3**).

## 7 Animation et gestion de la recherche

### 7.1 Responsable du projet « Mathématiques/Musique & Cognition »

Ce projet, financé par l’AFIM (Association Française d’Informatique Musicale), a tout d’abord permis d’envisager l’un des aspects qui est resté jusqu’à présent très peu étudié dans le cadre du projet MISA, à savoir le problème des ramifications cognitives et perceptives d’une approche algébrique en musique. Il s’agit d’un axe de recherche qui est désormais intégré dans les domaines des recherches de l’UMR 9912 (STMS). Liste des journées d’étude et Symposia organisées dans le cadre des activités du groupe de travail<sup>38</sup> :

- Symposium « Autour de la théorie générative de la musique tonale de Fred Lerdahl et Ray Jackendoff » (ENS et Ircam, 11-12 janvier 2008). Avec la participation de Nicolas Meüs (PLM, Université Paris IV), Costas Tsougras (Aristotle University of Thessaloniki), Ray Jackendoff (Tufts University), Fred Lerdahl (Columbia University), Irène Deliège (ESCOM, Université de Liège), Michael J. Bruderer (Technical University of Eindhoven), Thomas Noll (ESMuC, Barcelone), Emiliós Cambouropoulos (Department of Music Studies Aristotle University of Thessaloniki), Rob Seward (artiste et informaticien) Geraint A. Wiggins, Marcus Pearce et Daniel Mullensiefen (Centre for Cognition, Computation & Culture/Department of Computing, Goldsmiths' College, University of London). Symposium co-organisé avec Irène Deliège (ESCOM) et actes publiés dans un numéro spécial de la revue *Musicae Scientiae* (Andreatta et Deliège, 2010).
- Journée d’étude sur les théories diatoniques (Ircam, 25 avril 2008), avec la participation de Eytan Agmon (Dept. of Music, Bar-Ilan University, Israël), Emmanuel Amiot (mathematician, Perpignan), Thomas Noll (ESMuC, Barcelone), Julien Junod (Ircam/ Université de Paris VI) et Pierre Audétat (Conservatoire de Lausanne).
- Journée d’étude sur les systèmes évolutifs à mémoire, avec la participation de Andrée C. Ehresmann et Jean-Paul Vanbremeersch (Ircam, Vendredi 17 janvier 2009). Le sujet de cette journée d’étude constituera l’un des axes de recherches futures (voir **section 3.2.3** du projet de recherche).

<sup>38</sup> Le rapport du groupe de travail « Mathématiques/Musique & Cognition » est disponible à l’adresse : <http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/mamux/Cognition.html>

- Symposium « Musique et Cognition. Autour de l'apport de John Sloboda » (Ircam, 23 janvier 2009). Avec la participation de Jane Ginsborg (Royal Northern College of Music, Manchester, UK), Daniel Müllensiefen and Geraint A. Wiggins (Centre for Cognition, Computation and Culture Goldsmiths, University of London), Mario Baroni, Rossana Dalmonte, Roberto Caterina (Univ. Bologna et Trente, Italie), Michel Imberty (Université de Paris X, Nanterre), Nicholas Cook (Royal Holloway, Centre for the History and Analysis of Recorded Music, CHARM), Barbara Tillmann (CNRS, UMR 5020, Lyon), Emmanuel Bigand (LEAD/CNRS UMR 5022, Dijon), Adam Ockelford (Southlands College, Roehampton University, London), Richard Parncutt (Univ. Graz, Austria), John Sloboda (Univeristy of Keele and Royal Holloway, University of London).
- Journée d'étude sur la transformée de Fourier discrète (DFT) dans l'étude de la perception musicale (Ircam, 3 avril 2009). Avec la participation d'Emmanuel Amiot (mathématicien), Isabelle Viaud-Delmon (chercheur CNRS, équipe espaces acoustiques et cognitifs, Ircam) et Carlos Agon (chercheur en informatique, Ircam). La mise en place de tests perceptifs à partir de la représentation des structures musicales via la DFT, aussi bien pour les rythmes que pour les hauteurs, est l'un des objectifs à court terme des recherches que nous envisageons dans les années à venir (voir **section 3.1.3.1** du projet de recherche).

## 7.2 Responsable du projet « Géométrie de l'Interaction et Musique<sup>39</sup> » (GdIM)

Ce projet vise à étudier les champs d'applications possibles de la géométrie de l'interaction de Jean-Yves Girard à l'informatique musicale. À la différence des paradigmes de programmation traditionnels en informatique musicale (programmation logique et fonctionnelle, calcul concurrent, ...), dont la composante logico/informatique prime sur les enjeux proprement mathématiques, la géométrie de l'interaction postule une primauté des constructions mathématiques (théorie des opérateurs et algèbres de von Neumann) sur la logique. Parmi les entreprises majeures qui ont accompagné la mathématisation de la logique au XX<sup>e</sup> siècle, la logique linéaire et, plus récemment, la géométrie de l'interaction occupent une place tout à fait singulière, notamment en ce qui concerne le postulat de la primauté de la pensée mathématique sur la pensée logique. En contraposition explicite aux constructions logiques traditionnelles (des logiques non monotones aux logiques épistémiques), la géométrie de l'interaction de Jean-Yves Girard entreprend de refonder la logique en la formalisant dans le cadre de la géométrie contemporaine, à l'aide d'outils mathématiques tels les algèbres de von Neumann ou la géométrie non commutative d'Alain Connes, qui deviennent les fondements théoriques de la logique même, en induisant ainsi un véritable « tournant géométrique » dans la discipline<sup>40</sup>. En d'autres termes, la logique n'est plus posée comme *constituante* des mathématiques, mais *constituable* à partir d'elles, ce qui comporte une remise sur pied de la dialectique mathématiques/logique, les premières servant de socle à la seconde (et non plus l'inverse). Cela entraîne, avant tout, une prise de distance par rapport au paradigme langagier qui a dominé la réflexion sur les fondements de la logique au cours du XX<sup>e</sup> siècle. La logique n'est plus concentrée sur la question de la véracité des énoncés mais il s'avère nécessaire d'aller au-delà de la conception ensembliste de la théorie des modèles présupposant l'existence autonome d'un modèle à partir de quoi se constitue une théorie selon une dualité du type syntaxe/sémantique.

Le projet GdIM explore les possibilités d'une réactivation de la logique musicale au moyen de la géométrie de l'interaction et des nouvelles perspectives que cette dernière ouvre dans l'informatique musicale. Si l'application de la géométrie de l'interaction à la musique et à l'informatique musicale reste conjecturale, il y a, cependant, dans une telle démarche des points qui nous semblent déjà très

<sup>39</sup> Projet réalisé dans le cadre des programmes PEPS Interaction Math-ST2I. Pour plus d'informations sur ce projet ainsi que pour le programme détaillé des différentes séances, voir à l'adresse : <http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/mamux/PEPS-GdIM.html>

<sup>40</sup> Cf. Girard (2006, 2007). Pour une présentation didactique de ces questions mathématiques, en vue d'une première tentative d'établir des liens avec la musique, nous renvoyons à la présentation de Yves André dans le cadre de « l'école mathématique pour musiciens et d'autres non-mathématiciens » organisée par l'Ircam et l'ENS (André, 2006-2009) : <http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/mamux/EcoleYA.html>

prometteurs. L'évolution de la théorie musicale au cours des dernières décennies indique clairement la présence d'une composante « algébrique » qui a accompagné progressivement les recherches liées à la modélisation, formalisation et représentations géométriques des structures musicales, aussi bien d'un point de vue théorique que dans les aspects liés à l'informatique musicale.

L'application de la théorie des catégories et des topoi en musique et en informatique musicale, qui représente l'une des réussites majeures des théories mathématiques de la musique<sup>41</sup>, n'a cependant pas contribué, sauf de rares exceptions<sup>42</sup>, à ouvrir une véritable réflexion sur la dimension logique en musique. Dans la conception de Jean-Yves Girard, qui relègue l'approche de la logique par la théorie des catégories au « deuxième sous-sol » (ou niveau -2 de l'édifice conceptuel), la logique a affaire à la forme (à la « morphologie ») des raisonnements-démonstrations-déductions-développements vus comme jeux (dont les enjeux véritables ne sont pas logiquement pris en compte).

Le but essentiel - qu'il appelle « interaction » - est que la dualité à laquelle la logique a à faire (celle, par exemple des preuves et des formules) n'est plus conçue comme formalisation d'une réalité autonome préexistante et indifférente à cette formalisation mais comme autoengendrée par *polarisation*<sup>43</sup>. Il découle de cette nouvelle approche de la logique que la preuve sera conçue comme espace de travail immanent et non plus comme ajustement à une véridicité exogène.

Ceci pourrait avoir des conséquences importantes dans une discipline, la musique, dont on a désormais abondamment étudiés les enjeux mathématiques sans pourtant arriver à proposer des outils théoriques nouveaux pour étudier ses rapports profonds avec la logique. Liste des journées d'étude organisées dans le cadre des activités du groupe de travail « Géométrie de l'Interaction et Musique » :

- « Géométrie de l'interaction et musique » (Samedi 9 mai 2009). Avec la participation de Yves Lafont (Faculté des Sciences de Luminy & Institut de Mathématiques de Luminy), Thierry Paul (CNRS, DMA - Ecole Normale Supérieure), Carmine Emanuele Cella (Université de Siena / Ircam) et François Nicolas (ENS/Ircam).
- « Géométrie de l'information et musique » (Samedi 10 octobre 2009). Avec la participation de Arshia Cont (Ircam), Hichem Snoussi (Université de Troyes), Arnaud Dessain (Ircam), Frédéric Barbaresco (Thales). Voir également la **section 3.2.3** du projet de recherche.
- « Autour de la géométrisation de la logique et de l'informatique musicale » (Vendredi 13 novembre 2009). Journée organisée en collaboration avec l'équipe « Informatique, Biologie Intégrative et Systèmes Complexes » (IBISC, FRE 3190), Université d'Evry Val d'Essonne, Genopole. Avec la participation de Jean-Louis Giavitto, Olivier Michel, Antoine Spicher. Voir également la **section 3.2.2** du projet de recherche.
- « Approche fonctorielle en informatique musicale » (Vendredi 4 décembre 2009). Avec la participation de Gérard Milmeister (University of ETH, Switzerland), Florian Thalman (School of Music, University of Minnesota), Thomas Noll (ESMuC, Barcelona / TU-Berlin) et Guerino Mazzola (School of Music, University of Minnesota).
- « Représentations pour l'informatique musicale : graphes et S-langages » (vendredi 12 mars 2010). Avec la participation de Yannis Manoussakis (University Paris-Sud, Orsay), Fivos Maniatakos (Ircam/ Université Paris 6), Gilles Baroin (doctorant, université de Toulouse II – Le Mirail), Sylviane R. Schwer (Université Paris-Nord UMR CNRS 7030), Antoine Allombert (LABRI / équipe RepMus).
- « Espaces de Chu et musique » (vendredi 9 avril 2010). Avec la participation de Vaughan Pratt (Stanford University), Paul-André Melliès (CNRS-PPS Jussieu), Timothy Porter (University of Wales, Bangor). L'intégration de cette construction mathématique dans la modélisation informatique des structures musicales via la programmation spatiale et les contraintes concurrentes, fait partie des objectifs à moyen terme pour les recherches futures (voir **section 3.2.2** du projet de recherche).

<sup>41</sup> Mazzola G. (2002).

<sup>42</sup> Voir, en particulier, l'intervention de Thomas Noll intitulée « Logics and Mathematical Music Theory », Séminaire *mamuphi*, 5 décembre 2009 (<http://www.entretiens.asso.fr/maths/>).

<sup>43</sup> Au sens défini par Jean-Yves Girard dans le chapitre 12 du deuxième volume du *Point aveugle* (Girard 2007).

### 7.3 Responsable de l'environnement informatique « MathTools »

Je suis responsable de la conception et réalisation de l'environnement informatique « MathTools » en *OpenMusic*, le langage de programmation visuelle pour l'analyse et la composition assistées par ordinateur développé à l'Ircam. Ce module logiciel, développé en collaboration avec Carlos Agon (informaticien, équipe Représentations Musicales) et disponible à partir de la version 5.0 d'*OpenMusic*, présente notamment pour la première fois de façon cohérente les diverses approches algébriques en ce qui concerne les outils set-théoriques (**section 3.2.1**), la construction des canons rythmiques mosaïques (**section 3.2.2**), la théorie des suites périodiques et le calcul des différences finies (**section 3.2.3**), l'utilisation de la DFT pour l'étude de l'homométrie (**section 3.2.4**), les approches diatoniques (et en particulier le modèle computationnel de la cloche diatonique (section **3.2.5**). L'environnement « MathTools », fruit d'une collaboration avec plusieurs mathématiciens et informaticiens (dont Emmanuel Amiot, Thomas Noll, Franck Jedrzejewsky, Guerino Mazzola, Dan Tudor Vuza, ...), a été présenté dans le cadre de plusieurs conférences internationales, Workshops, *Tutorials* et séminaires, en particulier :

- M. Andreatta et C. Agon, « Some OpenMusic-based Computational Models in Computer-Aided Music Theory and Analysis », EUROMAC, VII European Music Analysis Conference, Rome, 29 septembre – 2 octobre, 2011
- M. Andreatta, « Quelques MathTools pour la combinatoire rythmique », séminaire de composition, Coursus 1, Ircam, 20 janvier 2010.
- M. Andreatta, C. Agon, « A Tutorial on Mathematical Models in Computer-Aided Music Theory, Analysis and Composition via OpenMusic », *Mathematics and Computation in Music Conference*, Yale University, 19-22 juin 2009.
- M. Andreatta, « Quelques MathTools pour l'étude combinatoire du rythme », Journée d'étude sur les *Outils pour la formalisation de la pensée rythmique*, Coursus 2, 29 octobre 2008.
- M. Andreatta, « Introduction to OpenMusic and the 'MathTools' Environment for computer-aided music theory, analysis and composition », conférence dans le cadre du *Interdisciplinary Program in Collaborative Arts*, School of Music, Université de Minnesota, 22 octobre 2007 (sur invitation de Michael Cherlin et Guerino Mazzola).
- C. Agon, M. Andreatta, « OpenMusic Tutorial », Workshop organisé par le CCT (Center for Computation and Technology), Louisiana State University, 10 novembre 2006.
- M. Andreatta, C. Agon, « The MathTools environment: a Paradigmatic architecture for computer-aided music analysis and composition », Brock University à St. Catharines, Ontario, 6 juin 2006.
- M. Andreatta et C. Agon, « A tutorial on algebraic-oriented paradigmatic music analysis and composition in OpenMusic visual programming language », Fourth Musicnetwork Open Workshop – Integration of Music in Multimedia Applications, Barcelone, septembre 2004.

### 7.4 Participation à des travaux d'expertise

- Membre invité pour le meeting d'experts sur « Creativity », FET (Future and Emerging Technologies) Proactive – FP7, Bruxelles, 28 novembre 2011
- Membre du comité de pilotage pour la demande de création d'un GDR « Esthétique Arts & Sciences » (2012-2015). En cours d'évaluation.
- Membre invité pour le comité de sélection pour un poste MCF avec chaire CNRS, section 27, informatique au LaBRI (mai 2011)
- Reviewer pour des conférences internationales (International Computer Music Conference, Sound and Music Computing, Mathematics and Computation in Music)
- Reviewer pour des revues à comité de lecture (*Journal of Mathematics and Music*, *Journal of New Music Research*, *Musimédiane*, *Advances in Complex Systems*).

## 8 Références<sup>44</sup>

- Agon C. (1998), *OpenMusic : un langage visuel pour la composition musicale assistée par ordinateur*, thèse, Université de Paris VII.
- Agon C. (2004), *Langages de programmation pour la composition musicale*, mémoire d'habilitation à diriger des recherches, université de Paris VI.
- Allouche J.-P. et L. Maillard-Teyssier (2011), « Inconstancy of finite and infinite sequences », à paraître dans *Theoretical Computer Science*.
- Amiot E. (2007), « David Lewin and Maximally Even Sets », *Journal of Mathematics and Music* 1(3), 157-172.
- André Y. (2006-2009), *Ecole de mathématique pour musiciens et autres non-mathématiciens*, manuscrit inédit, disponible en ligne à l'adresse : <http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/mamux/EcoleYA.html>
- Andreatta M. (1996), *Gruppi di Hajós, Canoni e Composizioni*, Tesi di laurea, Faculté de mathématiques, Université de Pavie.
- Andreatta M. (1997a), *Formalizing musical structure : from Information to Group Theory*, Dissertation in Aesthetics and Sociology of Music, University of Sussex, 1997.
- Andreatta M. (1997b), *Group-theoretical methods applied to music*, Dissertation, University of Sussex.
- Andreatta M. (1999), *La Théorie Mathématique de la musique de Guerino Mazzola et les canons rythmiques*, Mémoire de DEA, Université de Paris IV-EHESS-IRCAM.
- Andreatta M. (2003), *Méthodes algébriques en musique et musicologie du XX<sup>e</sup> siècle : aspects théoriques, analytiques et compositionnels*, thèse de doctorat, EHESS/Ircam.
- Andreatta M. (2004), « On group-theoretical methods applied to music: some compositional and implementational aspects », *Perspectives in Mathematical and Computational Music Theory*, ed. G. Mazzola, T. Noll and E. Lluís-Puebla. (Electronic Publishing Osnabrück, Osnabrück), 169-193.
- Andreatta M. (2010), *Mathematica est exercitium musicae. La recherche mathémusicale et ses interactions avec d'autres disciplines*, mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Institut de Recherche Mathématique Avancée, Université de Strasbourg.
- Andreatta M. et Vuza D. T. (2001), « On some properties of periodic sequences in Anatol Vieru's modal theory », *Tatra Mountains Mathematical Publications*, vol. 23, 1-15.
- Andreatta M. et S. Schaub (2003), « Une introduction à la Set Theory: les concepts à la base des théories d'Allen Forte et de David Lewin », *Musurgia*, Vol. X/1, 73-92.
- Andreatta M., C. Agon, D. T. Vuza (2004), « On some theoretical and computational aspects of Anatol Vieru's periodic sequences », *Soft Computing*, Septembre, vol. 8, n° 9, 588-596.
- Andreatta M. et G. Bloch (2007), « Tiling Space with Musical Canons », *Seed Workshop*, Dublin, 5 mai. Séminaire organisé par Wiebke Drenckhan (Laboratoire de Physique des Solides UMR 8502 – Université Paris-Sud).
- Andreatta M., J.-M. Bardez, J. Rahn dir. (2008), *Autour de la Set Theory. Rencontre musicologique franco-américaine*, Collection « Musique/Sciences », Ircam-Delatour France.
- Andreatta M. et C. Agon (2009), Special Issue « Tiling Problems in Music », *Journal of Mathematics and Music*, Juillet, vol. 3, n° 2.
- Andreatta M et I. Deliège (eds.) (2010), « GTTM 25 years on », *Musicae Scientiae*, Discuss. Forum 5.
- Assayag G. (2009), *Algorithmes, langages et modèles pour la recherche musicale : de la composition à l'interaction*, mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université de Paris 6.
- Assayag G., A. Gerzso eds (2009), *Nouveaux Paradigmes pour l'Informatique Musicale*, collection « Musique/Sciences », Ircam-Delatour France.
- Beauguitte P. (2011), *Transformé de Fourier discrète et structures musicales*, Master ATIAM, Ircam/Université Paris 6, juin.

<sup>44</sup> Pour une liste plus exhaustive des références bibliographiques je renvoie à la bibliographie contenue dans mon mémoire d'habilitation à diriger des recherches : <http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/moreno/TexteHDR.pdf>

- Bigo L. (2010), *Utilisation de la programmation spatiale pour l'analyse et la représentation symbolique musicale*, mémoire de Master ATIAM, Ircam/Université de Paris 6, septembre.
- Bigo L., Michel O., Spicher A. (2010), « Spatial Programming for Music Representation and Analysis », Spatial Computing Workshop, Budapest, Novembre.
- Bloch G. (2006), « Vuza canons into the museum », in Agon, C., Assayag, G. and Bresson, J. (eds) *The OM Composer's Book 01*, Collection « Musique/Sciences », Ircam-Delatour France.
- Chemillier M. (1987), « Monoïde libre et musique », *RAIRO Inf. Theo.*, vol. 21, n° 3 et 4, 341-371 et 379-417.
- Fidanza G. (2008), *Canoni ritmici a mosaico*, tesi di laurea, Università degli Studi di Pisa, Facoltà di SSMMFFNN, Corso di laurea in Matematica.
- Forte A. (1973), *The Structure of Atonal Music*, Yale University Press.
- Fuglede B. (1974), « Commuting self-adjoint partial differential operators and a group theoretic problem », *J. Funct. Anal.*, 16, 101-121.
- Hajos G. (1942), « Über einfache und mehrfache Bedeckung des  $n$ -dimensionalen Raumes mit einem Würfelgitter », *Math. Zeit.*, 47, 427-467.
- Jedrzejewski F., Andreatta, M., Johnson, T. (2009), « Musical experiences with Block Designs », *Proceedings of the Proceedings Conference MCM09*, Springer CCIS Series, Vol. 38, New Haven, 154-165.
- Junod J. (2008), *Etude combinatoire et informatique du caractère diatonique des échelles à sept notes*, Mémoire de Master ATIAM, Ircam/Université Paris 6.
- Junod J., Audétat, P., Agon, C., Andreatta M. (2009), « A Generalisation of Diatonicism and the Discrete Fourier Transform as a Mean for Classifying and Characterising Musical Scales », Second International Conference MCM 2009, vol. 38, New Haven, 166-179.
- Lewin D. (1987), *Generalized Musical Intervals and Transformations*, Yale University Press.
- Lewin D. (1993), « Making and Using a pcset Network for Stockhausen's *Klavierstück III* », *Musical Form and Transformation: 4 Analytic Essays*, New Haven: Yale University Press, 16-67.
- Mandereau J. (2009), *Etude des ensembles homométriques et leur application en théorie mathématique de la musique et en composition assistée par ordinateur*, mémoire de Master ATIAM, Ircam/Université Paris 6.
- Mandereau J, D. Ghisi, E. Amiot, M. Andreatta, C. Agon (2011a), « Discrete phase retrieval in musical structures », *Journal of Mathematics and Music*, vol. 5, n° 2, p. 99-116
- Mandereau J., D. Ghisi, E. Amiot, M. Andreatta, C. Agon, (2011b) « Z-relation and homometry in musical distributions », *Journal of Mathematics and Music*, vol. 5, n° 2, p. 83-98
- Mazzola G. (2002), *Topos of Music*, Birkhäuser Verlag.
- Mazzola G., M. Andreatta (2006), « From a categorical point of view : K-nets as limit denotators », *Perspectives of New Music*, vol. 44, n° 2, Août, 88-113.
- Mazzola G., M. Andreatta (2007), « Diagrams, gestures and formulae in music », *Journal of Mathematics and Music*, Vol. 1, No. 1, Mars, 23-46.
- Minkowski H. (1907), *Diophantische Approximationen. Eine Einführung in die Zahlentheorie*, Chelsea Publishing Company, New York.
- Morris R. (1987), *Composition with Pitch-Classes: A Theory of Compositional Design*, New Haven, Yale University Press.
- Noll Th. (2008), « Sturmian sequences and morphisms: a music-theoretical application », *Société Mathématique de France*, Journée annuelle, 79-102.
- Noll Th., M. Andreatta, C. Agon, G. Assayag et D. Vuza (2001), « The Geometrical Groove : rhythmic canons between Theory, Implementation and Musical Experiments », *Actes des Journées d'Informatique Musicale*, Bourges, 93-98.
- Rahn J. (1980), *Basic Atonal Theory*, New York, Longman.
- Rosenblatt J. (1984), « Phase Retrieval », *Communications in Mathematical Physics* 95, 317-343.
- Ruwet N. (1966), « Méthodes d'analyse en musicologie », *Revue belge de Musicologie*, 20, 65-90.
- Slavich L. (2010), *Strutture algebriche e topologiche nella musica del XX° secolo*, tesi di laurea in matematica, Università di Pisa.
- Vuza D. T. (1991-93), « Supplementary Sets and Regular Complementary Unending Canons » (in four parts), *Perspectives of New Music* 29(2), 22-49 ; 30(1) (1992), 184-207; 30(2) (1992), 102-125 ; 31(1) (1993), 270-305.