

Rapport d'activités



Année 1997

Table des matières

1	Introduction	3
2	Présentation générale	5
2.1	Conseil de tutelle	6
2.2	Direction du SCRIME	6
2.3	Conseil scientifique et artistique	6
2.4	Membres du SCRIME	7
2.5	Activités	8
2.6	Thèmes de recherche	8
3	Aide à la composition	11
3.1	Modèles formels pour l'aide à la composition	11
3.2	Interface pour le compositeur	14
4	Modèles formels pour l'analyse et la synthèse	17
4.1	Modélisation sonore et musicale en vue de l'analyse et la synthèse	17
4.1.1	Présentation générale	17
4.1.2	Résultats	17
4.1.3	Perspectives	18
4.2	Analyse et synthèse de musique électroacoustique	18
4.2.1	Analyse poïétique de la chute d'Icare de Jean-Michel Rivet	18
4.2.2	Analyse esthétique formelle de "Balancement" de Pierre Henry	20
4.2.3	Les stratégies d'écoute des compositeurs de musique électroacoustique	22
5	Modélisation du jeu de clavier	23
5.1	Présentation générale	23
5.2	Résultats	23
5.3	Perspectives	23
6	Développements d'outils	25
6.1	Reconnaissance de partitions musicales	25
6.2	Éditeur d'arbres, de pistes et de séquences	26
6.3	Éditeur de courbes comme paramètres d'effets dans le temps	27
6.4	Éditeur de sons	28
6.5	Mixer des sons suivant les capacités de la machine hôte	29

6.6	Éditeur de partitions	30
6.6.1	Optimisation d'une bibliothèque d'affichage de partitions musicales	30
6.6.2	Extensions d'une bibliothèque d'affichage de partitions musicales à l'affichage du texte anti-crênelé	31
6.6.3	Perspectives	31
6.7	Outil de manipulation de signaux sonores	32
6.8	Séparation Aveugle de Sources	33
6.9	Analyse spectrale	34
6.9.1	Analyse statistique de musique électroacoustique	34
6.9.2	Analyse dynamique de musique électroacoustique	34
7	Nouveaux projets envisagés	35
8	Diffusion scientifique	37
8.1	Conférences et séminaires	37
8.2	Publications	37

Chapitre 1

Introduction

Le projet SCRIME s'est concrétisé initialement par un dossier rédigé en Mars 1996 par Myriam Desainte-Catherine et Christian Eloy. Ce dossier était destiné aux partenaires financiers et logistiques potentiels : l'ENSERB, l'Université Bordeaux 1, le CNR, le Conseil Régional, la DRAC, la DMD, le Conseil Général et la Ville de Bordeaux. L'accueil a été tellement positif et unanime qu'il a été rapidement évident pour tout le monde que le SCRIME devait exister, sa mise en place n'étant qu'une question de temps.

En novembre 1996, les soutiens de l'ENSERB, de l'Université Bordeaux 1, de la DMD et du Conseil Régional étant acquis, le SCRIME a commencé à réunir des artistes et des scientifiques chaque mois pour des discussions concernant le fonctionnement, les projets de recherche scientifiques liés à la création, le matériel, l'organisation des lieux, etc.

Cette première année s'est déroulée en l'absence de matériel spécifique pour le SCRIME. L'ENSERB qui devait initialement accueillir les studios s'est avérée être un mauvais choix sur le plan acoustique¹. L'Université Bordeaux 1 a mis à la disposition du SCRIME la maison d'Élise. Cette maison étant encore en travaux, le matériel n'a pas encore été acheté. Les activités de création n'ont donc pas pu commencer cette année et n'apparaissent pas dans ce rapport. Par contre, pour ce qui concerne les activités scientifiques, des groupes de recherche mixtes se sont constitués, des projets d'étudiants ont pu être menés à bien, bénéficiant d'un encadrement mixte.

La spécificité du SCRIME est l'alliance équilibrée entre création musicale et recherche scientifique. La collaboration nécessite que chacune de ces deux activités consacre une partie d'elle-même à l'écoute et donc au service de l'autre. Mais ces contraintes ne doivent pas entraver la liberté de création pure dans les deux domaines. L'aspect fondamental de la recherche doit être conservé afin de ne pas dégénérer en travaux techniques d'ingénierie à court terme. De même, la liberté créatrice des compositeurs ne doit pas être soumise par la nécessité de valorisation des résultats de recherche au risque de perdre toute originalité artistique. Cet équilibre est certainement difficile à maintenir, mais c'est en favorisant la création libre dans chaque domaine que l'exigence sur la qualité des transferts sera maintenue et garantira des résultats musicaux et scientifiques de haut niveau.

Myriam Desainte-Catherine
Directrice scientifique

Christian Eloy
Directeur artistique

1. Les sols et les façades sont filants. Les ondes sonores se propagent donc dans tout le pôle informatique, créant des nuisances pour les enseignements comme pour les compositeurs.

Chapitre 2

Présentation générale

Le SCRIME est une cellule d'activité rassemblant artistes et scientifiques. Son objectif est de permettre aux premiers de bénéficier d'un transfert de connaissances scientifiques et aux seconds d'une expertise musicale. Ses domaines d'activité sont en premier lieu la recherche et la production scientifiques et musicales, mais aussi la pédagogie et la diffusion.

Le SCRIME résulte d'une convention de coopération entre l'Université Bordeaux 1, l'ENSERB¹ et le CNR². Il est rattaché administrativement au LaBRI³. Outre les établissements partenaires dans la convention, il est soutenu financièrement par le Conseil Régional de l'Aquitaine, le Département Recherche de la Direction de la Musique et de la Danse du Ministère de la Culture, la Direction Régionale des Affaires Culturelles de l'Aquitaine et le Conseil Général de la Gironde.

Le SCRIME réunit les chercheurs en informatique musicale du LaBRI et les compositeurs de l'association Octandre. Le studio est accessible à d'autres chercheurs ainsi qu'à d'autres compositeurs s'inscrivant dans les projets du SCRIME. L'accès au studio est aussi ouvert aux étudiants de l'Université et aux élèves de l'ENSERB s'intégrant dans un projet de recherche ou de création, ainsi qu'aux élèves du CNR.

1. École Nationale d'ingénieurs en Électronique et en Informatique de Bordeaux

2. Conservatoire National de Région

3. Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique, Unité de Recherche 1304 Associée au Centre National de la Recherche Scientifique.

2.1 Conseil de tutelle

Il réunit les représentants des partenaires :

Président du conseil : Michel Combarnous, Président de l'Université Bordeaux 1.

Bernard Leroux, Directeur de l'ENSERB,

Michel Fusté-Lambezat, Directeur du Conservatoire National de Région de Bordeaux,

André Arnold, Directeur du LaBRI,

Francine Delmer, chargée de mission aux affaires culturelles de l'Université Bordeaux 1,

Thierry Pandelé, vice-président d'Octandre.

2.2 Direction du SCRIME

Direction scientifique : Myriam Desainte-Catherine.

Direction artistique : Christian Eloy.

2.3 Conseil scientifique et artistique

- Jean-Paul Allouche, directeur de recherche en mathématiques au CNRS,
- Anthony Beurivé, doctorant en informatique au LaBRI,
- Robert Strandh, professeur en informatique à l'Université Bordeaux 1,
- György Kurtag, compositeur,
- Jean-Claude Risset, compositeur, directeur de recherche au CNRS,
- Jean-Michel Rivet, compositeur.

2.4 Membres du SCRIME

Olivier Alata : Doctorant en électronique à l'Université Bordeaux 1,

Bernard Bariteau : Compositeur,

Kablan Barbar : Maître de conférences en informatique à l'Université Bordeaux 1, chercheur au LaBRI,

Anthony Beurivé : Doctorant en informatique au LaBRI,

Thierry Bringuier : Compositeur,

Jacques Daney : Compositeur,

Myriam Desainte-Catherine : Maître de conférences en informatique à l'ENSERB, chercheur au LaBRI,

Jean-François Dindart : Doctorant en informatique au LaBRI,

Laurent Dupont : Compositeur,

Christian Eloy : Compositeur, professeur de composition en musique électroacoustique au CNR,

Catherine Gilloire : Professeur de son à l'école des Beaux-arts,

Christophe Havel : Compositeur,

David Huguet : Étudiant en DEA d'informatique à l'Université Bordeaux 1,

Pascale Jakubowski : Compositrice,

Pascal Joguet : Compositeur,

György Kurtag : Compositeur,

Guillaume Largillier : Compositeur,

Frédéric Le Gauffre : Compositeur,

Gjon Gjevelekaj : Compositeur,

Philippe Narbel : Maître de conférences en informatique à l'Université Bordeaux 1, chercheur au LaBRI,

Thierry Pandelé : Compositeur,

Bernard Perrot : Professeur de mathématiques à l'ENSERB,

Sylvain Marchand : Doctorant en informatique au LaBRI,

Patrick Méllé : Compositeur,

Serge Morand : Compositeur,

Edgar Nicouleau : Compositeur, étudiant en Maîtrise de musicologie à l'Université de Bordeaux III,

Jean-Michel Rivet : Compositeur,

Robert Strandh : Professeur en informatique à l'Université Bordeaux 1, responsable de l'équipe de recherche en programmation symbolique du LaBRI.

2.5 Activités

Recherche Scientifique et Musicale : des groupes de travail réunissent compositeurs et informaticiens autour de différents thèmes. Ces thèmes sont actuellement les suivants : aide à la composition, interface pour le compositeur, analyse/synthèse de sons, analyse de musique électroacoustique, modélisation d'instrumentistes.

Production Musicale : cette activité est en attente cette année.

Pédagogie : le SCRIME est merveilleusement situé pour transmettre des connaissances et de la sensibilité artistique, en particulier aux étudiants. Ceux-ci ont participé aux recherches par le biais de projets pédagogiques.

Concerts-Lectures : chaque création issue des recherches du SCRIME et aussi chaque création libre issue du studio seront présentées en public à l'Université. Le compositeur de l'œuvre expliquera les processus de création des pièces données à écouter.

Résidence : un compositeur étranger pourra être invité à réaliser une œuvre dans le studio. Il bénéficiera alors des moyens matériels et promotionnels du SCRIME et il sera invité aux groupes de travail.

Diffusion : le rayonnement du studio et des travaux issus de celui-ci, ainsi qu'une meilleure connaissance et la diffusion la plus large possible des compositeurs de la région, constitue un objectif majeur.

Collaborations : IRCAM (Gérard Assayag), GRM (François Delalande et Emmanuel Favreau), le Grame (Yann Orlarey), Mira Balaban, universitaire en Israël.

2.6 Thèmes de recherche

L'informatique musicale est au carrefour de plusieurs disciplines (informatique, musique, acoustique, mécanique, électronique, psychoacoustique, mathématique) et correspond à des activités diversifiées (de la prise de son à la composition musicale, en passant par l'étude de l'acoustique des salles). Le domaine de recherche développé au sein de l'équipe de programmation symbolique du LaBRI se limite à la composition musicale assistée par ordinateur. Nous étudions et cherchons à adapter les modèles de langages de programmation existants à des fins de création musicale. Cette année, de nouveaux thèmes ont été abordés dans le cadre spécifique du SCRIME :

- L'interface pour le compositeur entre dans le thème général de composition assistée par ordinateur mais pose des problèmes différents de ceux étudiés jusqu'alors sur la spécification.
- L'analyse et la synthèse de sons sont étudiées dans le cadre d'un nouveau doctorat.
- L'analyse de la musique électroacoustique ainsi que la modélisation d'instrumentistes résultent de la collaboration entre scientifiques et compositeurs.

Le chapitre trois regroupe les thèmes de recherche concernant l'aide à la composition. Dans cette partie, la recherche a pour point de départ le compositeur et sa façon de travailler. Le chapitre quatre présente les travaux en analyse et synthèse de son et de musique électroacoustique. L'approche est ici différente car le point de départ est d'une part le son et sa réalité physique et psychoacoustique, et d'autre part des pièces de musique électroacoustiques déjà écrites. Le chapitre six présente les développements logiciels dans le cadre de projets pédagogiques de maîtrise

d'informatique et de l'ENSERB. Ces outils sont reliés généralement à la recherche fondamentale. Le dernier chapitre décrit quelques nouveaux projets sur lesquels nous envisageons de travailler l'an prochain.

Le tableau suivant présente une synthèse des différents thèmes de recherche et des équipes concernées.

THÈMES DE RECHERCHE	CHERCHEURS	COMPOSITEURS
Aide à la composition musicale		
Modèles formels pour l'aide à la composition	Anthony Beurivé Kablan Barbar Myriam Desainte-Catherine Sylvain Marchand	Gjon Gjevelekaj Pascal Joguet
Interface pour le compositeur	Anthony Beurivé Myriam Desainte-Catherine David Huguet	Christophe Havel Frédéric Le Gauffre
Modèles formels pour l'analyse et la synthèse		
Modélisation sonore et musicale en vue de l'analyse et la synthèse	Myriam Desainte-Catherine Sylvain Marchand Robert Strandh	Christian Eloy
Analyse et synthèse de musique électroacoustique	Myriam Desainte-Catherine	György Kurtag Edgar Nicouveau Jean-Michel Rivet
Modélisation du jeu de clavier	Robert Strandh	György Kurtag

Chapitre 3

Aide à la composition

Type d'activité : Recherche fondamentale.

Chercheurs : Anthony Beurivé, Kablan Barbar, Myriam Desainte-Catherine, David Huguet, Sylvain Marchand, Robert Strandh.

Compositeurs : Christophe Havel, Frédéric Le Gauffre, Gjon Gjevelekaj, Pascal Joguet.

Dans le cadre de la recherche sur le thème de l'aide à la composition, nous distinguons plusieurs activités. Tout d'abord, il y a une observation de la manière dont travaillent les compositeurs. Ensuite il y a l'étude de modèles théoriques pour représenter et manipuler des pièces de musique, et leur adéquation avec les méthodes de travail des compositeurs. Enfin, il y a le développement pratique de logiciels d'aide à la composition, concernant non seulement l'application des modèles théoriques, mais aussi par exemple les interfaces graphiques adaptées à leur utilisation, qui font l'objet d'un thème à part.

3.1 Modèles formels pour l'aide à la composition

Chercheurs : Anthony Beurivé, Kablan Barbar, Myriam Desainte-Catherine, Sylvain Marchand.

Compositeurs : Gjon Gjevelekaj, Pascal Joguet.

Présentation générale

Nous cherchons les mécanismes récurrents de la composition de pièces de musique, en fonction de compositeurs de profils différents, et de notre propre expérience musicale. Plusieurs principes se dégagent, indépendamment des objets sonores manipulés. Tout d'abord, une pièce est toujours réalisée progressivement, et non pas immédiatement : elle subit généralement plusieurs étapes de constructions et de remises en question. Ensuite, les ajouts ou modifications respectent une certaine structure de proximité, c'est-à-dire qu'ils s'effectuent en fonction d'un contexte sonore local, par des validations ou des rejets. Des choix sont également faits par le compositeur sur des parties plus importantes, à des échelles de temps supérieures, lors d'un montage ou au cours même de la composition, en prenant du recul. Si un choix s'avère sans intérêt ou compromet la qualité de la pièce, il est aussitôt rejeté au profit d'autres choix.

À partir de ces principes, nous avons imaginé le fonctionnement d'un logiciel d'aide à la composition musicale utilisant ou adaptant des techniques relativement pointues issues de recherches sur les langages de programmation. Il s'avère en effet que les langages dédiés à la composition musicale, permettant la synthèse sonore aussi bien que la création de structures musicales, ne

tirent pas suffisamment parti des évolutions des concepts utilisés dans les langages de programmation. Les aspects impératifs, applicatifs et orientés objets sont bien exploités, mais le temps n'est pas toujours représenté de façon satisfaisante, par exemple. Nous cherchons donc à clarifier le modèle et l'interprétation de langage de composition et de synthèse sonore, compte tenu des représentations possibles du son, du temps, et d'autres données musicales.

Ainsi, si des modifications doivent être faites régulièrement sur une pièce en cours de composition, et qu'elles restent dans un contexte relativement local, il est inutile de reconstruire à chaque fois l'intégralité de la pièce. Seule la partie qui est susceptible de changer doit être reconstruite. Le compositeur écoute alors cette partie, la valide ou la rejette. Pour les langages de programmation, cela correspond aux différences entre *compilation* et *interprétation*, avec tout un éventail de techniques entre ces deux extrémités. Nous avons choisi d'appliquer des techniques d'*évaluation incrémentale* afin de répondre aux besoins du compositeur en matière de résultats rapides pour de petites modifications de la pièce composée.

En ce qui concerne la structure sous-jacente d'une pièce de musique, les besoins se situent dans le placement temporel, ainsi que dans l'abstraction des parties de la pièce, pour les manipuler à une échelle supérieure à celle des objets de plus bas niveau, sons élémentaires ou notes. Il s'agit d'une généralisation de la notion de *piste* que l'on trouve dans de nombreux logiciels actuels pour la musique. Cette généralisation est courante dans les langages de programmation, et s'effectue au moyen d'une structure hiérarchique comme un arbre ou un graphe orienté acyclique. Les structures encore plus générales de graphes ou d'hypergraphes orientés sont également séduisantes. Pour le musicien, l'intérêt de ces structures réside dans les possibilités de les afficher explicitement et de les éditer de manière interactive, ce qui peut aussi se présenter sous la forme d'une évaluation incrémentale.

Comme base théorique, nous étudions la spécification de pièces musicales au moyen de grammaires attribuées relationnelles. Un arbre de dérivation de la grammaire représente la structure hiérarchique d'une pièce de musique, et les attributs des nœuds sont des données musicales diverses, tels que des sons ou des durées. Notre objectif est de définir ces grammaires de telle sorte qu'elles fournissent un évaluateur d'attributs de façon automatique à partir d'une spécification logique. L'évaluation incrémentale permet alors de minimiser la partie des attributs à recalculer lors d'ajouts et de modifications dynamiques sur un arbre, et des pièces de tailles importantes peuvent ainsi être manipulées plus rapidement. Selon la classe des problèmes à résoudre, divers évaluateurs sont envisagés. Par exemple, dans certains cas fréquents où les domaines des attributs sont infinis, la partie opérationnelle provenant de la spécification logique correspond à une interprétation abstraite et à des diagrammes (ou automates) de décision finis. Quand il s'agit de domaines finis, les techniques s'inspirent de celles établies pour la résolution de contraintes sur des domaines finis (réduction de domaines, consistance d'arc et de chemins, énumération exhaustive).

Résultats

Une grammaire algébrique (en anglais *context-free grammar*) est utilisée pour représenter la structure temporelle d'une pièce de musique, au moyen de deux opérateurs, la concaténation (ou séquence) et la superposition. Ils ont été choisis parmi les opérateurs d'Allen pour leur signification temporelle à la fois simple et directe d'un point de vue musical. Malheureusement, leur pouvoir d'expression sur des arbres de dérivation est limité. En effet, nous montrons qu'il est impossible d'exprimer de manière déterministe la relation de *chevauchement* (opérateur *overlap* d'Allen), par exemple.

La grammaire algébrique initiale doit alors être étendue en changeant ses productions, ou bien en utilisant des attributs pour exprimer des relations temporelles plus complexes. Nous

employons notamment cette dernière solution, en considérant un arbre de dérivation comme une structure abstraite. Les véritables éléments musicaux sont alors placés au moyen de relations d'Allen arbitraires, localement sur chaque nœud de l'arbre. Cette solution s'avère ainsi bien plus puissante, car globalement la structure temporelle est toujours la même, mais localement les structures peuvent être plus variées.

Nous avons exploré une solution complémentaire et originale. Bien qu'une grammaire attribuée soit surtout utilisée pour exprimer des relations locales, une partie connexe d'un arbre de dérivation, plus grande qu'une simple occurrence de production, est souvent manipulée, et des relations peuvent être spécifiées entre des occurrences d'attributs éloignées dans l'arbre. Cela résout essentiellement tous les problèmes de structures temporelles déterministes, mais rompt avec la règle de localité des grammaires attribuées, et aussi avec la règle d'indépendance par rapport au contexte dans les langages algébriques. Pour le moment, nous utilisons cette solution de manière assez ponctuelle.

Nous avons également cherché à sortir du cadre strict des arbres de dérivation, en considérant plutôt des graphes acycliques, dans lesquels le partage de sous-arbre est autorisé. Les structures temporelles ainsi construites sont pertinentes d'un point de vue musical, bien qu'un peu contraignantes, puisqu'elles imposent une répétition à l'identique des parties partagées.

En ce qui concerne les attributs, nous en avons étudié plusieurs, ainsi que les relations qu'ils respectent dans un arbre de dérivation de la grammaire. Les types d'attributs sont des types usuels des langages de programmation : des entiers, des listes, des symboles, et d'autres types construits. Les relations qu'ils respectent expriment leur signification musicale, et sont définies au moyen de formules logiques. Cela correspond typiquement à un travail informatique de spécification, appliqué à la musique. En fonction des opérations dynamiques effectuées par le compositeur sur la pièce, les attributs sont calculés, voire recalculés, de manière à ce que leurs relations soient toujours valides.

En fait, il n'est pas toujours évident de respecter cet objectif, dans la mesure où certains problèmes logiques ne sont pas décidables ou ont un coût prohibitif. Nous nous sommes concentrés sur la détection et la résolution des problèmes difficiles qui peuvent apparaître en fonction de l'opération dynamique effectuée par le compositeur. Il s'avère que la présence de cycles dans les relations entre attributs soit toujours à l'origine de ces problèmes, et qu'il n'existe pas de solution générale pour les résoudre, mais plutôt des solutions partielles et au cas par cas. Par exemple, la résolution de systèmes d'équations linéaires aide à trouver des durées non spécifiées par le compositeur pour des parties de la pièce composée.

Les cycles sont malheureusement très fréquents, et les relations ne sont pas toujours des équations linéaires. Un point relativement encourageant demeure cependant : les difficultés engendrées par un cycle interviennent seulement après un enchaînement précis d'opérations de la part du compositeur, et bien que cet enchaînement puisse arriver, sa probabilité demeure généralement assez faible. Il est alors envisageable de contraindre le compositeur à certaines opérations sûres, ou bien de lui demander de gérer lui-même la difficulté le cas échéant. Ainsi, la validité des relations peut être formellement garantie sur certaines parties de la pièce composée, et non sur d'autres parties pour lesquelles une opération a soulevé soit un problème indécidable, soit un problème trop coûteux. Dans ce dernier cas, si le compositeur estime que cela en vaut quand même la peine, il est aussi possible de résoudre le problème, soit par des techniques exactes, soit au moyen d'heuristiques adaptées.

Perspectives

Plusieurs systèmes d'attributs pour la musique doivent encore être étudiés concrètement, puisque notre recherche s'est plutôt orientée vers une étude théorique de l'évaluation d'attributs

en général. Nous voulons étudier des attributs issus de la musique classique (notes, mesure, tonalité, partition, etc.), mais aussi et plus particulièrement dans le cadre du SCRIME, des attributs pour la musique électroacoustique (sons, modèles pour représenter le son, effets, paramètres de synthèse, microstructures, etc.). Il nous reste encore à développer un premier prototype de logiciel pour valider nos idées auprès des compositeurs.

3.2 Interface pour le compositeur

Chercheurs : Anthony Beurivé, Myriam Desainte-Catherine, David Huguet, Robert Strandh.

Compositeurs : Christophe Havel, Frédéric Le Gauffre.

Présentation générale

Pour donner aux compositeurs les moyens d'expérimenter et de valider les modèles proposés par les chercheurs, sans pour autant passer par une formation générale à l'utilisation de systèmes informatiques, le besoin s'est fait sentir pour des interfaces graphiques simples et spécifiques à nos travaux. De plus, les compositeurs et les chercheurs ont régulièrement des idées originales pour de nouvelles formes d'interfaces, ou éprouvent certaines difficultés par rapport aux choix parfois arbitraires des logiciels du commerce en la matière, choix qu'ils subissent bon gré mal gré.

Aussi, bien qu'il ne s'agisse pas d'un thème pour la recherche fondamentale, nous avons entamé le développement d'interfaces pour différents types de logiciels, essentiellement par le biais de projets d'étudiants. Notre objectif n'est pas de rivaliser avec les logiciels professionnels, dont le développement nécessite des ressources que nous n'avons pas, mais plutôt d'explorer des idées originales, dont certaines seront plus approfondies que d'autres et réutilisées dans de futurs travaux.

Par exemple, l'édition interactive de partitions de musique est intéressante à plus d'un titre. En respectant à la lettre les standards de la typographie musicale, il est possible de créer des partitions de grande qualité avec la facilité d'un éditeur de texte. Le musicien n'est plus obligé alors de se soucier de la présentation qui est remise à jour automatiquement.

Nous cherchons donc les principes essentiels des interfaces des logiciels utilisés quotidiennement par les compositeurs. Généralement, ces principes satisfont leurs utilisateurs, mais ils sont souvent répartis sur des logiciels différents, chacun avec ses propres qualités, ou bien se retrouvent dans tous les logiciels mais sous des formes différentes. Par exemple, le paramétrage du volume en fonction du temps, au moyen d'une courbe ou de segments de droites, pourrait s'appliquer aussi bien sur des sons que sur des pistes MIDI, ou sur des pièces entières, ou encore pour d'autres effets que le volume. De même, le montage de sons ou de séquences MIDI se fait pratiquement à l'identique dans des logiciels différents, mais les uns plus adaptés au traitement audionumérique que les autres.

Dans le même esprit, l'application du modèle des grammaires d'attributs relationnelles pour l'aide à la composition musicale nécessite, entre autres, la construction d'arbres représentant les structures temporelles de pièces de musique. Les compositeurs sont habitués à des représentations plus traditionnelles, notamment à base de pistes et d'événements placés sur ces pistes. Il est donc envisagé d'utiliser en même temps les deux représentations, celle des arbres et celle des pistes, car elles sont complémentaires pour la construction d'une pièce. L'édition sur l'une de ces représentations entraînerait des modifications sur l'autre, et inversement. L'intérêt de leur combinaison serait alors évident.

Résultats

Plusieurs projets d'interfaces ont été proposés aux étudiants de l'ENSERB, 2ème et 3ème année d'informatique, et à ceux de la Maîtrise d'informatique de l'Université Bordeaux 1. Un éditeur d'arbres, un éditeur de courbes pour paramétrer l'évolution d'effets dans le temps, et un éditeur de *patches* à la manière du logiciel MAX ont été réalisés. Des cahiers des charges précis ont été rédigés dans le but de développer ultérieurement un éditeur de sons avec boucles d'effets, un éditeur de « pistes » qui interagit avec l'éditeur d'arbres, et un éditeur de séquences d'événements MIDI ou pour d'autres protocoles similaires.

La valeur des interfaces développées par les étudiants est apparue clairement au cours d'une séance de démonstration devant des compositeurs. En l'état actuel, ces interfaces ne peuvent pas être utilisées pour la création de véritables pièces de musique, mais seulement pour quelques expériences autour des nos travaux. Cependant, elles ont suscité chez les musiciens un vif intérêt, d'une part parce qu'elles tiennent déjà quelques promesses en ce qui concerne la facilité d'utilisation et la compréhension de nos objectifs, et d'autre part parce qu'elles stimulent grandement l'imagination de tous, et de nouveaux projets voient alors le jour.

Perspectives

Dans le cadre d'un mémoire de D.E.A. du LaBRI, nous menons une étude comparée de différents modèles formels adaptés à la problématique de la programmation visuelle et son exécution en temps réel. Ce modèle doit résoudre les problèmes posés par le séquençement de messages MIDI et aussi par la synthèse sonore. Les modèles étudiés sont issus des axes de recherche sur la synchronisation de processus, simulation de circuits, architecture de machines, programmation visuelle.

Chapitre 4

Modèles formels pour l'analyse et la synthèse

Type d'activité : Recherche fondamentale.

Chercheurs : Myriam Desainte-Catherine, Sylvain Marchand, Robert Strandh.

Compositeurs : Christian Eloy, György Kurtag, Edgar Nicouleau, Jean-Michel Rivet.

4.1 Modélisation sonore et musicale en vue de l'analyse et la synthèse

Chercheurs : Myriam Desainte-Catherine, Sylvain Marchand, Robert Strandh.

Compositeur : Christian Eloy.

4.1.1 Présentation générale

Les langages de synthèse sonore sont basés sur des paradigmes de calcul divers. Un des objectifs de ce thème est d'étudier l'adéquation de ces paradigmes avec la description sonore et de produire un modèle performant à la fois sur le plan de l'efficacité et du confort de programmation, maintenance et réutilisabilité. Pour cela il faut trouver un bon modèle informatique du son, réaliste mais sans être trop complexe, ainsi qu'un modèle informatique de la musique (langage informatique musical). La synthèse consiste alors à passer de la musique au son, et l'analyse à réaliser l'opération inverse.

4.1.2 Résultats

Ces recherches, commencées en octobre 1997, sont toutes récentes. Dans un premier temps il est nécessaire de bien préciser les modèles utilisés pour le son et la musique. Le recensement préalable des propriétés, informatiques comme musicales, souhaitées pour le langage a conduit à l'identification d'objets de base à manipuler. Il apparaît que la modélisation du son est fondamentale. Deux modèles se dégagent : l'un temporel, l'autre spectral (le modèle spectral pouvant varier suivant le niveau d'analyse sonore et la psychoacoustique mis en jeu). Le modèle spectral est bien plus expressif et plus prometteur. Cependant, la quasi-totalité des sons se situent actuellement dans le modèle temporel. Or, si passer du modèle spectral au modèle temporel est assez aisé, le passage inverse est, lui, bien plus difficile. Pour l'instant des techniques dérivées de l'analyse de Fourier sont explorées, et un outil informatique est développé en parallèle. Des techniques moins classiques et plus complexes sont également à l'étude. La combinaison des deux

approches devrait permettre de convertir tout son dans le domaine spectral, éventuellement de manière semi-automatique.

4.1.3 Perspectives

L'objectif premier de ces recherches est d'élaborer un langage informatique clair et efficace permettant de manipuler le son musical. Basé sur des modèles pour le son et la musique efficaces et expressifs informatiquement comme musicalement, ce langage devra par ailleurs être accessible aux musiciens au moyen d'une programmation visuelle.

Une fois le modèle sonore précisé, le langage sera effectivement implanté, et des problèmes réputés difficiles pourront alors être approfondis, comme par exemple l'extraction de la partition musicale à partir d'un son numérique, la séparation de sources sonores, la structuration sonore et musicale, la synthèse expressive, etc.

4.2 Analyse et synthèse de musique électroacoustique

Des travaux d'analyses esthétiques¹ et poïétiques² sur des pièces du répertoire ou bien composées localement, sont menés par des équipes mixtes (compositeurs/chercheurs). Leur but est de mettre au point des méthodes de segmentation d'une pièce verticalement (par instruments) et horizontalement (dans le temps), et de lui donner une structure. En parallèle, une étude sur les stratégies d'écoute des compositeurs de musique électroacoustique en vue de découvrir les modèles sous-jacents de pièces musicales est envisagée.

4.2.1 Analyse poïétique de la chute d'Icare de Jean-Michel Rivet

Chercheur : Myriam Desainte-Catherine.

Compositeur : Jean-Michel Rivet.

Présentation générale

Les pièces de Jean-Michel Rivet ont pour origine un thème avec un scénario précis et chaque composition est un objet à forte symbolique. La composition de la "Chute d'Icare" a débuté par un écrit dont il est l'auteur et qui est lu en préambule à la pièce. Le sens guide la composition et le choix de chaque prise de son. Ainsi, si le son d'un "bateau" a été choisi, c'est par référence au bateau fabuleux construit par Dédale, le père d'Icare. C'est aussi le bateau de la peinture de Bruegel "La chute d'Icare". C'est encore une façon de construire le paysage avec son élément liquide où Icare finira sa chute. Les claquements de porte sont là pour symboliser le labyrinthe construit par Dédale où il est enfermé avec son fils avant de s'échapper. Le labyrinthe est un lieu clos représentant l'enfermement, le "dedans" et la souffrance intérieure. C'est la chute intérieure. Si le bateau est là pour donner une horizontale avec son déroulement sur de nombreuses secondes, le claquement de porte est une verticale violente qui vient briser l'espoir du vol menant à la liberté.

La volonté du compositeur est de garder le lien entre le son et son origine afin d'utiliser sa symbolique dans le discours musical. Les prises de son font partie du processus compositionnel. Elles sont étudiées précisément de façon à obtenir des sons riches qui peuvent être conservés tels quels dans la pièce. Par conséquent, les manipulations sonores sont restreintes à des modifications d'enveloppes d'amplitude et au montage.

1. Analyses selon l'écoute

2. Analyses selon la production

Nous avons travaillé à partir de la bande finale de la pièce et de documents élaborés par le compositeur au moment de la création. Nous nous sommes limités au deuxième mouvement. Nous avons d'abord élaboré une description graphique grossière sous la forme d'un dessin ressemblant vaguement au signal amplitude/temps et annoté par le compositeur pour indiquer les apparitions et les disparitions des sons dans le mixage. Cette première analyse permettant de passer de l'objet sonore à un objet graphique a été faite par le compositeur, à l'écoute de la bande pour déterminer approximativement les tops et grâce aux notes portées sur les documents pour nommer les sons. Les atomes de cette segmentation sont les prises de son. Ceci constitue une première segmentation verticale de l'extrait, chaque prise de son pouvant être considérée comme un instrument.

Résultats

L'inventaire et la classification des sons utilisés dans l'extrait ont permis de dégager des segmentations d'ordre supérieur. Aux paramètres habituellement considérés à des fins d'analyse (hauteurs, durées, amplitudes, timbres), nous avons dû ajouter le sens symbolique que le compositeur accorde à un son, en rapport avec le discours narratif de sa pièce. Ainsi, nous avons mis en évidence deux critères de choix d'un son pour cette pièce : l'origine du son étant liée symboliquement au sens de la pièce, et la forme du son, rapprochant ce dernier par son timbre, à un son de la catégorie précédente.

Nous avons élaboré des familles de sons selon ces deux critères, ce qui nous a permis de retrouver une structure hiérarchique de l'extrait de la pièce qui était dans l'intention du compositeur au moment de la création et qui avait été par la suite oubliée.

Il apparaît à la lecture de ces premiers résultats que la mise en forme des mouvements étudiés obéit à une logique interne et vient confirmer ce qui avait été réalisé de façon intuitive au moment de la création. En particulier, à l'écoute avec recul de ce mouvement, il a semblé au compositeur qu'il eût été nécessaire de laisser la pause centrale plus longue, et ceci a été confirmé ultérieurement par la mise en évidence d'une symétrie en ce point de la structure du discours.

Perspectives

Nous tentons à présent de pénétrer dans les prises de sons afin de déterminer quels sont les paramètres timbraux qui font sens pour le compositeur et nous étudions leur classification. Nous étudions aussi une sémantique de la structure de l'extrait de la pièce permettant de calculer les discours narratif et sonore à partir des familles de sons que nous avons identifiées.

Cadre formel : Ce travail a fait l'objet du mémoire de perfectionnement en composition électroacoustique du Conservatoire National de Région de Bordeaux de Jean-Michel Rivet.

4.2.2 Analyse esthétique formelle de “Balancement” de Pierre Henry

Chercheur : Myriam Desainte-Catherine.

Compositeur : Edgar Nicouleau.

Présentation générale

La pièce *Balancement* de Pierre Henry est peut-être la seule du répertoire à pouvoir être analysée aussi formellement et aussi précisément qu’une pièce de musique classique. Le résultat de l’analyse est une partition formelle approximant un extrait de la pièce de façon satisfaisante à l’oreille. La partition formelle de l’extrait a été validée par ordinateur. Ce programme, développé lors d’un projet de l’ENSERB, interprète des commandes de description de la partition formelle, construit des résultats sonores qui peuvent être écoutés ou sauvés dans des fichiers sons.

Résultats

Quatre-vingt-trois objets sonores ont été répertoriés et regroupés en onze familles. Ils s’expriment tous à partir d’un même atome : le craquement de la porte. Un formalisme commun à tous ces objets a pu être dégagé. Il permet d’exprimer

- l’évolution des hauteurs, des durées et des amplitudes de chaque objet sonore au moyen de courbes linéaires ou exponentielles,
- les durées des objets,
- la concaténation et la répétition d’objets.

Chaque craquement de la porte a été abstrait par une note. Trois valeurs de hauteurs (médium, grave et aigu), trois valeurs d’amplitudes (mezzoforte, forte et piano) et deux types de courbes permettent d’approcher les grincements de la porte qui deviennent, dans ce formalisme, analogues à des phrases musicales. L’utilisation d’un seul timbre, un son de tambour, fournit une bonne approximation sonore des objets.

Cette partition formelle a été validée par ordinateur, et par conséquent par l’oreille. Comme elle correspond tout à fait aux abstractions permettant l’écriture classique, nous proposons une représentation graphique (la figure p21 en représente un extrait) basée sur la notation musicale traditionnelle :

- Trois lignes de portée visualisent les trois hauteurs utilisées.
- Les amplitudes sont annotées sous la portée.
- Les notes constituant un même objet sonore sont attachées (en croches, double-croches, ...), la forme de leur lien symbolisant la forme de la courbe d’évolution des durées.

Perspectives

Ce travail a permis d’obtenir une première segmentation de la pièce avec une précision remarquable. Une analyse musicale peut maintenant être conduite sur cette base, en comparant les évolutions des paramètres des objets musicaux mis en évidence et en étudiant l’organisation à plusieurs niveaux de ces objets.

Cadre formel : Ce travail a fait l’objet du mémoire de Maîtrise de Musicologie de Bordeaux III d’Edgar Nicouleau.

4.2.3 Les stratégies d'écoute des compositeurs de musique électroacoustique

Chercheur : Myriam Desainte-Catherine.

Compositeur : György Kurtag.

Présentation générale

Dans son article “Analyse Musicale et conduite de réception”, François Delalande met en évidence une écoute-type qu’il appelle *recherche d’une loi d’organisation*. Cette stratégie d’écoute cherche à repérer un modèle sous-jacent représentant la pièce écoutée.

Nous supposons que ce type d’écoute ne peut être pratiqué que par des personnes qui sont en contact avec le processus de création (compositeurs, musicologues). Nous souhaitons étudier le lien entre ce type d’écoute et la richesse de la culture musicale ainsi que sa divergence avec les pratiques de composition.

Cette étude pourrait prendre la forme d’expériences avec des compositeurs telles que celles qui ont été menées au GRM par François Delalande, couplées avec des expériences d’écoute. Il s’agit d’isoler au préalable les concepts à étudier et de les mettre ensuite en forme dans ces deux expériences.

Perspectives

Les concepts à étudier peuvent être des extensions des *Unités sémiotiques temporelles* (U.S.T.) du MIM à un niveau plus macroscopique. Une collaboration avec le M.I.M sur ce sujet est en cours. Elle consiste à tenter de structurer les résultats obtenus par ce travail. D’abord, les termes choisis pour qualifier les U.S.T nous semblent trop symboliques et porteurs de sens susceptibles d’être différents selon les sujets. Une étude transversale des caractères associés aux unités pourrait fournir une classification et une structuration de ces dernières.

Nous envisageons de commencer par un travail sur les vagues. Nous allons comparer les vagues telles que les imagine György Kurtag avec celles de Jean-Michel Rivet, en particulier dans sa pièce *La chute d’Icare*. De plus, la modélisation de vagues qui est en cours de conception au sein de l’équipe d’informatique graphique du LaBRI par Bertrand Le Saëc pourrait être adaptée à des fins sonores et musicales. Les ondes sont modélisées par des boules ou des ellipsoïdes qui roulent à la surface de l’eau, leurs formes s’adaptant à la profondeur de l’eau. Au niveau sonore, la vitesse de déplacement correspondrait à la fréquence du son et la taille du rayon à l’amplitude. La forme du fond et la forme de la plage seraient des éléments perturbateurs qui donneraient une structure et une vie au son. La régression, la diffraction, les interférences et le déferlement sont d’autres types de perturbations possibles. Pour élaborer un son complexe, plusieurs trains d’ondes pourraient évoluer de façon indépendante sur le même fond qui garantirait une certaine cohérence à l’ensemble.

Au niveau macrostructurel, un train d’ondes pourrait procurer un développement cyclique à une structure sonore. Les évolutions en fréquences et en amplitudes seraient contrôlées par le train.

Chapitre 5

Modélisation du jeu de clavier

Type d'activité : Recherche fondamentale.

Chercheur : Robert Strandh.

Compositeur : György Kurtag.

5.1 Présentation générale

Le jeu de clavier est modélisé sous la forme d'un automate. Les états de l'automate représentent les configurations possibles des mains de l'instrumentiste. À chaque transition est associé un coût selon la difficulté physique de la transition. Si la transition est physiquement impossible, le coût est infini. Pour simplifier, nous supposons qu'une transition représente le changement de l'état d'une seule touche sur le clavier. Cette simplification ne représente pas de restriction, mais seulement une séquentialisation du contenu d'une transition plus compliquée.

Afin de conserver l'espace mémoire, deux configurations dont la différence est seulement un décalage sur le clavier sont représentées par un seul état, et les transitions sont étiquetées d'un décalage.

Il y a plusieurs façons possibles de déterminer les coûts associés aux transitions. Si l'on souhaite modéliser un individu particulier, ces coûts peuvent être calculés à partir d'un enregistrement MIDI du jeu de l'individu. Sinon, il est possible d'obtenir une estimation assez correcte en utilisant un autre modèle, à savoir un modèle physique de la main humaine.

5.2 Résultats

Ce travail est préliminaire. Des calculs initiaux indiquent que la taille de l'automate est raisonnable. Nous n'avons toujours pas d'implémentation du modèle, en particulier dû à la difficulté de calculer les coûts à partir d'un enregistrement MIDI.

5.3 Perspectives

Plusieurs utilisations de ce modèle sont envisageables.

Le modèle d'un individu peut être utilisé pour vérifier si l'exécution d'un morceau de musique est faite par l'individu en question.

En général nous prévoyons d'utiliser le modèle pour calculer une approximation du jeu soit d'individus particuliers, soit d'un instrumentiste générique d'une composition arbitraire.

Une extension possible du travail sera de modéliser d'autres types d'instruments, notamment le violon. Dans ce cas il faut d'abord une discrétisation de certains paramètres du jeu.

Chapitre 6

Développements d'outils

Type d'activité : Projet d'étudiants.

Chercheurs : Anthony Beurivé, Myriam Desainte-Catherine, Philippe Narbel, Bernard Perrot, Robert Strandh.

6.1 Reconnaissance de partitions musicales

Présentation générale

Ce travail fait partie d'un projet dont le but est de créer une bibliothèque électronique de partitions musicales. Il existe des logiciels similaires sur le marché, mais nous avons des objectifs entièrement différents.

D'abord, certains logiciels commerciaux génèrent un fichier au format MIDI. Ce format représente une perte considérable d'information concernant la partition. Nous avons choisi le format NIFF (Notation Interchange File Format), un format standardisé pour la représentation d'une partition.

Les logiciels commerciaux sont souvent utilisés non pour obtenir une bibliothèque mais pour rapidement pouvoir convertir quelques pages d'une partition en MIDI. Il est donc nécessaire pour ces logiciels d'être assez rapides. Pour obtenir cette rapidité, ils ont un taux d'erreur très important, nécessitant souvent une intervention humaine par la suite. Notre but est une automatisation quasi-totale de la reconnaissance, même si cela implique une performance modeste.

Résultats

Il s'agit d'un problème très difficile. Le but du projet était plutôt d'expérimenter avec des méthodes possibles. Nous n'avons toujours pas de logiciel distribuable.

Perspectives

Plusieurs méthodes de reconnaissance doivent être essayées et comparées. Les réseaux neuronaux, par exemple, représentent une méthode que nous n'avons toujours pas essayée.

6.2 Éditeur d'arbres, de pistes et de séquences

Présentation générale

Nous voulons faire cohabiter deux types de représentation de pièces de musique, à savoir une représentation arborescente et une représentation sous forme de pistes. La représentation arborescente est issue des travaux sur l'aide à la composition, dans le cadre d'arbres de dérivation de grammaires algébriques. La représentation en pistes est issue d'interfaces plus traditionnelles pour l'informatique musicale. Nous avons adapté cette représentation afin que les pistes correspondent à une observation des feuilles d'un arbre à une certaine profondeur. Ainsi, les éléments placés sur les pistes sont des parties entières de la pièce de musique. Cela n'est en rien réducteur puisque l'on autorise, dans la collaboration entre arbres et pistes, à changer interactivement la profondeur d'observation dans l'arbre, ce qui a une influence directe sur le niveau d'abstraction pour les pistes. De même, une mise à jour des éléments placés sur les pistes peut avoir une conséquence sur l'arbre de la pièce. L'édition de l'arbre permet le déplacement automatique de parties entières de la pièce, par une simple opération de découpage et de greffe de sous-arbres.

Pour agrémenter les arbres, structures un peu abstraites, par des objets musicaux concrets, nous avons également demandé aux étudiants l'intégration de séquences de type MIDI et de sons dans les feuilles des arbres. En ce qui concerne les sons, un éditeur dédié a fait l'objet d'un projet séparé. Pour les séquences MIDI, un étudiant a regardé en parallèle les différences entre la représentation par pistes et la représentation par des événements spécifiques aux protocoles de type MIDI.

Résultats

L'éditeur d'arbres a été bien réalisé, bien qu'il n'affiche encore que des arbres sans opérateurs temporels. Il laisse envisager des extensions prometteuses et une utilisation à la fois simple et puissante, surtout grâce à ses possibilités de modifier dynamiquement un arbre et de le réafficher automatiquement, correctement dessiné et placé à l'écran et ceci sans intervention de l'utilisateur.

La collaboration avec la représentation sous forme de pistes n'a donné lieu qu'à une spécification écrite, et cette partie reste à faire. Un cahier des charges a également été réalisé, décrivant un éditeur de séquences MIDI classique, mais avec quelques fonctionnalités originales.

Perspectives

Ce travail sera étendu dans les directions qui n'ont pas fait l'objet de développements. Notamment, nous voulons pouvoir afficher des séquences MIDI, des sons, des partitions ou toute autre information musicale pertinente, indépendamment sur l'arbre ou sur les pistes. Aussi, de nouveaux algorithmes de dessin et placement automatique d'arbres seront étudiés.

6.3 Éditeur de courbes comme paramètres d'effets dans le temps

Présentation générale

Ce projet concerne l'édition interactive de courbes dans le plan. En considérant l'axe des abscisses comme l'axe du temps, et en contraignant les courbes à être fonctionnelles, c'est-à-dire à ne posséder qu'un seul point pour une abscisse donnée, les courbes peuvent être interprétées comme des paramètres d'effets qui évoluent dans le temps. Notre objectif est l'utilisation de cet éditeur pour définir toutes sortes d'évolutions de données musicales dans le temps, que ce soient des enveloppes de volume, de panoramique, etc.

Résultats

Ce projet a démarré par des courbes très simples, qui ne répondaient pas aux objectifs un peu plus ambitieux de ce projet. Cependant, ces courbes se sont peu à peu étoffées en respectant des contraintes supplémentaires et en s'appliquant progressivement à quelques effets du son, volume et panoramique. Le produit final est nettement plus évolué qu'au départ, puisque les étudiants sont parvenus à définir des courbes qui sont des séquences d'autres courbes reliées les unes aux autres, chacune manipulable dynamiquement dans l'éditeur.

Perspectives

D'autres types de courbes, chacune avec ses propres propriétés, sont envisagés. Nous voulons aussi qu'une courbe soit accessible en tant que données pour un logiciel client extérieur, qui pourrait les interpréter arbitrairement et agir dessus. Nous pensons pouvoir diversifier leur utilisation dans plusieurs logiciels, et obtenir ainsi une méthode de paramétrage homogène à un groupe de logiciels.

6.4 Éditeur de sons

Présentation générale

Ce projet consiste à reprendre les grands principes des éditeurs de sons du commerce, à les regrouper et les adapter à nos besoins dans un logiciel passe-partout pour le traitement du son. Nous avons souhaité que ce logiciel emprunte aussi les qualités de l'éditeur de texte *emacs*, en matière de configuration et de gestion des modifications sur les données. De plus, il était nécessaire d'avoir des idées un peu plus originales, comme l'introduction de boucles d'effets logiciels, construites graphiquement et appliquées *à la demande*, ainsi que la notion de vues sur un son au milieu d'une boucle d'effet, ceci afin de percevoir dynamiquement le résultat d'un traitement le long de la boucle.

Résultats

Des étudiants ont réalisé un cahier des charges, mais n'ont pas développé le logiciel correspondant.

Perspectives

Le logiciel *snd* du CCRMA annonce les mêmes objectifs de base que ce projet, et est déjà bien avancé. Nous envisageons tout à fait de l'étendre au cours de futurs projets d'étudiants, et éviter ainsi les premières étapes du développement. Ce logiciel est distribué sous licence GPL, qui autorise notamment la modification et la distribution libre.

6.5 Mixer des sons suivant les capacités de la machine hôte

Présentation générale

L'écoute d'un montage sonore peut être réalisée à la suite d'un calcul complet du montage, ou bien à la volée, l'ordinateur calculant alors petit à petit ce qui doit être écouté. Cette dernière solution est intéressante si une petite partie du montage doit seulement être écoutée, mais est possible uniquement si la puissance de l'ordinateur permet le calcul en même temps que l'écoute. Dans le contexte de systèmes d'exploitation multi-utilisateurs tels que UNIX, une machine hôte ne fournit pas la même puissance quel que soit le temps et pour un processus donné, mais tente de répartir équitablement son temps de calcul selon les processus et les priorités.

Ce projet consistait à évaluer la capacité d'une machine hôte à réaliser à un instant donné le calcul et l'écoute d'un montage sonore. Le montage est découpé en parties plus ou moins difficiles, qui correspondent à des moments où plusieurs sons doivent être joués ensemble. Dans le cas où la machine est incapable de calculer et jouer en même temps une partie difficile, celle-ci peut être calculée d'avance, tandis que les parties plus simples ne le sont pas. Ainsi seulement les parties difficiles doivent être calculées à part, et non l'ensemble du montage à chaque fois.

Résultats

Ce projet n'a pas vraiment abouti car il demandait des connaissances trop profondes et trop diversifiées en systèmes d'exploitation et en traitement du son. Cependant, il est apparu clairement que dans le cadre d'arbres de montage, introduits dans le thème pour l'aide à la composition, une simplification d'un arbre est toujours possible, qui le ramène à une superposition de pistes, que l'on peut alors découper en parties faciles ou difficiles en fonction du nombre de sons simultanés.

6.6 Éditeur de partitions

Le but du projet Gsharp est de créer un éditeur de partitions musicales. Ce projet a pour objectifs les points suivants :

- Dans le but d'être extensible, Gsharp est écrit en Guile, le système de programmation de la Free Software Foundation. Ce système est basé sur le langage Scheme, ce qui donne un langage très puissant pour les extensions.
- Gsharp sera distribué selon la GPL (GNU General Public License). Ceci permet à l'utilisateur d'obtenir le code source du logiciel. Il aura le droit d'améliorer ce code à condition de distribuer les améliorations selon la GPL.
- Gsharp est un logiciel temp-réel dans le sens que chaque opération sur la partition est immédiatement prise en compte dans la mise en page de cette dernière.
- Les règles de la typographie musicale (music engraving) sont à la base des règles de mise en page.
- Le système d'affichage partage le code entre l'affichage sur l'écran et sur papier, ce qui donne une certaine garantie de la cohérence des deux présentations.
- Le système de fenêtrage X est utilisé pour l'affichage sur l'écran, ce qui permet l'exécution du logiciel sur un ordinateur distant.
- Pour obtenir une qualité exceptionnelle de l'affichage sur l'écran, nous utilisons des polices de caractères anti-crênelées. Ceci donne une définition virtuelle de quatre fois la définition physique de l'écran.
- Gsharp permet la manipulation simultanée de plusieurs partitions et le transfert de morceaux entre les partitions.
- Au cœur de Gsharp est un algorithme de réaffichage permettant la séparation totale entre les opérations sur une partition et la mise en page incrémentale de celle-ci. Ceci permet plus facilement d'écrire des extensions sans tenir compte de la mise en page.
- Gsharp contient la possibilité d'enregistrer des séquences de touches (macros) et de ré-exécuter les séquences enregistrées. Cette possibilité est très utile pour éviter la répétition manuelle de certaines séquences de touches.

6.6.1 Optimisation d'une bibliothèque d'affichage de partitions musicales

Présentation générale

Le but de ce projet était d'optimiser la performance de la partie affichage de l'éditeur. L'affichage est effectué par le système de fenêtrage X. Il est donc impératif de minimiser les données transitant par le réseau. La méthode utilisée est de comparer deux pages consécutives à afficher, et uniquement afficher la différence. Ceci est non trivial, car les objets graphiques se chevauchent en général sur la partition.

Résultats

Nous avons obtenu une amélioration considérable de la performance de l'affichage, et ceci sans modifier l'interface de la bibliothèque d'affichage. Le client de la bibliothèque affiche des pages entières consécutives et la bibliothèque optimise automatiquement l'affichage.

6.6.2 Extensions d'une bibliothèque d'affichage de partitions musicales à l'affichage du texte anti-crênelé

Présentation générale

Le but de ce projet était d'étendre la bibliothèque existante à l'affichage de caractères de texte. Pour cela il fallait générer des polices de caractères anti-crênelées à partir de sources Metafont. Avec cette méthode, il est possible d'obtenir une augmentation de la qualité d'affichage considérable sans augmenter le temps d'exécution par une phase d'anti-crênelage ultérieure. Notre méthode calcule l'anti-crênelage une seule fois pour générer les polices. Par la suite, l'affichage est aussi rapide qu'avec des polices classiques.

Résultats

L'objectif du projet est atteint. Il est maintenant possible de mélanger arbitrairement des caractères musicaux et des caractères de texte. Malheureusement, le code n'est pas encore intégré avec la bibliothèque optimisée.

6.6.3 Perspectives

La partie affichage de l'éditeur de partition est maintenant terminée, mais il reste encore une quantité considérable de travail sur les autres parties de l'éditeur.

6.7 Outil de manipulation de signaux sonores

Présentation générale

Le but de ce projet était la création d'une architecture d'un logiciel pour la manipulation de signaux sonores. L'architecture est modélisée sur l'éditeur de texte Emacs. Nous avons utilisé le système de programmation Guile pour la réalisation afin d'obtenir un langage d'extension assez puissant.

Un objectif explicite du projet était de pouvoir récupérer un fichier de sons d'un format quasiment arbitraire et de pouvoir extraire de ce fichier les données importantes afin de les manipuler ultérieurement. De cette manière, il n'est pas nécessaire pour le logiciel de contenir la connaissance sur le codage d'un format particulier.

Résultats

Grâce à l'architecture réalisée, le logiciel peut manipuler plusieurs fenêtres et plusieurs tampons simultanément. L'utilisateur peut écrire des extensions arbitraires en utilisant le langage Scheme (la base de Guile).

Le logiciel permet de paramétrer l'interprétation d'un fichier de sons. Les paramètres sont : l'ordre des octets dans un mot, la représentation d'un échantillon, le nombre de canaux et le décalage de l'en-tête éventuel.

Perspectives

La taille de ce projet est assez importante. Nous avons pour l'instant uniquement une architecture et non un logiciel complet. Maintenant, il faut remplir cette architecture de substance. Nous espérons faciliter cette tâche grâce au langage Guile.

6.8 Séparation Aveugle de Sources

Présentation générale

Des logiciels d'expérimentation de séparation aveugle de sources ont été réalisés autour de l'algorithme d'optimisation par "réseau de neurones" de Jutten et Héroult (Blind separation of sources, Signal Processing, 1991). Cet algorithme tente de séparer n sources à partir de n mélanges linéaires distincts avec comme hypothèse principale l'indépendance statistique des sources. Cette méthode se distingue d'une simple optimisation par gradient par le fait qu'elle intègre des éléments statistiques. En effet, les points fixes recherchés maximisent plutôt la probabilité d'avoir comme solutions des signaux de sortie indépendants. Les logiciels ont été développés afin de mieux comprendre cet algorithme adaptatif, de contrôler la qualité des solutions qu'il engendre, et de saisir les liens qu'entretennent ses nombreux paramètres.

Résultats

Les résultats obtenus ont été assez satisfaisants dans le cas de signaux engendrés artificiellement et vérifiant toutes les hypothèses requises. Par contre, une dégradation assez rapide a été observée lorsqu'elles ne le sont plus: la convergence de l'algorithme devient très hasardeuse. Néanmoins, l'ajustement des paramètres, et donc le "doigté" de l'expérimentateur, est apparu extrêmement important. Celui-ci a rendu possible la séparation dans des cas qui s'éloignent beaucoup de la situation idéale. Par exemple, une séparation assez convaincante a été obtenue à partir d'un mélange comprenant un concerto de Joseph Haydn et une chansonnette d'Iron Maiden.

Perspectives

La nécessité d'avoir à sa disposition n mélanges distincts des sources initiales est très rédhibitoire. Mais elle semble inévitable pour rendre la méthode "aveugle". Cependant, si le but est d'obtenir une séparation des sources par tous les moyens - ce qui se justifierait pour faire du remixage ou pour obtenir automatiquement des partitions -, on pourrait admettre une intervention plus "voyante" de l'utilisateur. Il s'agirait alors de lui fournir des moyens d'analyse pour l'aider dans sa tâche, par exemple, des outils de calcul autour de la notion de décorrélation ou des outils de navigation dans des espaces d'échelles des sources.

6.9 Analyse spectrale

Ces projets sont destinés à développer une palette de logiciels fournissant des techniques d'analyses spectrales. Il s'agit d'expérimenter ces logiciels afin de déterminer leurs conditions d'exploitation pour le son.

6.9.1 Analyse statistique de musique électroacoustique

Les étudiants ont développé un logiciel permettant de faire des mesures d'autocorrélation et d'intercorrélation sur un signal musical. Le logiciel permet de faire varier interactivement différents paramètres de la mesure (la taille et la forme des fenêtres). L'entrée du logiciel est un signal correspondant à la variation de la grandeur à mesurer. Sa sortie est composée de courbes représentant la densité spectrale de puissance et l'autocorrélation en fonction de la fréquence pour chaque fenêtre de calcul. L'intercorrélation est mesurée sur deux fenêtres différentes, choisies par l'utilisateur, d'un même signal.

6.9.2 Analyse dynamique de musique électroacoustique

Présentation générale

Le but de ce sujet était le développement d'un logiciel représentant graphiquement les portraits de phase de grandeurs musicales au sein d'une pièce de musique. L'étude des portraits de phase de mélodies monophoniques a été déjà faite par Daniel Boone . Plusieurs essais avec les amplitudes du signal initial, le carré des amplitudes, les taux de zéros etc., ont été réalisés.

Résultats

Nous avons découvert que la variation du signal lui-même fournit des courbes qui semblent caractéristiques de l'instrument analysé.

Perspectives

Ce sujet ouvre des voies à explorer dans le domaine de l'analyse et la synthèse de son. Une collaboration avec Vincent Lesbros est en cours pour adapter son logiciel de trajectoires sonores à des portraits de phase produits par analyse. En particulier, on peut remarquer que les attaques sont complexes et semblent correspondre à des attracteurs de dimension supérieure à trois.

Chapitre 7

Nouveaux projets envisagés

Chercheur : Myriam Desainte-Catherine.

Compositeur : György Kurtag.

1. L'association *La Puce à l'oreille* (Jean Schmutz et Jean Haury) a réalisé des capteurs gestuels pour handicapés moteur. Le projet consisterait à réaliser une base de données des gestes instrumentaux, aussi bien des virtuoses que des personnes profondément handicapées. Le but premier est la simulation pour l'aide à la conception et au positionnement des capteurs en fonction des gestes possibles.
2. Une étudiante des Beaux-arts, Marie-Laure Viel, a conçu un système permettant de visualiser des ondes sonores sur l'eau. Par la synthèse de son, on peut contrôler l'image animée de l'eau avec une grande précision de façon reproductible, obtenir des mouvements d'eau inhabituels, "plier" , "froisser" l'eau... Le projet consisterait à simuler le phénomène par ordinateur. Un tel système permettrait d'étudier le comportement de différentes matières, couleurs, formes, lumières.

Chapitre 8

Diffusion scientifique

Les nouvelles orientations de recherche dues à la collaboration entre artistes et scientifiques que procure le SCRIME n'ayant pas encore donné lieu à publications, nous fournissons ici une liste de publications antérieures des membres concernant les domaines liés à l'informatique musicale.

8.1 Conférences et séminaires

1. Séminaire UNESCO-UQAM sur la formation du créateur aux techniques nouvelles, Montréal 1989 – M.Desainte-Catherine, conférence invitée
2. Séminaire d'informatique, Université de Sherbrooke (Canada) 1991, *Modèles formels pour la résolution de contraintes musicales*, M.Desainte-Catherine.
3. Séminaire d'informatique théorique, UQAM (Montréal) 1991, *Modèles formels pour la résolution de contraintes musicales*, M.Desainte-Catherine.
4. ICMC (International Computer Music Conference), M.Desainte-Catherine, Montréal, 1991.
5. ECAI, Vienne (Autriche) 1992, *Analogical and symbolic representations of music knowledge*, M.Desainte-Catherine.
6. Simpósio Brasileiro de Computação e Música, Caxambu, Brésil 1994, *Incremental evaluation of musical hierarchies*, K.Barbar.
7. Journées d'Informatique Musicale, Paris, 1995, *Structure hiérarchique et relations temporelles d'une pièce de musique*, A.Beurivé.
8. JIM'96, Caen 1996, *The Hierarchical Structure May Improve the Resolution of Musical Problems*, M.Desainte-Catherine.

8.2 Publications

Revue internationale avec comité de lecture

1. *The semantics of musical hierarchies*, M.Desainte-Catherine, K.Barbar et A. Miniussi, Computer Music Journal, volume 17(4), p30-37, Décembre (1993).
2. *On the resolution of musical conflicts*, K. Barbar, M.Desainte-Catherine et A. Beurivé, Journal of New Music Research, 25(4) pp. 382-397 (1996).

Colloques internationaux avec comité de programme et actes

3. *Un langage déclaratif pour la composition musicale*, M.Desainte-Catherine, actes CMAI'90¹, Marseille, 1990, p281–290.
4. *The architecture of a Musical Composition System based on constraints resolution and graph rewriting*, M.Desainte-Catherine et R.Strandh, Actes d'ICMC'91².
5. *A representation of musical pieces based on attributed grammars*, M.Desainte-Catherine, K.Barbar et A.Miniussi, Actes de ECAI'92³ Workshop on Artificial Intelligence and Music, Vienne (Autriche), 1992.
6. *Incremental evaluation of musical hierarchies*, K.Barbar, A.Beurivé et M.Desainte-Catherine, Actes du premier Simpósio Brasileiro de Computação e Música, Caxambu, Brésil 1994, p99-105.

Colloques nationaux avec comité de programme et actes

7. *Structure hiérarchique et relations temporelles d'une pièce de musique*, K.Barbar, A.Beurivé et M.Desainte-Catherine, Actes des Journées d'Informatique Musicale, Paris, 1995.
8. *The Hierarchical Structure May Improve the Resolution of Musical Problems*, M.Desainte-Catherine, Journées d'Informatique Musicale, Caen, 1996.

Divers

9. *Using attribute grammars to find solutions for musical equational programs*, K.Barbar et M.Desainte-Catherine, rapport du LaBRI No 92-77 (1992).
10. *A Software architecture for musical composition by constraints resolution*, M.Desainte-Catherine, Rapport du Greco de Programmation du CNRS, No R.G.03.90, 1990.
11. *Un langage déclaratif pour spécifier l'instanciation Dynamique d'Objets: application à la composition musicale*, M.Desainte-Catherine, Rapport interne du LabRI URA 1304, No 8994, 1989.

1. Colloque Musique et Assistance Informatique
 2. International Computer Music Conference.
 3. European Conference on Artificial Intelligence