

Rapport d'activités du SCRIME

1 Présentation du SCRIME

Le SCRIME résulte d'une convention de partenariat entre le CNR¹, l'ENSEIRB² et l'Université Bordeaux 1. Le SCRIME a pour objectifs :

- de favoriser la collaboration entre scientifiques et artistes à des fins de recherche et de création. Les artistes bénéficient d'un transfert de connaissances scientifiques, et les scientifiques de l'expertise musicale des créateurs;
- de diffuser les résultats des recherches dans la communauté internationale;
- de favoriser la diffusion internationale des oeuvres artistiques;
- de promouvoir les collaborations scientifiques et artistiques avec d'autres centres de recherche et de création en France ou à l'étranger;
- de favoriser les actions pédagogiques dans les institutions partenaires ainsi que dans les autres établissements publics d'enseignement et de création à tous les niveaux.

1.1 Personnel du SCRIME

- Direction artistique : Christian Eloy;
- Direction scientifique et administrative : Myriam Desainte-Catherine;
- Secrétaire : Annick Alexaline (Contrat d'accompagnement vers l'emploi - CAE à plein temps, géré par l'Université Bordeaux 1 sur les crédits du SCRIME);
- Assistant ingénieur : Depuis janvier 2005 : Christian Faurens (géré par l'ENSEIRB à mi-temps);
- Ingénieur développement : Joseph Larralde (Contrat d'accompagnement vers l'emploi - CAE à plein temps, géré par l'Université Bordeaux 1 sur les crédits du SCRIME).

1.2 Chercheurs

Les chercheurs sont des permanents du LaBRI³ (Myriam Desainte-Catherine, Pierre Hanna, Sylvain Marchand et Robert Strandh), deux ATER (Martin Raspaud et Matthias Robine) et trois doctorants (Antoine Allombert, Joan Mouba et Guillaume Meurisse). Depuis 2004, trois compositeurs ont été admis en tant que chercheurs associés au LaBRI. Il s'agit de Christophe Havel, Gyorgy Kurtag et Egdar Nicouleau.

¹Conservatoire National de Région de Bordeaux

²Ecole Nationale Supérieure d'électronique, Informatique et Radiocommunication de Bordeaux

³Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique, UMR 5800

Locaux

Les studios du SCRIME ont été inaugurés en 2000. Ils sont situés dans la maison d'Élise, dans l'enceinte universitaire. Ces locaux comportent deux studios de composition et un studio de développement.

En 2004, l'université a aménagé une salle d'une cinquantaine de mètres carrés, située dans le château Bonnefont (à côté des studios du SCRIME), pour que le SCRIME l'utilise comme troisième studio de composition. Cette salle est maintenant équipée en multicanaux.

2 Recherche fondamentale

La recherche fondamentale scientifique du SCRIME s'effectue au LaBRI dans l'équipe Image et Son. De plus, le SCRIME développe des projets artistiques en collaboration avec les compositeurs. D'une manière générale, la recherche en informatique musicale est divisée en deux domaines assez disjoints: un domaine symbolique qui est lié à la modélisation de pièces musicales, de règles musicales dans le but d'une aide à l'analyse et à la composition; et un domaine sous-symbolique qui est lié à l'analyse, le traitement et la synthèse de sons. Nous abordons ces deux domaines en tentant de trouver des représentations compatibles pouvant cohabiter dans un même logiciel.

L'objectif principal des recherches du thème Modélisation du Son et de la Musique est de développer des modèles de sons et de partitions permettant diverses interactions en temps réel ou différé. Ces modèles pourraient donner lieu à de nouveaux instruments permettant l'interaction avec des pièces musicales sur support, ces interactions pouvant aller de la spatialisation des sources sonores du morceau jusqu'au jeu improvisé avec un musicien virtuel. Dans nos recherches, la priorité va à la compréhension (recherche fondamentale) plutôt qu'au traitement (ingénierie). Une fois les mécanismes fondamentaux compris, nous utilisons ces résultats dans de nombreuses applications, souvent implantées sous forme de logiciels libres développés sur systèmes d'exploitation UNIX (Linux, MacOS X). Ces logiciels sont destinés aussi bien aux scientifiques qu'aux musiciens.

2.1 Modélisation du Son

2.1.1 Modélisation à long terme

Basés sur les travaux d'Helmholtz et de Fourier, les modèles sinusoïdaux décomposent le son sous forme d'une somme de sinusoides (les partiels) dont les paramètres (fréquences et amplitudes) varient lentement dans le temps.

Les paramètres des partiels à chaque trame d'analyse constituent une représentation à court terme. Pour obtenir une représentation à long terme, il s'agit de reconstituer les évolutions dans le temps des paramètres des partiels à partir de la représentation à court terme. Cette phase est communément appelée le suivi de partiels.

La représentation sinusoïdale à long terme est essentielle pour de nombreuses applications comme par exemple le codage audio-numérique, la classification des sources sonores, ou les transformations musicales de grande qualité. Cependant, l'existant en matière d'algorithmes de suivi de partiels est assez limité. Nous avons proposé de nouveaux algorithmes basés sur l'exploration de trajectoires dans le futur, l'extrapolation des trajectoires futures basée sur la prédiction linéaire, et l'utilisation du contenu hautes fréquences des évolutions des paramètres des partiels.

Ainsi, par exemple, lors de l'analyse d'un son harmonique, seuls quelques paramètres sont extraits par un algorithme de suivi de partiels, en particulier la fréquence et l'amplitude des sinusoides qui composent le son à un moment donné. Mais il existe d'autres paramètres qui pourraient être extraits par un réanalyse des paramètres estimés lors de la première étape. De manière similaire, il doit être possible d'extraire hiérarchiquement des paramètres du son. Un modèle hiérarchique sonore permet de modéliser les sons à plusieurs niveaux, c'est-à-dire au niveau du son, mais aussi au niveau du contrôle du son, et au niveau des variations du contrôle. Cela permettrait d'agir à tous les niveaux sur le son, du microscopique au macroscopique. La thèse de Martin Raspaud a pour but de proposer un tel modèle pour réaliser un étirement temporel de grande qualité, en agissant sur tous les niveaux de la hiérarchie. Nous avons notamment proposé une technique d'étirement temporel préservant la hauteur, le timbre, et aussi les micro modulations présentes à l'intérieur du son (vibrato, trémolo). Les travaux actuels concernent

l'utilisation des évolutions des paramètres de contrôle comme critère de regroupement des sinusoïdes en "entité sonore".

La modélisation à très long terme est une perspective de recherche intéressante, notamment dans le cas de la voix parlée. Il s'agit par exemple de coder la totalité des évolutions de chaque partiel au cours d'un segment de parole (une voyelle, voire une phrase entière). Une collaboration en cours avec Laurent Girin de l'ICP laisse entrevoir des perspectives intéressantes pour le codage et la compression des sons de parole.

2.1.2 Modélisation de sons polyphoniques

Nos recherches se concentrent principalement sur l'étude d'une représentation structurée des sons polyphoniques. De nombreux sons issus d'instruments de musique ou de voix possèdent des modes de vibration qui peuvent chacun être modélisés sous la forme d'une sinusoïde dont les paramètres de fréquence et d'amplitude varient lentement au cours du temps. L'identification de ces partiels à partir d'un enregistrement numérique pose de nombreux problèmes dans le cas polyphonique. La prise en compte de la prédictabilité de l'évolution de ces paramètres ainsi que l'absence théorique de hautes fréquences dans ces mêmes évolutions ont permis de proposer des améliorations notables dans ce domaine.

Cette modélisation avancée de l'évolution des paramètres des partiels a été mise à profit pour l'interpolation longue de données manquantes avec pour application la restauration d'enregistrements et la transmission en "streaming".

L'étape suivante consiste à regrouper les partiels issus de la même entité sonore (note), chaque entité étant perçue par le système auditif humain non plus comme plusieurs sons simples mais comme un unique son complexe. Pour cela, on étudie de nombreux critères tels que l'apparition / disparition simultanée des partiels, la relation d'harmonicité entre les fréquences des partiels ainsi que l'évolution corrélée des paramètres des partiels. Ce dernier critère ayant l'avantage d'être générique, nous étudions des familles de métriques permettant la comparaison de partiels selon ce critère. Une plate-forme basée sur la base de données d'enregistrement d'instruments musicaux de l'IOWA, pour l'évaluation de ces métriques est actuellement en cours de développement. Les informations contenues dans les évolutions étant représentatives de l'expression de l'instrumentiste/locuteur. Ces métriques pourront être appliquées à la caractérisation de l'instrumentiste/locuteur.

De plus, la combinaison pertinente de l'ensemble des critères à l'aide de méthodes de classification statistiques est actuellement à l'étude pour proposer de nouvelles méthodes de séparation de sources.

2.1.3 Modèle unifié

L'essentiel des recherches a été consacré jusqu'à maintenant à la modélisation des parties périodiques du signal. Un son périodique de base, comme par exemple une sinusoïde pure, n'est pourtant pas un son naturel. Ce n'est que depuis quelques années que la partie bruitée du son est prise en considération. La qualité de rendu des sons n'en est que meilleure. Toutefois, la représentation de cette partie repose sur des hypothèses peu restrictives et approximatives, car les sons étudiés restent majoritairement des sons instrumentaux peu bruités.

Actuellement la plupart des modèles sonores sont des modèles hybrides. Ces modèles décomposent les sons sous la forme d'une somme de sinusoïdes variant lentement dans le temps (composante déterministe) d'une part, et d'une partie bruitée (composante stochastique) d'autre part. Ces modèles sont adaptés aux sons bruités, comme les sons naturels. Nous avons montré que la modélisation sinusoïdale, bien adaptée aux sons déterministes, pouvait également à court terme permettre de générer des sons bruités (modèle CNSS). Nous souhaitons maintenant définir un modèle spectral unifié, plus souple, où parties déterministe et stochastique seront indissociables.

Nous avons proposé une méthode d'analyse de la partie stochastique de tels sons. Cette méthode est basée sur une analyse à long terme des propriétés statistiques du spectre d'amplitude. Jusqu'à maintenant, la partie stochastique était obtenue à partir du son original par soustraction de la partie sinusoïdale, appelée résiduel. Cette nouvelle approche a l'avantage de ne plus être tributaire des erreurs d'analyse des paramètres sinusoïdaux. A l'issue de cette analyse, nous obtenons une représentation de la partie stochastique et de la partie déterministe sur l'échelle temps-fréquence. Nos travaux futurs vont porter sur le regroupement pré-symbolique des atomes temps-fréquence de cette représentation, en

fonction des propriétés statistiques qu'ils partagent. L'objectif étant de retrouver des entités sonores localisées dans le temps et en fréquence et ce, qu'elles soient bruitées ou sinusoïdales.

2.1.4 Synthèse sonore rapide

Nous avons travaillé sur des méthodes rapides de synthèse additive. Les modèles spectraux paramètrent le son au niveau de l'oreille interne et sont ainsi proches de la perception. À la base de ces modèles se trouve la synthèse additive, qui permet de reproduire fidèlement de nombreux sons naturels et de les manipuler. La structure de base de cette synthèse est le partiel, oscillateur quasi-sinusoïdal dont la fréquence et l'amplitude évoluent lentement dans le temps. La synthèse additive consiste à produire des échantillons d'un son en additionnant les signaux élémentaires de chaque oscillateur.

Si la synthèse additive est très souple, puisqu'elle permet de contrôler individuellement les paramètres sonores des oscillateurs, elle peut difficilement être utilisée pour traiter des sons particulièrement complexes, de spectre riche, car elle nécessite un temps de calcul important dans ce cas. Les méthodes traditionnellement utilisées pour ce type de synthèse sont le résonateur numérique ou la transformée de Fourier inverse. Même s'il existe des algorithmes efficaces, diminuer encore le temps de calcul pour la synthèse permet dans un contexte temps-réel de laisser plus de temps aux autres étapes du traitement du son, l'analyse et la transformation sonore.

Robine, Marchand et Strandh ont proposé une nouvelle méthode de synthèse sonore additive. Nommée PASS (*Polynomial Additive Sound Synthesis*), elle utilise des polynômes pour remplacer les fonctions sinusoïdales des oscillateurs. Les fonctions sinusoïdales de chaque oscillateur du son sont approchées par morceaux polynomiaux, ce qui amène la méthode à gérer des changements fréquents de coefficients polynomiaux. Une structure de données efficace, une file de priorité implémentée par un tas, a alors été utilisée pour gérer ces changements ainsi que la production des échantillons du son.

Les résultats de la méthode PASS sont encourageants, surtout quand les oscillateurs du signal sonore ont des fréquences basses. Nous avons alors proposé de combiner PASS avec la méthode du résonateur numérique dans une méthode hybride, afin d'exploiter les meilleures performances de chacune des méthodes en fonction des conditions de synthèse. Nous étudions maintenant les détails d'implémentation et les performances d'une telle méthode. L'algorithme du résonateur numérique, qui a servi de référence pour les comparaisons de temps de calcul avec PASS, fixe en pratique les paramètres sonores des oscillateurs sur de courtes fenêtres temporelles. En autorisant PASS à faire de même, il est possible de remplacer la gestion de la file de priorité des événements temporels par un tableau d'événements pré-calculé. Cette technique a déjà été utilisée, dans une application du PASS: Robine et Fréchet ont ainsi implémenté la méthode PASS dans le domaine de la synthèse réaliste de surfaces océaniques, améliorant de façon non négligeable les performances des techniques utilisées précédemment.

2.1.5 Modèle hiérarchique

Lors de l'analyse d'un son harmonique, seuls quelques paramètres sont extraits par un algorithme de suivi de partiels, en particulier la fréquence et l'amplitude des sinusoïdes qui composent le son à un moment donné. Mais il existe d'autres paramètres qui pourraient être extraits par une réanalyse des paramètres estimés lors de la première étape. De manière similaire, il doit être possible d'extraire hiérarchiquement des paramètres du son.

Un modèle hiérarchique sonore permet de modéliser les sons à plusieurs niveaux, c'est-à-dire au niveau du son, mais aussi au niveau du contrôle du son, et au niveau des variations du contrôle. Cela permettrait d'agir à tous les niveaux sur le son, du microscopique au macroscopique. La thèse de Martin Raspaud a pour but de proposer un tel modèle pour réaliser un étirement temporel de grande qualité, en agissant sur tous les niveaux de la hiérarchie. Nous avons notamment proposé une technique d'étirement temporel préservant la hauteur, le timbre, et aussi les micro modulations présentes à l'intérieur du son (vibrato, trémolo).

Ces évolutions de paramètres et leur micro modulations ont aussi été utilisées pour le regroupement de partiels en *entités sonores*. En effet, des évolutions similaires suggèrent une source d'émission commune, et donc probablement un son unique à l'origine.

Le modèle hiérarchique peut aussi être étendu aux mélodies musicales. En effet, la répétition de motifs fait partie intégrante de la musique. Il doit donc être possible de trouver un modèle pour ces

mélodies. Cette approche rajoute en fait un niveau musical à notre modèle hiérarchique. Les travaux récents étudient la décompositions des ces mélodies par bases d'ondes carrées qui, nous l'espérons, auront des propriétés musicales intéressantes.

2.1.6 Spatialisation sonore

Les scènes sonores sont souvent composées de différentes sources placées à des endroits différents de l'espace. Nous nous limitons pour l'instant au plan horizontal, et nous nous intéressons à l'angle d'arrivée (azimut) et à la distance perçue.

A partir d'un son stéréophonique, il est possible de retrouver le signal et la position de chaque source (localisation). Réciproquement, à partir d'un son monophonique et d'une position dans l'espace, il est possible de générer un couple de sons (son stéréophonique ou binaural) qui, écouté au casque, est perçu comme le son d'origine mais provenant de la direction indiquée (spatialisation).

Nous avons poursuivi les travaux de Viste, qui a proposé un modèle de localisation de sources sonores. Plus précisément, le modèle considéré relie des indices psycho-acoustiques spectraux à l'angle d'arrivée (azimut). Il se base sur une études des fonctions HRTF (Head-Related Transfer Functions), et dégage de ces fonctions (spécifiques à chaque individu) des caractéristiques générales. Initialement, ce modèle ne permettait pas de retrouver exactement l'énergie des sources sonores originelles. C'est désormais possible. De plus, nous rajoutons actuellement un moyen d'estimer, en plus de l'angle, la distance perçue entre la source et l'auditeur.

Nous avons proposé une méthode de localisation basée sur la construction d'un histogramme de puissance, couplé à un modèle de mélange de Gaussiennes (GMM), en utilisant un algorithme efficace (EM) et un filtrage spatial. Dans la plupart des cas réels, nous sommes en mesure d'isoler chaque source sonore en fonction de sa direction.

L'hypothèse fondamentale est l'indépendance des spectres à court-terme des signaux sources (Windowed-Disjoint Orthogonality ou WDO). Cette hypothèse n'est toutefois jamais parfaitement vérifiée en pratique. Rickard a proposé une évaluation du degré de WDO. Cette mesure révèle ainsi le degré de séparabilité. Des tests d'écoute seront nécessaires pour compléter l'évaluation.

A moyen terme, il sera possible de localiser et d'isoler les sources des scènes acoustiques, et de les respatiser à des positions différentes. Nous comptons étendre l'algorithme de spatialisation au cas de la multi-diffusion. Une collaboration avec Jean-Michel Rivet pourrait permettre à ce dernier d'utiliser ses enregistrements binauraux pour une multi-diffusion grandement facilitée, et contrôlée par exemple par le geste. L'ordinateur se chargera alors de répartir la puissance de chaque composante spectrale de chaque source sonore, en s'adaptant au système de diffusion, de manière à donner la sensation à l'auditeur que les sources sonores proviennent bien des directions choisies par le compositeur, et ce de manière optimale et automatique.

2.2 Modélisation de la Musique

2.2.1 Éditeur de partitions

Gsharp est en projet dont le but est la réalisation d'un éditeur de partitions de musique sous la forme de logiciel libre. C'est un projet ambitieux employant des algorithmes et des structures de données innovants. Durant l'année passée, plusieurs progrès sont à noter : un système de génération de polices de caractères à la volé a été implémenté, améliorant ainsi la qualité de l'impression de manière considérable. De nombreuses améliorations de la qualité de la présentation ont été effectuées (position des barres de croches, largeur des grappes de notes, position des clés). De nouvelles fonctionnalités ont été implémentées, comme les liaisons et la possibilité de changer la tonalité à des endroits arbitraires dans la partition. Finalement, un algorithme très rapide pour le découpage d'une partition en pages a été implémenté, permettant à Gsharp de traiter des partitions de très grande taille. Le travaux sur Gsharp durant l'année 2006 ont donné lieu à une publication à ASWEC2007 (à paraître, avril 2007), ainsi qu'à de nombreuses conférences dans plusieurs pays.

Alors que l'architecture de Gsharp est maintenant saine, il reste pourtant beaucoup de travail à effectuer. Ce travail est constitué de deux parties relativement différentes. La première partie concerne les fonctionnalités directement visibles par l'utilisateur. Un éditeur de partitions, afin d'être directement

utilisable par un compositeur ou par un musicien, doit contenir un grand nombre de ces fonctionnalités. L'implémentation de ces fonctionnalités ne pose pas de problème autre que la quantité de travail nécessaire, vu le nombre de fonctionnalités à réaliser. La deuxième partie concerne la structure interne de Gsharp. Afin de permettre à Gsharp d'évoluer par le biais de contributions par des développeurs indépendants ou par des utilisateurs avancés, il est important que cette structure soit modulaire, facile à comprendre, et facile à modifier. Une grande partie du travail pendant l'année à venir sera consacrée à cette deuxième partie, permettant ainsi un progrès encore plus rapide par la suite.

2.2.2 Modélisation de partitions

Dans le contexte de la musique contemporaine, nous souhaitons définir un modèle d'édition de partitions musicales adapté au processus incrémental de la création. Faisant suite aux recherches ayant donné lieu au logiciel BOXES validant un modèle d'édition avec optimisation de contraintes temporelles basées sur les relations de Allen, nous cherchons à introduire des événements interactifs dans la partition. Le modèle précédant est étendu et comprend donc des événements statiques et interactifs mis en cohérence temporelle au moyen de contraintes. Ainsi, le compositeur peut exprimer des propriétés concernant la pièce telle qu'elle devra être jouée, limitant ainsi l'espace de liberté de l'interprétation. Ce nouveau type de partition est appelé *partition interactive*.

Ces travaux se déroulent dans le cadre d'une thèse en collaboration avec l'IRCAM et ont donné lieu à un article en revue et deux articles en conférences internationales. De plus, le modèle d'édition de BOXES a été implémenté dans Open Music.

2.2.3 Modélisation hiérarchique d'instruments virtuels liant micro et macro-structures musicales

Nous nous intéressons dans ce sujet aux instruments virtuels offrant au musicien de larges possibilités d'interaction, permettant de contrôler les sons (hauteurs, durées, volumes, timbres), la musique (échelles, rythmes), ainsi que l'organisation temporelle de la partition interne. Cette complexité, due au grand nombre de contrôles possibles, est difficile à appréhender par un musicien et aucun modèle ne permet aujourd'hui de la gérer. Les instruments actuels sont développés en général dans le langage MAX. Or ce langage ne permet pas de structurer correctement les données et ne permet pas non plus une organisation de celles-ci dans le temps. Cela implique que les possibilités d'interactions de l'instrument sont toutes au même niveau, et en conséquence difficiles à appréhender par le musicien. De même, l'organisation temporelle n'apparaît pas clairement dans le programme.

Notre objectif est de bâtir un modèle plus proche de la pensée du compositeur qui permettra aussi une meilleure transmission de l'instrument au musicien, en introduisant une structuration des informations musicales, une organisation temporelle et une interface graphique intuitive lors de la performance.

L'interface musicale la plus complexe actuellement est le métainstrument qui va nous servir d'objet d'étude. C'est une interface Homme-Machine embarquée dédiée au jeu musical pouvant contrôler jusqu'à 54 paramètres simultanément. Les instruments développés pour le métainstrument sont actuellement difficiles à transmettre à un interprète et à sauvegarder pour plusieurs raisons. Premièrement, ils sont répartis sur du matériel (des synthétiseurs) et du logiciel (le langage MAX). Le projet RIAM de plateforme de développement 2PIM pour le métainstrument dans lequel ce sujet s'intègre a justement pour objectif de pallier cet inconvénient. Deuxièmement, les instruments sont développés dans le langage MAX dont les inconvénients ont été cités plus haut. Cela implique, en particulier, que les 54 contrôles de l'instrument sont tous au même niveau, et en conséquence difficiles à appréhender par le musicien. Certains paramètres sont utilisés pour contrôler des paramètres sonores (textures sonores, fréquences, paramètres de synthèse sonore, etc.) et musicaux (organisation mélodique ou rythmique, gammes, etc.), alors que d'autres servent à se déplacer dans la partition (notamment changer de section) et modifient par leur action l'environnement (l'ensemble des données) et donc l'effet des autres paramètres.

L'objectif principal de ce projet est de gérer cette complexité en proposant un modèle d'instruments permettant une organisation des contrôles et de toute donnée musicale en général, ainsi qu'une organisation temporelle, dans le but de faciliter le développement de nouveaux instruments, mais aussi pour faciliter la prise en main par un musicien d'un instrument. Ce résultat nouveau pourra s'appliquer à tout instrument virtuel, et non spécialement à ceux conçus pour le métainstrument. Au modèle de l'instrument

doit être associée une interface graphique intuitive grâce à laquelle le musicien pourra se repérer dans la partition en situation de jeu.

2.2.4 Analyse et évaluation du jeu instrumental

L'analyse du jeu instrumental est un sujet transverse, traité par de nombreuses études de biomécanique, de psychoacoustique, de musicologie ou d'informatique. Nous étudions la performance instrumentale dans un contexte académique (écoles de musique, pédagogie classique), à travers ses trois composantes principales: physique, technique et expressive. Cela nous permet de définir des protocoles et des méthodes d'analyse originaux et performants du jeu instrumental.

2.2.5 Le doigté au piano

Nous avons travaillé sur le doigté pianistique. Après avoir étudié de nombreuses études de biomécanique qui mettent en évidence les contraintes physiques de la main au piano, nous avons proposé une méthode de doigté automatique d'une mélodie qui utilise la programmation dynamique, ainsi qu'une nouvelle méthode de reconnaissance du doigté à partir de la performance pianistique. Cette dernière méthode utilise la programmation dynamique pour comparer la performance avec une base d'apprentissage, en intégrant des considérations biomécaniques.

Ces méthodes d'analyse du doigté n'ont pas encore été suffisamment évaluées. Nous prévoyons d'éprouver les résultats donnés sur des passages musicaux dont le doigté est connu, conventionnel. Le doigté des deux mains simultanées pourrait être aussi étudié, en rajoutant des contraintes physiques dans la résolution du problème. Il serait intéressant de savoir si avec notre méthode de reconnaissance de doigté il est possible d'aller jusqu'à reconnaître l'empreinte physico-technique d'une main donnée, à partir d'une performance pianistique éventuellement longue, et d'identifier ainsi un musicien à partir de son interprétation.

2.2.6 Le niveau technique des saxophonistes

Les travaux menés par Robine et Lagrange ont porté sur l'évaluation technique de saxophonistes. Nous avons proposé une nouvelle méthode automatique pour l'évaluation technique de saxophonistes, à partir de l'analyse de leurs performances. En fonction de leur réussite à des exercices instrumentaux simples, nous pouvons attribuer une note technique générale, interclasser et visualiser les résultats des musiciens. Après avoir analysé les paramètres sonores de fréquence et d'amplitude à partir de la performance, nous suivons pour cela l'évolution de ces paramètres, que nous évaluons avec des métriques respectant la perception. Ces travaux sur le saxophone tiennent fortement compte de la pédagogie de l'instrument. La méthode d'évaluation proposée est basée sur des exercices musicaux simples et pratiqués par tous les saxophonistes. Elle permet d'évaluer des interprètes, et de les classer parmi d'autres. Cette démarche a été validée par des professeurs de saxophone, et les résultats de notre évaluation automatique correspondent bien aux niveaux académiques des instrumentistes évalués.

À partir de ces travaux, nous envisageons de réaliser une méthode de tutorisation automatique qui intégrerait une méthode d'évaluation, un classement automatique et une visualisation des résultats. Pour proposer un logiciel complet d'auto-apprentissage par l'évaluation, il faudra aussi intégrer des exercices instrumentaux, ou des conseils pédagogiques, qui seraient proposés à l'élève en fonction de ses résultats techniques. Étant donné que la méthode d'évaluation proposée est basée sur l'étude de l'évolution des paramètres sonores dans le temps, elle peut être généralisée à tous les instruments entretenus (trompette, violon, ...), et même à la voix. Une autre perspective possible à cette recherche est l'étude de l'évolution du timbre: au lieu de suivre les évolutions de la fréquence fondamentale et de l'amplitude en fonction du temps, nous pourrions plutôt observer celle des différents partiels du son. L'évolution de l'enveloppe spectrale du son d'un instrumentiste ainsi observée donnerait de nouvelles informations sur la technique de l'élève, mais aussi sur la performance et le timbre du saxophone en général. Les phases d'attaque du son sont très importantes dans l'interprétation instrumentale et pourraient également être observées avec plus d'intérêt.

2.2.7 Similarité mélodique

Le nombre de documents musicaux disponibles en ligne est de plus en plus important et nécessite le développement de nouveaux moyens de recherche par le contenu musical. Actuellement, sur les moteurs de recherche habituels, seule une recherche par le nom d'un morceau ou d'un interprète est permise. De nouveaux systèmes commencent à apparaître tels que les systèmes de type *Query-by-Humming/Singing* qui proposent de retrouver les morceaux d'une base de données ressemblant le plus à une requête de base sifflée ou chantonnée (sites musipedia par exemple). Un morceau de musique représenté symboliquement (une partition) est principalement caractérisé par un rythme et une mélodie. Cette dernière apparaît donc être une propriété essentielle à prendre en compte lors d'une recherche par le contenu musical.

Au LaBRI, un algorithme classique dans le domaine de la recherche de motifs dans le texte et les séquences d'ADN a été adapté au contexte musical et amélioré. Il permet d'obtenir une mesure de la similarité mélodique entre des séquences musicales symboliques. Les résultats obtenus lors dans le cadre du MIREX 2006 (comparaison entre plusieurs algorithmes) sont très satisfaisants pour des pièces musicales monophoniques. Toutefois, il doit être amélioré sur le plan de la complexité, et il doit pouvoir considérer une base de données de pièces musicales polyphoniques, pièces pour lesquelles plusieurs notes peuvent alors être jouées au même moment.

3 Projets artistiques en collaboration

3.1 Logiciel de notation symbolique de la musique électroacoustique

Un groupe d'étudiants en 3ème année à l'ENSEIRB dirigés par Myriam Desainte Catherine travaille sur un projet de développement d'un logiciel de notation symbolique de la musique électroacoustique, encadrés par le compositeur Jean Louis Di Santo qui en assure la conception graphique et théorique. Ce compositeur, au cours d'un travail sur les Unités Sémiotiques Temporelles, a découvert l'unité minimale de la musique électroacoustique et les différents paramètres qui la composent (l'équivalent de la note en musique instrumentale), ce qui rend possible une notation symbolique, c'est à dire indépendante d'une représentation basée sur la forme d'onde ou sur le spectre.

Le but du logiciel sera prioritairement une représentation de type partition (il n'existe actuellement rien d'équivalent), ce qui peut ouvrir de nombreuses perspectives formelles aux compositeurs qui seraient intéressés, mais comportera peut être aussi quelques fonctions audio de base. Il s'appuiera, pour son développement, sur le logiciel déjà existant **Boxes**.

3.2 Dolabip : un instrument pour l'éveil musical

L'objectif de ce projet est le développement d'outils pédagogiques pour l'éveil musical en école publique permettant aux jeunes enfants de jouer dans un espace sonore virtuel au moyen de périphériques adaptés à leur motricité.

Nous avons décidé de procéder par étapes successives donnant lieu chacune à un outil dont l'objectif pédagogique est clairement défini.

- L'exploration sonore en solo est la première étape du projet. Cet outil est opérationnel et exploité pédagogiquement en écoles maternelles et primaires.
- La deuxième étape concerne le jeu à plusieurs enfants. Nous avons terminé le développement de la première maquette du logiciel "cartes" permettant de faire jouer plusieurs enfants sur un même espace sonore tout en pouvant se repérer visuellement. Cette maquette va être testée cette année en maternelle.

L'instrument est utilisé par des classes maternelle et élémentaires lors d'ateliers de découvertes sonores et musicales. Le passage du sonore au musical utilise actuellement un catalogue de gestes codant des types de jeux (jouer : tous ensemble; un petit groupe; seul; juxtaposer; empiler; imiter ...) ou des types de sons (court; droit; vague ...) élaboré au fil des ateliers. Les composants du catalogue sont aussi utilisés par les enfants comme outils de composition et de direction d'orchestre. Nous envisageons cette année

d'intégrer les U.S.T (Unités Sémiotiques Temporelles) développées par le MIM (le Laboratoire Musique et Informatique de Marseille) à ces dispositifs pédagogiques.

Nous envisageons une collaboration avec François Delalande pour l'exploitation pédagogique de ces outils avec les enfants, ainsi que la validation de nos méthodes.

3.3 Modélisation d'une percussion aérienne

L'objectif de ce projet est d'étudier et de modéliser la gestuelle d'un percussionniste afin de réaliser un nouvel instrument de percussion électronique sans matière frappée (percussion aérienne), pouvant être utilisé dans un dispositif musical associant des instrumentistes traditionnels (interprètes et improvisateurs) à un méta-instrument électroacoustique. Le dispositif actuel est constitué de deux capteurs tridimensionnels "Flocks of Birds" fixés à l'extrémité de baguettes de caisse claire, d'un ordinateur PC permettant l'acquisition des positions et travaillant en réseau avec un ordinateur Macintosh effectuant la synthèse sonore en temps réel. Après modélisation des différents types de coups de base à partir de mesures sur un percussionniste, un logiciel temps réel de détection des coups a été développé. Afin d'améliorer la réactivité du système, un étude a été entreprise en 2006 pour intégrer des accéléromètres; au vu des résultats obtenus ils seront prochainement ajoutés au dispositif. La percussion aérienne a été utilisée dans le cadre de plusieurs concerts en France et à l'étranger de l'ensemble Proxima Centauri (concerts à Belfast [festival sonorities], Tokyo, présentation de la percussion aérienne au SARC, à NIME 04 et à ICMC 05).

4 Logiciels

Les logiciels du SCRIME sont développés sur GNU-Linux et bientôt MacOS X et sont publiés sous la licence GPL. Ces logiciels sont accessibles depuis la page d'accueil du SCRIME.

- InSpect : logiciel d'analyse de sons musicaux développé par Sylvain Marchand. Une nouvelle version du logiciel d'analyse sonore *InSpect* est en cours de développement. Cette nouvelle version, qui prend en compte les avancées de la recherche dans le domaine, se veut portable (Linux, MacOS, voire Windows) et utilisable par le plus grand nombre à des fins scientifiques et / ou artistiques (<http://www.scrime.u-bordeaux.fr/InSpect/>)
- Boxes : logiciel de composition musicale combinant une représentation hiérarchique, des contraintes et des sons spectraux, développé par Anthony Beurivé (<http://dept-info.labri.u-bordeaux.fr/~beurive/BOXES/>)
- Dolabip : une version autonome avec une interface graphique en TCL/Tk par Laurent Kerhoas de la société Algory, retouchée par Anthony Beurivé (<http://www.scrime.u-bordeaux.fr/dolabip/>)
- Objets jmax : sas4jmax (incluant la spatialisation binaurale en trois dimensions de sons SAS), cnss4jmax (Colored Noise by Sums of Sinusoids), joystick4jmax, osc4jmax.

5 Publications se rapportant à la recherche depuis 2006

Livres ou Revues internationales avec comité de lecture

L. GIRIN, M. FIROUZMAND, AND S. MARCHAND, *Perceptual Long-Term Variable-Rate Sinusoidal Modeling of Speech*, IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, (2006). To appear.

M. LAGRANGE AND S. MARCHAND, *Estimating the Instantaneous Frequency of Sinusoidal Components Using Phase-Based Methods*, Journal of the Audio Engineering Society, (2007). (Accepted).

M. LAGRANGE, S. MARCHAND, AND J.-B. RAULT, *Enhancing the Tracking of Partial for the Sinusoidal Modeling of Polyphonic Sounds*, IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, (2006). To appear.

Communications et conférences

Matthias ROBINE and Mathieu LAGRANGE, “Evaluation of the Technical Level of Saxophone Performers by Considering the Evolution of Spectral Parameters of the Sound,” in *Proceedings of the International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR)*, Victoria, Canada, October 2006.

Matthias ROBINE and Jocelyn FRECHOT, “Fast Additive Sound Synthesis for Real-time Simulation of Ocean Surface,” in *Proceedings of the International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*, Budapest, Hungary, September 2006, pp. 223–226.

Sylvain MARCHAND and Mathieu LAGRANGE, “On the Equivalence of Phase-Based Methods for the Estimation of Instantaneous Frequency,” in *Proceedings of the 14th European Conference on Signal Processing (EUSIPCO’2006)*, Florence, Italy, September 2006.

Matthias ROBINE, Robert STRANDH, and Sylvain MARCHAND, “Fast Additive Sound Synthesis Using Polynomials,” in *Proceedings of the Digital Audio Effects (DAFx’06) Conference*, Montreal, Quebec, Canada, September 2006, pp. 181–186.

Guillaume MEURISSE, Pierre HANNA, and Sylvain MARCHAND, “A New Analysis Method for Sinusoids+Noise Spectral Models,” in *Proceedings of the Digital Audio Effects (DAFx’06) Conference*, Montreal, Quebec, Canada, September 2006, pp. 139–144.

Joan MOUBA and Sylvain MARCHAND, “A Source Localization/Separation/Respatialization System Based on Unsupervised Classification of Interaural Cues,” in *Proceedings of the Digital Audio Effects (DAFx’06) Conference*, Montreal, Quebec, Canada, September 2006, pp. 233–238.

Mathieu LAGRANGE and Sylvain MARCHAND, “Assessing the Quality of the Extraction and Tracking of Sinusoidal Components: Towards an Evaluation Methodology,” in *Proceedings of the Digital Audio Effects (DAFx’06) Conference*, Montreal, Quebec, Canada, September 2006, pp. 239–245.

Antoine ALLOMBERT, Gerard ASSAYAG, Myriam DESAINTE-CATHERINE, and Camilo RUEDA, “Concurrent Constraints Models for Interactive Scores,” in *Proceedings of Sound and Music Computing Conferences (SMC)*, GEMM, Marseille, France, 2006.

Thèses

Matthias ROBINE. *Analyse du Jeu Instrumental et Synthèse Sonore Rapide*. PhD thesis, LaBRI, Université Bordeaux 1, December 2006.

6 Rapport d’activités artistiques

6.1 Créations

La saison 2006 a été riche en créations puisque ce sont 11 pièces qui ont été créées par le SCRIME après avoir été composées dans ses studios :

- *Le destin des petits rien* - mixte 8 p - de Pascale Jakubowski, créé le 2 juin 2006;
- *La cicatrice d’Ulysse* - acousmatique 8 p - de C. Eloy, créé le 2 juin 2006;
- *Métamorphose 13* - mixte - de Christophe Havel, créé le 19 décembre 2006;
- *La dame du soleil* - mixte - de C. Eloy, créé le 19 décembre 2006;

- *Au nom du père* - acousmatique - d'Egar Nicouleau, créé le 2 juin 2006;
- *Roulements, rebonds* - acousmatique - de JL Di Santo, créé le 19 décembre 2006;
- *Ruthmos* - mixte - de JL Di Santo, créé le 2 juin 2006;
- *Radio sommeil* - mixte - d'Arnaud Romet, créé en décembre 2006;
- *Naufrage* - acousmatique - de J Rivet, créé le 19 décembre 2006;
- *Immanence* - mixte - de JL Di Santo, créé le 19 décembre 2006;
- *Ouverture* - acousmatique - de Bernard Baritaud, créé le 2 juin 2006.

6.2 Bilan

La qualité technique des studios et la gestion rigoureuse de ceux-ci a permis à 11 compositeurs de composer leurs pièces dans de bonnes conditions, dont certaines mettaient en oeuvre des moyens importants. Le dispositif de diffusion du SCRIME (16 voies) a permis la création de ces pièces dans d'excellentes conditions. Parallèlement 8 pièces d'étudiants du conservatoire ont pu être composées et créées pour le concours de fin d'année et reprises dans un concert.

6.3 Projets 2007

Un travail important de recherche musicale et de création est en cours avec des jeunes compositeurs sur les nouveaux instruments (Méta-instruments et Lémur), un nouveau studio spacieux vient d'être installé au LaBRI pour les accueillir. Les résultats artistiques seront donnés en création dans la prochaine saison, ils touchent en particulier le domaine du temps réel, de l'interaction et de la captation de gestes, ainsi que la relation du son et de l'image. Le récent recrutement d'un assistant musical très compétent sur l'emploi des nouvelles technologies, permettra de créer un plus grand nombre de pièces interactives. Le concert commun avec Proxima Centauri a permis de créer un nombre supérieur de pièces mixtes, cette collaboration sera étendue et renforcée pour la nouvelle saison.

6.4 Diffusion

Le nombre de concerts du SCRIME a été important cette saison, il est de plus de vingt manifestations publiques, elles ont touché la population locale (Talence et Bordeaux), mais aussi plusieurs villes en France et à l'étranger. Le SCRIME a su fidéliser un public que l'on retrouve régulièrement; certains lieux sont devenus des rendez-vous où nous faisons salle pleine (la Halle des Chartrons et le Forum de Talence). Une place toute particulière à la vidéo et les musiques réalisées pour celles-ci, a été donnée cette saison, avec un réel succès pour ces manifestations. Toute la communication (affiches, programmes) a été réalisée par nos soins avec nos propres moyens.

Calendrier des concerts de la saison 2006

- 28 novembre 2005 - Concert Lecture - Jean Michel Rivet
- 12 décembre 2005 Concert Lecture - Invités : Jeunes compositeurs
- 24 janvier 2006 - Concert Lecture - Invités : Jeunes compositeurs
- 26 janvier 2006 - Concert avec Vidéo aux Chartrons (invités Les Phonogénistes)
- 24 février 2006 - Concert SCRIME à Ixelles (B) - Soulié, Dumeaux, Eloy
- 21 mars 2006 - Concert Pousseur salle Vitez (Jeunes compositeurs)
- 22 mars 2006 - Concert Nuit de la Création salle Vitez (6 compositeurs)
- 3 avril 2006 - Concert Cité de la Musique à Marseille - Eloy

- 4 avril 2006 - Concert SCRIME / IMEB à l'Atelier - Soulié, Eloy, Rivet
- 12 avril 2006 - Concert Lecture - Invité : Guillaume Largillier - Lémur
- 25 avril 2006 - Concert Lecture - Invité : Jean Louis Di Santo
- 9 mai 2006 - Concert Lecture - Invité : Laurent Soulié
- 1 juin 2006 - Concert OFF - Halle des Chartrons - 8 compositeurs
- 2 juin 2006 - Concert pour les Scolaires de St Michel
- 2 juin 2006 - Concert Halle des Chartrons - Jakubowski, Nicouleau, Eloy
- 18 aout 2006 - Concert SCRIME au Festival Futura - Crest - 9 compositeurs
- 10 octobre 2006 - Concert SCRIME / AECME - CNSMD de Lyon - 2 compositeurs
- 28 octobre 2006 - Festival Musicacoustica - Pékin (Chine) - Eloy, Di Santo
- 29 octobre 2006 - Intervention colloque Musicacoustica - Pékin (Di Santo)
- 19 décembre 2006 - Concert SCRIME/Proxima - Chartrons - 4 compositeurs

6.5 Bilan

- 5 concerts à l'extérieur de Bordeaux (Lyon, Crest, Marseille), dont 2 à l'étranger (Belgique, Chine);
- 5 concerts à la Halle des Chartrons - 6 Concerts-lecture au Forum de Talence et à la salle Egypte - 3 concerts salle Vitez et à l'Atelier;
- 74 pièces musicales ont été jouées lors de ces concerts;
- 12 compositeurs confirmés du SCRIME ont été joués dans la saison;
- 20 jeunes compositeurs ont été joués dans la saison.

6.6 Projets 2007

La saison 2007 prévoit un nombre de concerts légèrement supérieur, avec cette même ambition d'équilibre entre jeunes créateurs et compositeurs confirmés. Les nouveaux projets *temps réel* devraient se multiplier et donner lieu à des concerts interactifs plus nombreux. Les collaborations entre l'école de communication ECV et les compositeurs se poursuivent, elles apportent une opportunité de professionnalisation aux jeunes compositeurs; le SCRIME valorise ces réalisations en les diffusant lors de ses concerts. La tenue du *Prix SCRIME 2007* et le concert des lauréats à l'Agora permettra de diffuser des jeunes compositeurs de stature internationale, et de mettre en place des échanges de programmation entre grandes institutions de la communauté électroacoustique mondiale.

7 Rapport d'activités pédagogiques

7.1 Modules Universitaires

7.1.1 Analyse et Synthèse du Son Musical

Le but de cet enseignement, proposé à l'Université Bordeaux 1 et à l'ENSEIRB, est de maîtriser les différents modèles mathématiques et techniques algorithmiques dans le domaine de l'analyse et de la synthèse du son musical (introduction au son numérique, domaine spectral, analyse de Fourier, psychoacoustique, spatialisation, synthèse, transformations du son musical, effets audionumériques, etc. . .). Cette année, une trentaine d'étudiants ont suivi cet enseignement (28h de cours et 28h de travaux dirigés).

7.1.2 Informatique Musicale: Contrôle et Composition

Le but de cet enseignement, proposé à l'Université Bordeaux 1 et à l'ENSEIRB, est d'acquérir des connaissances dans les divers aspects de l'informatique musicale (modèles, langages, outils, techniques, etc.). Cette année, une dizaine d'étudiants ont suivi cet enseignement (28h de cours et 28h de travaux dirigés).

7.2 Compositeurs

Les compositeurs du SCRIME présents sur le campus, ont bénéficié les étudiants de leur expérience de créateur, ils ont assuré 194 heures d'enseignement dans nos locaux maintenant équipés pour la pédagogie par petits groupes (6 postes de travail en double) :

- UE 416 - Université Bordeaux 1 1er cycle - 24 étudiants - 2 enseignants - 96 heures de studio
- ENSEIRB 8 étudiants - 2 enseignants - 24 heures de studio
- Atelier Culture 6 étudiants - 1 enseignant - 46 heures de studio
- Musicologie Bordeaux 3 Licence - 8 étudiants - 1 enseignant - 48 heures de studio
- Conservatoire de Bordeaux 8 étudiants - 2 enseignants - 201 heures de studio
- CEFEDM Aquitaine 8 étudiants - 1 enseignant - 32 heures de studio
- Ecoles primaires Talence 40 enfants - 2 enseignants - 20 heures de studio
- Ecoles primaires Saint Michel 180 enfants - 1 enseignant - 10 heures de studio
- SUAS Bordeaux 1 10 enfants - 1 enseignant - 12 heures de studio

7.2.1 Bilan

- 54 étudiants de l'université Bordeaux 1, ENSEIRB, et Bordeaux 3;
- 220 enfants d'écoles primaires - 11 intervenants enseignants - 207 heures d'enseignement soit 1259 heures d'occupation des studios (recherche, composition, enseignement, études).

7.2.2 Projets 2007

Les heures de vacation de l'université prévues cette année, devraient être sensiblement les mêmes. Une expérience intéressante de sensibilisation à la musique électroacoustique de la petite enfance devrait se poursuivre et s'étendre. Une extension des enseignements avec le SUAS de Bordeaux 1 devrait permettre de toucher le public des élèves de collège, plusieurs projets sont en cours dans ce sens (ateliers).