

L'UTILISATION DE MODÈLES INTERMÉDIAIRES DYNAMIQUES POUR LA SYNTHÈSE AUDIO-GRAPHIQUE

Vincent Goudard

LAM - Institut Jean le Rond
d'Alembert
vincent@mazirkat.org

Hugues Genevois

LAM - Institut Jean le Rond
d'Alembert
genevois@lam.jussieu.fr

Émilien Ghomi

LRI – Université Paris Sud 11
emilien.ghomi@lri.fr

RÉSUMÉ

Lors du développement d'instruments logiciels, la manière dont les données issues des interfaces gestuelles sont mises en relation avec les paramètres nécessaires au contrôle de la synthèse, ou mapping, a un rôle décisif dans l'ergonomie, la jouabilité et les possibilités expressives du dispositif. Les auteurs proposent une approche s'appuyant sur une conception logicielle modulaire.

Cette architecture vise à compléter ce nécessaire mapping par l'introduction de « Modèles Intermédiaires Dynamiques » dont l'objectif est d'améliorer et d'enrichir l'interaction musicien-instrument. Dans un tel schéma, ces modules s'insèrent entre ceux consacrés à la mise en forme des données issues des dispositifs d'interaction et les algorithmes de synthèse audio-graphique et de rendu son-image.

Dans le présent article, le cadre général de cette architecture logicielle ainsi que le concept de « Modèle Intermédiaire Dynamique » seront présentés et développés, appuyés sur une réflexion théorique en rappelant les origines. Ensuite, des exemples d'implémentation seront décrits plus en détail, ainsi que leur cadre d'utilisation. En conclusion, les auteurs évoqueront le programme de validation à mettre en œuvre, programme reposant sur une approche pluridisciplinaire prenant en compte les différents aspects de l'évaluation.

1. INTRODUCTION

1.1. Contexte et état de l'art

En inventant de nouveaux dispositifs de production musicale, le XXe siècle nous invite à repenser le concept d'instrument de musique. De nombreux travaux, en musicologie comme en informatique musicale, décrivent l'histoire et les enjeux de ces (r)évolutions [1], les conditions techniques de leur apparition et les formes inédites « d'instrumentalité » auxquelles ces nouvelles lutheries nous invitent [4]. Lors du passage de l'instrument « mécanique » à l'instrument électrique, électronique et, plus encore, informatique, s'est opérée une rupture des chaînes causales traditionnelles qui garantissaient la cohérence temporelle, spatiale et énergétique des interrelations geste-instrument-son [3].

Si les techniques de synthèse numériques ont fait d'incontestables progrès au cours des dernières décennies, puisque nous sommes aujourd'hui en mesure de synthétiser, en temps-réel, des signaux d'une grande variété pour simuler des instruments existants ou créer des timbres nouveaux, la question de l'expressivité et du jeu musical reste ouverte.

L'écart inévitable entre geste et production sonore induit par les dispositifs instrumentaux électroniques et numériques, rend nécessaire l'écriture des processus de cette mise en relation [?]. Ainsi, ce qui se trame, se tisse au moment de leur définition, de leur écriture, est déjà le fruit d'un premier geste musical.

1.2. Échelles temporelles et corporelles

Il semble possible de distinguer, même si c'est pour mieux les invalider par la suite, quatre phases, traditionnellement repérables, au cours desquelles se manifeste un geste de nature musicale [9] :

- Composition - la production de structures musicales hors-temps. Nous pensons que l'improvisation, lorsqu'elle cherche à ignorer l'existence d'une telle production, prend le risque de se soumettre plus brutalement encore aux schémas dont elle feint de s'affranchir.

- Lutherie - la réalisation de l'instrument et sa préparation pour le jeu (fabrication, accord, égalisation, réglages et ajustements des hauteurs et des sonorités).

- Interprétation - le jeu « instrumental » qui produit, modifie, mélange, dans le temps même de l'écoute, la matière sonore. On songe alors aux gestes les plus visibles : ceux de l'instrumentiste, du chef, de l'ingénieur du son.

- Écoute - l'écoute¹, enfin, qui construit l'intelligibilité de notre environnement sonore et se mobilise sans répit pour en garantir la cohérence.

On peut légitimement s'interroger sur la nécessité de donner au geste musical un champ d'action aussi vaste et donc une définition aussi peu efficace. Pourtant, la validité du « découpage » présenté ci-dessus n'est pas avérée. Les phases qu'il établit n'existent la plupart du temps que superposées, gommant partiellement les

¹ Si l'on considère que le geste est ce qui « fait signe », c'est à dire un type d'action visant à produire, construire, et/ou re-connaître du sens, alors l'écoute même est un geste.

frontières entre des catégories de gestes qui paraissent a priori faciles à énoncer. Même en restant dans un schéma strictement classique, le distinguo établi ci-dessus n'est pas aussi net et évident qu'il en a l'apparence. De plus, au travers de nouvelles formes de création artistique (musiques sur support, musiques interactives, etc.), les dernières décennies auront vu se briser le découpage énoncé, preuve, sans doute, de sa fragilité.

2. ORIGINE DU CONCEPT DE MODÈLE INTERMÉDIAIRE DYNAMIQUES (MID)

Depuis plusieurs décennies maintenant se développent des questionnements sur les interfaces homme-machine [2] et de nombreux travaux font état de recherches portant sur l'optimisation des couches et méthodes de mapping, même si les contours et limites exacts de la notion de mapping demeurent flous. Ainsi, des études comparatives sur ces différents types de mapping ont été publiées [11], définissant des catégories (one-to-one, one-to-many, etc.).

De manière générale, on peut considérer qu'un mapping classique, ou statique, est réductible à une opération matricielle : la multiplication d'un vecteur d'entrée (issu des valeurs fournies par les contrôleurs gestuels) par une matrice décrivant les opérations de mapping fournit le vecteur qui servira à élaborer les paramètres de pilotage de la synthèse.

$$\begin{array}{c} E_1 \\ \dots \\ E_n \end{array} \times \begin{array}{ccc} M_{1,1} & \dots & M_{1,n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ M_{m,1} & \dots & M_{m,n} \end{array} = \begin{array}{c} S_1 \\ \dots \\ S_m \end{array}$$

Figure 1. Mapping classique

De ce fait, le type et les caractéristiques du mapping seront liées aux propriétés de la matrice qui en est la traduction : diagonalité, triangularité, régularité...

Il convient de noter que d'autres approches sont possibles, certaines ne supposant pas l'explicitation de la mise en relation geste-synthèse, mais se fondant sur des techniques de reconnaissance gestuelle (réseaux de neurones, chaînes de Markov cachées...).

Chaque méthode a ses avantages et ses inconvénients. En ce qui nous concerne, nous avons cherché dans une direction un peu différente et complémentaire, en partant du principe qu'une synthèse vivante et cohérente nécessite des paramètres trop nombreux et évoluant trop rapidement pour être tous contrôlés directement par le musicien. D'autre part, il s'agit aussi de pouvoir piloter, dans le même geste, la

synthèse sonore, la synthèse graphique et leurs rendus (acoustique et visuel).

Lors des premiers développements et essais, des travaux allant dans la même direction ont été repérés [16] [7] et nous ont conforté dans l'idée qu'il y avait là quelque chose à approfondir, d'autant que certaines de ces recherches ont parfois donné lieu à des réalisations artistiques très convaincantes [3].

2.1. Généralisation du concept

Les objectifs visés par l'utilisation des MID [10] sont de différentes natures et conduisent à élaborer un cahier des charges en décrivant les aspects fonctionnels et structurels. Sans être exhaustif, nous évoquerons cependant quelques-unes de leurs caractéristiques essentielles :

- « augmenter » le geste en générant, à partir des données issues des capteurs, des flux de paramètres de contrôles (travail à des fréquences intermédiaires entre contrôle gestuel et fréquence du signal audio)
- s'intégrer dans une architecture logicielle modulaire respectant le caractère empirique de toute forme de lutherie (pouvoir tester différents types de synthèse à partir d'un même MID ou vice-versa)
- offrir une panoplie de modules correspondant à des besoins variés (échelles temporelles et logicielles en particulier)
- offrir plusieurs niveaux de monitoring et, si nécessaire, gérer avec les mêmes algorithmes différentes modalités sensorielles.

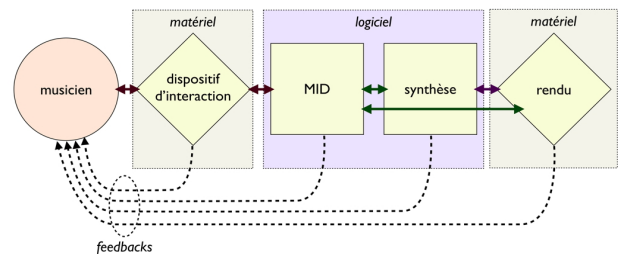


Figure 2. Schéma général du mapping avec MID

Dans une certaine mesure, le rôle d'un MID dans une chaîne de synthèse peut être rapproché de celui d'un archet, de la mécanique d'un piano, d'un bec de flûte, etc. Un violoncelle peut en effet être joué avec un archet comme il peut l'être avec les doigts (en pizzicati), et réciproquement, un archet peut servir à frotter et exciter autre chose d'une corde.

2.2. Typologie des MID

Nous l'avons vu, le concept de Modèle Intermédiaire Dynamique est, par construction, très général. Il doit notamment pouvoir être mis en œuvre dans le cadre des différentes tâches musicales envisagées, qui se traduisent par des processus sonores et musicaux à différentes échelles temporelles, ces différentes échelles

étant elles-mêmes à mettre en regard des échelles corporelles à considérer.

Pour cela, et aussi pour offrir une palette d'interactions et de traitements diversifiée, les MID peuvent s'inspirer de modèles développés dans différents domaines scientifiques, avec des comportements et des ergonomies très variées.

Dans un premier temps, nous avons mis l'accent, dans le cadre du projet OrJo², sur trois types de MID : basés sur des modèles « physiques », « topologiques » et « génétiques ».

Dans le cadre de cette présentation, nous ne décrirons pas les caractéristiques comparées de ces différents modèles pour mettre l'accent sur ceux qui ont déjà fait l'objet d'un développement et d'une implémentation opérationnelle.

3. MODÈLES INTERMÉDIAIRES DYNAMIQUES

3.1. Les MID : générateurs de mouvement(s)

Les processus à l'œuvre dans les MID opèrent sur plusieurs aspects de la transduction de mouvement attendue par un instrument de musique que nous détaillons ci-après.

- *la qualité de mouvement* : Pour donner un exemple acoustique, le plectre d'un instrument à corde apporte une qualité de pincement de corde et d'attaque sonore différente de celle des doigts. Cette micro-logique comportementale permet par ailleurs de transformer le déplacement de la main relativement linéaire en une variation particulière de ce mouvement, à savoir une succession de pincement dont le rythme est lié à l'espacement des cordes et la vitesse de la main. Les dispositifs d'interaction étant souvent dépourvu d'aspect de surface (une tablette graphique n'a pas la rugosité du crin d'un archet par exemple) les MID doivent intégrer cet aspect.

- *la non linéarité des mouvements* : La richesse d'un son est en partie liée à l'ensemble de phénomènes non-linéaires en action dans un instrument de musique et qui contribuent à rendre le son « vivant ». Ces non-linéarités en partie inhérentes aux matériaux dans les instruments acoustiques (et même électronique) font souvent « défaut » dans les instruments informatique aux valeurs digitales normalisées. Nous jouons à peine sur les mots en remarquant que ce sont justement les « défauts » que toute une veine de la musique électronique ira chercher pour produire une musique aux sonorités riches et inattendues, connue aujourd'hui sous plusieurs noms dont « glitch » (dysfonctionnement) semble être le plus reconnu [5]. Il faut ainsi ré-introduire saturations, exponentielles, distorsion, et autres « gigues » (anglais :

jitter) dans les fonctions de transfert des MID de la lutherie numérique.

- *la démultiplication du mouvement* : En agissant sur des modèles complexes, une variation unidimensionnelle peut être convertie en mouvement multidimensionnel et polyphonique. Pour reprendre l'analogie avec un instrument acoustique, un accord d'autant de notes que de cordes pourra être joué d'un seul geste sur une guitare. Cette démultiplication du mouvement peut agir autant dans la verticalité (polyphonie) que dans l'horizontalité (polyrythmie) de l'écriture musicale : on pourra par exemple contrôler une cible qu'un ensemble d'éléments atteindront à travers une logique de déplacement qui leur est propre.

3.2. Représentation mentale des MID

En tant que processus informatique, l'algorithme reste abstrait pour le musicien qui a besoin d'un modèle mental afin d'anticiper le résultat de ses actions (idéalement : « chanter » ce qu'il joue) et éviter la surcharge cognitive qu'entraînerait la manipulation directe d'un trop grand nombre de paramètres. Le modèle « mental » ne passe cependant pas par la compréhension intellectuelle de chacun des processus à l'œuvre, mais avant tout par la compréhension « corporelle » de l'objet manipulé. Cet « objet » mi-réel, mi-virtuel est composé du dispositif d'interaction et des algorithmes qui font corps. Au terme « paramètre d'entrée » nous préférons ainsi le terme de « poignée », ou de « point d'action » pour désigner la manière dont on « attrape » l'instrument que l'on manipule.

4. RENDU DES MID

4.1. Rendu audio

Pour sonifier la multitude de sources de mouvement générée par les MID, nous avons adapté des algorithmes de synthèse connus (Karplus-Strong, FM, granulaire) à une utilisation massivement polyphonique permettant d'utiliser des matrices pour contrôler de nombreux paramètres de synthèse parallèlement, sur plusieurs voix de polyphonie.

Pour cela, nous avons développé conjointement des outils permettant l'adaptation de valeurs entre les matrices de mouvement et les paramètres de synthèse qui permettent différentes stratégies d'utilisation des voix de polyphonie en cas de non adéquation du nombre de sources de mouvement au nombre de voix de polyphonie.

Également, divers cribles et courbes de fonctions de correspondance paramétrables permettent des mises à l'échelle ergonomiques entre données de mouvement et paramètres de synthèse, notamment en vue de l'utilisation possible des règles d'écriture de la tradition musicale (tonalité, divisions rythmiques).

²OrJo est un projet de recherche financé par le FEDER et le Conseil Régional Ile-de-France qui réunit comme partenaires : Puce-Muse, le LAM, le LIMSI et la société 3DLized. Il vise le développement d'instruments audiovisuels en vue de pratiques artistiques collectives.

4.2. Rendu graphique

Pour l'instant, nous avons concentré notre recherche sur des représentations graphiques qui aident à la compréhension du modèle manipulé et remplissent essentiellement une fonction de monitoring. Les MID n'ont pas nécessairement vocation à être visualisés, notamment s'ils sont inclus dans une ensemble plus vaste; par ailleurs, il existe plus d'une représentation possible pour un MID. Les modules assurant la synthèse graphique ont donc été séparés du modèle algorithmique afin de pouvoir changer la représentation visuelle, la séparer d'un rendu artistique ou de ne simplement pas les utiliser.

4.3. Autres

Les MID étant générateurs de mouvement, leur produit peut-être utilisé à des fins autre que la synthèse audio-graphique. Notamment, ils peuvent piloter des éléments externes comme des dispositifs acoustiques qu'ils iront exciter, des dispositifs de filtrage ou de spatialisations du son, ou bien produire un retour d'effort. Les possibilités sont multiples et dépassent vraisemblablement le cadre des développements entrepris dans la phase de notre recherche actuelle.

5. IMPLÉMENTATION DES MID DANS LA MÉTA-MALLETTE

Nous présentons ici l'implémentation de deux MID dans la Méta-Mallette, en tentant de donner une idée concrète quoique limitée de l'utilisation des MID comme outil de lutherie numérique expérimentale.

5.1. La Méta-Mallette

La Méta-Mallette est un dispositif permettant de jouer musiques et images assistées par ordinateur en temps réel et à plusieurs [15]. L'environnement logiciel Méta-Mallette permet de charger des instruments virtuels jouable avec des interface de type joystick, tablette graphique ou encore des interfaces plus expertes comme le Méta-Instrument [14].

Jusqu'à présent, les instruments développés pour la Méta-Mallette incluait directement tous les éléments de la chaîne allant de l'instrumentiste au rendu sonore et graphique. Les dernières évolutions du logiciel permettent aujourd'hui de dissocier ces éléments pour les reconnecter différemment et ouvrir la voie à de nouvelles expérimentations. Le travail réalisé au LAM dans le cadre du projet OrJo a justement pour objectif de développer des éléments de lutherie numérique qui rendront facilement possible l'expérimentation empirique, nécessaire à la lutherie.

5.2. MID « Roulette » et « Verlet »

Nous allons tenter de présenter *textuellement* un exemple d'implémentation de MID dans la Méta-

Mallette. Les lecteurs intéressés auront cependant intérêt à aller écouter et voir les éléments que nous tentons de décrire ici³. L'exemple consiste en une tablette graphique qui agit sur la succession de deux MID en cascade et suivis d'un module de synthèse.

5.2.1. Exemple de MID 1 : Roulette

Le premier MID nommé "Roulette" est un modèle géométrique inspiré de la roulette de Pascal⁴, et consiste un polygone régulier qui peut se mouvoir selon les modes suivants :

- bascule autour d'une de ses arêtes
- glissement le long d'une de ses faces
- mouvement pendulaire autour d'un axe

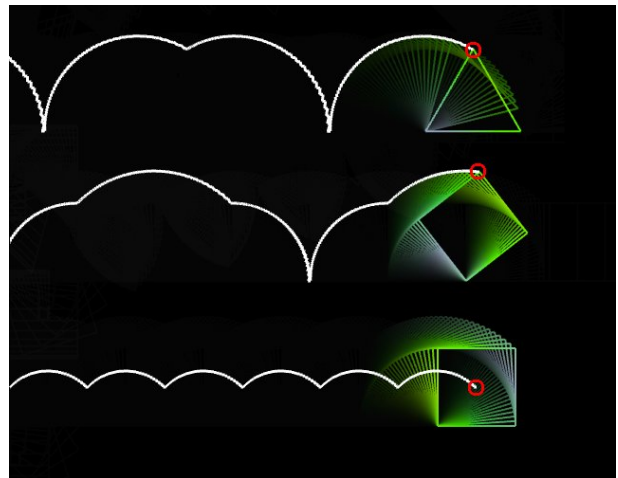


Figure 3. Courbes de trajectoires engendrées par la bascule du MID « Roulette »

Ces primitives de mouvement ont des courbes d'évolution temporelle paramétrables qui joueront sur la qualité du mouvement induit. Par exemple, le mouvement de glissement aura l'air d'une chute, d'un élan, ou d'un simple déplacement selon l'évolution linéaire ou quadratique de sa vitesse.

Bien que ressemblant à un modèle physique, ce modèle s'en différencie par des évolutions de mouvement dont les périodes temporelles sont définies strictement, permettent un jeu rythmique respectant une pulsation, et surtout par l'absence de contrainte pseudo-physique qui permet de sortir à tout moment de la « règle » apparente.

Les points d'action de l'instrument Roulette sont :

- la position de la cible que le polygone cherchera à atteindre
- la sélection du type de mouvement à effectuer
- la diamètre du polygone et son nombre de faces
- sa position et son orientation
- les durées de chaque type de mouvement

³ Les éléments logiciels développés dans le cadre du projet OrJo seront mis en ligne sur le site web du LAM : <http://www.lam.jussieu.fr>

⁴ La roulette est une généralisation des cycloïdes qui doit son nom au Traité de la Roulette écrit par Blaise Pascal en 1659

Les points de réaction (ou paramètres de sortie) de ce modèle sont :

- le diamètre du polygone et son nombre de face
- sa position et son orientation
- la progression du mouvement en cours
- la fin du mouvement

5.2.2. Exemple de MID 2 : Verlet

Le second module nommé « Verlet » est basé sur l'algorithme pseudo-physique de Verlet⁵. Il permet de modéliser une structure de points reliés par des liaisons élastiques. Ce modèle squelettique est contenu dans une boîte avec laquelle il peut entrer en collision.

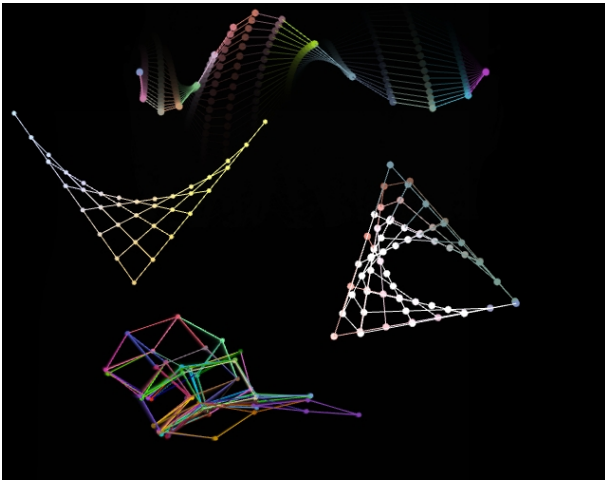


Figure 4. Différentes configurations de Verlet

Les points d'action de l'instrument Verlet sont :

- la position et l'orientation de la boîte
- les dimensions de la boîte
- la longueur et la rigidité des liaisons élastiques
- la grandeur et l'orientation de la force appliquée aux points du modèle

Les points de réaction (ou paramètres de sortie) du MID Verlet sont :

- une matrice contenant la position de tous les points du modèle
- une matrice contenant la vitesse des impacts des points sur la boîte

5.3. Interconnexion des MID

Dans la chaîne d'interaction évoquée précédemment, l'instrumentiste agit sur le modèle de roulette qui transforme la nature de son mouvement : en déplaçant la cible sur une tablette graphique, le modèle de Roulette réagit en se déplaçant avec un comportement prévisible, mais qui lui est propre.

Son mouvement pourrait être directement utilisé pour contrôler l'algorithme de synthèse sonore, mais dans cet

exemple, il est ré-utilisé pour contrôler un deuxième MID : la position et l'orientation du polygone de la roulette contrôle la position et l'orientation de la boîte du MID Verlet.

Ainsi, les mouvements percussifs engendrés par un mouvement de bascule du polygone de Roulette engendreront une multitude de micro-mouvements générés par l'algorithme de Verlet « secoué » par l'algorithme de Roulette. L'instrumentiste peut ainsi contrôler d'un geste simple un processus intuitif qui complexifie son geste et génère un ensemble de mouvements complexe.

Remarquons que le chaînage de ces deux modules aurait pu être réalisé dans l'ordre inverse, c'est à dire en contrôlant avec la tablette graphique un modèle de Verlet qui contrôle en aval une multitude de Roulettes. Il est en fait possible de répéter cette opération autant de fois que la puissance de calcul de la machine le permet.

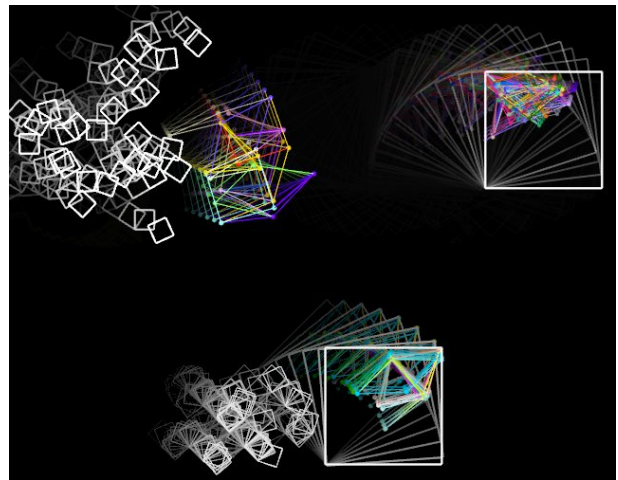


Figure 5. Interconnexions entre les modèles :

- 1 : Verlet→Roulette, 2 : Roulette→Verlet,
- 3 : Roulette→Verlet→Roulette

5.4. Synthèse audio

L'algorithme de synthèse utilisé dans cet exemple est basé sur le modèle de corde pincée de Karplus-Strong [12, 13], dans lequel nous avons inséré un mécanisme de compensation de gain dans la boucle de feedback, permettant de compenser l'amortissement fonction de la fréquence fondamentale, et contrôler ainsi indépendamment durée de résonance et filtrage des harmoniques. L'environnement de la Méta-Mallette permet de brancher sur l'algorithme aussi bien des données issues du modèle de Verlet, que de Roulette, ou même directement du dispositif d'interaction. Cette multiplicité d'accès aux paramètres finaux de synthèse sonore est l'aspect indispensable de l'ajustement empirique nécessaire à la lutherie de l'instrument complet.

⁵ Ce schéma d'intégration numérique a été développé en 1967 par le physicien Loup Verlet

6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La réussite du programme OrJo, dans lequel s'inscrit cette recherche, suppose à la fois de développer des instruments nouveaux mais aussi d'en évaluer l'intérêt, la richesse, la généricité, aussi bien d'un point de vue artistique (création et pédagogie), qu'en tant que modèles d'interaction susceptibles d'être généralisés à d'autres domaines d'interaction homme-machine. D'ici la fin du projet, une ou plusieurs méthodes d'évaluation devront donc être élaborées.

6.1. Évaluation des MID

Si toute démarche scientifique suppose de pouvoir valider les hypothèses énoncées, si tout travail d'ingénierie implique d'évaluer le résultat des développements, la tâche n'est toutefois pas simple dès lors que l'on s'intéresse à un dispositif complexe (modulaire, mi-matériel, mi-logiciel) destiné à devenir un instrument de musique, c'est-à-dire considéré comme tel, au moins par son utilisateur, sinon par son entourage!

Dans le domaine des instruments de musique, l'histoire, notamment au XIX^e siècle, fait montre d'une activité inventive considérable avec des succès notables (saxophone, accordéon...) et des échecs plus ou moins retentissants. Or il a parfois fallu plusieurs décennies pour que certains instruments soient acceptés. Il convient donc d'être particulièrement prudent en ce qui concerne toute évaluation hâtive.

Contrairement à beaucoup d'autres dispositifs et outils, les instruments de musique nécessitent généralement un temps d'apprentissage relativement long. On peut considérer qu'il s'agit d'un défaut lié à une ergonomie déficiente... on peut aussi penser, a contrario, que c'est précisément ce long apprentissage de la variété et de la subtilité des sonorités pouvant être produites qui fait la richesse et l'expressivité d'un instrument.

Toutefois, le fait de pouvoir programmer et choisir des MID plus ou moins complexes nous permet d'espérer des phases d'apprentissage en adéquation avec les différentes situations artistiques et pédagogiques visées (découverte, apprentissage, orchestre amateur, orchestre professionnel, etc...). En particulier, nous avons déjà pu constater des différences notables d'appréciation selon qu'il s'agit d'un usage solo ou dans le cadre de pratiques collectives, dans le Méta-Orchestre⁶ par exemple. Un travail d'enquête a en effet été conduit, dans le cadre d'un projet précédent, qui visait à mieux comprendre la notion d'instrumentalité à

⁶Le Méta-Orchestre est un orchestre électronique destiné à jouer des œuvres audiovisuelles nécessitant un jeu collectif. Il a été créé par Serge de Laubier en 2007 pour expérimenter de nouvelles formes d'écritures artistique et s'est déjà produit dans différents contextes (salles de concert ou église, plein air). Techniquement, il repose sur une architecture logicielle, la Méta-Mallette, utilisée aussi dans des contextes pédagogiques ou « ludo-éducatifs », ainsi que sur des interfaces gestuelles du commerce (joysticks, gamepads, tablettes graphiques...).

travers l'analyse d'entretiens portant sur la question de l'instrument et étudiés avec les outils de la psycholinguistique [4]. Ce travail devra être complété, approfondi, et comparé à des travaux ayant trait, en partie au moins, aux mêmes problématiques [18].

Par ailleurs, nous chercherons, dans les méthodes d'évaluation mises en œuvre dans les recherches en IHM [2] et en informatique musicale [6], des outils d'analyse pertinents par rapport à nos objectifs. Au delà de la grammaire sonore établie par Schaeffer [17], les Unités Sémiotiques Temporelles [8] proposées par le MIM nous paraissent un outil intéressant pour l'évaluation de la facilité et des possibilités qu'offre un instrument au musicien pour réaliser des formes musicales variées. Dans tous les cas, le paradigme de l'évaluation [19] nous paraît un point de vue efficace pour traiter des questions de ce type.

6.2. Limitations et perspectives

Si on pose la question à un luthier de savoir si c'est la qualité du bois, de la colle ou du vernis qui fait un bon violon, il répondra peut-être que le facteur essentiel est l'assemblage précis de tous ces éléments. L'approche modulaire a ses limitations quand on sait l'importance de l'inter- et la rétro-action des éléments constitutifs d'un bon instrument. Néanmoins, nous espérons que les développements décrits dans cet article seront utiles à l'expérimentation et que leur disponibilité dans un environnement comme la Méta-Mallette permettra leur utilisation par un grand nombre de luthiers numériques, chercheurs, compositeurs et musiciens, tout en favorisant l'échange entre ces différents acteurs sur ce terrain encore en friche.

7. RÉFÉRENCES

- [1] Battier, M. « L'approche gestuelle dans l'histoire de la lutherie électronique. Etude de cas : le theremin », in *Les nouveaux gestes de la musique*, H. Genevois et R. de Vivo (eds). Editions Parenthèses, 139-156, 1999.
- [2] Beaudouin-Lafon, M. « Moins d'interface pour plus d'interaction », *Interfaces Homme-Machine et Création Musicale*, H. Vinet et F. Delalande (eds), Hermès, 123-141, (1999).
- [3] Cadoz, C. « Musique, geste, technologie », *Les nouveaux gestes de la musique*, H. Genevois et R. de Vivo (eds), Éditions Parenthèses, 47-92, (1999).
- [4] Cance, C., Genevois, H., Dubois, D. « What is instrumentality in new digital musical devices? A contribution from cognitive linguistics and psychology », *Actes du congrès CIM09*, à paraître dans « La musique et ses instruments » (2011).
- [5] Cascone, K, « The Aesthetics of Failure: « Post-Digital » Tendencies in Contemporary Computer Music », *Computer Music Journal*, 24:4, pp. 12–18, The MIT Press, 2000
- [6] Castagne, N., Cadoz, C. « 10 criteria for evaluating physical modelling schemes ». in *DAFX'03: Proc. of the 2003 conf. on Digital Audio Effects*, 2003.
- [7] Couturier, J-M., *Utilisation avancée d'interfaces graphiques dans le contrôle gestuel de processus*

sonores, thèse, Université de la Méditerranée, Marseille, 2004.

- [8] Frémiot, M., et al., *Les Unités Sémiotiques Temporelles – Éléments nouveaux d'analyse musicale*. Editions MIM, Document Musurgia, 1996.
- [9] Genevois, H., « Geste et pensée musicale : de l'outil à l'instrument », *Les nouveaux gestes de la musique*, H. Genevois et R. de Vivo (éds), Marseille : Éditions Parenthèses, 1999, p. 35-45
- [10] Ghomi, E. « Utilisation de modèles intermédiaires pour le mapping de paramètres de synthèse », rapport de maîtrise ATIAM, (2006)
- [11] Hunt, A., Wanderley, M. M., Paradis, M. « The importance of parameter mapping in electronic instrument design ». in *NIME '02: Proc. of the 2002 conf. on New interfaces for musical expression*, pages 1–6, Singapore, Singapore, 2002. National University of Singapore
- [12] Jaffe, D. A., Smith, J. O., « Extensions of the Karplus-Strong plucked string algorithm, » *Computer Music J.*, vol. 7, no. 2, pp. 56–69, 1983.
- [13] Karplus, K., Strong, A., « Digital synthesis of plucked string and drum timbres, » *Computer Music J.*, vol. 7, no. 2, pp. 43–45, 1983.
- [14] de Laubier, S., Goudard, V. « Puce Muse - La Méta-Mallette », *Proceedings of Journées d'Informatique Musicale (JIM2007)*, Lyon, 2007
- [15] de Laubier, S., Goudard, V. « Meta-Instrument 3 : a look over 17 years of practice », *Proceedings of NIME '06*, Paris, 2006
- [16] Momeni, A., Henry, C. « Dynamic Independent Mapping Layers for Concurrent Control of Audio and Video Synthesis », *Computer Music Journal*, Spring 2006, Vol. 30, N°1, 49-66, (2006)
- [17] Schaeffer, P., *Traité des objets musicaux, essai interdisciplinaires, nouvelle édition*, Seuil, 1977
- [18] Stowell, D., Plumbley, M.D. & Bryan-Kinns, N. « Discourse analysis evaluation method for expressive musical interfaces », *Proceedings of New Interfaces for Musical Expression (NIME'08)*, Genova, 2008.
- [19] Varela, F. J., Thompson, E. T., and Rosch, E. *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. The MIT Press, 1991.