

Interaction musicale entre musiciens et ordinateur

Arshia Cont

Responsable de l'équipe-projet Inria Musync



L'informatique musicale, de l'accompagnement musical automatique vers la programmation synchrone en temps réel

Pour ses travaux sur le logiciel Antescofo, Arshia Cont a obtenu le Prix « coup de cœur du jury » du prix La Recherche 2011.

La création musicale passe le plus souvent par l'écriture, sous la forme d'une partition musicale, destinée aux instrumentistes et réalisée sur scène. Cette réalisation est le résultat de l'interaction d'un ou de plusieurs musiciens entre eux et avec leurs partitions musicales. Ce passage de l'écriture à l'interprétation en temps réel est un défi majeur pour l'informatique musicale. L'idée globale est de déléguer tant l'écriture que la performance à un ordinateur, à l'image de l'activité humaine des compositeurs et interprètes.

La capacité de synchronisation et de coordination en temps réel entre plusieurs musiciens sur scène, interprétant chacun sa propre partie et donnant un résultat d'ensemble cohérent, est un acquis commun des musiciens, qui pose des défis intéressants à l'intelligence artificielle.

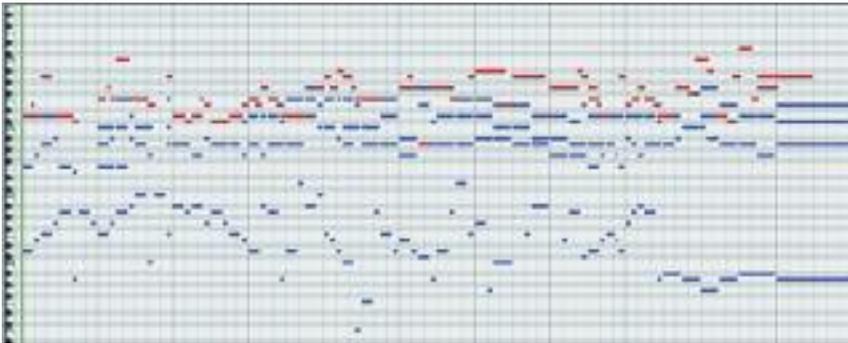
L'étude de ces processus de synchronisation et de coordination et l'idée de les déléguer à un ordinateur se rattachent à plusieurs thèmes de recherche tels que le traitement du signal, l'apprentissage automatique, la programmation et les langages synchrones et temps réel pour une finalité musicale.

Contexte musical

La complexité de l'interprétation polyphonique / en ensemble

Tout concert, par définition, a lieu en *temps réel* ; on assiste à un événement unique pris sur le vif. Ce qu'on apprécie, c'est précisément la construction la plus savante et la plus calculée qui soit de l'événement. C'est l'essence même du concert que d'être vécu comme un moment de virtuosité technique, instrumentale et musicale tout à la fois : tout concert donne à voir et à entendre non pas des faits, mais leur fabrique en temps réel. C'est-à-dire une *interprétation*.

L'interprétation musicale devient toutefois complexe quand plusieurs musiciens se produisent sur scène. Chaque musicien est responsable de l'interprétation de son propre texte (sa partition) en cohérence avec les autres. Il s'agit donc d'un processus de synchronisation et de coordination entre plusieurs agents, malgré toute déviation possible en fonction de l'interprétation, pour produire la cohérence d'ensemble déterminée par le texte d'origine fourni par le compositeur. Cette synchronisation est assurée soit implicitement par les musiciens eux-mêmes dans le cas d'un petit ensemble de musique (un quatuor à cordes par exemple), soit par un chef d'orchestre quand un grand nombre de musiciens sont présents sur scène. Qu'en est-il lorsque l'une des parties est interprétée par un ordinateur ?

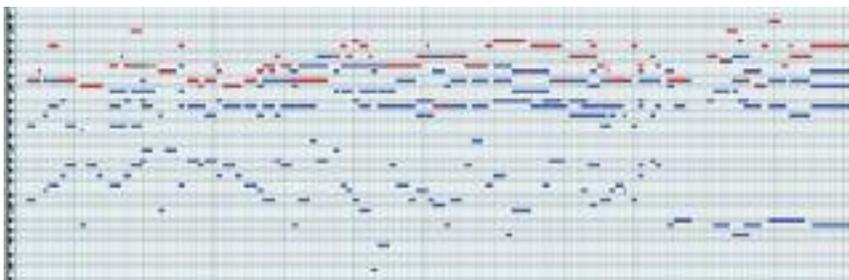


Partition originale de la sonate N°4 de Haendel pour flûte et clavecin
(interprétée par ordinateur - Synthèse MIDI)

Accompagnement automatique

Dans un contexte plus commercial, imaginons un musicien (amateur ou professionnel) voulant s'entraîner et jouer sa partie tout seul, en l'absence d'autres musiciens. Pour cela, il suffit, de déléguer les parties des autres instruments à des sons préenregistrés ou bien à des synthétiseurs. Autrement dit, on peut remplacer la partie d'accompagnement par un support numérique. Dans un schéma figé, l'accompagnement peut être un enregistrement sonore simple (sans la partie solo). Dans ce cas, la partie solo est exécutée de façon synchrone avec ce support fixe, ce qui est contraignant pour le soliste. Dans un schéma idéal, à l'image d'un accompagnement musical humain, il est préférable que ce soit la partie d'accompagnement qui s'adapte en temps réel au jeu de l'instrumentiste : ralentir ou accélérer la vitesse d'interprétation, et modifier les dynamiques en fonction de l'interprétation de l'œuvre. Dans ce cas, nous avons besoin d'un système d'accompagnement automatique.

En accompagnement automatique, l'ordinateur joue le rôle d'un musicien virtuel et agit en fonction du jeu de l'instrumentiste en temps réel. Il doit donc être doté d'une capacité d'écoute temps réel ainsi que d'une capacité d'entreprendre les actions musicales en coordination et de façon synchrone avec le jeu de l'instrumentiste. Il prend donc en entrée la partition solo ainsi que la partition d'accompagnement, et utilise le flux du son en temps réel pour écouter, synchroniser et réagir en fonction du texte musical.



Transcription de l'interprétation (par un flûtiste amateur) de la partition de la figure (1) avec accompagnement automatique. À la flûte à bec, l'informaticien Gérard Berry, à l'occasion du colloque anniversaire GGJJ à Gérardmer, en février 2011

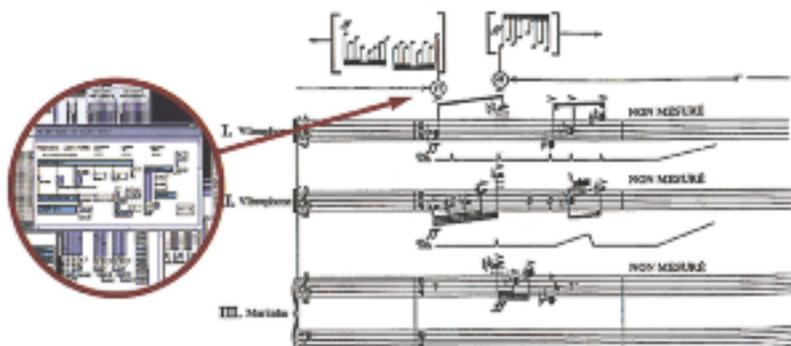
Il est évident qu'une bonne écoute n'est pas suffisante pour réaliser un bon accompagnement avec une bonne synchronisation musicale, mais que l'ordinateur doit également être doté d'un cerveau ou d'une intelligence musicale pour pouvoir simuler la complexité d'un tel processus en temps réel. Cette complexité devient encore plus évidente si on considère une interaction plus fine et contrôlée avec l'ordinateur pour faire plus qu'une exécution d'accompagnement. Ceci est le cas de la création musicale contemporaine avec les dispositifs électroniques temps réel.

Musique électronique mixte, à la fois électronique et instrumentale

La première œuvre mixte pour instrument et dispositif électroacoustique est souvent attribuée au compositeur Bruno Maderna pour sa pièce *Musica su due dimensioni* pour flûte et bande (1952). L'idée étant de ramener les dispositifs électroacoustiques sur scène et de les faire jouer en interaction avec des instruments acoustiques, cette tendance a été suivie par d'autres compositeurs comme Karlheinz Stockhausen et Mario Davidovsky dans les années 1950 et 1960. L'Ircam a, depuis sa création en 1977, travaillé sur le temps réel, c'est-à-dire des dispositifs matériels et informatiques permettant la création et le travail du son numérique sans délai de calcul perceptible. Les possibilités offertes par les stations de calcul temps réel ont donné naissance à plusieurs œuvres dans des styles très

différents employant le *temps réel*. Parmi les compositeurs intégrant ces technologies dans leurs œuvres, le premier à avoir exploré de manière systématique les possibilités du temps réel est sans doute Philippe Manoury (lauréat de la victoire de la musique classique du meilleur compositeur en 2012). Ses œuvres mises à part, il est surtout connu dans le monde de l'informatique musicale pour sa contribution, dès 1988, aux côtés de l'informaticien Miller Puckette, au développement du logiciel Max, dont le nom est un hommage à Max Matthews, le père de l'informatique musicale, décédé en avril 2011. Ce logiciel est connu aujourd'hui sous le nom MaxMSP et distribué par la société Cycling74.

Parallèlement, Manoury a développé une véritable pensée du temps réel. Il a en effet tenté une sorte de *déduction* de la notion de temps réel à partir d'une analyse de la notation musicale, dans ses rapports avec l'in-



Extrait de Neptune de Philippe Manoury
pour trois percussionnistes et électronique temps réel (1991)

terprétation. L'une des *facultés* de la notation musicale, écrit-il, est sa *virtualité*. L'exemple de la notation baroque le montre bien : l'écriture comporte certains éléments que Manoury qualifie d'*absolus* (la hauteur de la note dans la majeure partie du répertoire occidental) et d'autres qui sont *relatifs*, c'est-à-dire laissés à la discrétion de l'interprète dans certaines limites (le tempo ou les dynamiques dans la musique baroque, par exemple). C'est en ce sens que toute partition destinée à un interprète est *virtuelle* : elle ouvre des champs de possibles, sans les déterminer complètement. La notion de partition virtuelle pour l'ordinateur est conforme à cette idée : il s'agit de programmes réactifs composés par l'artiste dont les sorties seront déterminées en fonction du jeu de l'instrumentiste et en temps réel, tout en étant musicalement déterministe.

Dans ce contexte musical, la partie électronique de l'œuvre ne se limite

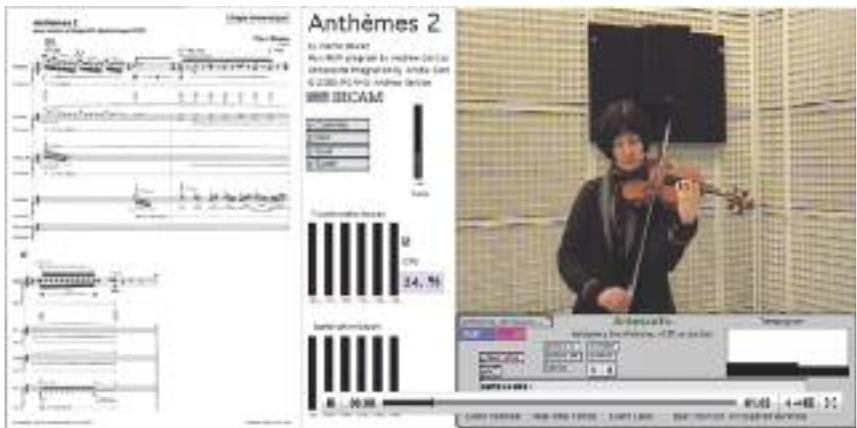
donc plus à une simple synchronisation par *reconnaissance* ; il s'agit de tenir compte, dans la fabrique même des événements sonores, des valeurs *relatives* (variables, vivantes) saisies sur le vif de l'interprétation. Et l'interprète peut dès lors contrôler les réactions de la machine : il joue avec la machine, et la machine joue avec l'interprète.

L'informatique musicale, dans sa quête du temps réel, était à ses débuts préoccupée par les moyens de calcul, les supports matériels, et des puissances de calcul permettant diverses opérations comme la spatialisation, la synthèse sonore, et la transformation sonore en temps réel. Aujourd'hui, avec des ordinateurs personnels plus puissants et la disponibilité des processeurs sonores intégrés dans chaque ordinateur personnel, les moyens et supports matériels permettant le calcul et la manipulation sonore en temps réel ont été largement démocratisés. Mais pour autant, la tâche d'écriture musicale en temps réel avec les ordinateurs (composition), et leur interaction avec des musiciens reste une quête majeure pour diverses disciplines dont l'informatique. Les idéaux du *temps réel musical*, des années 1980 représentent toujours des défis importants à la théorie des langages de programmation ainsi que des systèmes temps réel.

Contexte scientifique

Dans le contexte musical décrit plus haut, l'ordinateur joue le rôle d'un musicien. Le compositeur *écrit* des programmes sous forme d'une partition virtuelle, faisant appel aux diverses techniques (temps différé ou temps réel) de l'informatique musicale : de la synthèse sonore à la spatialisation, à la transformation et aux effets temps réel, figés dans le temps ou bien relatifs à la vitesse des musiciens réels.

À l'exécution, la machine ayant sa partition virtuelle ainsi que celles



Extrait de la partition d'Anthèmes 2 de Pierre Boulez
(© Universal Edition A. G., Wien, 1997.)

de ses collègues humains, prend en charge l'interprétation de sa partie en coordination et en synchronisation avec celles des musiciens sur scène.

Un tel système informatique doit donc être capable de mener deux tâches principales en parallèle :

1. Machine d'écoute :

Cette tâche concerne notamment le traitement du signal, et les méthodes en apprentissage automatique pour la reconnaissance et l'extraction des données musicales en temps réel depuis un signal audio capté par un micro. Ce système doit être capable de prendre une partition de musique, et de suivre l'interprète en temps réel sur cette partition ; d'où l'intitulé commun de *suivi de partition*. Un suiveur de partition doit être capable de gérer des situations incertaines (environnement bruité, différents instruments ou dispositifs de captation sonore) et de gérer les éventuelles *erreurs* provenant de l'instrumentiste.

2. Accompagnement réactif :

En connaissant la position dans la partition d'un interprète et ses paramètres d'interprétation, l'ordinateur lance les actions correspondantes dans sa propre partition virtuelle en réaction au jeu de l'instrumentiste en synchronie avec lui, et en respectant la temporalité musicale décrite pour ces actions. Cette partie du système est donc réactive et synchrone.

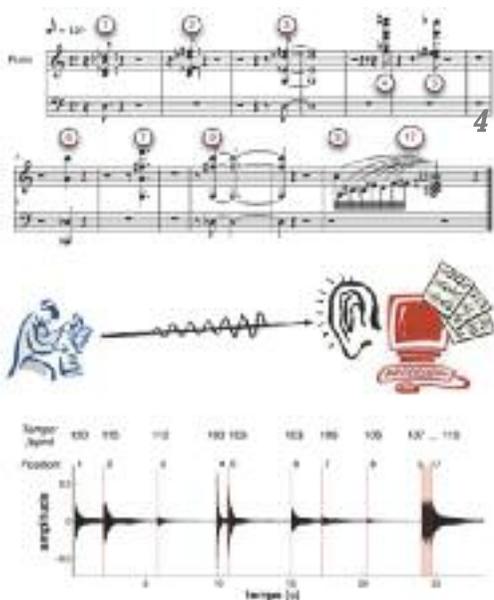


Schéma de la reconnaissance temps réel.

Le couplage de ces deux technologies est l'idée principale derrière le projet Antescofo, un suiveur de partition temps réel muni d'un langage réactif et synchrone. Le logiciel dispose donc de la partition et prend en charge le suivi de partition ainsi que le lancement de la partie réactive.

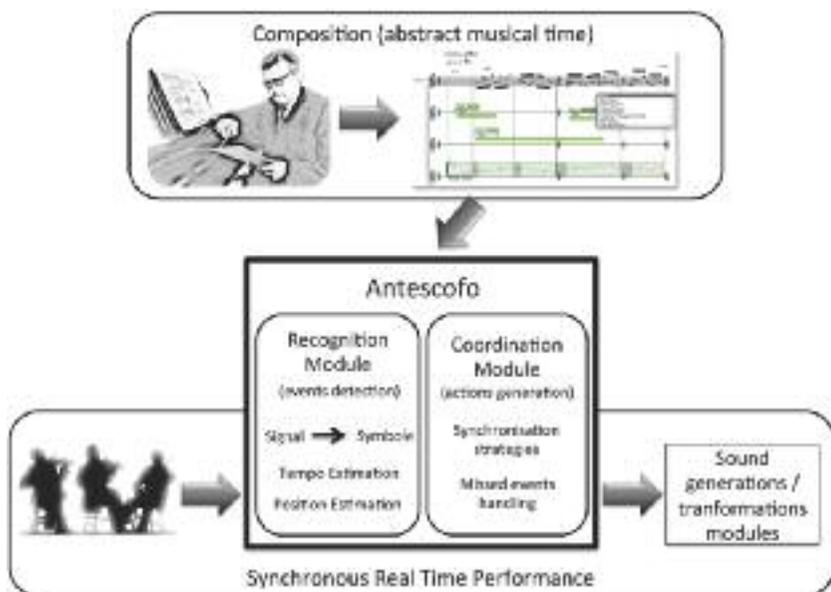


Schéma d'intervention d'Antescofo

A.C.