



**HAL**  
open science

## Un ordinateur dans l'orchestre

Arshia Cont

► **To cite this version:**

Arshia Cont. Un ordinateur dans l'orchestre. Les Dossiers de la Recherche, 2014, Comment les robots preçoivent le monde, 13, pp.79-83. hal-01099417

**HAL Id: hal-01099417**

**<https://inria.hal.science/hal-01099417v1>**

Submitted on 25 Mar 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## **TITRE**

Un ordinateur dans l'orchestre

## **Résumé**

Doté de la capacité d'interaction propre à l'homme, le logiciel Antescofo est un musicien à part entière. Il interprète sa partition tout en s'adaptant au jeu des instrumentistes.

Par Arshia Cont, chercheur à l'IRCAM, responsable d'équipe-projet MuTant (Inria, CNRS, UPMC, IRCAM).

En décembre 2015, les spectateurs d'Opéra Garnier à Paris pourront assister à une quarantaine de présentations de l'œuvre *Anthèmes 2* du compositeur Pierre Boulez sur une chorégraphie de Wayne McGregor. L'œuvre musicale, écrite en 1997, mêle le son d'un violon sur scène avec des sons électroniques générés par un ordinateur sur le vif. Le son acoustique générée par l'homme et le son électroacoustique ne font qu'un corps sonore, à l'instar de plusieurs musiciens humains qui jouent ensemble : chaque soirée sera différente en fonction de l'interprète et son interprétation. L'ordinateur est donc un partenaire musical doté d'une intelligence quasi humaine. Ce partenariat est possible grâce à un musicien pas comme les autres : la technologie numérique Antescofo.

En effet, ce programme informatique, conçu par l'Institut de recherche et coordination acoustique/musique (Ircam) est capable de jouer une partition de musique via la carte son d'un ordinateur. Mais surtout, il modifie son jeu en suivant celui des autres interprètes, à l'image d'un musicien dans un ensemble.

L'idée d'Antescofo a vu le jour en 2007 sous l'impulsion du compositeur italien Marco Stroppa. À l'occasion de la commande d'une œuvre pour saxophone et électronique au Japon, il s'était lancé un défi à la fois artistique et scientifique. Il souhaitait faire interagir un musicien et un ordinateur sur scène pendant le concert, comme si ce dernier était humain.

Doter une machine de cette capacité d'interaction est complexe : il mobilise des techniques issues des recherches les plus avancées en traitement du signal, apprentissage automatique, intelligence artificielle et programmation des systèmes temps réel. Face au défi technologique, l'équipe Interactions musicales temps réel de l'Ircam et moi-même avons été associés au projet.

Une première étape a consisté à étudier le vivant pour mieux comprendre la nature de la coordination musicale chez l'homme. Les musiciens forment certes un groupe parfois composé de centaines d'individus sur scène. Chacun est responsable d'interpréter sa propre partition en cohérence avec celle des autres : il doit en particulier ralentir ou accélérer pour se synchroniser avec ses collègues. Le résultat final est alors très proche de celui que le compositeur avait imaginé et transcrit sur des partitions de musique.

Écouter et agir. Cette aptitude à se coordonner musicalement malgré toutes les variations liées à une interprétation est l'une des compétences de base des musiciens. Mais comment l'ordinateur peut-il s'intégrer à cette micro-société présente sur scène, et ainsi devenir un musicien à part entière ? Pour parvenir à un tel résultat, il doit être capable de mener deux tâches en parallèle : écouter et agir. Afin d'interagir avec son environnement, une machine doit en effet percevoir, sur le vif, ce qui l'entoure. Elle doit être capable d'« entendre » le jeu des interprètes en temps réel. Dans ce but, un système d'écoute a été mis au point afin de suivre pas à pas les sons émis par les instrumentistes. Il est constitué de deux logiciels.

Le premier, baptisé « agent audio », est un programme qui a mémorisé une partition et cherche à la reconnaître lorsqu'elle est jouée, à partir des sons captés par un microphone. Il repose sur un système de reconnaissance probabiliste, similaire aux dispositifs de suivi des missiles ou aux systèmes de reconnaissance vocale.

Son principe de fonctionnement peut-être comparé au système de suggestion automatique de mots utilisé lors de la saisie d'un SMS. Dans le cas du téléphone, une liste de mots probables est proposée en fonction des lettres préalablement inscrites. De son côté, Antescofo fait plusieurs hypothèses sur la note à venir en fonction de la partition mémorisée. Plus le temps passe, plus la note suivante commence à se « faire entendre », et plus la liste des hypothèses se réduit jusqu'à aboutir à la hauteur de la note réellement jouée. La différence, ici, est que l'événement doit être reconnu par Antescofo dès son arrivé, à la volée, cela pour permettre un temps de réaction instantané par le système car des variations peuvent toujours intervenir lors d'une exécution en direct.

Seul, l'agent audio ne suffirait pas à obtenir une écoute performante. Assurément, les sons à détecter ne sont pas tous consignés dans la partition. La notation baroque en est un bon exemple : l'écriture comporte certains éléments qualifiés d'absolus, comme la hauteur de la note, et d'autres qui sont relatifs, c'est-à-dire laissés à la discrétion de l'interprète à l'intérieur de certaines limites, comme le tempo ou les dynamiques (l'accentuation ou le maintien plus ou moins grands de la note, son étouffement, etc.) par exemple.

De même, la variabilité introduite par les différents types d'instruments et les techniques de jeu propres à chaque musicien doivent être prises en compte. Tel pianiste appuiera particulièrement fort sur les touches de son instrument avant de jouer un accord, tel violoniste tiendra son archet d'une façon différente de celle d'un autre, tel flûtiste produira un staccato plus court que ceux de ses collègues.

Il ne faut pas non plus oublier la difficulté de reconnaissance dans un environnement soumis aux bruits de fond, aux différences d'accordage et aux biais des dispositifs de captation. Or, ce sont toutes ces fluctuations qui donnent à chaque interprétation son caractère unique. C'est en ce sens que toute partition destinée à un interprète est dite « virtuelle » : elle ouvre des champs de possibles, sans les déterminer complètement.

Confrontés à ces nombreux obstacles, nous avons fait appel à un autre partenaire. Nous avons sollicité Claude Delangle, professeur au Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris, pour étudier de près ces phénomènes aléatoires. Et ce, pour tout style de musique confondu, de Maurice Ravel à Astor Piazzolla en passant par Steve Reich et la création contemporaine européenne. Ses observations ont permis de recenser les différents types d'interprétations possibles pour une même œuvre, ce qui a ensuite permis d'identifier les paramètres jouant un rôle clé dans ces variations, parmi ceux-ci : le tempo.

Cette analyse conduite par Claude Delangle a débouché sur la mise au point du second logiciel du système d'écoute, baptisé « agent temporel ». Son rôle : synchroniser la machine et le musicien, pour s'adapter aux variations de tempo. À tout moment, l'horloge interne de l'ordinateur est ainsi couplée au rythme du musicien.

Compétition et collaboration. Le système d'écoute « interactif » d'Antescofo est aujourd'hui composé de ces deux agents. Ils sont en collaboration et en compétition permanente : l'agent temporel aide l'agent audio à anticiper de futurs événements (notes, dynamiques), et l'agent audio aide l'agent temporel à décoder la bonne vitesse (tempo). Le résultat final du décodage se fait donc en fonction de la certitude soit temporelle, soit événementielle de chaque agent. Comme les êtres humains, Antescofo

combine donc plusieurs sources d'information, chacune faillible, pour arriver à une écoute fiable.

Mais Antescofo ne se contente pas d'écouter. Il permet aussi à l'ordinateur d'agir, c'est-à-dire de jouer sa propre partition électronique, en réaction au jeu de l'instrumentiste. Cet « accompagnement réactif » nécessite toutefois une certaine capacité d'anticipation. En effet, pour pouvoir jouer ensemble, les musiciens humains, en plus d'une écoute élaborée, anticipent le jeu de leurs collègues afin de se synchroniser avec eux. Cela concerne autant la temporalité du jeu que les dynamiques de l'interprétation.

À cet égard, il ne faut pas parler du temps mais des temps musicaux. Notamment, une partition de musique occidentale classique contient des événements obéissant à des échelles de temps différentes qui se superposent. Les opéras débutent par exemple par une ouverture orchestrale décomposée en plusieurs mouvements, qui précède plusieurs actes. Ce temps « macro-scopique » diffère du temps « microscopique », qui désigne la durée de chacune des notes. Dans l'intervalle de ces temps extrêmes, on trouve d'autres échelles, celles de la mesure, du rythme, de l'harmonie, de la mélodie... De plus, l'écriture musicale, à travers les siècles, a permis aux compositeurs d'écrire ces temps en valeurs relatives, donnant une certaine liberté au musicien au moment de l'interprétation.

L'existence de ces différentes échelles de temps représente un défi majeur pour l'informatique musicale, à la fois pour son écriture et pour son exécution en temps réel. Pour répondre à cet enjeu, Antescofo a été doté d'un langage de coordination similaire aux langages dédiés à la programmation des systèmes temps réels, comme la commande de vol des Airbus. Son rôle est de lancer les programmes musicaux aux moments indiqués en réaction au jeu des musiciens, et de les synchroniser entre eux et avec les interprètes.

Dans ces langages, qualifiés de synchrones et mis au point par le médaille d'or CNRS 2014 Gérard Berry, on déclenche une action simultanément à la détection d'un événement, c'est-à-dire avec un temps de réaction quasi nul. Bien sûr, dans la machine, l'action est réalisée après la survenue de l'événement, mais on maîtrise ce décalage afin qu'il devienne négligeable. Pour Antescofo, le temps de réaction est ainsi inférieur à 15 millisecondes, ce qui le rend imperceptible.

Le couplage du système d'écoute interactive et d'accompagnement réactif est l'idée principale derrière le projet Antescofo. Une première version du logiciel a vu le jour en 2009. Capable de se tenir aux côtés des musiciens pour participer à l'interprétation de l'œuvre, elle ouvre la voie à de nouveaux paradigmes musicaux. Une application immédiate d'un tel système est l'accompagnement automatique d'un interprète solo. Un saxophoniste peut se faire accompagner d'un piano virtuel par exemple. L'ordinateur joue alors le rôle d'un musicien et réagit, en temps réel, au jeu de l'instrumentiste.

Le langage synchrone d'Antescofo permet d'ajouter, aux événements musicaux d'un accompagnement classique, d'autres programmes informatiques multimédias. On peut notamment intégrer des effets sonores, contrôler la lumière et diffuser des vidéos. Autant d'actions supplémentaires destinées à enrichir le vocabulaire musical d'éléments scéniques. Parmi les compositeurs intégrant ces technologies dans leurs œuvres, le premier à avoir exploré ces possibilités est Philippe Manoury. Son opéra La Nuit de Gutenberg est composé d'acteurs, de chanteurs, d'un chœur, d'un orchestre, de vidéos et de dispositifs électroniques. Cette mise en présence du vivant et du numérique devient une interprétation cohérente, jouée avec Antescofo en partie.

Depuis sa création, Antescofo a fait l'objet de tests et d'améliorations grâce à une collaboration fertile avec une centaine de compositeurs, dont Jonathan Harvey, Philippe Manoury, Emmanuel Nunes et Pierre Boulez.

Antescofo, malgré son jeune âge, n'est pas à ces débuts sur scène. Il a traversé les continents et a joué avec les plus prestigieux ensemble de musique dans le monde : philharmonique de Berlin, philharmonique de New York, Orchestre philharmonique de Los Angeles, Orchestre de BBC ; ainsi que dans des grands salles telles que Salle Pleyel à Paris, La Scala à Milan, Disney Hall de Los Angeles, et Royal Albert Hall de Londres. Le répertoire d'Antescofo compte aujourd'hui une centaine d'œuvres composée pour lui et plusieurs centaines d'apparitions public.

#### TITRE

Quelques apparitions passés et à venir d'Antescofo

- *Re Orso*, un opéra de Marco Stroppa (Opéra comique de Paris, 2012)
- *La Nuit de Gutenberg*, de Philippe Manoury (Opéra national du Rhin, 2011).
- *Spinning in Infinity* (création), de Christopher Trapani Orchestre Philharmonique de Radio France, Maison de la Radio, (Février 2015)
- *Anthèmes 2* de Pierre Boulez avec Michael Barenboim (violon), grand salle de Berlin Philharmonie, mars 2015
- *Dornroschen* (création) de Michael Jarrell avec Isabel Faust, festival Manifeste de l'Ircam (Juin 2015)

Cet article, remis à jour par son auteur, a initialement été publié dans La Recherche n°465.