

Les métaphores sonores : une approche interdisciplinaire des processus de contrôle de la synthèse sonore et musicale

Richard Kronland-Martinet, Mitsuko Aramaki et Sølvi Ystad sont tous trois chercheurs au sein de l'équipe *Laboratoire de mécanique et d'acoustique* (LMA, UPR7051, CNRS). Spécialistes de la synthèse numérique des sons, leurs travaux de recherche visent à mieux comprendre la relation entre la physique des sources sonores, la morphologie des sons et l'expérience perceptive relative à leur écoute. Ils sont à l'origine d'un nouveau paradigme permettant le contrôle intuitif des sons de synthèse basé sur la notion de métaphores sonores.

Les possibilités sonores offertes par les instruments de musique influencent naturellement la création musicale. Cette relation n'est pas à sens unique car la science, la technologie et la musique se sont souvent mutuellement inspirées. La première « grande machine » est probablement musicale et remonte aux civilisations antiques (III^e siècle avant JC) avec l'invention de l'orgue à tuyaux utilisant un « vent mécanique » à la place du souffle humain, et dégageant ainsi l'interprète de la production d'énergie nécessaire à la génération des sons. Au Moyen Âge, des systèmes mécaniques permettant de mémoriser des mélodies — les boîtes à musique — ont été inventés. Ils sont considérés aujourd'hui comme étant les premiers programmes enregistrés. Avec l'invention de l'électricité, de la téléphonie, de la télégraphie et du transistor, de nombreux instruments de musique ont vu le jour. On peut citer par exemple le Telharmonium, le Théremin, les ondes Martenot ou le synthétiseur Moog. Ces nouveaux instruments ont ouvert la voie à de nouveaux modes de composition musicale, tout en révélant la passion de nombreux compositeurs et musiciens pour les sons et les instruments inédits. Le compositeur Edgar Varèse exprimait ainsi en 1917 : « je rêve d'instruments obéissant à la pensée et qui, avec l'apport d'une floraison de timbres insoupçonnés, se prêtent aux combinaisons qu'il me plaira de leur imposer et se plient à l'exigence de mon rythme intérieur ».

L'avènement des technologies numériques a bouleversé le domaine de la création sonore et en particulier des sons musicaux. C'est en 1957 que Max Mathews a mis au point aux laboratoires Bell Labs aux Etats-Unis le programme MUSIC I qu'il utilisera pour réaliser la première pièce musicale générée par ordinateur. MUSIC I sera suivi par plusieurs autres versions avant d'aboutir à MUSIC V, véritable référence dans le domaine de l'informatique musicale¹. L'exploration des ressources de la synthèse numérique des sons a bouleversé notre conception du son musical et de sa perception. L'utilisation de l'ordinateur permet de s'affranchir des contraintes physiques liées aux sources sonores et de composer le son musical en se focalisant sur son impact perceptif. C'est dans cette optique que les compositeurs et scientifiques tels que Jean-Claude Risset, David Wessel et John Chowning ont développé des méthodes dites d'analyse par synthèse² où l'écoute de

la recomposition d'un son devient le critère de la pertinence de l'analyse. Ces travaux ont notamment permis d'établir des liens formels entre le son physique et le son perçu.

À ce stade, on pourrait penser que le rêve de Varèse est enfin devenu réalité et que l'univers des sons est totalement ouvert aux compositeurs, leur permettant d'adjoindre au processus de composition musicale celui de la composition sonore. Cela est théoriquement vrai car rien ne saurait limiter les capacités de l'ordinateur à engendrer des sons, si ce n'est la capacité humaine à les décrire et les contrôler. En effet, les méthodes de synthèse numérique des sons s'appuient sur des représentations de « bas niveau » : représentations physiques de la source sonore ou représentations morphologiques du signal de pression. Le contrôle de la synthèse nécessite ainsi de manipuler des paramètres physiques ou mathématiques qui n'ont pas toujours de relation directe avec la perception des sons engendrés.

Un des grands défis actuels dans le domaine de la synthèse numérique des sons consiste à intégrer la perception et la sémiotique sonore au sein des méthodes de synthèse afin de contrôler les sons de façon « intuitive ». Ceci implique de repenser la représentation du monde sonore en croisant et en faisant interagir des disciplines différentes afin de relier les connaissances physiques et vibratoires aux connaissances perceptives et cognitives.

Un nouveau paradigme de la synthèse des sons

La question du contrôle perceptif des sons n'est pas nouvelle, notamment dans le domaine musical où un grand nombre d'interfaces et de stratégies de contrôle a déjà été étudié³. Les travaux de David Wessel⁴ ont donné lieu aux premières propositions de navigation par synthèse au sein d'un espace sonore perceptif. La méthodologie proposée s'appuie sur l'espace de timbre défini par Grey⁵ et sous-tendu par des descripteurs tels que le barycentre spectral (corrélé à la notion subjective de brillance du son) ou le temps d'attaque (corrélé à la sensation plus ou moins percussive du son). Cependant, un tel système de contrôle sonore, fortement lié à une écoute analytique des sons, reste encore difficile à manipuler.

1. Mathews, M. (1963). The digital computer as a musical instrument. *Science*, 142(3592) :553–557.

2. Risset, J.-C. & Wessel, D. L. (1999). Exploration of timbre by analysis and synthesis. In : *Psychology of Music*, D. Deutsch, ed., (2nd ed.). Academic Press.

3. Moog, R. « Position and force sensors and their application to keyboards and related controllers », in *Proceedings of the AES 5th International Conference: Music and Digital Technology*, A. E. S. New York, Ed., pp. 179–181, 1987.

Gobin, P., Kronland-Martinet, R., Lagesse, G. A., Voinier, T. & Ystad, S. « From Sounds to Music: Different Approaches to Event Piloted Instruments », ser. *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Verlag, vol. 2771, pp. 225–246, 2003.

Wanderley, M., & Battier, M. Eds. (2000). *Trends in Gestural Control of Music*. IRCAM - Centre Pompidou

4. Wessel, D.L. « Perceptually Based Controls for Additive Synthesis. », Paper presented at the *1976 International Computer Music Conference*, Massachusetts Institute of Technology (1976).

Wessel, D.L. « Timbre Space as a Musical Control Structure ». Rapport Ircam 12/78 IRCAM - Centre Pompidou, 1978, 1999.

5. Grey, J.M. « Multidimensional Perceptual Scaling of Musical Timbre », *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 61, pp. 1270-1277, 1977.



Espace de navigation sonore issue du paradigme (action/objet). La partie supérieure permet la construction de sons « solidiens » à partir de l'ajustement continu de la matière, la forme et la taille de l'objet virtuel, puis de l'action effectuée sur ce dernier. La partie inférieure permet la construction de sons liquides par ajustement du débit, de la pression, de la viscosité du liquide et du type d'écoulement. La partie de droite contrôle l'hybridation des invariants morphologiques. Elle permet ainsi des transitions continues entre des interactions naturelles (liquide tombant sur un solide) et imaginaires (écoulement d'objets métalliques).

Mettre en œuvre une méthodologie de contrôle plus intuitif, nécessite d'identifier des morphologies sonores « porteuses de sens » et d'étudier leurs corrélats perceptifs et cognitifs. L'identification et la conformation par synthèse de ces morphologies sonores reposent sur un préalable fondamental : une représentation adéquate du monde sonore. Les représentations mathématiques classiques ont des limitations connues (par exemple, compromis entre précisions temporelles et fréquentielles) et sont construites sur des fondements qui ne sont pas toujours en accord avec la perception. Ainsi, le croisement des approches cognitive, acoustique, physique et mathématique apparaît-il comme une nécessité afin de dépasser les paradigmes actuels et de permettre la construction de nouvelles représentations des sons qui soient cohérentes avec les percepts évoqués. Le point de vue artistique, dans sa quête de représenter et d'interroger « autrement » le monde, constitue également une source d'inspiration précieuse pour une meilleure appréhension du phénomène sonore et de son impact sur l'humain.

C'est à partir d'une telle vision interdisciplinaire que notre groupe de recherche à Marseille a réussi à construire un nouveau paradigme permettant le contrôle intuitif des sons par synthèse. Ce paradigme, appelé {action/objet}, repose sur une description sémantique du son, en particulier le son comme le résultat

perceptif d'une interaction avec un objet. Ce paradigme est en accord avec l'approche écologique de la perception, initialement proposée par Gibson dans le cadre de la vision⁶ puis adaptée à l'audition par McAdams⁷, et qui suggère l'existence d'invariants morphologiques sonores associés à la reconnaissance des objets (invariants structuraux) et des actions effectuées sur ces mêmes objets (invariants transformationnels). Il est à noter que dans ce paradigme, les notions d'action et d'objet peuvent être prises au sens large. Ainsi, l'action peut-elle être associée à une dynamique sonore (évolution temporelle) et l'objet à une texture sonore (contenu timbral). En ce sens, cette approche est assimilable à la démarche phénoménologique de l'écoute sonore adoptée par Schaeffer⁸ qui a défini le concept d'« objet sonore » autour de deux attributs : la masse et la facture. Ces attributs permettent notamment de qualifier les caractéristiques typo-morphologiques des sons par des lois gestaltiques (contraste, continuité, clôture) de leur contenu sonore (i.e. masse) et de leur évolution temporelle (i.e. facture).

Notre approche interdisciplinaire a conduit au développement d'un synthétiseur de sons permettant un contrôle par description sémantique des attributs perceptifs attachés aux sources sonores⁹. Ce synthétiseur permet en outre une navigation continue et intuitive dans l'espace sonore sous-tendu par des invariants

6. Gibson, J.J. (1986). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Lawrence Erlbaum Associates.

7. McAdams, S. & Bigand, E. (1993). *Thinking in Sound: The cognitive psychology of human audition*. Oxford University Press.

8. Schaeffer, P. (1966). *Traité des objets musicaux*. Ed. du Seuil.

9. Aramaki, M., Gondre, C., Kronland-Martinet, R., & Ystad, S. (2009). Thinking the Sounds: An Intuitive Control of an Impact Sound Synthesizer. *Proceedings of the 15th ICAD*, Copenhagen, Denmark, 18-21 Mai 2009, pp. 119-124.

Aramaki, M., Besson, M., Kronland-Martinet, R., & Ystad, S. (2011). Controlling the Perceived Material in an Impact Sound Synthesizer. *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing*, 19(2), pp. 301-314.

Verron, C., Pallone, G., Aramaki, M., Kronland-Martinet, R. (2009). Controlling a Spatialized Environmental Sound Synthesizer. *Proceedings of the WASPAA'2009*. New Paltz, NY. 18-21 Octobre 2009, pp 321-324.

Verron, C., Aramaki, M., Kronland-Martinet, R., & Pallone, G. (2010). A 3D Immersive Synthesizer for Spatialized Environmental Sounds. *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing*, 18(6), pp. 1550-1561.

Conan S., Thoret E., Aramaki M., Derrien O., Gondre C., Kronland-Martinet R., Ystad S. (2014). An intuitive synthesizer of continuous interaction sounds: Rubbing, Scratching and Rolling. *Computer Music Journal*, 38(4) 24-37, doi:10.1162/COMJ_a_00266

morphologiques du signal acoustique porteurs de sens. Cette nouvelle approche de la synthèse des sons constitue une véritable révolution méthodologique et offre de nouvelles perspectives de recherche dans les domaines de la perception humaine mais aussi de la création musicale et sonore.

Composer les sons : les métaphores sonores

Le paradigme {action/objet} permet de construire une nouvelle représentation de l'espace sonore. Cette représentation s'appuie sur une organisation multidimensionnelle des sons portée par des labels reliés à la cause sonore, en accord avec nos propres modèles cognitifs. La navigation au sein d'un tel espace est ainsi facilitée, au sens où le positionnement d'un son particulier peut y être aisément intuitif, puisque porté par un descriptif qui nous est familier. Les sons constituent dès lors un véritable langage supporté par un espace tangible décrivant la nature des objets mis en jeu et le type d'interaction produisant l'énergie nécessaire à leur mise en vibration (par exemple : frotter un gros objet métallique plat et souple).

La mise en correspondance des labels décrivant la cause sonore avec des invariants morphologiques propres à la nature vibratoire des sons permet de transformer l'espace sonore en un véritable espace de construction et de manipulation des sons de synthèse. En effet, chaque label décrivant la cause du son est associé, via la notion d'invariants, à des paramètres bas niveau de contrôle des modèles de synthèse sonore. On peut dès lors transformer continument les sons et effectuer des transitions entre différents types de matériaux, de formes ou encore d'actions (par exemple : impacter une grosse plaque dont la résonance est à mi-chemin entre celle produite par du verre et du bois, en y faisant brièvement rouler une petite bille de verre creuse). La synthèse des sons ouvre ici un vaste champ d'investigation sonore où actions et objets ne sont plus que les supports intuitifs à l'expression de l'imagination du compositeur.

S'il est clair que l'approche par paradigme {action/objet} se prête naturellement à un contrôle des sons réalistes, donc susceptibles d'être produits par des objets du monde réel, qu'en est-il des sons inouïs que Varèse rêvait de manipuler ? Des expériences de psychologie expérimentale ont montré que la référence à des objets et des actions restait pertinente pour la description de sons inouïs¹⁰. De même, la typologie des objets sonores proposée par Schaeffer, bien qu'adaptée à une écoute acousmatique, s'appuie sur les notions de facture et de masse, deux attributs fortement corrélés à la dynamique (énergie, geste) et à la texture (matière) sonore, ramenant une fois de plus à la notion d'objet et d'action. Dès lors, l'association improbable d'objets et d'actions serait-elle apte à guider le compositeur dans sa quête de l'inouï ? L'espace de contrôle des sons décrit plus haut permet l'hybridation d'invariants « improbables » et la construction contrôlée d'objets sonores inouïs. Rien n'empêche d'y frotter le vent, d'y faire rebondir une goutte d'eau, d'y faire couler du métal ou d'y faire couiner un accord d'orchestre. Et même s'il est difficile de décrire un son imaginaire avec les mots du langage courant ou avec des expressions métaphoriques, l'expérience montre qu'un tel espace de contrôle des sons permet de s'aventurer dans les méandres de l'inouï tout en gardant une référence explicite à nos attaches cognitives et, par conséquent, la maîtrise de la composition sonore.

Richard Kronland-Martinet, Mitsuko Aramaki et Sølvi Ystad

contact&info

▶ Richard Kronland-Martinet,
LMA
kronland@lma.cnrs-mrs.fr

10. Merer A., Aramaki M., Ystad S., Kronland-Martinet R. (2013). Perceptual characterization of motion evoked by sounds for synthesis control purposes. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, 10(1) 1-24, doi:10.1145/2422105.2422106