

Des instruments de musique... virtuels

Comment créer des instruments de musique virtuels aux sonorités réalistes ? En modélisant les phénomènes physiques en jeu dans les vrais instruments et en utilisant des outils mathématiques et informatiques.

P

ourquoi, lorsqu'on souffle plus fort dans une flûte, le son produit est non seulement plus fort, mais la note ou le timbre changent aussi ? Quelle est l'influence de la géométrie et du matériau sur l'instrument ? Pourquoi un musicien a-t-il besoin d'un apprentissage long et difficile pour donner de l'expressivité à son art ? De telles questions laissent entrevoir la complexité des phénomènes mis en jeu dans le fonctionnement des instruments de musique.

Cette complexité est à l'origine de ce qui rend le son de l'instrument naturel, unique et vivant. Mais elle n'a pas empêché les scientifiques de chercher à comprendre les instruments de musique et à reproduire électroniquement leurs sonorités. Les progrès réalisés sont tels qu'on sait aujourd'hui

simuler sur ordinateur et piloter en temps réel des instruments de musique virtuels avec un rendu réaliste.

Dans l'histoire de la synthèse sonore, qui vise à créer des sons de façon artificielle (par voie électronique ou informatique), on peut distinguer deux types de procédés. Dans la « synthèse par modèles de signaux », on s'attache à construire directement le signal électrique à envoyer dans les haut-parleurs, pour obtenir des sonorités insolites qu'on trouve par exemple dans la musique dite électronique. La « synthèse par modèles physiques » s'intéresse, au contraire, au générateur de l'onde sonore, c'est-à-dire à l'instrument et à l'instrumentiste, plutôt qu'au son lui-même. Dans ce cas, qui fait l'objet du présent article, on veut mimer la réponse de l'instrument à tous les gestes possibles du musicien : attaques, transitoires entre notes, évolution du timbre avec la nuance.

DES INSTRUMENTS CHIMÉRIQUES

Quel est l'intérêt de la synthèse par modèles physiques ? Il est, bien sûr, de disposer de versions virtuelles et jouables d'instruments réels, anciens ou même disparus. Mais il est aussi de tester virtuellement des modifications de la géométrie et des matériaux de l'instrument, voire d'optimiser la puissance de celui-ci, sa brillance sonore... On peut également concevoir des instruments imaginaires ou farfelus, mais qui restent physiquement censés : des instruments de taille immense, un hautbois

L'ESSENTIEL

● Scientifiques et ingénieurs conçoivent des instruments virtuels, dont on synthétise les sons.

● Cette synthèse sonore requiert une modélisation physique de l'instrument qui soit à la fois soignée et assez simple pour procéder en temps réel.

● La prise en compte du jeu de l'instrumentiste, en plus de la physique de l'instrument, reste un défi.

LES AUTEURS



THOMAS HÉLIE
directeur de recherche
au CNRS, Laboratoire
STMS, à l'Ircam-CNRS-SU,
à Paris.



CHRISTOPHE VERGEZ
directeur de recherche
au CNRS, Laboratoire de
mécanique et d'acoustique à
Marseille (CNRS-AMU-ECM).

> évoluant continûment en saxophone au cours du temps, ou même un conduit vocal de dragon ou de dinosaure pour le son au cinéma... De même, on sait aujourd'hui concevoir virtuellement des matériaux évoluant du métal au bois pendant la vibration!

Les travaux pionniers du savant allemand Hermann von Helmholtz, à la fin du XIX^e siècle, et de nombreux autres, en partie rassemblés par les Américains Neville Fletcher et Thomas Rossing à la fin du XX^e siècle, ont permis de comprendre le fonctionnement élémentaire des instruments de musique. En n'en retenant que les éléments clés, plusieurs équipes dans le monde ont proposé dès la fin des années 1980 des premières synthèses sonores en temps réel, c'est-à-dire des synthétiseurs, des instruments électroniques, qui calculent suffisamment vite pour que l'opérateur humain ne perçoive aucun délai entre son action (appuyer sur la touche du clavier) et le résultat sonore.

Depuis, les travaux s'attachent à améliorer les modèles pour augmenter le réalisme sonore tout en préservant le traitement en temps réel. Un autre défi pour le réalisme reste le contrôle de l'instrument virtuel: même avec une excellente modélisation de l'instrument, le premier son que l'on produit en jouant sur un instrument virtuel est souvent... un canard! Il s'agit de construire les «réflexes coordonnés» acquis par le musicien expert et qui lui permettent de bien jouer. Avant toute tentative de synthèse par modèle physique, il faut étudier et comprendre le fonctionnement d'un instrument de musique.

Depuis Helmholtz, on sait que ce fonctionnement repose sur une boucle de rétroaction où un excitateur (anche, archet, lèvres, plectre, jet d'air...) se couple à un résonateur (tuyau, corde, membrane...). Ce faisant, le résonateur cède un peu d'énergie sous la forme d'un rayonnement acoustique, perçu par nos oreilles. Dans le cas des instruments entretenus – c'est-à-dire capables d'auto-osciller spontanément à partir d'une excitation statique telle qu'un souffle constant, par opposition aux instruments pincés ou frappés –, l'émission d'une note résulte d'un couplage entre l'excitateur et le résonateur, et requiert en permanence des ajustements très fins de la part du musicien.

Pour la synthèse sonore en temps réel, on doit réduire au maximum la complexité du modèle de l'instrument afin d'avoir des temps de calcul courts. Mais le modèle simplifié doit aussi pouvoir expliquer une grande partie du fonctionnement d'un instrument. Une telle «formulation minimale» peut intégrer des descriptions sommaires de l'excitateur et du résonateur, mais, pour expliquer et reproduire le phénomène d'auto-oscillation, elle ne peut faire l'impasse sur la nature non linéaire de

l'excitateur et de son couplage avec le résonateur (voir l'encadré page ci-contre). L'expression «non linéaire» signifie que la réponse (ou «sortie») du système n'est pas proportionnelle à l'action (ou «entrée») qu'on lui applique.

Il a été montré que ces modèles simples et peu coûteux à simuler incorporent assez la physique de l'instrument pour produire des comportements comparables à ceux de l'instrument réel: le son synthétisé est déjà caractéristique de telle ou telle classe d'instruments. Cependant, il faut raffiner les modèles pour réussir à leurrer l'oreille quant à la nature synthétique du son. Comment le faire de façon compatible avec une synthèse en temps réel, c'est-à-dire en n'allongeant pas trop les temps de calcul?

DES TUBES OU DES CYLINDRES?

L'une des approches est de modéliser de façon simplifiée la forme géométrique du résonateur. Les résonateurs d'instruments, qu'ils soient mécaniques (cordes, plaques, etc.) ou acoustiques (tubes) sont le lieu où se propagent des ondes. Simuler précisément cette propagation dans une géométrie tridimensionnelle se révèle souvent trop coûteux en calculs. Prenons le cas d'un résonateur d'un instrument tel qu'une trompette, qui a la forme d'un tube à section variable – on parle de la «perce» de l'instrument. Comment le représenter de façon simplifiée? La première idée pour la synthèse sonore était d'approcher cette perce par un profil en marches d'escalier, comme si l'on raccordait des tubes droits (voir la figure page 68).

Dans ce cadre, quand une onde acoustique plane, c'est-à-dire dont les fronts sont plans et perpendiculaires à l'axe du tube, se propage le long du tube et arrive à une discontinuité de section, elle subit une réflexion partielle

**Virtuellement,
on conçoit aujourd'hui
des matériaux évoluant
du métal au bois**