

Images de l'acoustique musicale

Au service de la musique, de la physique et de la perception, l'acoustique musicale commence à faire ses preuves dans la facture des instruments traditionnels. Dans le domaine du son numérique, un champ immense s'offre à elle.

— Michèle Castellengo

Depuis une quinzaine d'années, l'étude du fonctionnement acoustique et du rayonnement des instruments de musique a connu un essor considérable. Comme par le passé, deux types d'approches coexistent : l'une qui s'intéresse au résultat sonore effectif obtenu par un musicien (analyse du son, perception) ; l'autre, ignorant largement l'instrumentiste, qui est à vocation explicative (modèles physiques, expériences fines).

La raison tient à la boucle de réaction musicien-instrument-son-salle-musicien qui a toujours été une difficulté majeure pour le physicien : ainsi les expériences avec instrumentistes sont-elles biaisées par le fait que ceux-ci adaptent l'émission à ce qu'ils entendent ; en même temps, cela motive l'intérêt de l'acousticien pour les instruments de musique traditionnels, créés au fil des siècles par adaptation et compromis successifs entre les données physiques, physiologiques et perceptives.

Fonctionnement des instruments

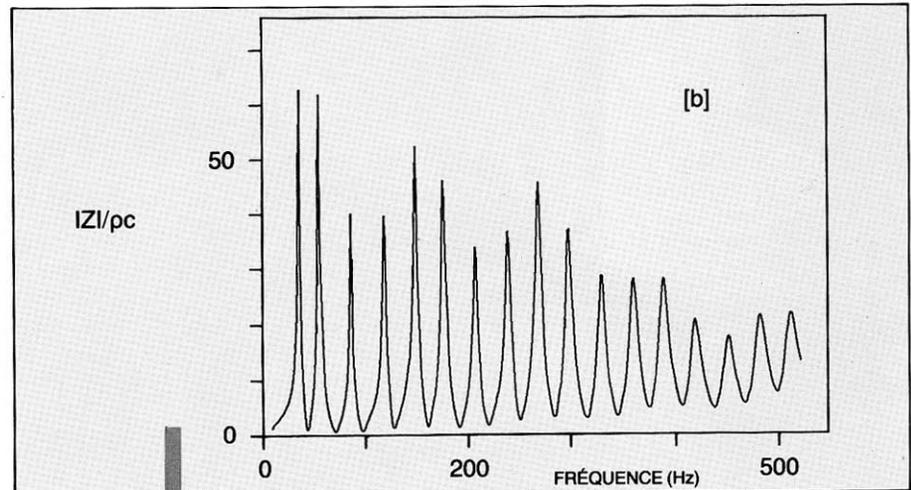
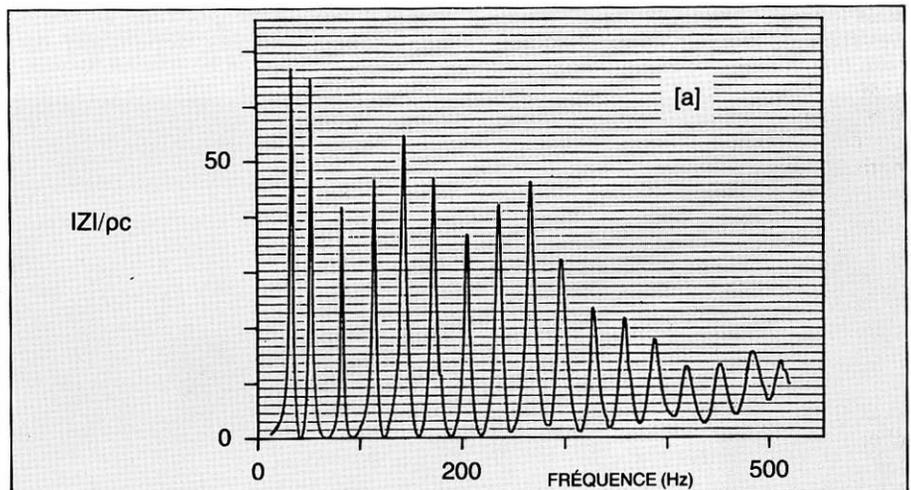
Dans le domaine expérimental, les progrès des capteurs (réduction des dimensions et du poids, construction de nouveaux capteurs, acquisitions multivoies) ont permis d'accéder à des mesures fines et sélectives. Ainsi, le problème de la corde vibrante s'est trouvé renouvelé par l'étude fine des cordes de clavecin : mise en évidence de couplages entre les modes longitudinaux et transversaux et de la non linéarité liée à la force de l'attaque, mesure de l'amortissement pour remonter aux paramètres physiques, ce qui ouvre des applications en métallurgie des cordes. Un autre exemple est celui des tuyaux sonores : la mesure de l'impédance d'entrée laisse entrevoir la possibilité de contrôler la qualité des percées en fabrication. Elle a permis aussi de valider les théories des tuyaux sonores (avec dissipation) qui autorisent l'espoir d'une véritable conception assistée par ordinateur des modifications d'un

instrument. Ainsi, à la demande de musiciens de l'Institut de Recherche et de Coordination Acoustique Musique (IRCAM) et de compositeurs toujours désireux d'élargir les possibilités mélodiques des instruments, un système de clé permettant de jouer en 1/4 de tons vient d'être adapté à la flûte et à la clarinette (Brevet CNRS - IRCAM).

L'étude des vibrations des structures s'avère plus délicate : la visualisation

des modes des plaques (violon, guitare) par holographie interférométrique n'a pas apporté beaucoup plus de résultats que la méthode des poudres de Chladni, en raison de la limitation en fréquence et de l'interaction des structures. Quant aux éléments finis, ils conduisent à un volume de calculs considérable à cause du très grand nombre de paramètres.

La plus grande mutation théorique est apparue dans les années 80 avec l'apparition de modèles décrivant, dans le domaine temporel, l'ensemble des instruments à source d'énergie continue (cordes frottées, flûtes, anches). Leur fonctionnement non-linéaire, qui implique notamment l'enrichissement en harmoniques du son lors d'un crescendo, a été relié aux théories récentes du chaos déterministe, y compris lors de certains régimes particuliers comme les multiphoniques.



Courbe d'impédance d'entrée d'un tuba ([a] : expérience, [b] : calcul numérique). L'impédance d'entrée en fonction de la fréquence est une véritable signature acoustique de la forme intérieure d'un instrument à vent. La place et l'acuité des résonances donnent une indication respectivement sur les fréquences des notes jouées et leur facilité d'émission. (© René Causse, IRCAM ; J. Kergomard, Laboratoire d'acoustique de l'université du Maine ; X. Lurton, Thomson-Sintra).

Analyse, synthèse et perception du son musical

Le système auditif est un capteur d'information temporelle qui possède une très grande sensibilité différentielle à la fréquence et à l'amplitude. Dès qu'apparut le sonographe dans les années 50, son intérêt fut perçu par les acousticiens travaillant dans les domaines de la communication (parole, signaux animaux). Il fournit en effet une représentation donnant l'évolution de la fréquence et de l'amplitude en fonction du temps, qui est aisément interprétable en fonction des données de la perception (psychologie de la forme). Depuis, de nombreuses recherches ont été entreprises pour calculer et représenter la « fréquence instantanée » des signaux évolutifs ; elles ont abouti dernièrement à l'analyse par ondelettes conduisant à une représentation du type sonographe avec, de surcroît, toute la précision désirée.

Aujourd'hui un fait essentiel est l'utilisation de la synthèse numérique : grâce à elle, l'importance informative des phénomènes transitoires d'attaque ou d'extinction des sons et celle des petites fluctuations temporelles plus ou moins aléatoires fut mise en évidence. Les techniques actuelles offrent tous les moyens possibles de réaliser des sons complexes et intéressants.

Parmi ces techniques, la synthèse par simulation des phénomènes physiques utilisant les modèles temporels permet de restituer des transitoires instrumentaux d'un grand réalisme (bruits d'archet, attaque d'une anche), ainsi que les articulations du phrasé musical. Elle offre au compositeur un matériau pré-organisé, structuré par les règles physiques qui décrivent la vibration et qui, sur le plan de la perception, préservent une continuité sémantique lorsque l'utilisation musicale s'éloigne de la « simple » reproduction de sonorités d'instruments traditionnels. Enfin, elle permet au physicien de pouvoir éliminer, parmi les paramètres pris en compte dans ses modèles, les moins importants pour l'oreille.

Nous voyons là un exemple de convergence des deux approches citées plus haut, grâce à laquelle l'acoustique musicale sert à la fois la musique et la connaissance en physique et en perception. Pour les applications en facture instrumentale, cette science commence à faire ses preuves en ce qui concerne les instruments traditionnels et un champ immense s'offre à elle dans le domaine du son numérique.

■ Michèle Castellengo, chargé de recherche au CNRS, Laboratoire d'acoustique musicale (UA 868 CNRS), université de Paris VI, Tour 66, 4, place Jussieu, 75005 Paris.

Le luthier et les composites

Insensibilité à l'humidité, caractéristiques à la demande, reproductibilité ; les matériaux composites offrent des avantages auxquels les fabricants d'instruments à cordes sont loin d'être insensibles.

■ Charles Besnainou

Dans la facture des instruments de musique, les matériaux composites ont commencé à s'imposer en remplacement d'éléments de structure, puis d'éléments fonctionnels. Les premières tentatives remontent au début des années 70 : le manche et la caisse pour la guitare et, récemment, le clavier, les éclisses et un cadre pour le clavecin. Mais la table d'harmonie, élément fonctionnel par excellence, reste en bois.

Le bois est un composite naturel de très haute performance dont l'anisotropie est utilisée dans le fonctionnement des instruments. Aussi plusieurs auteurs ont-ils cherché à étudier le bois en tant que tel pour en dégager un bon modèle.

A partir de vingt éprouvettes de bois couramment employées, Dominique Douau a fait des mesures systématiques : modules de Young longitudi-

naux, transversaux, radiaux, densité, pourcentage de bois d'hiver et de printemps, largeur des cernes annuels, longueur des trachéides, vitesse de propagation du son et amortissement viscoélastique. L'analyse factorielle des correspondances a permis de corrélérer les propriétés des bois avec les appréciations qualitatives portées par le luthier.

Un composite artificiel doit vérifier la cohérence du modèle. Une âme en carbone entre deux feuilles de placage en bois est la solution qui présente un moment d'inertie acceptable avec les qualités des modules de Young à haute fréquence, en même temps que les qualités esthétiques demeurent. Le calcul d'un composite a permis l'élaboration de tables de guitare qui donnent satisfaction au luthier et aux musiciens.

Les avantages de ce composite* sont sa complète insensibilité hygrométrique, ses caractéristiques mécaniques adaptables à la demande et sa reproductibilité. Plusieurs instruments sont déjà réalisés : luths, guitares, harpes. Nous poursuivons actuellement la réalisation de prototypes de violons, de clavecins et de pianos.

* Brevet CNRS - aide à l'innovation de l'ANVAR.

■ Charles Besnainou, assistant-ingénieur au CNRS, Laboratoire d'acoustique musicale (UA 868 CNRS), université de Paris VI, Tour 66, 4, place Jussieu, 75005 Paris.

Informatique musicale

Tout en étant mise au service de la synthèse et du traitement numérique des sons, l'informatique a contribué au renouvellement de la psychoacoustique musicale.

■ Jean-Claude Risset

Depuis quelques années, le marché de la musique est inondé de produits numériques, des synthétiseurs aux disques compacts. Cette invasion du numérique n'a pu se produire d'une façon aussi soudaine et conquérante qu'en s'appuyant sur les acquis d'un champ de recherche récent, l'informatique musicale, né en 1957 avec la mise en œuvre de la synthèse et l'enregistrement numérique des sons.

Les exigences musicales ont suscité d'importantes percées scientifiques et techniques dans le domaine du son numérique. L'informatique permet d'obtenir des sons de structure complexe et parfaitement connue. Cependant le choix des paramètres physiques ne suffit pas : ce sont les résultats auditifs qu'il faut maîtriser. Or la relation psychoacoustique entre paramètres physiques et effets sensibles est bien plus complexe qu'on ne le croit : on a pu synthétiser des sons qui semblent ralentir lorsqu'on double la vitesse de défilement du magnétophone. L'imita-▶