

Le Laboratoire d'acoustique musicale (LAM)

Si les travaux de recherche du LAM ne relèvent pas tous de la physique, puisqu'il est aussi dans sa vocation de conduire des recherches sur la perception des sons et de la musique, l'étude du fonctionnement physique des instruments de musique et les recherches concernant les techniques audio sont au cœur de ses préoccupations scientifiques.

Les études menées portent notamment sur l'émission sonore des instruments à vent (flûtes, orgue, clarinette), les cordes (guitare, violon, piano), mais concernent aussi des instruments très particuliers comme les cloches, le xylophone... Le laboratoire travaille depuis sa création en lien étroit avec les facteurs d'instruments et avec des établissements d'enseignement professionnel¹.

Autre « instrument » particulièrement complexe, la voix, parlée et chantée, fait également l'objet d'études élaborées. Plus récemment, le laboratoire s'est aussi tourné vers la création contemporaine, avec des recherches sur les instruments de musique électroniques.

Dès lors que l'on s'intéresse à la qualité sonore des sons musicaux produits, à leur perception par l'individu, les études ne peuvent s'appuyer uniquement sur les sciences physiques. L'intégration, depuis peu, d'une équipe spécialisée dans l'approche cognitive des phénomènes perceptifs (le LCPE² relevant du département SHS du CNRS) vient renforcer les thèmes de recherche qui lient les aspects physiques de la production de phénomènes sonores à leur perception.

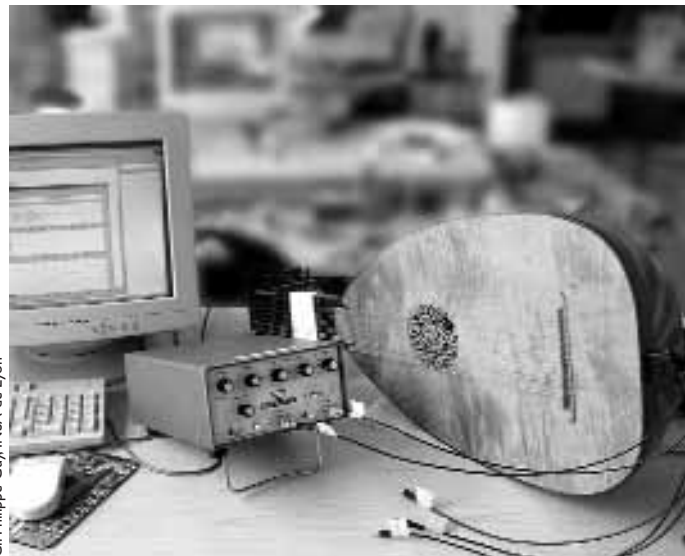
Parmi les travaux de recherche du laboratoire, certains sont liés plus directement à des problématiques patrimoniales. Ainsi, en liaison avec le Laboratoire de recherche des monuments historiques, des techniques non destructives de détection d'insectes xylophages sont mises au point. Il s'agit, par des méthodes acoustiques, de détecter la présence d'insectes et d'effectuer un suivi d'efficacité des traitements (cf. encadré p. 19).

Dans un tout autre registre, des outils de lecture optique des cylindres d'orgues mécaniques ont été mis au point en collaboration avec le LISIF³. Les cylindres d'orgues automatiques constituent un patrimoine d'une grande importance muséologique et musicologique, car donnant de précieuses indications sur l'esthétique de l'interprétation, dans un large répertoire sacré et profane couvrant l'ensemble du XIX^e siècle. De nombreux cylindres sont disponibles sans qu'il soit possible de les lire, soit parce que l'orgue correspondant a disparu, soit parce qu'il n'est pas en état de fonctionnement. On aimerait donc disposer d'un lecteur universel de cylindres qui permette de déterminer l'information musicale qu'il contient. Une méthode optique utilisant une caméra CCD, a été expérimentée. Une grande partie du travail réside dans le traitement des images obtenues : extraction de notes individuelles, correspondance avec les hauteurs, alignement temporel, etc. Ce travail est mené en collaboration avec l'université de Saint-Étienne, le musée de la Musique mécanique des Gets et le LISIF.

En matière d'archéologie musicale, des études ont été conduites sur différents instruments de musique présumés en vue d'en déterminer les caractéristiques (flûtes en os, rhombes...). Les études acoustiques pratiquées à partir de pièces originales, reconstituées ou bien encore simulées numériquement, ont montré combien la facture de ces instruments de musique (flûtes) mais aussi probablement de communication (sifflets) était maîtrisée au Paléolithique.

Des mesures pratiquées dans des grottes ornées ont apporté des connaissances inhabituelles sur la topologie acoustique de ces lieux. La grotte du Portel (Ariège), notamment, fait apparaître des phénomènes de résonances en certains endroits de la galerie qui correspondent à des emplacements choisis pour peindre, dessiner ou graver figures et signes. De telles associations ne semblent pas fortuites. Il a été montré, par ailleurs, que les lithophones constitués par des concrétions de calcite pouvaient produire des sons de belle qualité

acoustique lorsqu'on les frappe à certains endroits précis. Des cassures et des traces laissées par l'instrument en de tels emplacements attestent les pratiques de l'homme préhistorique qui a découvert ces positions et les a souvent repérées en dessinant des motifs.



Cl. Philippe Guy, INSA de Lyon

Mesure du vieillissement d'une table de luth sous contrainte.

L'innovation technologique au LAM

Des travaux récents sur les haut-parleurs ont abouti à une innovation technologique révolutionnaire : des baffles dont la forme s'inspire du profil caractéristique des réacteurs de fusées (ou tuyères) et qui réduisent la distorsion du son. Cette invention s'est traduite par un dépôt de brevet et un essaimage (création d'entreprise). Il s'agit du projet Haliaetus, récompensé dans le cadre du concours national d'aide à la création d'entreprises de technologies innovantes, et également retenu dans le cadre du 1^{er} tremplin-recherche organisé en février 2005 par le Sénat.

La conservation et la restauration des enregistrements sonores

C'est un axe majeur de la politique de recherche du LAM qui participe au volet sonore du programme de numérisation du ministère de la culture ainsi qu'à l'élaboration d'un livre blanc du CD-R. Les travaux menés au laboratoire concernent la pérennité des enregistrements sonores analogiques, et s'intéressent aux phénomènes de « sensorialité ». Ces travaux sont conduits dans le cadre d'un GIS, associant le LAM à deux laboratoires aux compétences complémentaires : le laboratoire de

photochimie moléculaire et macromoléculaire de l'université de Clermont-Ferrand (UMR CNRS 6505) et le site de Trappes du Laboratoire national d'essais.

Les archives du LAM

La numérisation des bulletins du Groupe d'acoustique musicale a été entreprise. Il s'agit d'archives retraçant plus de 40 ans d'acoustique musicale, où toutes les composantes de la discipline sont évoquées (facture instrumentale, perception, voix, environnements sonores, musiques du monde, création...).

Le LAM et l'international

Le laboratoire entretient de nombreuses collaborations internationales. Parmi celles-ci, on notera l'université de Sydney en Australie, mais aussi le Japon, le Canada, et de nombreux organismes internationaux tels que l'AES (Audio Engineering Society), l'ECPA (European Commission on Preservation and Access), en particulier à travers le programme TAPE (Training for Audiovisual Preservation in Europe), l'IASA (International Association of Sound and Audiovisual Archives), et l'EAA (European Acoustics Association), qui a confié au laboratoire la responsabilité de son programme de numérisation de la revue européenne d'acoustique.

Par ailleurs, le laboratoire est depuis longtemps associé au ministère de la culture pour tout ce qui concerne l'acoustique des orgues et des bâtiments qui les abritent, que ce soit dans le cadre de restauration d'instruments classés ou d'implantation d'instruments neufs. Des études acoustiques portent aussi sur des carillons. Par exemple, une étude a été réalisée autour de l'orgue de la Collégiale de Dole. Il s'agit d'un cas particulièrement intéressant en raison des qualités

Détection acoustique des insectes dans les bois du patrimoine

En collaboration avec le Laboratoire de recherche des monuments historiques (LRMH), le LAM développe un dispositif de détection acoustique (non destructive) d'insectes xylophages. Ce système est adapté à la détection des larves de deux espèces (lyctus et petites vrillettes), qui infestent des œuvres du patrimoine mobilier et immobilier. Le système comporte un accéléromètre qui est fixé sur la pièce de bois à diagnostiquer ; le signal est ensuite mis en forme et amplifié par une carte d'acquisition puis stocké et traité sur PC portable. Les signaux émis par les larves se caractérisent par de brèves impulsions (« clics ») dont le nombre est fonction du degré d'infestation et de l'activité des insectes. Après avoir testé avec succès le prototype expérimental dans des situations contrôlées de laboratoire, l'équipe poursuit actuellement des travaux de validation pour permettre au LRMH d'élargir les moyens de diagnostic et d'intervention sur les pièces infestées.

Laurent Daudet

Laboratoire d'acoustique musicale

acoustiques exceptionnelles de l'édifice, susceptibles d'être modifiées à l'occasion d'une restauration touchant l'intérieur du bâtiment. L'orgue de l'abbatiale Saint-Maurice (Ebersmunster) a fait l'objet de relevés acoustiques très complets avant sa restauration (relevé témoin de l'état de l'orgue) puis après remise en harmonie. L'élaboration d'un protocole d'enregistrement a été conduite sur des critères techniques et artistiques particulièrement exigeants pour permettre des comparaisons auditives.

Aujourd'hui, un nouvel axe de recherche se dessine au sein du laboratoire, plus directement lié à la création musicale. Dans ce domaine, on évoquera notamment :

- l'étude et la caractérisation des ondes Martenot (en collaboration avec le musée de la Musique et le CNSMDP⁴ ;
- un travail portant sur le geste instrumental, projet inscrit dans une collaboration avec les studios Puce-Muse, l'IRCAM⁵ et le LIMSI⁶ ;
- la mise au point d'instruments « actifs » : violon, violoncelle dont on peut modifier les caractéristiques (sonorité) par des procédés électroniques (en partenariat avec l'IRCAM).

Hugues Genevois, Jean-Marc Fontaine

Laboratoire d'acoustique musicale

UMR CNRS/ministère de la culture/univ. P.-et-M.-Curie

<http://www.lam.jussieu.fr>

1. Par ex. l'ITEMM (Institut technologique européen des métiers de la musique).
2. Language, cognitions, pratiques et ergonomie, URA CNRS 1575.
3. Laboratoire des instruments et systèmes de l'Ile-de-France, qui est une équipe de l'UFR 924 « EEA et Applications de la physique » de l'univ. Pierre-et-Marie-Curie Paris 6.
4. Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris.
5. Institut de recherche et de coordination acoustique-musique.
6. Laboratoire d'informatique pour la mécanique et les sciences de l'ingénieur.

Des ultrasons pour ausculter pierres et maçonneries

Les mesures par ultrasons dans les pierres ou les maçonneries permettent de façon non destructive d'obtenir des informations sur leur compacité, leur altération, leur homogénéité, leur résistance... Cette technique d'investigation consiste à envoyer, à l'aide d'un émetteur, un train d'ondes ultrasonores longitudinales à travers un matériau à tester, et à le recueillir au niveau d'un récepteur. L'appareil de mesure, chronomètre de précision, permet de mesurer le temps de propagation du son dans le matériau, en microsecondes. La distance émetteur-récepteur rapportée au temps de transfert sert à calculer la vitesse de propagation du son dans la zone considérée. Cette caractéristique est liée à la compacité des matériaux : plus un matériau est compact, plus le son se propage rapidement (1 600 m/s pour les calcaires les plus tendres ; 6 000 m/s pour certains granits). Dans une pierre ou une maçonnerie, toute discontinuité (fissure, vide, joint, altération...) retardera la propagation des ultrasons, les arrêtant totalement dans certains cas. Les mesures en surface caractérisent le matériau près du parement ; les mesures en transparence renseignent sur les performances à cœur du matériau.

Les ultrasons ont été utilisés sur de nombreux sites et ont fourni des renseignements de différente nature :

- appréciation de l'épaisseur de l'altération des murs suite à un incendie : parlement de Bretagne à Rennes, ambassade d'Israël et siège du Crédit lyonnais à Paris ;
- estimation de la résistance mécanique de maçonneries (aile Richelieu du Louvre avant réhabilitation) permettant la détermination d'une capacité portante optimale de ces maçonneries, compte tenu de la qualité des pierres rencontrées aux différents niveaux.
- tests pour apprécier le niveau de décohésion granulaire du marbre de Carrare (Grande Arche de la Défense, Chevaux de Marly, tour

IBM de Bruxelles) ; ce phénomène engendre dans le temps une diminution de la vitesse de propagation du son ;

- appréciation de la qualité de la pierre (Sphinx de Gizeh) avec mise en évidence de l'hétérogénéité due à la stratification ;
- détection de fissures (code d'Amourabi au Louvre : stèle en basalte présentant des fissures invisibles à l'œil) ;
- estimation de la profondeur de fissures (bains d'Apollon au château de Versailles) ;
- appréciation de la qualité de maçonneries anciennes avant et après injection de consolidation (collégiale de Cerisy-la-Forêt) ;
- appréciation de l'état d'altération de la base de la stèle de Naram Sin au Louvre et contrôle de l'efficacité du traitement de consolidation ;
- appréciation de la qualité générale des pierres utilisées, de leur homogénéité et de leur altération (Arc de triomphe de l'Étoile), ou des discontinuités d'origine géologiques (revêtement en pierres agrafées de l'opéra Bastille).

Ainsi, les mesures par ultrasons dans les pierres ou les maçonneries apportent des informations essentielles sur les caractéristiques de ces matériaux dans le cadre de diagnostics. En outre, lorsque des prélèvements sont nécessaires, elles permettent d'en limiter le nombre, en orientant judicieusement le choix de leur emplacement.

Bernard Chagneaud

Centre expérimental de recherches et d'études du bâtiment et des travaux publics (CEBTP)

Service Maçonneries-Monuments historiques

Domaine de Saint-Paul BP 37

78470 St-Rémy-les-Chevreuse

Contact : b.chagneaud@cebtp.fr