

Les mathématiques des fractales luttent contre le bruit

Un mur acoustique mis au point par un laboratoire de l'Ecole polytechnique et la société Colas permet de réduire de façon importante les sons engendrés par la route et le rail grâce à ses motifs dentelés

« **NOUS N'AVONS** malheureusement pas de pistolet. » Au pied de son mur antibruit, Didier Peyrard, directeur technique de la société Somaro, filiale du géant de la construction routière Colas, ne peut parfaire sa démonstration. Les creux et pyramides moulés dans ce panneau de béton de bois sont censés absorber les sons de façon inégale. Mais l'écran de 4 mètres de côté érigé sur le parking du centre de recherche de l'industriel, dans les Yvelines, ne permet pas à une oreille profane de faire la différence.

Les mesures effectuées en relation avec le laboratoire de physique condensée de l'Ecole polytechnique sont pourtant formelles : ces pleins et ces déliés absorbent les basses fréquences avec une efficacité de 68 % plus élevée que celle d'un mur classique. Et le fameux test du pistolet, standardisé, a bien montré que la réflexion des ondes sonores était diminuée de 8 décibels acoustiques - dB(A) -, tandis que la transmission - les sons capables de traverser l'écran - était réduite de 57 dB(A).

AUGMENTER LA SURFACE POUR PIÉGER LES ONDES SONORES

Un mur prototype de 4 mètres de côté



Photos : Colas

■ L'écran antibruit mis au point par Colas et le laboratoire de physique des matériaux condensés de Polytechnique met à profit le principe physique selon lequel l'absorption phonique est proportionnelle à la surface développée offerte au contact des ondes sonores. Les formes fractales, qui présentent des motifs identiques à différentes échelles, ont inspiré la forme, faite de creux et de bosses, du mur constitué de béton de bois.

On mesure mieux les progrès obtenus lorsque l'on sait que les mesures de bruit se faisant à partir d'une échelle logarithmique, cela signifie qu'une diminution de 3 dB(A) correspond à une réduction de moitié du volume sonore perçu par l'oreille humaine. Au total, résume Jean-Luc Gautier, chef du projet mur antibruit chez Colas, les simulations numériques indiquent que, pour un riverain, le mur permettrait de réduire de

2,7 dB(A) la nuisance occasionnée par le trafic routier, « soit 45 % de mieux que les meilleurs matériaux actuels ».

Cette performance tient en un concept un peu passé de mode, les fractales, qui désignent des formes géométriques ayant la faculté de se reproduire à l'identique à différentes échelles. Les branches du chou-fleur ou de l'arbre bronchique, tout comme la découpe du littoral en sont des exemples fournis par la nature, avant que les mathématiciens - dont le Français Benoît Mandelbrot - ne formalisent des fonctions reproduisant des motifs similaires.

En acoustique, « nous sommes partis du principe que l'absorption sonore serait proportionnelle à la surface développée au contact des ondes sonores », explique Bernard Sapoval, co-inventeur du procédé et chercheur au laboratoire de physique condensée de Polytechnique. Les fractales offrent justement la particularité d'accroître la surface de contact. Tout comme le contour d'une côte rocheuse est virtuellement de longueur infi-

nie, si on se donne pour objet de le suivre à l'échelle du grain de sable et non à celle de la carte routière.

« CINQ FOIS PLUS EFFICACE »

Le chercheur a testé cette hypothèse sur de petites chambres d'enregistrement où étaient disposés des obstacles d'irrégularité croissante. « Les mesures ont confirmé l'intuition de départ. Une salle de concert fractale serait très mauvaise », indique Bernard Sapoval, qui voit dans l'utilisation de ces structures irrégulières une généralisation théorique, du fait que les chambres anéchoïques, conçues pour museler les ondes sonores, fonctionnent mieux lorsque les murs de pyramide de mousse qui les tapissent sont irréguliers. « L'énergie est concentrée à l'endroit où elle est absorbée, ce qui renvoie au concept de localisation faible en physique », indique le chercheur.

Le rôle des irrégularités géométriques dans l'absorption sonore est confirmé par Franck Sgard, du Laboratoire des sciences de l'habi-

tat de l'Ecole nationale des travaux publics de Lyon, dont l'équipe travaille à la mise au point de revêtements perforés destinés à l'équipement des véhicules. « On utilise en effet ce concept d'hétérogénéité pour alléger les produits en augmentant la capacité acoustique », indique le chercheur.

Le mur de Colas n'est pourtant pas irrégulier, dans la mesure où le motif est répétitif, mais sa forme vise bien à multiplier les surfaces de contact. « Notre brevet propose une forme qui serait cinq fois plus efficace », assure Bernard Sapoval. Mais cette géométrie aurait été difficile à mettre en œuvre par moulage et reste encore trop onéreuse. La solution choisie constitue donc un compromis. Retenir d'abord une bonne matière première pour fabriquer les panneaux : le béton de bois, formé de copeaux de pin mélangés à du ciment, dont les qualités phoniques sont connues depuis longtemps. Lui adjoindre ensuite un peu de savoir-faire : celui de Didier Peyrard qui ajoute à l'ensemble une « poudre de perlite » - il n'en dit pas plus - qui facilite le démoulage en dépit des formes chantournées du motif.

Colas espère commercialiser ce produit à partir de début 2004, tant dans le secteur routier que ferroviaire. Le marché existe : le bruit est l'une des nuisances les plus fréquemment citées dans les enquêtes d'opinion. On évalue à 200 000 en France le nombre de logements affectés par des niveaux sonores excédant 65 dB(A), niveau généralement considéré comme un seuil de gêne et de fatigue.

Hervé Morin

La NASA lance une nouvelle sonde vers Mars

APRÈS plusieurs reports dus aux conditions météorologiques, puis à des problèmes techniques, la sonde américaine Opportunity, qui emporte dans ses flancs un petit robot mobile d'exploration, le MER-B (Mars Exploration Rovers), a enfin pris, mardi 8 juillet, le chemin de la planète Mars. A l'origine, elle aurait dû s'envoler le 25 juin, soit une quinzaine de jours après le départ de sa sœur jumelle Spirit. La mission de ces deux engins d'environ 180 kg est de mieux connaître la géologie de Mars et de tenter de découvrir des preuves attestant de la présence passée ou actuelle d'eau dans le sol de la Planète rouge.

RENDEZ-VOUS EN 2004

Pour mener à bien cette délicate enquête, qui se fera à un rythme de sénateur - 40 mètres par jour -, les deux robots à six roues et leurs instruments prospecteront, l'un, le cratère Gusev et, l'autre, une zone d'accumulation riche en oxyde de fer située dans le Meridiani Planum. Cette double mission, pour laquelle l'Agence spatiale américaine a dépensé 800 millions de dollars, talonne la sonde Mars-Express que les Européens ont, début juin, lancée depuis la base spatiale de Baïkonour (Kazakhstan) ainsi que la sonde japonaise Nozomi, qui a connu bien des déboires avant de pouvoir se diriger vers Mars.

Toute cette armada, si Mars-Express surmonte les problèmes de communication qui l'ont affectée - liaisons avec l'atterrisseur Beagle-2 qu'elle emporte -, devrait se retrouver dans la banlieue de Mars à la fin du mois de décembre ou au début du mois de janvier 2004.

Vers des pneus et chaussées plus silencieux

Les pouvoirs publics ont engagé un programme visant à résorber d'ici à 2010 les quelque 3 000 points noirs où le bruit causé par la circulation routière ou ferroviaire dépasse les 65 décibels acoustiques - dB(A) -, seuil de fatigue pour l'homme. Les solutions sont très diverses : couverture des routes, édification de murs, utilisation de revêtements spéciaux, emploi de double vitrage, etc. La réduction à la source a déjà eu un effet drastique : un poids lourd des années 1970 émettait autant de bruit que dix poids lourds actuels. Mais à partir de 50 km/h, les bruits de roulement dépassent ceux émis par le moteur des véhicules légers. Certaines recherches se concentrent sur leur réduction : les sculptures des pneumatiques devraient permettre de gagner de l'ordre de 3 dB(A), soit une réduction de moitié. L'ajout de caoutchouc sur la chaussée, sous la forme de « poudrette » incluse dans les enrobés, permet des gains sonores du même ordre. La prochaine génération, promet-on chez Colas, jouera sur la complémentarité avec les murs antibruit et devrait offrir une nouvelle marge de 3 dB(A).

Des équations aux papillons, les engagements vivaces de Laurent Schwartz

Une fondation pourrait perpétuer l'héritage du savant-citoyen

« **LES MATHÉMATIQUES** ont rempli ma vie », écrivait Laurent Schwartz dans son autobiographie (*Un mathématicien aux prises avec le siècle*, Odile Jacob, 1997). Il ajoutait, on le savait peut-être moins : « J'ai eu en outre une grande passion, presque aussi forte que pour les mathématiques (...), celle de l'entomologie. » Des papillons surtout, dont il avait constitué une exceptionnelle collection, riche de quelque 20 000 spécimens.

Les mathématiques, les papillons... « *Le vrai et le beau* », résume un de ses plus proches amis et compagnons de route, Michel Broué, directeur de l'Institut Henri-Poincaré. De la justesse d'une équation au chatolement d'un lépidoptère, de la pureté d'une aile à l'élégance d'une démonstration, la distance n'est en effet pas si grande.

C'est la distance, pas plus, qui sépare la première et la dernière vitrine de l'exposition présentée à l'Ecole polytechnique, à Palaiseau, en prolongement d'un colloque organisé à la mémoire de Laurent Schwartz, disparu voilà tout juste un an, le 4 juillet 2002. Dans l'une se trouve la prestigieuse médaille Fields - le Nobel des mathématiciens de moins de quarante ans - dont il fut le premier lauréat français, pour l'invention de la théorie des distributions.

Une fiche de cours aussi, dont le minutage très précis porté dans la marge - un homme se révèle aussi à ces détails - montre de quelle rigueur était sous-tendue l'impression d'improvisation que son charisme donnait à ses élèves. Dans l'autre sont épinglés quelques superbes échantillons d'*Attacidae*, gros papillons de nuit aux ocelles colorés, ramenés de l'une de ses aventureuses parties de chasse.

DROITS DE L'HOMME

De l'une à l'autre vitrine, du vrai au beau, l'itinéraire d'un juste. D'un homme de morale, attaché, « parfois au point de démolir ma recherche », relatait-il au soir de sa vie, « à lutter pour les opprimés, pour les droits de l'homme et les droits des peuples ». Des documents, pour certains inédits, qu'il est à l'honneur de l'Ecole polytechnique d'exposer dans ses murs, jalonnent ce parcours militant.

Il y a, bien sûr, son combat contre la torture en Algérie, à la tête du Comité Audin, du nom de ce jeune mathématicien arrêté par les parachutistes en juin 1957 et sans doute mort sous la torture, mais aujourd'hui encore officiellement porté disparu. Le Manifeste des 121, proclamant le droit à l'insoumission, qui lui valut d'être révoqué de son poste de

professeur à l'X par le ministre des armées, Pierre Messmer. Sa réponse cinglante, fustigeant un pouvoir sous lequel on voyait « la torture impunie et les tortionnaires récompensés ».

Il y a, plus tard, son engagement pour le Vietnam, avec ses contradictions, dont témoigne cette lettre d'octobre 1978 au « Cher Camarade Pham Van Dong », où il assure le premier ministre du nouveau régime de sa « solidarité », tout en plaçant vigoureusement pour le respect des droits de l'homme. Ce discours, encore, écrit à l'occasion des obsèques de la femme de Trotski, Natalia Sedova, où il explique son adhésion au Parti communiste internationaliste, de 1936 à 1947, par la « gigantesque falsification » des procès de Moscou, qui le persuadèrent que « le stalinisme n'était pas la bonne voie ». Il allait ensuite continuer à agir « en dehors de tout parti », en homme libre.

Ils sont aujourd'hui quelques-uns - le mathématicien Jean-Pierre Bourguignon, directeur de l'Institut des hautes études scientifiques, Michel Broué, ou le physicien Edouard Brézin - à porter le projet d'une « Fondation Laurent Schwartz pour la science », dont le but serait de « prolonger son action, à la jonction de la science et de la société ». Il s'agirait de créer « un espace de discussion » où se rencontreraient des scientifiques et des responsables économiques, politiques ou culturels, afin de « redonner à la science sa place dans la société contemporaine ». Une ambition à laquelle le peu de cas que les dirigeants actuels semblent faire de la recherche donne toute son actualité, et que n'aurait sûrement pas désavoué Laurent Schwartz.

Pierre Le Hir

★ « Laurent Schwartz, papillons et documents », exposition présentée jusqu'au 14 juillet à la bibliothèque centrale de l'Ecole polytechnique, à Palaiseau (tél. : 01-69-33-40-76).



3 € ■

SÉRIE Enquête sur le bonheur (1^{er} chapitre)

IRAN Jusqu'où peut aller la révolte ?

Et chaque jour : www.courrierinternational.com

Science Frictions

France Culture - Le Monde

par Michel Alberganti

« Qui a inventé la photographie ? »

avec Jacques Roquencourt, ancien ingénieur, spécialiste de Daguerre et François Brunet, professeur à l'université Paris 7 - Denis Diderot

samedi 12 juillet, 18h-18h30



Le Monde