

*que
sais-je?*

LE BRUIT

**MARIE-CLAIRE BOTTE
ET RENÉ CHOCHOLLE**



PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE

QUE SAIS-JE ?

Le bruit

MARIE-CLAIRE BOTTE

Chargée de Recherche au CNRS

RENÉ CHOCHOLLE

Maître de Recherche honoraire au CNRS

Quatrième édition refondue

30^e mille



16° D
3499

61 NC
27-38

288
1/86

DL-11-05-1984-14163



ISBN 2 13 038247 9

Dépôt légal — 1^{re} édition : 1960

4^e édition refondue : 1984, avril

© Presses Universitaires de France, 1960
108, boulevard Saint-Germain, 75006 Paris

INTRODUCTION

Depuis la première édition de cet ouvrage, il y a une vingtaine d'années, de grands progrès ont été réalisés dans la connaissance des effets des bruits sur l'Homme et, par conséquent, dans les moyens de mesurer le bruit dans ses dimensions les plus importantes. Parallèlement, la technologie de la réduction des bruits et, surtout, la réglementation pour la protection contre le bruit se sont beaucoup développées. Ainsi, le *Recueil des textes relatifs au bruit* publié par le *Journal officiel* compte maintenant plus de six cents pages.

Pourtant, les sources de bruits ont continué à se multiplier et leurs effets paraissent avoir atteint un niveau critique, spécialement en milieu urbain. Par ailleurs, on constate que les réglementations demeurent très mal connues, rarement appliquées et même, dans certains cas, difficilement applicables.

Tous les sondages et enquêtes concordent : plus de la moitié des Français placent le bruit au premier rang des gênes et nuisances qu'ils subissent. Plus d'un Français sur deux se plaint d'être agressé par le bruit, que ce soit sur son lieu de travail, pendant son transport, à son domicile, y compris durant les indispensables périodes de sommeil. « Il faut lire le courrier, observer les articles de presse de plus en plus nombreux, écouter les témoignages adressés aux élus, aux pouvoirs publics, pour réaliser à quel point le bruit peut susciter des détresses profondes, désorgani-

ser la vie d'individus parfaitement sains, les mener à la maladie ou même au geste de désespoir » (M. Crépeau, ministre de l'Environnement, exposé du 8 juin 1982).

Cet ouvrage comporte d'abord un rappel des généralités sur le bruit, sa nature, ses caractères, les divers types de bruits et leurs effets sur l'Homme (chap. I). Le chapitre II examine en détail les bases psychoacoustiques des effets des bruits. La mesure des bruits, la description des indices le plus souvent utilisés pour évaluer leurs effets ainsi que les principales normes et réglementations font l'objet du chapitre III. Enfin, le chapitre IV donne un aperçu des techniques de réduction du bruit utilisées respectivement dans le bâtiment, en milieu industriel et en matière de circulation routière.

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS SUR LE BRUIT

I. — Les vibrations acoustiques

Les milieux matériels qui nous environnent sont le siège de *vibrations mécaniques*. Une vibration mécanique est le mouvement d'un système matériel autour d'une position moyenne. Lorsque le système matériel en vibration est constitué par les particules d'un milieu élastique, en mouvement autour d'une position moyenne, il s'agit de *vibrations acoustiques*. Les particules telles que les molécules de l'air ou de l'eau, qui sont des milieux élastiques, peuvent être le siège de vibrations acoustiques.

L'oreille humaine n'est pas sensible à la totalité des vibrations acoustiques. Pour que les récepteurs de l'oreille soient excités, les particules en mouvement, qui sont généralement les molécules de l'air, doivent subir des vibrations dont la fréquence est limitée à une certaine gamme : entre 20 et 16 000 cycles par seconde. Certaines vibrations acoustiques échappent donc à la perception du système auditif de l'Homme. Par définition, lorsque la vibration acoustique peut évoquer une sensation auditive, il s'agit d'un *son*. Les *infrasons* sont des vibrations acoustiques de fréquence trop basse pour évoquer une sensation auditive chez l'Homme. Quant aux *ultrasons*, ils ont une fréquence trop élevée.

Ceci est la définition du son telle qu'elle est normalisée dans le *Vocabulaire de l'acoustique* édité par l'Association française de Normalisation (AFNOR).

1. **La nature du son.** — Le son est donc constitué par le mouvement des particules d'un *milieu élastique*. Ce milieu peut être gazeux, liquide ou solide. A la suite d'un ébranlement initial en un point, les particules matérielles au repos se mettent à exécuter un mouvement : si elles sont momentanément poussées, par exemple, elles s'éloignent de leur position de repos et se rapprochent des particules voisines ; il s'ensuit une *concentration* des particules aux points voisins ainsi qu'une *raréfaction* au point d'ébranlement initial ; cependant, les particules voisines et la cohésion du milieu arrêtent progressivement le mouvement des premières, qui se mettent alors à exécuter un mouvement de recul, à revenir à leur position de repos et même à dépasser cette position dans l'autre sens, avant de revenir de nouveau à leur position d'équilibre, et ainsi de suite : elles exécutent donc des *oscillations* ; les particules voisines ne subissent pas l'assaut des premières sans se trouver elles-mêmes ébranlées ; elles se mettent alors en mouvement à leur tour et dans le même sens ; leur mouvement se trouvant limité pour les mêmes raisons, elles se mettent à osciller également ; pour des raisons identiques, les suivantes en font autant et, de proche en proche, le mouvement oscillatoire se développe. Cette perturbation propagée est une *onde sonore*. Dans le vide il n'y a pas de transmission possible du son puisqu'il n'y a pas de matière. D'autres types d'onde peuvent par contre s'y propager, ce sont les ondes électromagnétiques (lumière, rayons X, ondes hertziennes, etc.).

2. La propagation des sons. — Il y a ainsi *propagation de proche en proche d'un mouvement oscillatoire local des particules autour de leur position de repos à la suite d'un ébranlement initial, sans propagation à distance d'éléments matériels.* Le mouvement oscillatoire en un point du milieu est d'autant plus ample et il peut se propager d'autant plus loin que l'ébranlement initial était plus intense.

Si l'ébranlement initial n'est pas entretenu, il y a *amortissement* très rapide du mouvement, en général, en chaque point du milieu atteint par le mouvement ; quelques oscillations au maximum et le milieu retrouve son état de repos initial. Si l'ébranlement initial est *entretenu*, on assiste par contre à la propagation d'une suite d'oscillations successives des particules du milieu autour de leurs positions d'équilibre respectives, c'est-à-dire d'une suite de concentrations et de raréfactions des particules. Cette propagation s'effectue à partir du point d'ébranlement initial et dans le sens du mouvement initial des particules.

La propagation se fait dans toutes les directions à partir du point d'impact. Par analogie avec les rides qui se créent sur l'eau à la suite d'un ébranlement, on dit que la propagation dans le milieu se fait sous la forme de *trains d'ondes acoustiques*.

La propagation des vibrations sonores se fait à une vitesse variable selon les milieux. Elle est d'autant plus élevée que le milieu présente une plus grande cohésion. Ainsi la vitesse du son (ou célérité), qui est d'environ 340 mètres-par seconde dans l'air, atteint 1 420 m/s dans l'eau et 5 600 m/s dans l'acier.

3. Les sons purs. — Le mouvement oscillatoire le plus simple est celui d'un élastique fixé à ses extrémités, ou encore d'une lame métallique mince et élastique fixée à sa base et libre à son extrémité, que l'on a déplacés de leur position de repos. Lorsqu'on représente l'amplitude du déplacement d'un point en fonction du temps, la courbe obtenue a la forme d'une sinusoïde.

On dit alors que le son est *pur ou sinusoïdal* car

l'oscillation des particules se fait selon une sinusoïde pure, c'est-à-dire qu'elle peut être représentée en totalité pour chaque point en fonction du temps par une sinusoïde (fig. 1).

On appelle *cycle* une oscillation complète. Au cours d'un cycle, les particules s'écartent ainsi de leur position initiale pour y revenir finalement, après être

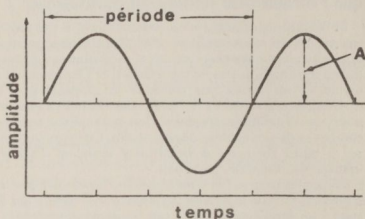


Fig. 1. — Forme d'onde d'un son pur
A : amplitude maximale

passées une seule fois par chacune des deux positions extrêmes ; un nouveau cycle peut alors recommencer ; la *période* est la durée nécessaire à un cycle entier.

4. La fréquence et l'intensité. — Les oscillations du milieu peuvent être plus ou moins rapprochées dans le temps, et, par conséquent, plus ou moins fréquentes ; la *fréquence* est le nombre de cycles complets effectués en une unité de temps, la seconde. On exprime la fréquence en hertz (Hz), c'est-à-dire en nombre de cycles par seconde, donc par unité de temps.

L'*intensité* dépend, pour sa part, de l'amplitude du mouvement oscillatoire (fig. 1).

5. Les sons complexes ; leur analyse. — Lorsque l'oscillation des particules ne se fait plus selon une sinusoïde pure, le son est dit *complexe* (fig. 2). Selon le théorème de Fourier, toute onde complexe peut être décomposée en une série d'ondes sinusoïdales différentes, en particulier du point de vue de

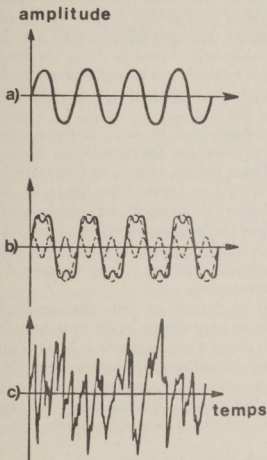


Fig. 2. — Formes d'onde de différents sons

(a) son pur ou sinusoïdal; (b) son complexe périodique (trait plein) somme de 2 ondes sinusoïdales (traits discontinus); (c) son complexe non périodique (d'après J.R. Hassal et K. Zaveri 1979, avec l'autorisation des auteurs et des éditions Brüel et Kjaer)

leurs fréquences et de leurs amplitudes. La somme de ces différentes composantes constitue l'onde complexe.

Lorsque l'analyse d'un son complexe aboutit à une série d'ondes sinusoïdales dont chacune a pour fréquence un multiple entier d'une même fréquence fondamentale (rapport de fréquence harmonique), le son complexe est lui-même périodique. Dans ce type de *son complexe périodique*, la forme prise par l'onde sonore se répète donc périodiquement, à la fréquence de la fondamentale. Certains sons du langage, en particulier les voyelles, ou encore les sons produits par les instruments de musique, sont des sons complexes périodiques (fig. 2).

Lorsque l'analyse d'un son complexe produit des composantes dont les fréquences ne sont pas des multiples d'une même valeur, le son complexe n'est pas périodique. Les bruits sont des *sons complexes non périodiques*, ils peuvent être décomposés en un grand nombre de fréquences et leur forme d'onde ne présente plus aucune périodicité. Un cas extrême de bruit est le bruit « blanc » dont le spectre contient toutes les fréquences.

Beaucoup de bruits, en fait, sont un mélange de sons complexes périodiques et de sons complexes non périodiques, comme par exemple le bruit d'un moteur qui comporte beaucoup d'harmoniques de la fréquence de rotation. Par contre, le bruit des pneus d'un véhicule roulant à vitesse élevée ou celui d'une chute d'eau sont des sons apériodiques.

6. Les interactions. — Quand plusieurs vibrations de fréquences différentes ou de même fréquence agissent sur le même milieu, les ondes correspondantes se superposent sur tout ou partie de leur trajet, l'amplitude des oscillations résultante est, en chaque point, la somme algébrique des amplitudes de chaque

onde : il y a interaction ; on peut passer selon les cas de la somme des amplitudes à leur différence.

Une technique de réduction du bruit appelée *l'antibruit*, expérimentée depuis quelques années, est basée sur cet effet. Le bruit gênant, enregistré près de sa source (source primaire), est émis à nouveau par des haut-parleurs (sources secondaires) de façon à créer une interaction entre source primaire et sources secondaires. La position des sources secondaires, ainsi que les amplitudes et les retards des différentes composantes du bruit qu'elles émettent, font l'objet de calculs complexes dans le but d'obtenir un bruit résultant minimal.

7. Les réflexions, les échos. — Les ondes se *réfléchissent* en partie, en général, sur les obstacles, les murs, en même temps qu'elles *sont transmises* à l'obstacle ou aux murs au travers desquels elles se propagent ; elles reviennent sur elles-mêmes, rencontrent d'autres obstacles ou d'autres murs sur lesquels elles se réfléchissent de nouveau, etc. On assiste ainsi, dans un local clos, à un accroissement important des sons émis à l'intérieur de celui-ci par réflexions, par échos successifs, ainsi qu'à la formation d'*ondes stationnaires*, avec apparition de nœuds aux endroits où l'amplitude est nulle (ou minimale) et de ventres aux endroits où l'amplitude est maximale. On conçoit ainsi que, dans un local industriel aux murs particulièrement réfléchissants, l'intensité du bruit puisse être considérable et varier d'un point à un autre, parfois même en des points très rapprochés, dans des proportions souvent importantes.

8. Les vibrations libres et les vibrations forcées ; la résonance. — Tout milieu a sa *fréquence propre*, dite encore fréquence naturelle, fréquence à laquelle il vibre si on le laisse libre d'osciller à sa guise, en absence de toute force extérieure (à la suite d'un ébranlement très bref par exemple), ou si on lui