

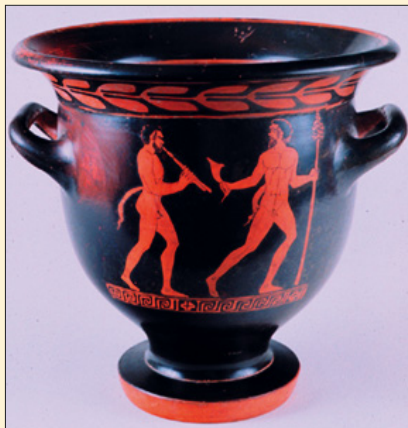
## Histoire sommaire de la science de l'acoustique ①

### L'Antiquité grecque

La première description du phénomène du son est entreprise par les anciens Grecs. Les penseurs de cette époque puisent leurs informations dans les observations de la nature réalisées quotidiennement par les agriculteurs, éleveurs, marins, etc., qu'ils enrichissent de leurs propres examens et expériences.

Vers le VIII<sup>e</sup> siècle ANC, dans ses deux grands poèmes, l'Illiade et l'Odyssée, Homère distingue les composantes fondamentales du

son: l'intensité, la hauteur et le timbre. La guerre (chocs des armes, bruit des cordes des arcs, vols des flèches, etc.), les naufrages de navires ou les courants d'air et le vent lui fournissent l'occasion d'observer et de décrire les conditions environnementales de la formation et de la propagation des sons. Il décrit et commente aussi les instruments de musique de ses contemporains, dont beaucoup étaient connus des civilisations du Proche-Orient.



Joueur d'aulos  
(double flûte).  
Vase cratère à fond noir  
(vers 430 ANC).



Joueur d'aulos  
(double flûte)  
et chanteur.  
Vase cratère  
à fond rouge  
(vers 450 ANC)

Homère présente le son comme "une réalité", qui se déplace dans l'espace, et comme une force capable de frapper les oreilles, voire de déplacer des objets. Il a déjà conscience des liens entre les phénomènes de son, d'écho et de résonance.

Dans la première moitié du IV<sup>e</sup> siècle ANC, l'école de penseurs pythagoricienne développe une théorie déjà très élaborée de la musique, et spécialement de la gamme. Il est cependant vraisemblable qu'auparavant, les musiciens maîtrisaient parfaitement l'usage de la gamme. Une fois encore, la pratique d'une notion précède sa théorisation.

La gamme pythagoricienne a été construite par Aristoxène. Observant que des cordes d'instruments de longueurs proportionnelles donnent des sons dans des rapports musicaux constants, et que plusieurs notes émises simultanément à des hauteurs bien précises donnent un accord agréable à l'oreille, Aristoxène cherche les relations mathématiques liées à ces phénomènes. Il constate par exemple qu'une corde d'une longueur double à celle d'une autre donne un son inférieur d'une octave.

Sur base notamment de cette constatation, les Pythagoriciens élaborent leur gamme. Celle-ci est construite sur base des premiers

## Histoire sommaire de la science de l'acoustique

II

entiers (1, 2 et 3), de leurs rapports ( $1/2$ ,  $2/3$  et  $3/2$ ) et de leurs puissances. La gamme est obtenue par une succession de quintes selon le principe suivant.

Supposons que la vibration d'une corde produise un do ( $do_1$ ), et que sa longueur soit prise pour unité. Supposons deux autres cordes, de longueurs respectivement égales à  $3/2$  et  $2/3$  de la première. Les notes produites par ces cordes seront, pour la première, un fa inférieur ( $fa_0$ , plus grave), et pour la seconde, le sol supérieur ( $sol_1$ , plus aigu).

De la même façon, en allant vers les notes plus élevées, on détermine une corde d'une longueur égale aux  $2/3$  de celle du  $sol_1$ , qui produit un ré à l'octave supérieure ( $ré_2$ ). Par rapport au do initial ( $do_1$ ), ce ré ( $ré_2$ ) est d'une longueur de corde égale à  $(2/3)^2$ . De même, une corde de longueur  $(2/3)^3$  donne le  $la_2$ , une corde de longueur  $(2/3)^4$  donne le  $mi_3$  et enfin une corde de longueur  $(2/3)^5$  donne le  $si_3$ .

Comme une note quelconque est dans le rapport du simple au double avec la même note à l'octave inférieur, il suffit, pour construire toute la gamme, de doubler les longueurs de  $ré_2$  et de  $la_2$ , de quadrupler les longueurs de  $mi_3$  et  $si_3$  et de diviser par deux la corde de  $fa_0$ . On obtient ainsi toute l'octave, de  $do_1$  à  $do_2$ .

En résumé: ( $do_1$ ) = 1

$$\begin{aligned} \rightarrow (fa_0) &= 3/2 \\ \rightarrow (sol_1) &= 2/3 \\ &\rightarrow (ré_2)^2 = (2/3)^2 \\ &\rightarrow (la_2)^3 = (2/3)^3 \\ &\rightarrow (mi_3)^4 = (2/3)^4 \\ &\rightarrow (si_3)^5 = (2/3)^5 \end{aligned}$$

Pour tout remettre dans l'octave 1 :

$$\begin{aligned} (ré_1) &= (ré_2) \times 2 = (2/3)^2 \times 2 = 8/9 \\ (la_1) &= (la_2) \times 2 = (2/3)^2 \times 2 = 16/27 \\ (mi_1) &= (mi_3) \times 4 = (2/3)^4 \times 4 = 64/81 \\ (si_1) &= (si_3) \times 4 = (2/3)^5 \times 4 = 128/243 \\ (fa_1) &= (fa_0) / 2 = (3/2) / 2 = 3/4 \end{aligned}$$

Soit, de  $do_1$  à  $do_2$ :

$do_1$	$ré_1$	$mi_1$	$fa_1$	$sol_1$	$la_1$	$si_1$	$do_2$
1	$8/9$	$64/81$	$3/4$	$2/3$	$16/27$	$128/243$	$1/2$

La gamme pythagoricienne, quoique très logiquement construite, est pourtant mal adaptée à la pratique de la musique et à la construction des instruments. Les musiciens et facteurs d'instruments l'ont transformée pour la pratique de leur art respectif. Elle reste pourtant la première théorie mathématique appliquée à la musique.

À la suite d'Aristoxène et de ses disciples, deux penseurs ont résumé l'acoustique antique dans des traités fameux.



Les théâtres grecs antiques, comme par exemple celui d'Epidaure (Péloponnèse), témoignent de la maîtrise des Anciens en matière d'acoustique.

## Histoire sommaire de la science de l'acoustique



Au III<sup>e</sup> siècle ANC, le mathématicien grec Euclide, dans la Division du canon émet l'hypothèse que le son n'est généré que s'il y a mouvement. Selon lui, la hauteur du son augmente avec le nombre des mouvements ou le nombre de chocs produits en un temps donné. Le son est donc composé de particules distinctes. Examinant les instruments à cordes, Euclide suppose que le nombre de vibrations produites par un son émis est in-

versement proportionnel à la longueur de la corde vibrante.

Au II<sup>e</sup> siècle PNC, le savant grec Ptolémée rédige Les Harmoniques, traité beaucoup plus complet dans lequel il fait la synthèse des théories de son temps. Ptolémée développe les diverses théories musicales, et envisage même les effets psychologiques que peuvent produire certains sons ou certaines musiques.

### *La Renaissance, la Révolution scientifique et l'époque des Lumières*

Si la musique, l'écriture musicale et la facture des instruments connaissent de florissants développements tout au long du Moyen Age, tant en Occident que dans le monde byzantin, l'acoustique en tant que discipline scientifique ne suscite pratiquement plus aucun intérêt.

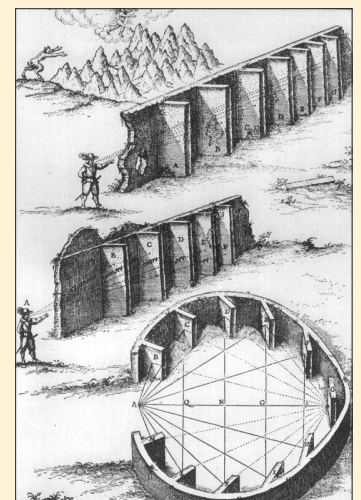
Tous les artistes et intellectuels devenant alors friands de culture antique, les théories émises par les Grecs sont reprises à la Renaissance, et d'abord dans le milieu des musiciens et des théoriciens de la musique.

Ce n'est qu'à partir du XVII<sup>e</sup> siècle que l'acoustique se détache vraiment de l'art musical, et devient la véritable science à part entière du phénomène sonore.

En 1638, le physicien italien Galilée, s'inspirant des travaux des penseurs grecs, étudie les vibrations des cordes. Il établit la notion de fréquence des vibrations d'une corde, et démontre que la fréquence de vibration d'une corde dépend de sa longueur, de sa tension et de sa masse.



Galilée réétudie les cordes vibrantes à la manière des Anciens.



Marin Mersenne étudie l'écho. En haut, l'explication des Anciens qui admettaient l'intervention de divinités ou d'esprits. En bas, l'explication rationnelle, par la réflexion du son sur les pans des murs (échos simples et multiples).

## Histoire sommaire de la science de l'acoustique

IV

Vers la même époque, le savant français Marin Mersenne établit toute une série de relations mathématiques entre fréquences, longueurs et masses des cordes vibrantes. En 1636, il estime expérimentalement la vitesse du son. Il observe aussi qu'une corde vibrante produit, en plus d'un son fondamental, des sons plus aigus appelés harmoniques.

En 1700, le mathématicien français Joseph Sauveur développe la théorie des harmoniques, et découvre, toujours en étudiant des cordes vibrantes, les noeuds et les ventres des vibrations. Sauveur étudie aussi les vibrations de l'air dans les tuyaux des orgues, et décrit en détail le phénomène de résonance.

Parallèlement, les savants s'interrogent de plus en plus sur la nature exacte du son. En 1716, le savant français de la Hire formule l'idée que le son est produit par le tremblement des molécules d'air dans l'entourage de la corde vibrante, tandis que Newton

estime que le son est produit directement par la corde vibrante.

Vers le milieu du siècle, le mathématicien suisse Daniel Bernouilli et le mathématicien français Louis Lagrange étudient plus minutieusement les vibrations de l'air dans les tuyaux des orgues. En compagnie du mathématicien suisse Léonard Euler, Bernouilli analyse les phénomènes vibratoires de toutes sortes d'objets (cloches, barreaux de fer, etc.). L'étude des sons par la voie des mathématiques est alors systématiquement privilégiée.

Daniel Bernouilli étudie les vibrations de l'air dans les tuyaux des orgues.

Simultanément, les notions "d'onde" et de "propagation ondulatoire des sons" s'affermissent. En 1690, le savant hollandais Christian Huygens en fait la synthèse, après que le savant français Pierre Ango, en 1682, ait établi le premier l'analogie entre onde sonore et vague dans l'eau.



Daniel Bernouilli étudie les vibrations de l'air dans les tuyaux des orgues.

## Histoire sommaire de la science de l'acoustique



En 1650, le physicien allemand Otto de Guericke démontre que le son ne se propage pas dans le vide. Quelques années après, divers savants, dont le Français Denis Papin, complètent l'expérience de de Guericke en montrant que c'est bien l'air qui transmet les ondes sonores. Ce n'est pourtant qu'en 1779 que le chimiste anglais Joseph Priestley établit la relation de proportionnalité entre l'intensité du son transmis par un gaz et la densité de celui-ci. Entre-temps, en 1671, le porte-voix est inventé, directement inspiré des découvertes contemporaines sur la nature du son.

En 1738, une commission de savants, mise en place par l'Académie royale des sciences de Paris et composée notamment de l'astronome français Jacques Cassini, établit de manière beaucoup plus précise la vitesse du

son. Celle-ci est alors fixée à 337 m/s. La commission examine aussi les effets des conditions climatiques (vent, pression, température, etc.) sur la vitesse.

En 1743, en s'immergeant lui-même dans la Seine, l'abbé Jean Antoine Nollet prouve que les sons se transmettent aussi dans l'eau, ce qui alors n'apparaissait pas du tout évident... En 1791, le Français Etienne Pérolle démontre que les sons se conduisent plus loin dans l'eau que dans l'air.

Ainsi, à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, les bases de l'acoustique moderne sont bien établies. La vitesse du son est assez précisément déterminée. La nature du son apparaît comme un phénomène vibratoire, et beaucoup de principes de l'acoustique sont bien établis par les mathématiques.

### Le XIX<sup>e</sup> siècle

Tout au long de la première moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, de considérables découvertes permettent de développer la science de l'acoustique. Les travaux de grands mathématiciens sur les séries mathématiques aident plusieurs physiciens à faire progresser leurs recherches théoriques sur les phénomènes vibratoires et ondulatoires.

Au début des années 1820, portant son attention sur les travaux du Français Joseph Fourier

relatifs à la chaleur, le physicien allemand Georges Ohm développe une formule mathématique donnant l'élongation d'une vibration en fonction de son amplitude et de sa période. Avec cette formule, le son apparaît théoriquement comme décomposable en un son fondamental et en harmoniques, d'une manière unique et bien spécifique.



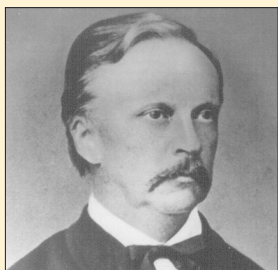
Les travaux mathématiques de Joseph Fourier permettent l'avancement des recherches en acoustique.



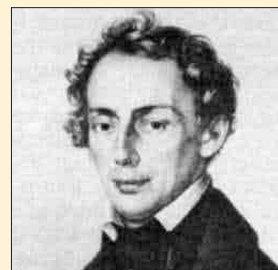
Georges Ohm développe les séries de Fourier pour établir l'élongation d'une vibration en fonction de son amplitude et de sa période.

## Histoire sommaire de la science de l'acoustique

VI



Hermann von Helmholtz démontre expérimentalement l'existence des harmoniques.



Christian Doppler met en évidence la modification de la longueur d'onde d'un mouvement vibratoire par le déplacement de sa source.

Si l'existence des harmoniques est théoriquement prouvée, et que leur rôle dans la formation du timbre est bien établi, il reste à démontrer expérimentalement leur existence. Grâce à ses "résonateurs", le physicien allemand Hermann von Helmholtz y parvient dans les années 1860.

Dans le même temps, divers savants s'attachent à l'étude de sujets complexes liés à la propagation du son, à la superposition de plusieurs sons, aux phénomènes de battement et d'interférence, etc.

L'approche mathématique des phénomènes vibratoires a aussi suggéré à plusieurs scientifiques - notamment le physicien britannique John Rayleigh et les physiciens allemands Gustave Kirchoff et Wilhelm Wien - la recherche d'analogies entre phénomènes sonores et lumineux.

En 1842, la modification de la longueur d'onde d'un mouvement vibratoire par le déplacement de la source ou de l'auditeur est mise en évidence par le savant autrichien Christian Doppler. Le développement du chemin de fer, et donc des sifflets des locomotives, permet à ce dernier de vérifier expérimentalement ses formules.

Si la recherche théorique progresse à grands pas, les dispositifs expérimentaux nécessaires à l'analyse des sons et à la vérification des théories ne connaissent qu'un développement tardif.

Les premières méthodes graphiques (stylets traceurs sur des disques ou cylindres tournant, enduits de noir de fumée) sont mises au point vers 1840. Au début des années 1860, elles font place à des dispositifs permettant l'observation d'un spot de lumière soumis à des vibrations. Ce procédé est notamment développé par le physicien français Jules Lissajous.

D'autres instruments sont mis au point dans la seconde moitié du siècle, afin d'analyser les sons plus précisément encore.

Dès le début des années 1850, l'électricité est employée pour générer une vibration, à l'aide d'un électro-aimant et d'un courant alternativement interrompu et rétabli. Ce système permet une étude plus précise des vibrations dans une corde tendue. Dans les années 1880, l'observation sera affinée par l'usage d'une lampe phosphorescente.

A partir des années 1890, l'usage de la photographie permet une interprétation plus fine des résultats des observations.

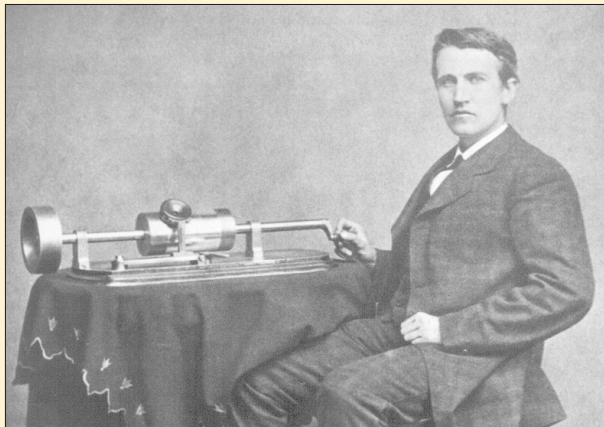
Ces incessantes améliorations apportées au matériel expérimental permettent des mesures toujours plus précises, notamment de la vitesse du son. En 1868, le physicien français Victor Regnault conçoit un système d'enregistrement électrique qui lui permet de déterminer cette vitesse avec grande précision.

## Histoire sommaire de la science de l'acoustique

VII

Divers appareils du quotidien sont directement redevables aux expériences et découvertes de la science de l'acoustique du XIX<sup>e</sup> siècle.

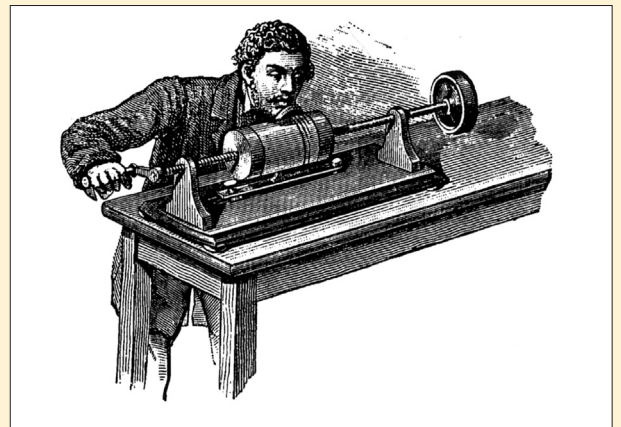
En 1877, les méthodes expérimentales d'enregistrement graphique du son inspirent Edison dans la mise au point du phonographe. Le phonographe "enregistre" les



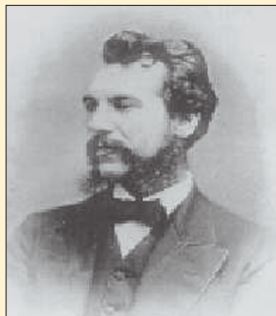
Edison posant aux côtés de son invention.

sons, et les restitue ensuite en devenant un "gramophone".

L'acousticien américain Graham Bell, jusqu'alors préoccupé par l'étude des voix et la recherche de procédés d'aide aux sourds-muets, met au point le téléphone au début des années 1880.



Comment on enregistrait la voix sur le phonographe d'Edison.



Graham Bell, acousticien, préoccupé d'aider les sourds-muets, invente... le téléphone.

L'acousticien américain Graham Bell, jusqu'alors préoccupé par l'étude des voix et la recherche de procédés d'aide aux sourds-muets, met au point le téléphone au début des années 1880.