



Comparteur optique de Lissajous (1822-1880)

Lissajous met au point, vers 1873, une méthode optique pour étudier la composition et permettre la comparaison des mouvements vibratoires.

Son appareil se compose de deux supports pour la composition des vibrations, qui permettent de fixer les diapasons à différentes hauteurs et dans toutes les positions voulues, d'un support avec microscope pour la comparaison et de dix forts diapasons armés de miroirs d'acier. Des curseurs, fixés sur les diapasons, permettent de faire varier le nombre de vibrations.

Le comparateur sert à l'observation directe, soit des différences de phases entre les corps vibrant simultanément, soit des formes vibratoires des différents corps.

Dispositif d'enregistrement

Un dispositif additionnel, permet de monter le diapason sur un support permettant d'enregistrer les vibrations. À l'aide d'un stylet placé en butée sur une des branches du diapason, on peut graver sur un papier ou une plaque de verre recouverts de noir de fumée les mouvements vibratoires du diapason, la plaque de verre descendant comme un coupeur de guillotine.

Phonographe sans pavillon

*C'est un Parisien, Edouard Léon Scott de Martinville (1817-1879) qui enregistre pour la première fois la parole à l'aide d'un appareil enregistreur des sons, qu'il appelle le **phonautographe** (1857). Vingt ans plus tard, le 30 avril 1877, le poète Charles Cros dépose, sous pli cacheté, à l'Académie des sciences de Paris, la description d'un procédé d'enregistrement et de reproduction des sons perçus par l'ouïe. Cros s'attaque ensuite à la réalisation pratique de l'instrument, qu'il baptise **paléophone**. De façon concomitante aux Etats-Unis, Thomas Edison dépose le brevet de son **phonographe** le 19 décembre 1877 dont le premier usage assure-t-il est la rédaction de lettres, et la réalisation de toutes sortes de dictées sans l'aide d'un(e) sténographe. Charles Cros tente sans succès de faire valoir l'antériorité de sa découverte de l'enregistrement sonore, mais il doit alors se résigner à voir l'inventeur américain tirer tout le bénéfice de l'invention. L'idée d'Edison consiste à utiliser un cylindre de cire mû par une manivelle et recouvert d'une feuille de papier d'étain. A l'enregistrement, la source sonore, comme un opérateur qui chante dans un cornet terminé par un diaphragme, met en vibration une membrane, et cette vibration est transmise à un stylet qui grave un sillon ondulé sur le cylindre de cire molle. Pour la restitution du son, la cire est durcie, et le stylet remplacé par une pointe mousse, qui imprime au diaphragme le même mouvement qu'à l'inscription. Le son est restitué à travers un pavillon faisant office de porte-voix. Ce procédé est celui de l'enregistrement analogique car le son est resté d'usage jusqu'en 1979, date à laquelle il est supplanté par le procédé d'enregistrement numérique.*

...

Le cylindre de phonographe est le premier support de l'enregistrement phonographique exploité commercialement, à partir de 1894. C'est un cylindre fait d'un manchon dont les dimensions approximatives furent choisies par Edison lorsqu'il perfectionna son invention entre 1887 et 1889. La durée de l'enregistrement est de 2 minutes environ. Les enregistrements sont extrêmement fragiles.

Il fallut attendre les années 1887-1889 pour obtenir des enregistrements sonores durables. C'est pourquoi il n'existe aujourd'hui aucun enregistrement de la période 1878-1887.

*Aujourd'hui on peut récupérer les enregistrements de ces cylindres à l'aide d'un appareil approprié très moderne **l'Archéophone**.*

3 - CORDE VIBRANTE

Qu'est-ce que le son ?

Des petites particules qui se déplacent ? L'air qui vibre ou l'eau qui vibre ?

Le **son** est une sensation auditive provoquée par une vibration.⁽³⁾

L'héritage pythagoricien

Comme il arrive souvent qu'une recherche, ou même une découverte, n'est, pour ainsi dire, que l'épisode d'une autre, M. Sauveur, en examinant la théorie de certains instruments, qui vont par sauts, & passent irrégulièrement d'un ton à un autre, fut obligé pour en rendre raison, de recourir à des expériences qui lui produisirent un phénomène dont il fut d'abord extrêmement surpris.

Car quel philosophe aurait cru qu'un corps mis en mouvement de manière que toutes les parties y doivent être, en conserve cependant quelques-unes immobiles dans certains intervalles, ou plutôt en rend quelques-unes immobiles par une certaine distribution, qu'il semble faire entre elles du mouvement qu'il a reçu ?

Histoire de l'Académie Royale des Sciences – 1701 – p.129-130

Si une corde d'instrument est tendue sur une table, et qu'un chevalet mobile qui coule sous la corde soit arrêté sous quelqu'un de ses points, en sorte que quand on pincera par le milieu l'une des deux parties déterminées par la position du chevalet, l'autre ne participe point du tout à l'ébranlement, il est certain & connu de tout le monde, que le ton de la partie pincée sera au ton de toute la corde, selon la proportion des longueurs de cette partie & de la corde entière.

Histoire de l'Académie Royale des Sciences – 1701 – p.129-130

Mais si le chevalet n'empêche pas entièrement la communication des vibrations des deux parties, **si ce n'est qu'un obstacle léger, les deux parties quoiqu'inégales, rendent le même ton & font le même accord avec la corde entière.** Il ne serait pas surprenant qu'elles fussent toutes deux à l'unisson de la corde ...

Mais l'obstacle léger détermine les parties de la corde à être effectivement parties, & à rendre un ton différent de celui du tout & la merveille est qu'à des parties inégales il leur laisse le même ton.

Histoire de l'Académie Royale des Sciences – 1701 – p.129-130

Sur ce phénomène si bizarre, M. Sauveur imagina d'abord que puisque ces $\frac{3}{4}$ de corde rendaient le même son que $\frac{1}{4}$, ils devaient absolument ne pas faire des vibrations proportionnées à leur longueur, qu'il fallait qu'ils se partagent en trois parties égales chacune au premier quart, et qui fissent chacune leurs vibrations séparément. ...

Cela supposé comme vrai, il y a donc nécessairement entre les vibrations de deux parties égales un point immobile ... 2 points immobiles dans les trois quarts de la corde et 3 dans la corde entière ... **M. Sauveur appela ces vibrations séparées ondulations, leurs points immobiles nœuds, et le point du milieu de chaque vibration, où par conséquent le mouvement est le plus grand, ventre de l'ondulation.**

Quant à la **pensée des nœuds**, qui n'était encore qu'une espérance de petit système, on trouva dans l'Assemblée le moyen d'éprouver si elle était vraie. On mit sur les points de la corde où se devaient faire, suivant la supposition, les nœuds et les ventres des ondulations, de très petits morceaux de papier à demi pliés, qui devaient tomber sans peine au moindre mouvement, on pinça la corde & l'on vit avec beaucoup de contentement et même d'admiration, que les petits papiers des ventres tombèrent aussitôt, & que ceux des nœuds demeurèrent en place.

Histoire de l'Académie Royale des Sciences – 1701 – p.132

⁽³⁾ <http://www.sonorisation-spectacle.org/definition-du-son.html> ; Trois éléments sont nécessaires à l'existence d'un son : une source qui produit le son, un milieu qui transmet la vibration, un récepteur : l'oreille et l'ouïe



Copyright Aubert - Chanteloup

Sonomètre (Démonstration)

Le sonomètre est un monocorde où une corde d'un mètre est encastrée à ses extrémités. L'expérience de Sauveur consiste à positionner des petits bouts de papier le long de cette corde. Cette dernière corde est mise en vibration à l'aide d'un archet de violon. Dans un premier temps, la corde est bloquée en son milieu en utilisant un chevalet mobile et est excitée entre ce dernier et l'extrémité de la corde. Sauveur découvrit que les deux parties de la corde vibrent indépendamment : les morceaux du côté de l'excitation vibrent alors qu'ils restent immobiles de l'autre côté (pas de transmission des vibrations)

Si maintenant, la corde est partiellement bloquée à l'aide d'une plume, on peut observer des nœuds (papiers immobiles) et des ventres de vibration (papiers en déplacement) à des positions bien particulières.

Le but de la présentation et notamment de la démonstration des expériences de Sauveur est de permettre de visualiser et de comprendre les phénomènes d'ondes stationnaires.

Une deuxième démonstration permettra de visualiser les nœuds et les ventres de vibration en utilisant les outils de mesures actuels. Pour ce faire, une corde sera mise en oscillations forcées afin d'entretenir les vibrations de cette dernière et par conséquent les phénomènes d'ondes stationnaires

- **Onde progressive** : perturbation périodique qui se déplace dans l'espace (vagues à la surface de l'eau, ondes sonores, corde)
- **Onde stationnaire** : phénomène vibratoire de deux ondes progressives sinusoïdales de même fréquence se propageant en sens contraire
- **Mode propre** : lié à la déformation de la corde

4 - LES ATELIERS

Atelier propagation acoustique

Cloche à vide

L'expérience de la cloche à vide a pour objectif de démontrer que le son a besoin d'un support pour se propager (gaz, solide, liquide)

Bougie musicale

Un haut-parleur permet de mettre en vibration des particules d'air créant un son. Lorsque la vitesse de ces particules est suffisante, le « souffle » émis par le haut-parleur permet d'éteindre une bougie.

Effet Doppler

Lorsque la distance entre une source acoustique et un récepteur (oreilles, microphone) varie au cours du temps, le récepteur perçoit un décalage de la fréquence (exemple : sirène d'un camion de pompier en mouvement)



Atelier systèmes résonnants

Règle musicale

Le principe consiste à faire vibrer une règle encastrée à une extrémité et libre de l'autre et de faire varier sa longueur. Ainsi le son émis par la règle varie...elle devient musicale. Il est possible de montrer que le son émis par cette règle dépend en partie de sa longueur.

Résonateur de Helmholtz

Le résonateur de Helmholtz est un dispositif qui permettait de déterminer la hauteur des différents tons.

Un exemple de résonateur est la bouteille vide qui lorsque l'on souffle à l'intérieur, un son avec une note bien particulière est produit.

Chladni

La mise en vibration d'une plaque en métal à certaines fréquences engendre des phénomènes de résonance dont les maximums (ventres) et les minimums (nœuds) de vibrations peuvent être observés grâce à du sable sur la plaque.

Lévitiation acoustique

Lorsqu'un son est généré dans tube, des ondes stationnaires sont générées conduisant à des minimums et des maximums de pression acoustique. Un objet léger peut alors se mettre à léviter autour d'un nœud de vibration.

Synchronisation de métronome

Il est possible de synchroniser deux métronomes réglés au même tempo mais démarrant à des temps différés. Cette synchronisation est due au couplage de vibration entre les différents métronomes et leur support. On trouve de nombreux exemples de synchronisation dans la nature, le chant des criquets, les cellules cardiaques, les applaudissements d'une foule etc...

(<http://www.msc.univ-paris-diderot.fr/~phyexp/pmwiki.php/Synchro/SynchronisationSpontan%C3%A9e>)

5 - ECHELLE des SONS

De 0 à 70 dB BRUITS SUPPPORTABLES

- 15 Bruissement de feuilles
- 20 dB Chuchotement / Jardin paisible
- 25 dB Conversation à voix basse
- 35 dB Bateau à voile / Tic-tac de montre
- 40 dB Réfrigérateur
- 55 dB / lave-linge
- 60 dB Grands magasins / Sonnerie de téléphone

De 70 à 80 dB BRUITS GENANTS

- 70 dB Restaurant bruyant
- 75 dB Aspirateur

De 80 à 90 BRUITS FATIGANTS

- 80 dB automobile
- 85 dB Radio volume à fond / Tondeuse à gazon / aboiement

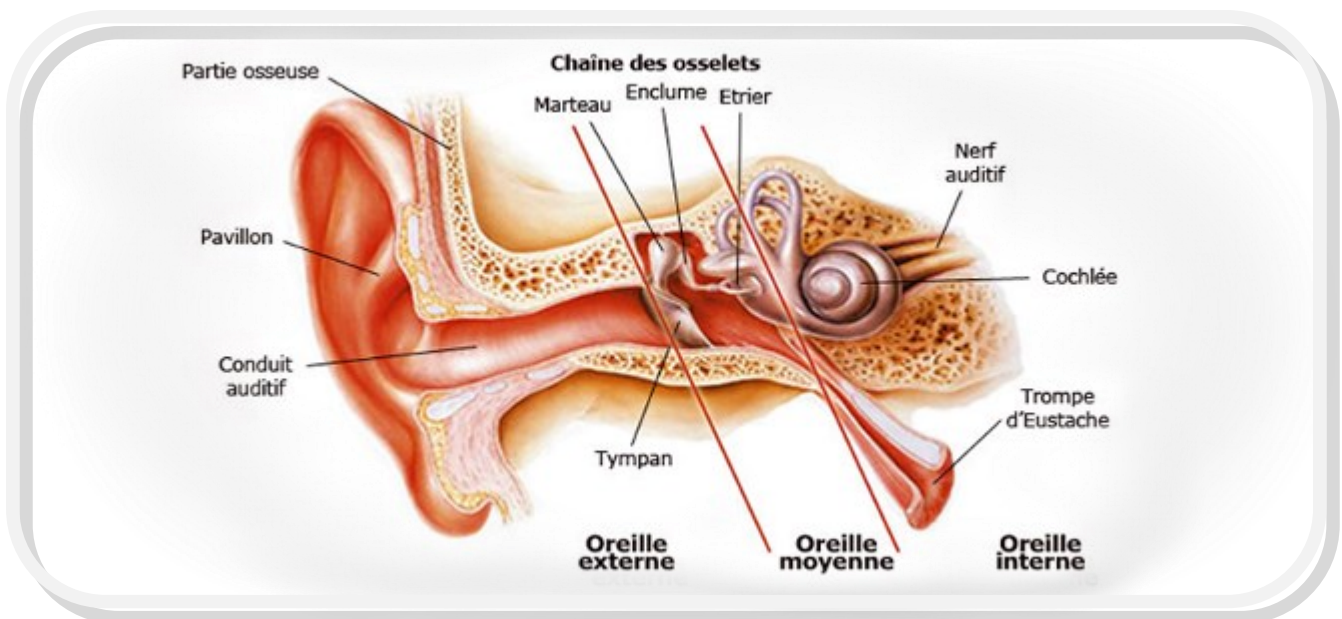
De 90 à 120 dB BRUITS TRES PENIBLES Facteur de troubles auditifs

- 90 dB Rue au trafic intense
- 95 dB klaxon / Train passant en gare Pénible à entendre 0 dB Marteau piqueur / Baladeur à fond
- 105 dB Discothèque / Concert Difficile à supporter

De 120 à 180 dB SEUIL DE LA DOULEUR Exige une protection auditive

- 120 dB Moteur d'avion
- 130 dB Décollage d'un avion / course automobile
- 140 dB Turbo réacteur au banc d'essai
- 180 dB Fusée Ariane au décollage

6 - L'OREILLE



Les oreilles nous permettent de garder l'équilibre et de communiquer.

Les cellules ciliées enregistrent l'énergie acoustique et la transforment en influx nerveux.

Les cellules ciliées endommagées ne sont pas remplacées, la perte de ces cellules est **IRRÉVERSIBLE** et responsable de nombreux troubles de l'audition et de l'équilibre.

Les déficiences auditives dues à des traumatismes sonores sont souvent définitives. La médecine est impuissante à les réparer.

L'accumulation d'activités trop bruyantes telles que l'écoute de la musique sur baladeur, la fréquentation de discothèques, raves ou concerts atteignant des niveaux sonores excessifs peut entraîner des dégâts importants pour l'audition.

N'attendez pas d'avoir mal aux oreilles pour vous protéger ! Le risque auditif est réel bien avant l'apparition d'une douleur.

Peut-on affirmer que les troubles auditifs risquent de devenir définitifs ?

De nombreuses personnes ont déjà ressenti, après un concert, une baisse de sensibilité auditive ou une sensation de coton dans les oreilles. Si ces périodes se répètent trop souvent les troubles auditifs risquent de devenir définitifs ; on parle alors de pertes auditives.

La surdité ne veut pas dire ne plus rien entendre mais ne plus comprendre ce que l'on entend. Dans la plupart des cas, un appareil de correction auditive ne suffit pas, à lui seul, à compenser totalement la surdité.

Au-delà de la fatigue auditive, l'excès de bruit peut entraîner des séquelles irréversibles : la surdité, mais aussi acouphènes et hyperacousie. En discothèque, éloignez-vous des sources sonores (enceintes).

De façon générale, l'hyperacousie est une sensation d'inconfort, voire de douleur, pour des intensités élevées habituellement bien tolérées par le normo-entendant. Ce phénomène est en général constaté en l'absence de perte auditive. C'est une réaction exagérée du système auditif due à une hypersensibilité des voies auditives qui apparaît souvent suite à un traumatisme sonore unique ou répété (boîte de nuit, concert, perceuses, instruments de musique etc.).
(Association France Acouphènes)



Les protections auditives (bouchons en mousse) permettent de réduire le son d'environ 20 dB(A)

L'alcool, la drogue et certains médicaments atténuent la **SENSATION** de douleur et rendent moins vigilant.

En discothèque, une pause de 10 minutes toutes les 45 minutes ou une pause de 30 minutes toutes les 2 heures permet de minimiser les risques

La limitation de la puissance maximale de sortie des baladeurs achetés après le 1^{er} septembre 1998, est de 100 dB(A)
Attention aux écouteurs de remplacement qui peuvent dépasser le seuil des 100 dB(A).

7 - LE SON

Hauteur, niveau et timbre sont les trois caractéristiques principales par lesquelles les sons se distinguent entre eux.

La hauteur d'un son ou fréquence, correspond au nombre de vibrations par seconde de la source sonore.

La hauteur d'un son se mesure en Hertz (Hz).

Plus le nombre de vibrations par seconde est important, plus le son est aigu.

Le diapason vibre 440 fois par seconde, ce qui correspond au « La » soit 440 Hz à 20°C.

L'oreille humaine peut percevoir les sons dans une plage de fréquences comprise entre 20 (très grave) et 20 000 Hz (très aigu).

Les ultra-sons se situent au-delà de 20 000 Hz et ne peuvent donc pas être perçus par l'oreille humaine.

Les sons inférieurs à 20 Hz appelés infra-sons et ne peuvent être perçus par l'oreille humaine.

Le niveau définit l'intensité du son : exemple : faible, si on frappe légèrement une corde de piano, forte, si on frappe fortement cette même corde de piano.

Le niveau sonore d'un réfrigérateur est de 40 dB(A) .

Le niveau sonore total de deux réfrigérateurs de 40 dB(A) chacun ne sera pas multiplié par 2 : il n'augmentera que de 3 dB soit ($40 + 3 = 43$ dB) et non 80 dB(A)

Une variation de 3 dB est identifiable, mais il faut une augmentation de 10 dB pour donner une impression flagrante de changement

Le timbre est la qualité qui fait distinguer les sons obtenus en jouant la même note sur deux instruments différents.

Les fréquences supplémentaires permettant de différencier le timbre de chaque instrument ou de chaque voix humaine s'appellent les harmoniques .

Les sons aigus sont particulièrement dangereux pour l'audition.

Définition de la dynamique : il s'agit de l'écart entre les sons les plus faibles et les plus forts.



8 - L'AUDITION – LES RISQUES AUDITIFS

*(JNA Association Journée Nationale de l'Audition pour l'information et la prévention dans le domaine de l'audition)
D'après le Grand Quiz de l'Audition*

Le son est atténué lorsqu'on s'éloigne d'une source sonore. Le niveau sonore diminue de 6 dB(A) lorsque la distance à la source double en plein air. L'atténuation est plus faible à l'intérieur à cause des réflexions du son.

Deux sources sonores de 70 dB(A) chacune, donnent ensemble un niveau de **73 dB(A)**. (échelle logarithmique des décibels)

Lorsque pendant un concert ou dans un atelier bruyant, on porte des bouchons d'oreille pendant la moitié du temps, le niveau moyen est atténué de seulement 3 dB(A). (échelle logarithmique des décibels)

La loi limite à 100 décibels (dB(A)) le niveau sonore maximum des baladeurs et à 105 dB(A) celui des discothèques. Cependant, le niveau d'un son devient nocif pour l'oreille à partir de 85 dB(A), l'application de la réglementation ne rend pas la musique inoffensive.

Dans le cadre d'activités professionnelles, lorsque le niveau sonore dépasse 85 dB(A), l'employeur doit chercher à réduire le bruit à la source et protéger ses salariés en leur proposant des protections auditives (bouchons d'oreille, casque, etc.).

Un niveau sonore supérieur à 85 dB(A) peut engendrer des traumatismes sonores aigus (TSA). Acouphènes et surdité peuvent survenir rapidement.

Des altérations de l'oreille moyenne ou du tympan peuvent être provoquées par une explosion et l'onde de choc d'une explosion ou les otites séreuses de l'enfant.

Les niveaux sonores élevés sont nocifs pour les cellules de l'oreille interne. Ces cellules sont les seuls éléments de l'oreille altérés par les niveaux sonores élevés.

Les bruits industriels sont aussi nocifs pour l'oreille quel qu'en soit le niveau : le risque est le même quel que soit le son : industriel, musique, sports mécaniques ... pour un même niveau tous les sons ont sensiblement la même nocivité.

Les protecteurs auditifs jetables (bouchons de mousse) atténuent le son d'environ 20 dB(A) : les aigus sont toujours plus atténués que les graves.

La surdité due à l'âge est appelée presbycusie ; ses effets sur les cellules sensorielles s'ajoutent à ceux d'une surdité déjà acquise.

Plus la période d'exposition à des niveaux sonores élevés est longue, plus tôt apparaît la surdité (risque de l'écoute incontrôlée de la musique).

La surdité traumatique provient de l'exposition aux niveaux sonores élevés (activité professionnelle, musique ...)

Même si la durée de la détonation est brève les chasseurs deviennent sourds car cette détonation fait plus de 140 dB(A) ; la répétition de détonations entraîne une surdité.

Une surdité acquise par exposition à des niveaux élevés ne guérit JAMAIS : la surdité est définitive. En effet, la destruction des cellules sensorielles est irréversible car elles ne se renouvellent pas.

En France les professionnels qui délivrent et adaptent les prothèses auditives sont uniquement des audioprothésistes diplômés d'Etat. Ils sont les seuls habilités à délivrer une prothèse après prescription médicale.

Le port d'une prothèse auditive n'a aucun effet sur l'évolution de la surdité : elle ne peut en aucun cas, aggraver la surdité. La prothèse n'agit que sur le son et l'état de l'oreille demeure inchangé.

La surdité due à l'âge ou résultant de l'exposition aux sons forts provoque une atténuation des sons ; la surdité est complexe et ne plus entendre les sons faibles n'est pas le seul trouble.

De façon générale les personnes âgées entendent les sons graves : elles y sont plus sensibles. Ceci à dû à une perte progressive des fréquences hautes (>6000 Hz). Paradoxalement il apparaît une sensibilité aux bruits forts qui deviennent douloureux.

L'acouphène est un son persistant que l'on entend en l'absence de toute source sonore. Il peut être permanent, intermittent ou temporaire, intense, modéré ou faible.

Les acouphènes qui apparaissent surtout après une exposition au bruit, peuvent aussi survenir sans cause apparente : ils peuvent, parfois, apparaître et disparaître spontanément.

