MUSÉE
D'HISTOIRE
DES SCIENCES
GENÈVE

UN SITE DU
mséum
genève

écoute voir...

catalogue de l'exposition

Une institution
Ville de Genève

www.museum-geneve.ch

VILLE DE
GENÈVE

Rédaction de la brochure	Laurence-Isaline Stahl Gretsch, Stéphane Fischer, Maha Zein
Photos	Gilles Hernot, Philippe Wagneur et Maha Zein
Dessins	Florence Marteau
Couverture	Cédric Marendaz
Mise en page	Corinne Charvet
Commissariat d'exposition	Laurence-Isaline Stahl-Gretsch et Stéphane Fischer
Relecture	Corinne Charvet, Alain Junod
Responsable de l'Unité Publics et Expositions	Hervé Groscarret
Directeur	Arnaud Maeder
Impression	Centrale municipale d'achat et d'impression de la Ville de Genève (CMAI)

Cette brochure est publiée en lien avec l'exposition *Ecoute-Voir* au Musée d'histoire des sciences du 12 mai 2021 au 27 février 2022

© Muséum d'histoire naturelle de la Ville de Genève – 2021

TABLE DES MATIÈRES

Introduction 2

1. Quelques éléments pour comprendre le son 3

1.1. Le son est une onde 3

1.2. Des oreilles pour entendre 6

1.3. Le spectre audible 7

1.4. La fabrication d'un son 7

1.5. Mélanger les sons 8

1.6. Phénomènes liés aux sons 9

2. Une brève histoire de l'acoustique 11

2.1. Les pionniers de l'acoustique du 19e siècle 15

2.2. L'acoustique moderne 18

3. Instruments acoustiques des collections 24

3.1. « Voir » le son 24

3.2. Mesurer un son 38

3.3. Produire un son 41

3.4. Amplifier un son 52

3.4. Reproduire un son 58

4. Bibliographie 61

5. Activités à faire en classe ou à la maison, avant ou après la visite 63

INTRODUCTION

Les sons nous environnent, nous accompagnent au quotidien mais, au fait, qu'est-ce qu'un son ? L'exposition *Ecoute-voir* vous emmène à la découverte de ce phénomène physique et du monde merveilleux des ondes…

Le son est une onde… qui aime la matière

Contrairement à la lumière ou aux autres ondes électromagnétiques, le son est une onde mécanique qui a besoin du support d'une matière pour se propager. Selon la nature de ce milieu, sa vitesse varie considérablement, comme l'a mesuré en 1826, dans le lac Léman, le savant genevois Jean-Daniel Colladon (1802-1893). Les ondes sonores s'apparentent aux ronds qui se forment quand on jette un caillou dans l'eau. Les vaguelettes se déplacent sans transport d'eau. Dans l'air, le son prend la forme de vibrations et de compressions qui se propagent pour finalement parvenir à un capteur (un micro ou… une oreille).

On entend les sons grâce à l'ouïe. Notre oreille les transforme par transduction en signaux électriques analysés par notre cerveau. Le son n'est pas perçu de manière identique par tout le monde. Enfants ou adultes, humains ou animaux ne sont pas sensibles au même spectre.

Un son s'entend, mais peut aussi être visualisé, comme le démontrent différents dispositifs expérimentaux inventés durant le 19e siècle, notamment par Ernst Chladni (1756-1827). Mieux, un son peut aussi servir… à voir, par exemple pour se repérer par écholocation comme le font les chauves-souris ou pour montrer l'invisible (l'intérieur d'un corps par échographie, des sous-marins immergés pour les sonars, etc.).

Le son, un phénomène physique si courant dans notre quotidien et qui regorge pourtant de nuances et de curiosités à découvrir au Musée d'histoire des sciences !

1. QUELQUES ÉLÉMENTS POUR COMPRENDRE LE SON

1.1. LE SON EST UNE ONDE

Il existe essentiellement trois grandes familles d'ondes : les ondes mécaniques, les ondes électromagnétiques et les ondes gravitationnelles.

Les **ondes mécaniques** ont besoin de matière pour se propager.

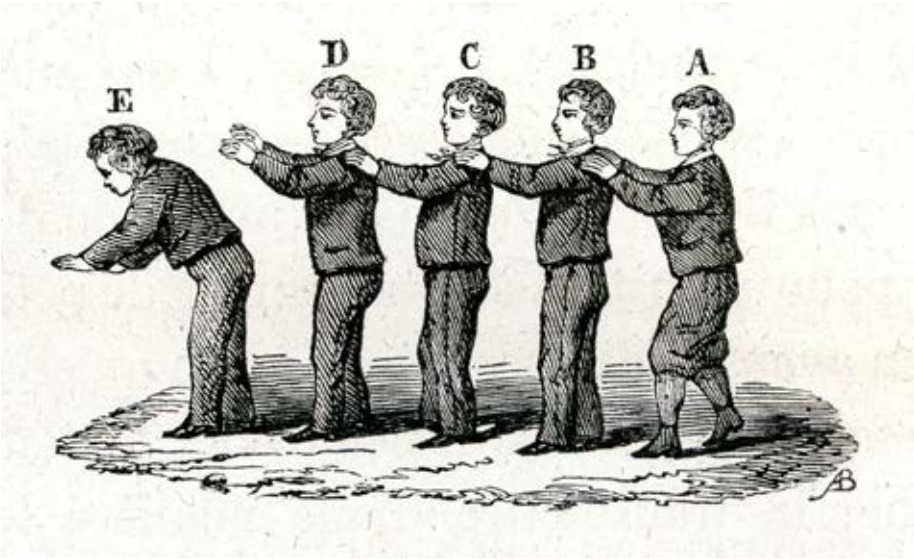
C'est le mouvement qui se propage, pas la matière elle-même. On peut le voir avec l'exemple d'un bouchon posé sur un plan d'eau tranquille. Lorsque l'on jette un caillou, des ondes circulaires se forment et s'éloignent du point d'impact. Le bouchon danse au passage de la vaguelette (soit la perturbation), mais ne suit pas la vague.

Le son est une onde mécanique. Il a donc besoin de matière pour se propager. La vitesse dépend beaucoup de la nature du milieu à l'intérieur duquel le son chemine (composition, température et pression).

Une représentation très imagée de la propagation de l'onde sonore

La propagation de l'onde sonore peut être représentée par l'exemple très imagé tiré de l'ouvrage *Le son* de John Tyndall datant de 1869 et traduit en français par l'Abbé Moignot.

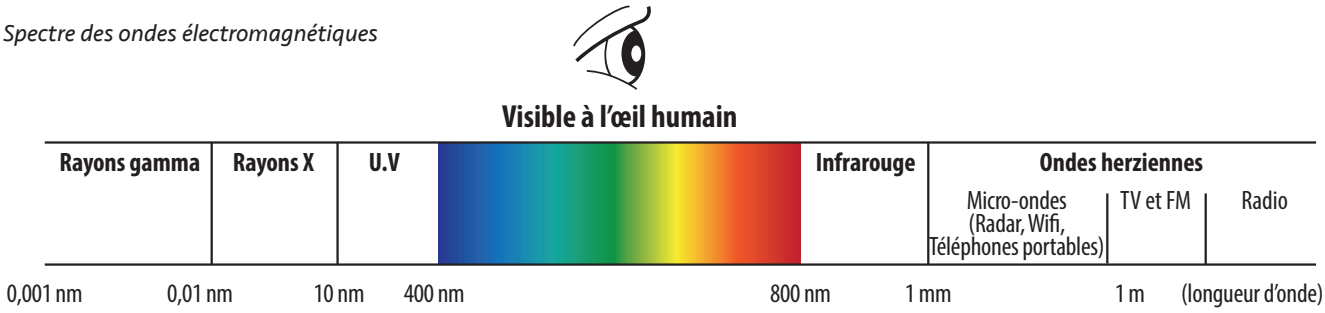
Cinq enfants sont rangés en file, chacun d'eux appuyant ses mains sur le dos de celui qui le précède. Soudain l'enfant A reçoit une poussée dans le dos qui s'incline. Il pousse B et reprend la position droite, de même B pousse alors C, C pousse D et D pousse E, chaque enfant reprend la position droite après avoir communiqué la poussée au camarade qui se trouve devant lui. Le dernier de la file, E, n'ayant personne devant lui pour s'appuyer, est jeté en avant et tombe. « S'il se trouvait sur le bord d'un abîme, il y serait précipité ; placé près d'une fenêtre, il en briserait les vitres ; devant la membrane d'un tambour, sa tête ferait l'effet d'une baguette », explique John Tyndall.



Le Son, Tyndall John, trad. Abbé Moignot, Paris, 1869. Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences.

Les **ondes électromagnétiques** n'ont pas besoin de matière pour se propager. On regroupe dans cette famille aussi bien la lumière que les ondes radio, les rayons X, Gamma, etc.

Spectre des ondes électromagnétiques



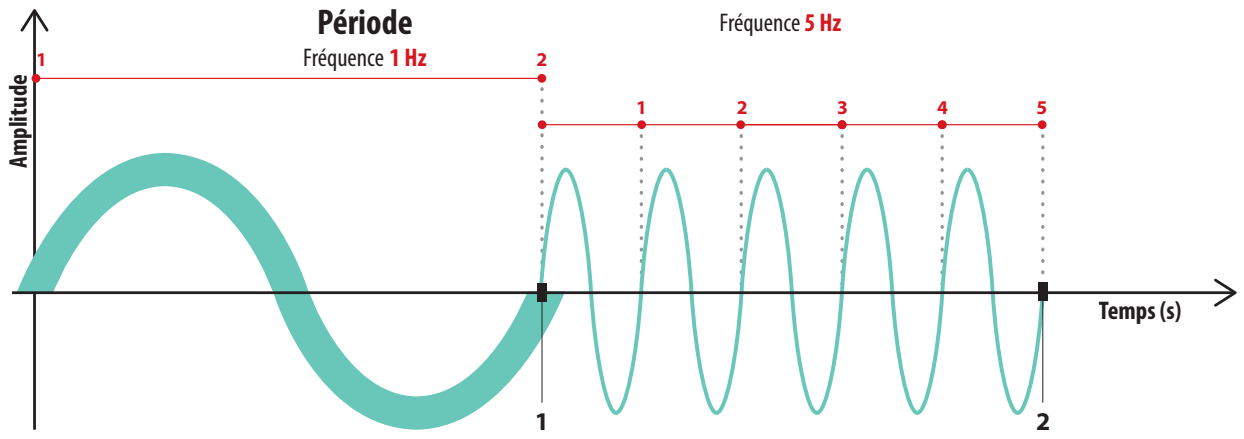
Les **ondes gravitationnelles** n'ont pas non plus besoin de matière pour se propager. Elles le font en déformant l'espace-temps.

Quelques paramètres caractérisent un son :

- Sa **fréquence** compte le nombre de cycles (répétés par l'onde à l'identique) en 1 seconde. 1 cycle/seconde = 1 Hertz (Hz).
- Sa **période**, soit la durée d'un cycle. Elle se mesure en seconde (s).

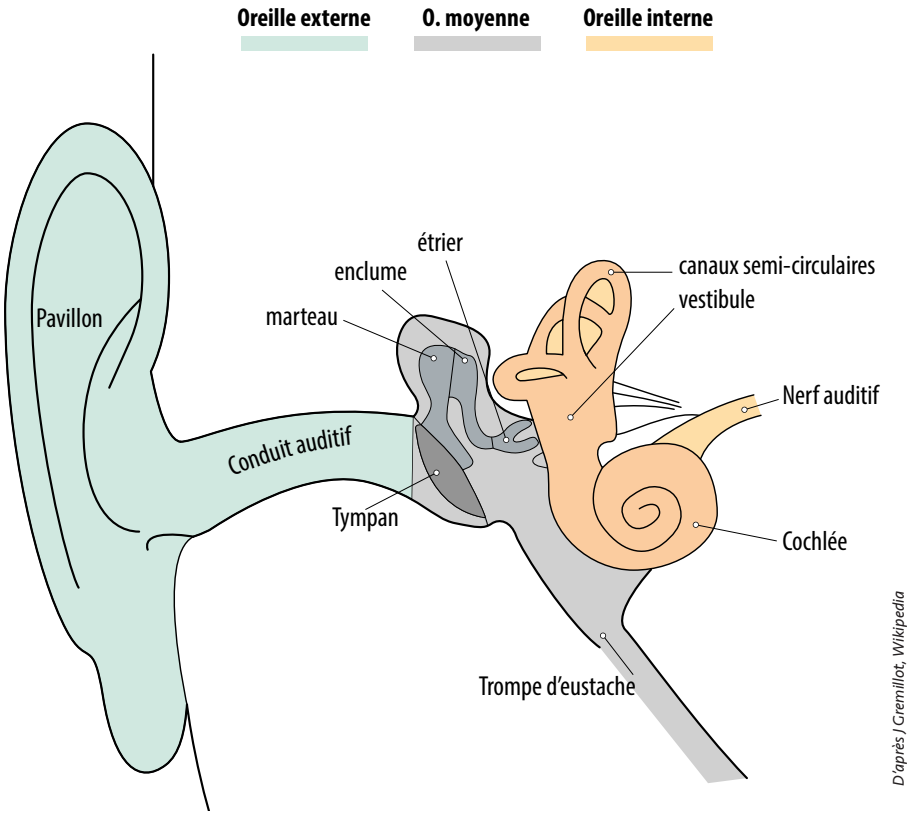
La **fréquence** est l'inverse de la période et réciproquement.

- La **longueur d'onde** correspond à la distance parcourue en une période et se mesure en mètre (m).
- Sa **vitesse** ne dépend pas de la note, mais du milieu dans lequel un son se propage (dans l'air elle est d'env. 340 m/s ; dans l'eau de 1480 m/s).
- Son **intensité** correspond au volume sonore. Il est proportionnel au carré de la pression exercée sur le milieu et se mesure en Watt/cm^2. On utilise généralement le logarithme de cette intensité exprimé en décibel (dB), car l'intensité perçue par l'oreille est compressée et correspond approximativement au logarithme de l'intensité sonore. L'intensité est indépendante de la fréquence.

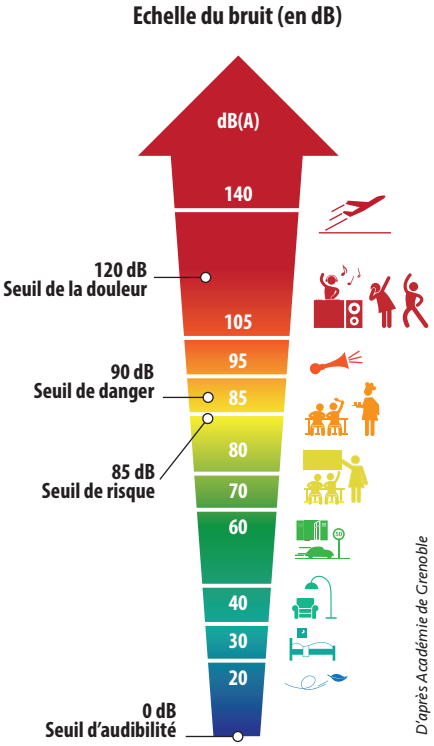


1.2. DES OREILLES POUR ENTENDRE

Les sons sollicitent le sens de l'ouïe. L'**oreille** est l'organe de l'audition et se compose de 3 parties**.**



D'après J Cremillot, Wikipedia



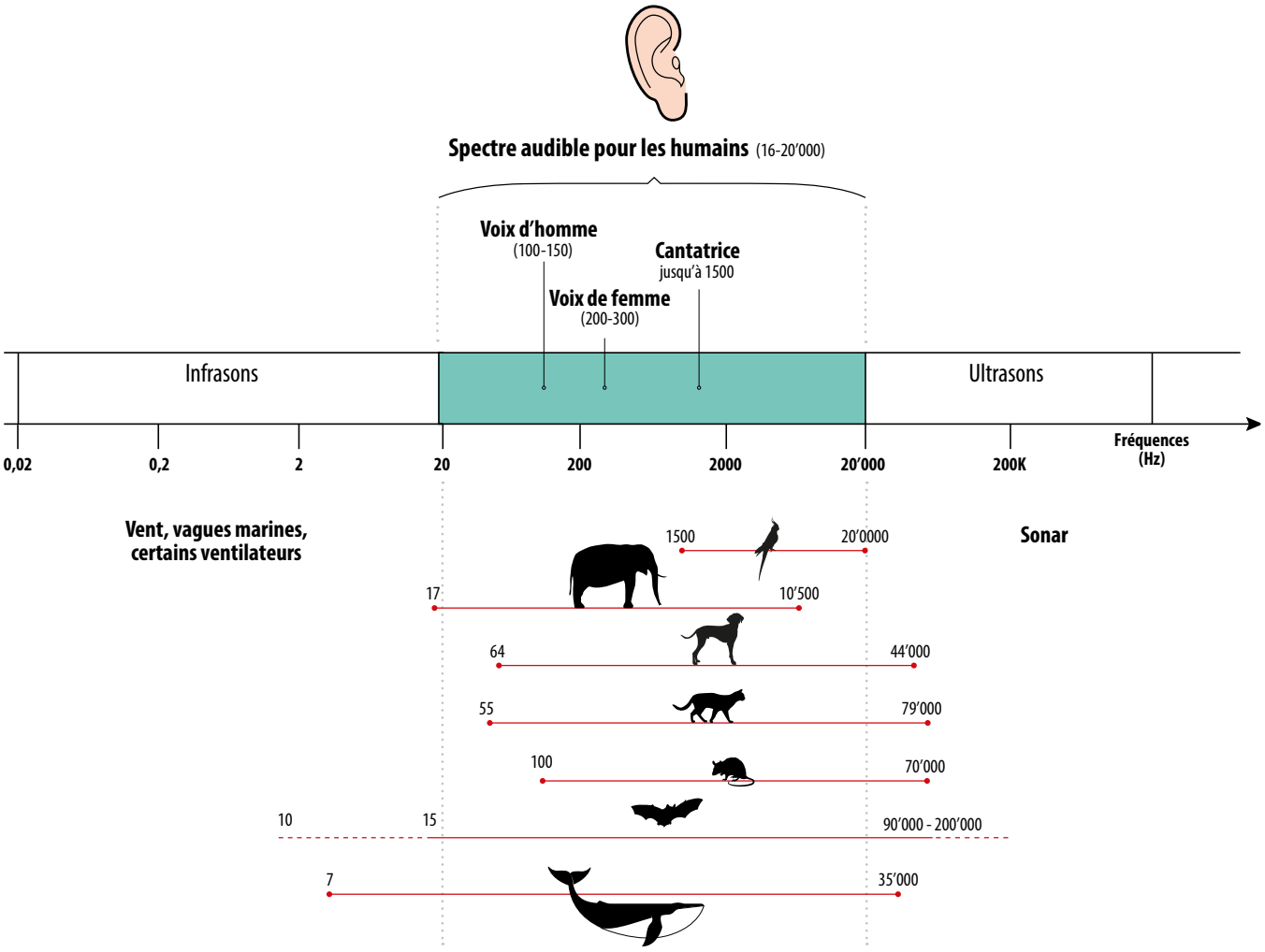
D'après Académie de Grenoble

- **L'oreille externe** est formée du pavillon et du conduit auditif externe qui collecte les sons.
- **L'oreille moyenne** est composée du tympan (qui est une membrane et vibre comme la peau d'un tambour), des trois plus petits os du corps, le marteau, l'enclume et l'étrier, et de la trompe d'eustache (qui relie le système à la gorge et équilibre la pression de part et d'autre du tympan). L'oreille moyenne transforme les sons en vibrations solidiennes (dues à des chocs).
- **L'oreille interne** est formée du vestibule (qui participe à l'équilibre), des canaux semi-circulaires et de la cochlée (remplie de liquide et tapissée de cellules ciliées qui répondent aux sons graves ou aigus selon leur position). Sa fonction est de transformer le signal mécanique en un signal nerveux (transduction) transmis au cerveau par le nerf auditif.

Le seuil au-delà duquel un son est considéré comme douloureux pour un humain se situe vers 120 dB (forte pression sur le tympan), mais notre oreille interne se protège déjà à partir de 80 dB grâce à la contraction des muscles de l'oreille moyenne associés aux osselets (le réflexe stapédien).

1.3. LE SPECTRE AUDIBLE

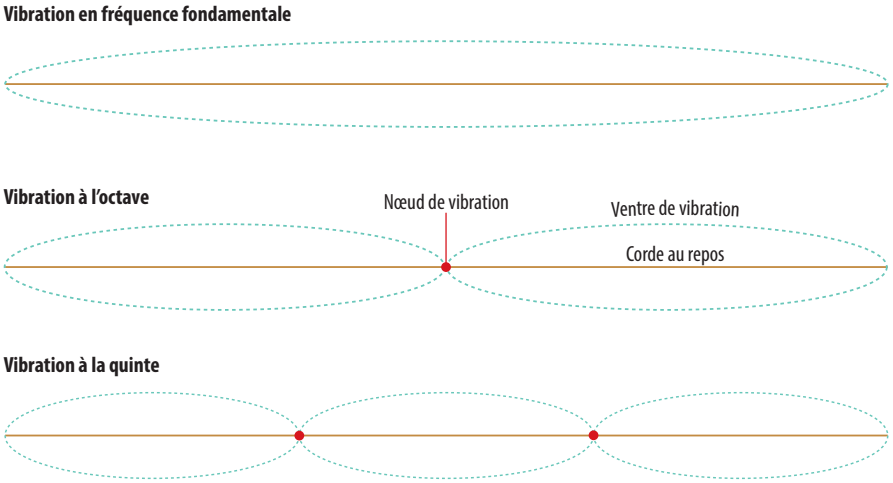
Le spectre des sons se répartit entre spectre audible (c'est-à-dire qu'une oreille humaine peut entendre), infrasons et ultrasons.

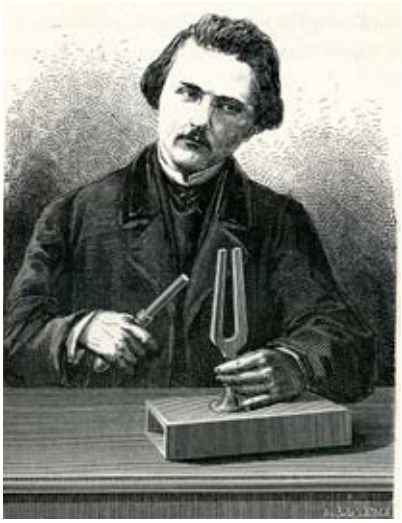


1.4. LA FABRICATION D'UN SON

La production d'un son fait intervenir plusieurs acteurs : une source d'énergie (soufflerie, main humaine, etc.), un élément vibrant (p. ex. la corde d'une guitare) et un résonateur (le corps de la guitare). La voix humaine fonctionne de la même façon avec une soufflerie (les poumons), un résonateur (le larynx) et un tube dont on peut ajuster les caractéristiques (le conduit vocal) grâce à l'action de muscles particuliers recouverts de muqueuse : les cordes vocales. Tendues, elles produisent des sons aigus, relâchées, les sons sont graves.

Une corde qui vibre produit une onde stationnaire résultant de la propagation de deux ondes de même fréquence en sens opposés. Elle peut vibrer de façon simple et s'arquer entre ses points de fixation, c'est la vibration fondamentale. Mais elle peut aussi vibrer en plusieurs sections régulièrement espacées, séparées par des points où l'amplitude est nulle, les nœuds. Ces modes de vibration sont appelés harmoniques. S'il s'agit de la corde d'un instrument de musique, la note produite dépend de sa longueur, de sa masse par unité de longueur et de sa tension (plus la corde est courte, fine et tendue, plus la note est aigüe). La position des nœuds définit les intervalles entre les harmoniques (octave, quinte, etc.).





Amédée Guillemin, les phénomènes de la physique, Paris, 1869, Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

Produire une note : les diapasons

Le diapason est un dispositif mécanique (une pièce métallique en forme de Y) qui permet en vibrant de générer une note pure qui contient la fondamentale avec très peu d'harmoniques. Un diapason peut s'utiliser avec une caisse de résonance pour amplifier le son.

1.5. MÉLANGER LES SONS

Les sons peuvent se combiner, en superposant des ondes et des fréquences. Ils forment alors des sons complexes.

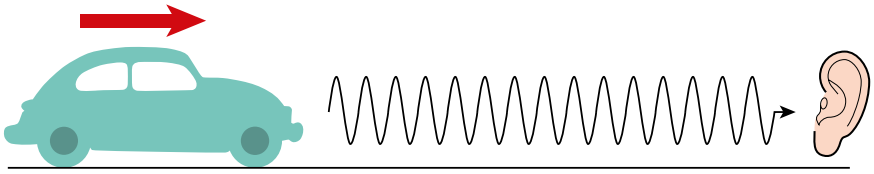
Les sons complexes se décomposent en **fréquence fondamentale** qui donne la hauteur du son, c'est-à-dire la **note** (par ex. le La 440 qui sert, par convention, de référence pour les orchestres) et en plusieurs fréquences qui en sont les multiples, les **harmoniques**, qui donnent le **timbre** à la note. C'est ce qui nous permet de faire la différence entre une flûte et une guitare qui joueraient la même note.

Un mélange de sons désordonnés, apériodiques et de hauteur non repérable est appelé **bruit**.

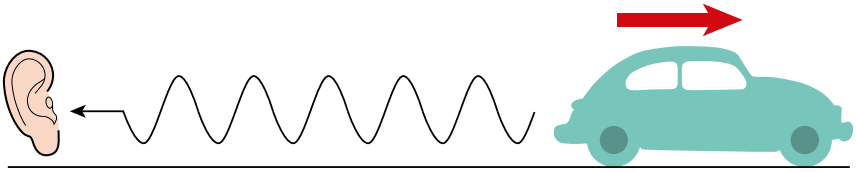
1.6. PHÉNOMÈNES LIÉS AUX SONS

L'effet Doppler

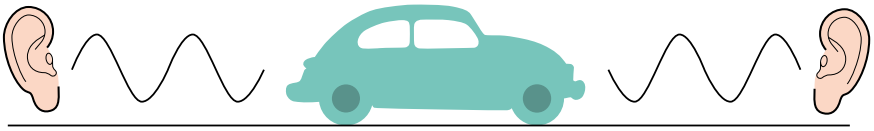
Chacun d'entre nous a déjà expérimenté d'une manière inconsciente l'effet Doppler en écoutant le bruit d'une voiture qui se déplace à grande vitesse. Le son du moteur est plus aigu lorsque le véhicule s'approche de nous que lorsqu'il s'éloigne. Ce phénomène provient du fait que l'onde émise par l'objet en mouvement se trouve comprimée à l'avant et dilatée à l'arrière pour un observateur statique. Si l'objet reste immobile, le son demeure inchangé.



Le véhicule se rapproche: le son est perçu plus aigu



Le véhicule s'éloigne: le son est perçu plus grave



Le véhicule est immobile: le son reste inchangé

D'après https://www.maxicours.com

L'effet Doppler, du nom de son découvreur le physicien autrichien Christian Doppler (1803-1853), n'est pas propre aux ondes sonores, mais concerne aussi les ondes électromagnétiques (dont la lumière). Aujourd'hui, les astronomes recourent à l'effet Doppler pour détecter indirectement la présence d'exoplanètes dans le ciel. Une exoplanète en orbite autour de son étoile est capable de la faire bouger légèrement sous l'effet de la gravité, même si sa taille est très petite. La mesure de la variation de position et de la vitesse de déplacement de l'étoile sous l'influence de sa planète se fait en observant son spectre lumineux. Lorsque l'étoile bouge, la position des différentes longueurs d'onde des raies colorées se décale légèrement. La mesure de ce décalage permet d'obtenir la vitesse radiale de l'étoile, autrement dit son déplacement le long de la ligne imaginaire allant du télescope à l'étoile.

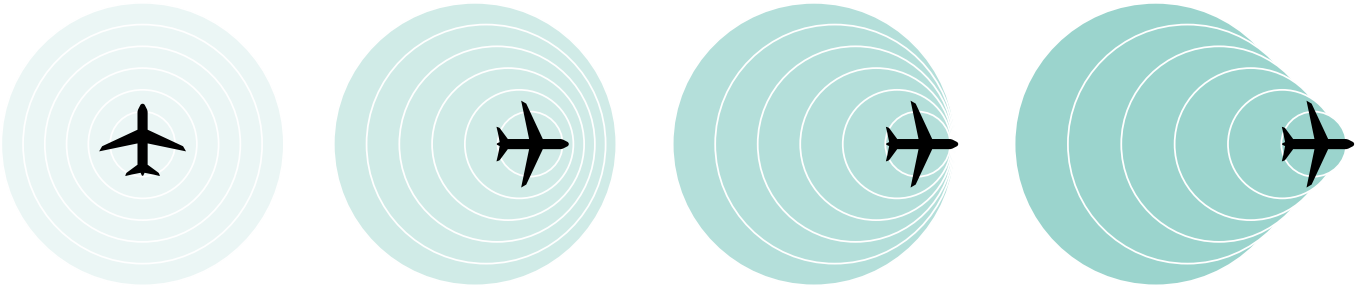
L'effet Doppler est aussi utilisé en médecine pour mesurer la vitesse d'écoulement du sang dans les veines et les artères.

Source: wikipedia / U.S. Navy footage/ video

Le mur du son

Le mur du son désigne le phénomène aérodynamique qui survient lorsqu'un avion atteint et dépasse la vitesse du son dans l'air (environ 340 m/s, soit 1224 km/h). A cette vitesse, les ondes sonores générées par l'avion ne sont plus capables de s'éloigner de lui vers l'avant. A l'arrière, leur enveloppe forme une sorte de barrière de pression appelée onde de choc: c'est le « mur du son ». C'est cette onde de choc qui provoque le bang supersonique qui s'entend au sol lorsqu'un avion vole à une vitesse supérieure ou égale à la vitesse du son. Comme l'onde de choc se déplace moins vite que l'avion, on entend le bang supersonique après le passage de l'avion. Quand l'atmosphère est très humide, le franchissement du mur du son par un avion peut s'accompagner de la formation d'une sorte de nuage en forme de bouclier.

Ondes sonores émises par un avion



A l'arrêt | **Vitesse subsonique (inférieure à celle du son)** | **Vitesse du son** | **Supersonique**

D'après http://www.physicscentral.org

2. UNE BRÈVE HISTOIRE DE L'ACOUSTIQUE

« Il y a vingt ans à peine, la science du son, cependant si attrayante et utile, ou même si nécessaire, était presque ignorée en France : elle n'avait dans l'enseignement qu'une part infiniment petite. Dans les cabinets de physique les mieux montés et les plus célèbres, on trouvait, en fait d'instruments d'acoustique : une clochette ou plutôt un mouvement d'horlogerie mal combiné pour l'expérience du son dans le vide ; un sonomètre rudimentaire ; un sommier avec quelques tuyaux mal assortis, en bois ou en carton, de formes et de dimensions complètement arbitraires ; quelques petites plaques vibrantes en verre ; rien de plus. Aucune des lois, à part celle des cordes vibrantes, ne pouvait être démontrée, et presque tous les phénomènes acoustiques de la nature, de l'expérience et de l'art restaient complètement ignorés ». Voici le constat que dressait l'Abbé Moigno en 1869 dans son introduction à l'édition française du livre *On Sound* du physicien anglais John Tyndall (1820-1893).

Jusqu'au 19e siècle, l'acoustique reste une branche de la physique relativement peu développée. Les premiers travaux dans ce domaine, qui remontent à l'Antiquité, concernent la musique. C'est à Pythagore ou à ses disciples que l'on attribue parfois l'invention du monocorde, simple corde tendue en dessus d'une caisse de résonance en bois. A l'aide d'un chevalet mobile qui permet de diviser la corde en différentes parties égales, les savants grecs parviennent à produire des octaves, puis des quintes qui sonnent harmonieusement à l'oreille. De manière générale, les Grecs soupçonnent sans pouvoir le démontrer que les sons émis par la bouche engendrent des vibrations de l'air ambiant. Ils comparent les ondes sonores aux vaguelettes créées par le jet d'un caillou dans l'eau. L'invention de la pompe à vide au 17e siècle permet de démontrer que le son a besoin d'un support matériel pour se propager.

Toujours au 17e siècle, le religieux et savant français Marin Marsenne (1588-1648) étudie en détail le phénomène des vibrations au moyen d'un monocorde. Il compare notamment les sons obtenus par des cordes de différentes matières. En Italie, son contemporain, le physicien toscan Galilée (1564-1642), publie dans ses *Discours sur deux sciences nouvelles* des observations approfondies sur le monocorde et décrit en détail les divers paramètres qui permettent de faire varier la fréquence d'une corde tendue : la longueur, la tension et la densité linéaire. Galilée explique aussi qu'un corps en battement fait vibrer l'air ambiant et les corps environnants à la même fréquence. Pour visualiser les vibrations qui se propagent, Galilée décrit une expérience menée avec un verre rempli d'eau. En frottant avec le doigt le bord supérieur du verre, il fait apparaître des ondes à la surface de l'eau. Le phénomène est encore accentué lorsque le verre est plongé dans un récipient très large également rempli d'eau. Les ondes apparaissent autour du verre et se propagent tout autour à grande distance. Si l'on augmente la vitesse de frottement d'une octave, on voit « aussitôt chacune de ces ondes se diviser en deux ».

L'expérience du verre vibrant

Lorsque l'on frotte les bords d'un verre à moitié rempli d'eau, soit avec un doigt mouillé, soit avec un archet, on voit des multitudes de stries apparaître à la surface de l'eau.
Amédée Guillemin, les phénomènes de la physique, Paris, 1869, Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

Galilée décrit aussi une autre expérience réalisée presque par hasard qui sera reprise par le physicien allemand Ernst Chladni (1756-1827) au début du 19e siècle. Alors qu'il racle une plaque en cuivre avec un ciseau pour enlever des taches, il produit soudain un sifflement très fort et clair provoqué par la lame du ciseau passant et repassant très vite sur la surface métallique. A ce moment, il observe la présence de « virgules » (constituées par les petites impuretés du métal accumulées dans certains endroits de la plaque). En modifiant la vitesse de raclage et donc du son produit, il constate que les traces laissées à l'occasion d'un son plus aigu sont plus serrées et que celles résultant d'un son plus grave sont plus espacées. Galilée explique encore qu'il est parvenu à faire vibrer les cordes d'une épinette à l'unisson de certains sons produits par le raclement du ciseau sur la plaque en cuivre.

Vibrations d'une tige métallique

Une tige métallique est fixée à l'une de ses extrémités dans un étau. Si on la tire et qu'on la relâche, la tige se met à vibrer en produisant un son.
Amédée Guillemin, les phénomènes de la physique, Paris, 1869, Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

Fils de musicien, Galilée se livre aussi à des réflexions sur le problème des accords harmoniques. « … Je dis que la raison première et immédiate dont dépendent les rapports des intervalles musicaux n'est ni la longueur des cordes, ni leur tension, ni leur grosseur, mais la proportion existant entre les fréquences des vibrations, et donc des ondes qui, en se propageant dans l'air, viennent frapper le tympan de l'oreille en le faisant vibrer aux mêmes intervalles de temps. ». (Galilée, Discours concernant deux sciences nouvelles, p. 84, trad. Maurice Clavelin, PUF, Paris, 1995)

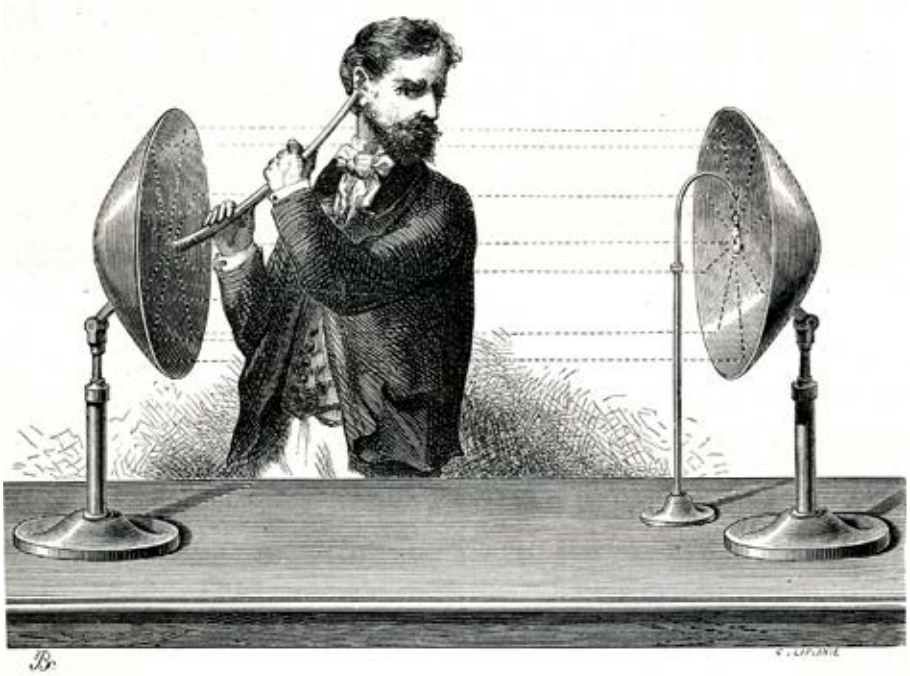
Pour expliquer pourquoi certains accords nous paraissent agréables ou au contraire désagréables à l'oreille, Galilée compare les notes constituant un accord

avec trois pendules de longueur différentes de manière à ce que, dans le même intervalle de temps, le plus long accomplisse deux oscillations, l'intermédiaire trois et le plus court quatre. Après les avoir lâchés simultanément, les trois fils semblent s'entrecroiser dans le désordre. Mais dans la réalité, ils finissent par se rejoindre au bout de la quatrième oscillation du fil le plus long avant de repartir à nouveau dans un entrecroisement désordonné pendant une période similaire, puis de battre à nouveau de manière synchrone, etc.

Pour Galilée, ce mélange de vibrations est équivalent aux sons de la note fondamentale, de la quinte et de l'octave produite par une corde vibrante (voir figure p. 8). Tant que les longueurs de fils correspondent à des intervalles de sons consonants, leurs battements finiront par coïncider au bout d'une période bien déterminée de désordre, procurant du soulagement à l'œil de l'observateur. Par contre, si les longueurs sont définies de manière arbitraire, les battements des pendules se feront de manière totalement désordonnée, produisant ainsi un sentiment de désordre à l'observateur, similaire aux sons de notes discordantes « sans ordre et sans règle qui heurtent le tympan sonore ». (Galilée, Discours concernant deux sciences nouvelles, p. 87, trad. Maurice Clavelin, PUF, Paris, 1995)

L'acoustique est alors une science essentiellement empirique. On développe des paraboles pour étudier la transmission et la réflexion du son, des porte-voix de formes diverses pour amplifier les sons ou des cornets acoustiques pour mieux percevoir des sons étouffés.

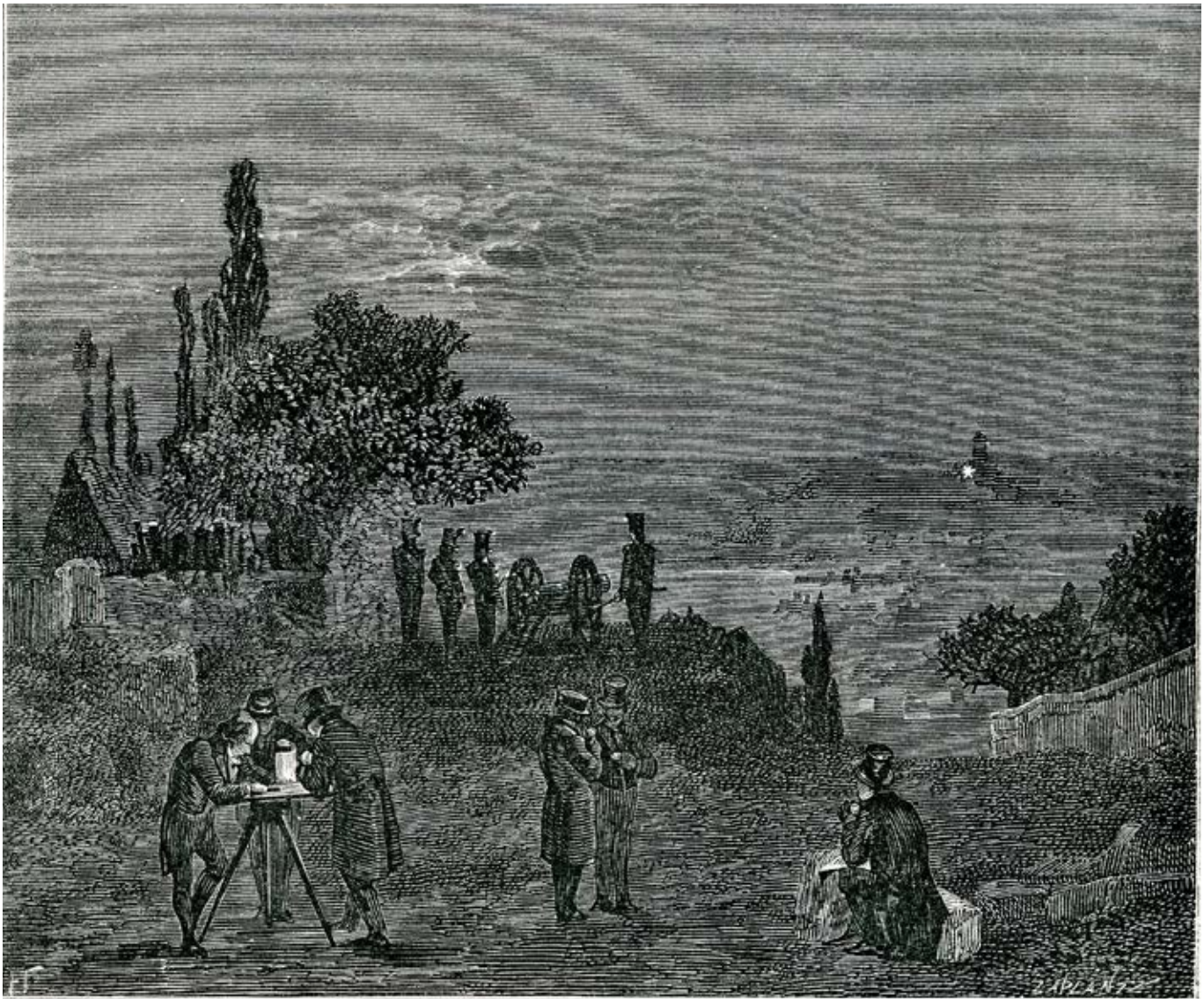
Réplique d'un pendule similaire à celui utilisé par Galilée.
Musée d'histoire des sciences



Réflexion des ondes sonores

Le son se réfléchit et se concentre comme les ondes lumineuses. Une montre mécanique est placée au foyer d'un miroir métallique parabolique. Le son est réfléchi par la parabole et renvoyé au foyer d'une seconde parabole qui lui fait face. L'expérimentateur écoute le son avec un cornet acoustique pour éviter que sa tête n'intercepte le son.
Amédée Guillemin, les phénomènes de la physique, Paris, 1869, Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

Au cours du 19e siècle, les recherches deviennent plus théoriques. Des mathématiciens établissent des formules permettant de décrire la forme et le mouvement des cordes vibrantes ou bien de déterminer la vitesse de propagation du son dans un milieu quelconque. Ces travaux théoriques sont validés par des mesures sur le terrain. A l'aide de tirs de canons effectués la nuit (pour observer l'éclair lumineux de la mise à feu), les physiciens tentent de déterminer la vitesse du son dans l'air. En juin 1822, les savants français François Arago (1786-1853) et Gaspard de Prony (1755-1839) obtiennent une valeur de 341 m/s pour une température de 15,9 °C.



Mesure de la vitesse du son dans l'air près de Paris, en 1822

L'expérience menée par divers physiciens français se déroule de nuit à l'aide de deux canons positionnés sur deux emplacements bien visibles et dont la distance entre eux est connue. Lors d'un tir, les observateurs placés sur la seconde station mesurent avec un chronomètre le nombre de secondes écoulées entre l'apparition de la lumière dans la bouche du canon émetteur et la perception du son. L'expérience est répétée en alternance d'une station à l'autre pour compenser l'influence du vent. Les expériences ont conclu que la vitesse du son est de 340,9 m par seconde à la température de 16 °C.

Amédée Guillemin, les phénomènes de la physique, Paris, 1869, Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

Confirmant les travaux théoriques de Thomas Young (1773-1829), Pierre-Simon Laplace (1749-1827) et Siméon Denis Poisson (1781-1840), le physicien genevois Jean-Daniel Colladon (1802-1893) parvient à mesurer dans le Léman que le son se propage à une vitesse quatre fois plus élevée dans l'eau que dans l'air, soit à 1437 m/s.

Au cours du 19e siècle, l'acoustique expérimentale se développe et devient une branche à part entière de la physique. Pour accompagner les travaux théoriques de physiciens ou physiologistes tels que Ernst Chladni (1756-1827), Charles Wheatstone (1802-1875), Heinrich Helmholtz (1821- 1894) et autres, de nouveaux instruments sont inventés pour observer visuellement les vibrations sonores, analyser des sons complexes ou simplement représenter des ondes sonores. Certains de ces instruments, qui ont transité par l'Institut de physique de l'Université de Genève ou qui faisaient partie du Cabinet Pictet, sont aujourd'hui conservés au Musée d'histoire des sciences. Ce sont eux qui constituent la trame de l'exposition *Ecoute-voir*.

2.1. LES PIONNIERS DE L'ACOUSTIQUE DU 19e SIÈCLE

Ernst Chladni (1756-1827)

Le physicien allemand Ernst Chladni est considéré comme l'un des fondateurs de l'acoustique moderne. Il est le premier à avoir étudié les vibrations des plaques en métal et en verre. Après avoir saupoudré les plaques de sable fin, il les fait vibrer avec un coup d'archet de violon. Il obtient ainsi des figures acoustiques propres aux vibrations résultant du déplacement du sable des endroits en vibration (les ventres) vers les zones sans vibration (les nœuds) de la plaque. Chladni est aussi l'inventeur d'un instrument de musique, l'euphone, consistant en une série de cylindres en verre que l'on frotte avec les doigts mouillés et dont les vibrations sont communiquées à des tiges métalliques.

Print Collector /Getty Images

Figures de Chladni
Musée d'histoire des sciences

The Project Gutenberg eBook, Great Britain and Her Queen, by Anne E. Keeling

Charles Wheatstone (1802-1875)

Charles Wheatstone est connu pour un appareil qu'il n'a pourtant pas inventé, mais qu'il a amélioré et popularisé : le pont de Wheatstone, un appareil de mesure de résistance électrique mis au point par le scientifique anglais Samuel Hunter Christie (1784-1865) en 1833. Wheatstone est aussi un des pionniers de la télégraphie. Il a mis sur pied une des premières liaisons par fil au nord de Londres en 1837. Au cours de sa carrière scientifique, il a étudié divers phénomènes physiques liés au son, à la lumière et à l'électricité et il a mis au point de nombreux dispositifs pour étudier et démontrer ces phénomènes. Il a aussi breveté un nouveau type d'accordéon à anches libres, le concertina.

Sans réelle formation scientifique (Wheatstone tenait un magasin de musique à Londres avec son frère), il a mené des recherches dans divers domaines : acoustique, électricité, lumière, etc. En 1834, il est nommé professeur de physique expérimentale au King's Collège malgré sa crainte de paraître en public. Vers 1830, il découvre le principe de la stéréoscopie en établissant que l'on peut reproduire une image en trois dimensions à partir de deux images d'un même objet prises sous un angle légèrement différent.

Dans les années 1825, il invente un appareil qu'il nomme caléidophone en analogie avec le kaléidoscope inventé quelques années plus tôt par David Brewster (1781-1868). Cet appareil permet de reproduire mécaniquement les figures de Lissajous (trajectoires d'un point dont les composantes vibrent dans un plan perpendiculaire l'une par rapport à l'autre) en visualisant des perles fixées à l'extrémité de tiges de section différentes que l'on fait vibrer. Enfin, vers 1840, il met au point une machine à ondes destinée à visualiser le comportement ondulatoire de la lumière.

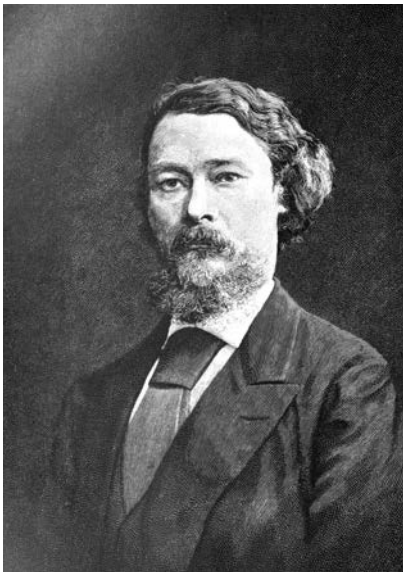
Commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=74569

Heinrich Hermann von Helmholtz (1821-1894)

Médecin et physiologiste allemand, Hermann von Helmoltz est l'auteur de nombreuses études sur la perception des couleurs et des sons chez l'être humain. Il a inventé les résonateurs qui portent son nom, sortes de cavités métalliques creuses de différentes tailles conçues pour renforcer les sons d'une fréquence bien définie. A l'aide de ses résonateurs, Helmoltz a étudié les harmoniques présentes dans une note produite par divers instruments. Il a aussi démontré que la différence de timbres entre les sons identiques produits par des instruments différents dépend de leur composition en harmoniques et de leur intensité. Le physiologiste allemand a aussi appliqué cette méthode à l'étude des sons émis par la voix humaine. Il a montré que chaque voyelle a un timbre spécial qui découle de la superposition de tous les sons harmoniques qui la composent. Helmoltz a consigné ses observations et ses expériences en acoustique dans son ouvrage *Théorie physiologique de la musique* qui fera référence jusqu'au milieu du 20e siècle.

Rudolf Koenig (1832-1901)

Né en Prusse en 1832, Koenig se passionne très vite pour l'acoustique, une science alors en plein essor. En 1851, il déménage à Paris où il est engagé comme apprenti chez un fabricant de violons. En 1858, il ouvre son propre commerce entièrement dédié à la fabrication et à la vente d'instruments acoustiques. Il publie son premier catalogue l'année suivante. Son atelier connaît un succès fulgurant. Ses appareils et instruments équipent les laboratoires d'acoustique du monde entier. Une de ces plus grandes inventions est sans aucun doute son analyseur de sons à résonateurs de Helmholtz qui permettait de visualiser la composition en harmoniques des sons musicaux et des voyelles. Selon certains spécialistes, les instruments de Koenig figurent parmi les plus complexes que l'industrie française des appareils scientifiques ait produits durant la seconde moitié du 19e siècle.



Commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11856615

Jules Antoine Lissajous (1822-1880)

Enseignant et physicien français, Jules Antoine Lissajous a inventé, entre autres, une méthode optique pour comparer les fréquences de vibration de deux diapasons. Deux diapasons armés chacun d'un miroir sur l'une de leurs branches sont placés perpendiculairement l'un par rapport à l'autre, de manière à ce qu'un faisceau lumineux dirigé contre l'un des miroirs soit réfléchi sur le second. Lorsque les deux diapasons entrent en vibration, le faisceau lumineux réfléchi produit une figure dont la forme dépend du rapport des fréquences des deux diapasons. Ces figures portent le nom de figures de Lissajous (voir p. 31).

Wikipedia / https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Lissajous/pictdisplay/

2.2. L'ACOUSTIQUE MODERNE

Dès le début du 20e siècle, les résonateurs, analyseurs et autres diapasons électromagnétiques qui permettaient de visualiser le son de manière mécanique sont progressivement abandonnés au profit d'une nouvelle génération d'instruments précurseurs de l'électronique moderne : les tubes à vide, les oscillographes et les oscilloscopes. Les ondes sonores transformées en signaux électriques s'affichent désormais sur un écran.

Pierre Curie par Dujardin, Traité de radioactivité. Edition, Paris: Gauthier, 1910, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=25625628

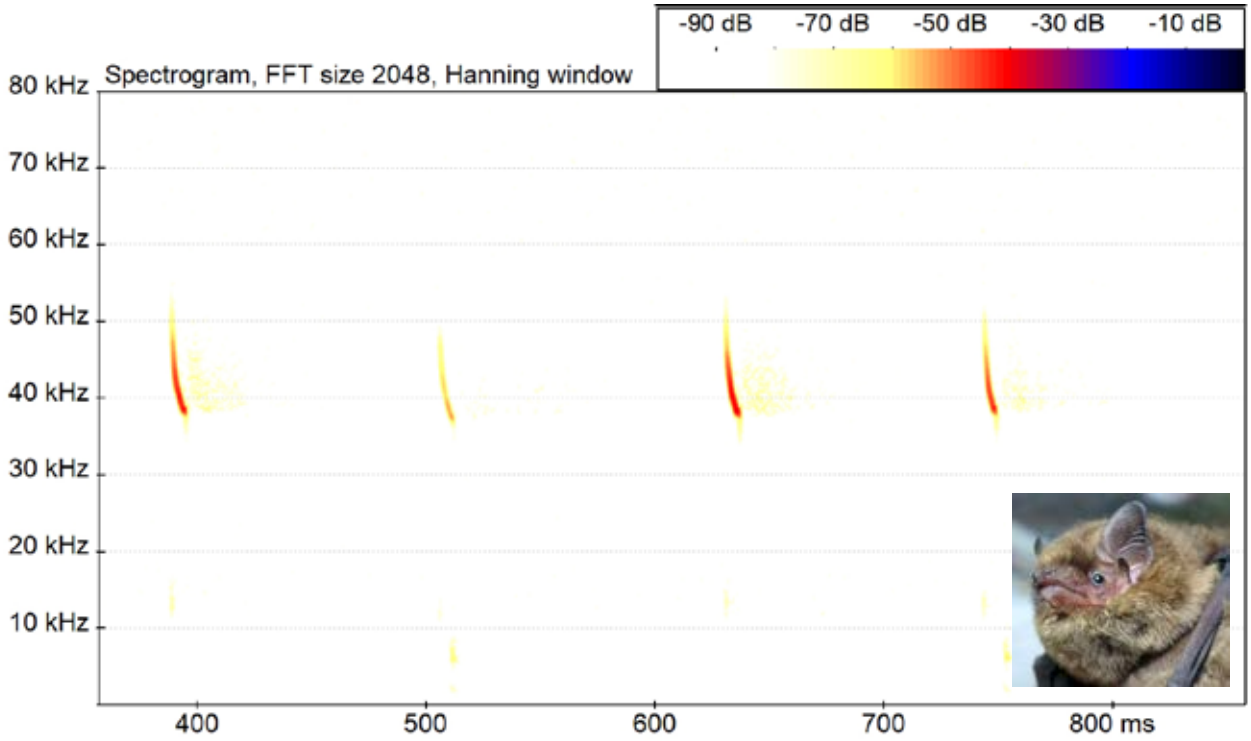
Voir avec le son

La science de l'acoustique subit aussi de profonds bouleversements. Voir le son n'est plus l'essentiel, ce qui compte désormais c'est de voir avec le son. En effet, le 20e siècle est marqué par l'avènement de nouvelles techniques de détection sous-marine, de prospection géologique et d'imagerie médicale fondées en grande partie sur l'utilisation des ultrasons. Ce procédé est utilisé dans la nature par certaines espèces pour se repérer et chasser, comme les chauves-souris. Si ces animaux parviennent naturellement à produire des ultrasons au niveau de leur larynx, les hommes recourent à l'effet piézo-électrique découvert par le physicien français Pierre Curie (1859-1906) en 1880 pour obtenir ce type d'ondes sonores. Lorsque des lames de cristaux (dont le quartz) sont comprimées, des charges électriques de signes contraires apparaissent sur leurs faces opposées. De même, si l'on applique une tension alternative sur chacune des faces, la lame se met à se contracter et à se dilater. Ces successions de contractions et de dilatations se propagent dans l'air en produisant des sons et des ultrasons.

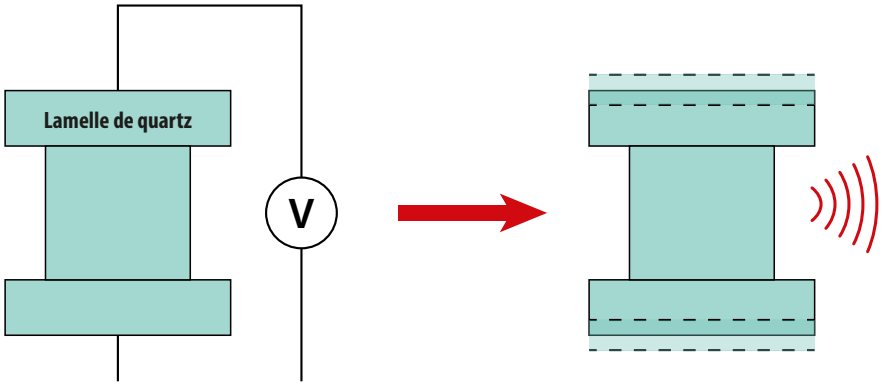
Le sonar des chauves-souris (Manuel Ruedi, conservateur au Muséum d'histoire naturelle de Genève)

Un des systèmes sonar les plus sophistiqués qui existent peut-être dans le monde animal est celui développé par les chauves-souris. On peine à en connaître la précision, même si le principe de base est simple : la chauve-souris émet par la bouche une succession de sons très brefs, généralement dans des fréquences inaudibles à l'oreille humaine, puis elle écoute et analyse l'écho que renvoient les obstacles. Grâce à ce système d'écholocation, les chauves-souris sont capables de détecter quasiment en temps réel les plus petits objets, du moustique au hanneton ou au feuillage d'un arbre, le tout dans le noir total et à pleine vitesse ! Elles sont même capables de discerner la texture des objets, voire de capturer des proies qui nagent sous la surface de l'eau ! Elle « voient » littéralement avec leurs oreilles.

Sur ce sonogramme, une pipistrelle en chasse a été enregistrée à l'aide d'un détecteur à ultrasons. En rouge, on y voit la succession de brefs cliquetis émis à quelques millisecondes d'intervalle (échelle du bas) et à une fréquence d'environ 55 kHz (échelle de gauche) ; ces signaux sont soudain plus rapprochés, car l'animal a détecté une proie et il cherche à mieux en connaître les contours, pour ensuite la capturer.



L'effet piézo-électrique a trouvé sa première application dans l'acoustique sous-marine. Dès 1915, les navires de guerre s'équipent de sonars (acronyme anglais tiré de *sound navigation and ranging*) pour déceler la présence de sous-marins ennemis. Depuis lors, le sonar est aussi utilisé pour mesurer la profondeur des eaux ainsi que pour détecter des bancs de poissons. Pratiquement, le sonar émet des ultrasons dans l'eau et analyse les échos qu'ils rencontrent. La distance d'un obstacle est obtenue en mesurant le temps d'émission et de réflexion des signaux sonores. Les sonars sont aussi utilisés par les océanographes pour mesurer et caractériser les fonds et les reliefs sous-marins.



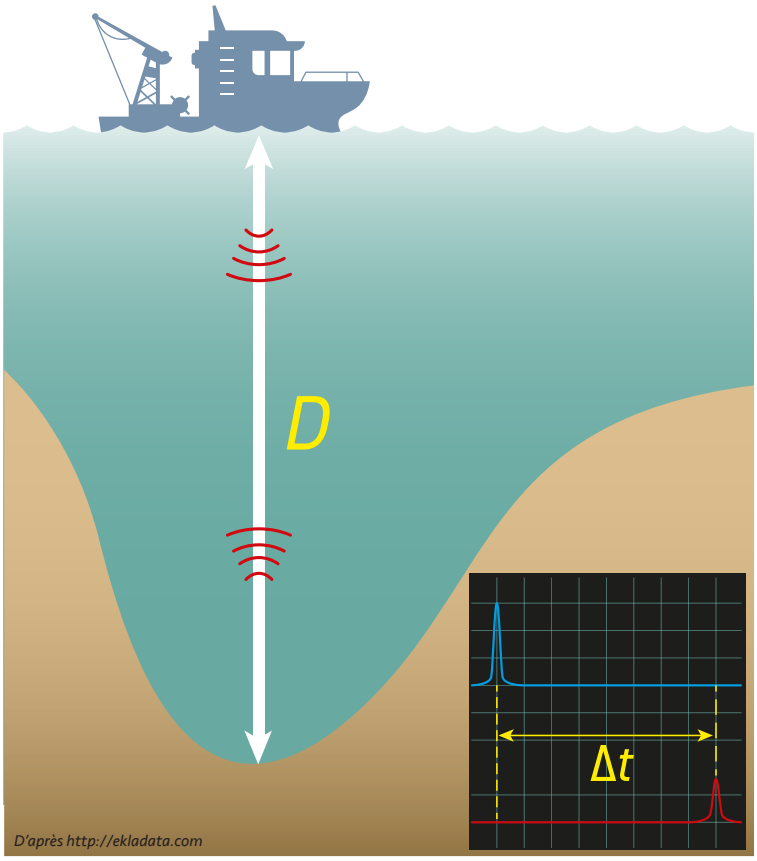
Application d'un courant électrique alternatif

Le quartz se déforme et se met à vibrer en émettant des ultrasons

D'après https://www.memoireonline.com

L'effet piézoélectrique

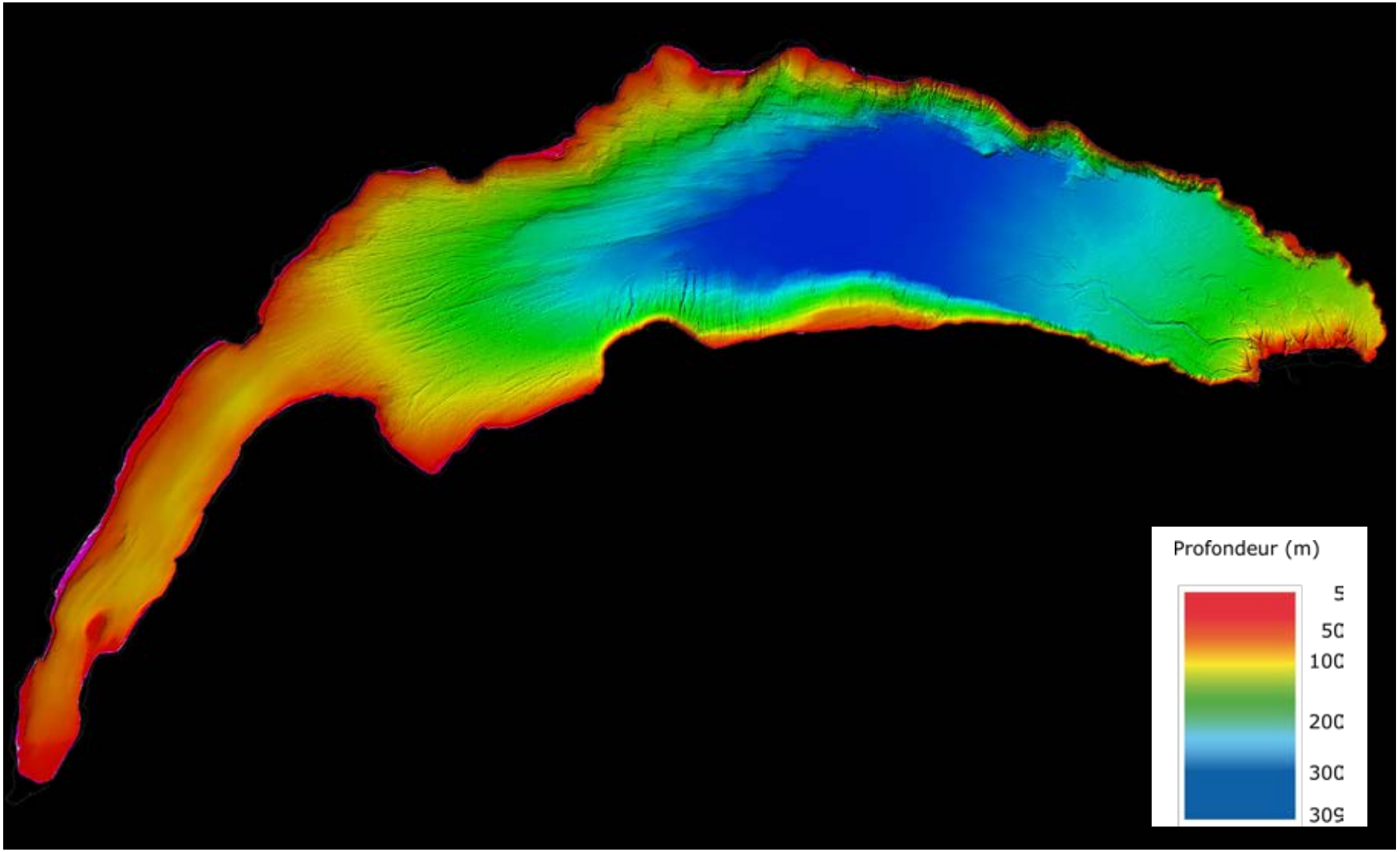
Lorsque l'on applique un courant électrique alternatif sur les deux faces d'une lame de quartz, celui-ci se met à vibrer en se comprimant et en se dilatant à intervalles très rapides. Ces vibrations se transmettent à l'air sous la forme d'ultrasons.



D'après http://ekladata.com

Fonctionnement du sonar

Le sonar d'un bateau émet des impulsions ultrasonores en direction du fond de la mer (signal bleu). Les ondes se propagent jusqu'à ce qu'elles rencontrent le fond. Elles sont alors réfléchies et reviennent au bateau où elles sont détectées par un récepteur (signal rouge). L'écart de temps entre les deux signaux correspond à l'aller et retour du signal sonore. La profondeur (D) correspond donc à la distance parcourue par le signal sonore sur la moitié du temps mesuré.



Carte bathymétrique du Lac Léman

Réalisé en 2013 et 2014 par l'Institut Forel, le levé bathymétrique du Léman a été effectué à l'aide d'un sonar multifaisceaux installé à la proue du bateau de recherche la Licorne.
© Institut Forel

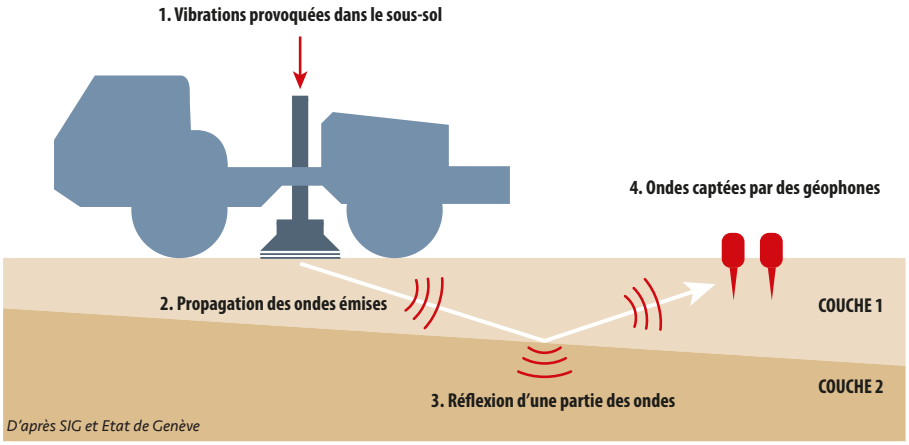
Vue en échographie d'un fœtus humain de 9 semaines. (Source Wikipédia)

L'exploration du corps humain passe aussi par l'utilisation d'ultrasons. Inventée en 1941, l'échographie humaine devient dès les années 1970 une des techniques d'imagerie médicale les plus utilisées (et une des moins nocives) dans le cadre de diagnostic prénatal ou l'analyse d'organes. Les ultrasons trouvent aussi de nombreuses applications dans les techniques de contrôle non destructif de divers matériaux (troncs d'arbres, poutres, barres en acier, produits industriels, etc.). L'analyse des signaux sonores émis et réfléchis dans les matériaux permet de détecter d'éventuelles anomalies (fissures, fentes, cisaillement, etc.) à l'intérieur de ceux-ci qui ne seraient pas visibles à l'œil nu.

Infrasons

A la différence des ultrasons, les infrasons (basse fréquence) sont beaucoup moins utilisés dans les techniques de détection. Bien que ces ondes se propagent aisément sur des centaines de kilomètres, elles sont plus difficiles à manipuler. Du fait de leur grande longueur d'onde, il est presque impossible de les émettre ponctuellement. De même, il est aussi plus ardu de localiser précisément une source d'infrasons qui parviendrait en retour. Pourtant les infrasons sont d'excellents indicateurs, non seulement de phénomènes naturels comme les tremblements de terre, la houle océanique, les orages, les vents d'altitude soufflant près des montagnes, mais aussi d'événements artificiels comme les explosions nucléaires, le bang d'avions supersoniques franchissant le mur du son, les tirs de fusées ou de missiles, etc.

Plus près de nous et de manière très ciblée, les Services industriels de Genève recourent à des ondes proches des infrasons émises par des camions vibreurs dans le cadre de prospection géophysique liée à la géothermie. Des camions spéciaux appuient au sol une plaque qui vibre durant vingt secondes à une fréquence comprise entre 8 et 120 Hz. Les ondes réfléchies dans le sous-sol sont enregistrées à la surface par des capteurs. Les données acquises sont ensuite traitées informatiquement pour déterminer le profil géologique du sous-sol jusqu'à 4000 m de profondeur. Grâce à ces profils, les géologues peuvent définir les zones les plus favorables susceptibles de contenir de l'eau chaude pour y diriger des forages.



Principe de la prospection géophysique

Le camion vibreur émet dans le sol des ondes qui sont en partie réfléchies par les couches en profondeur. Les ondes réfléchies sont captées par des géophones placés à la surface. Les données récoltées sont ensuite traitées informatiquement pour obtenir un profil géologique du sous-sol.

Pollution sonore

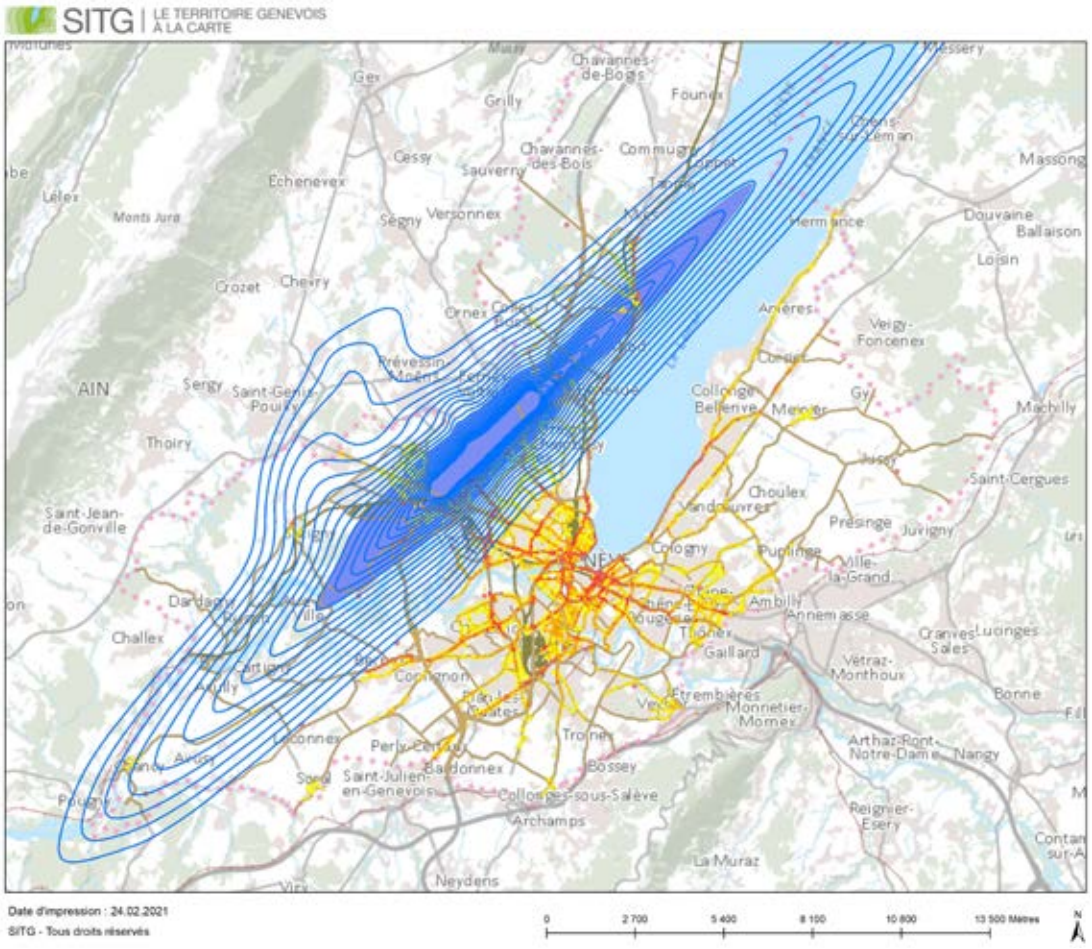
Aujourd'hui, l'acoustique englobe aussi un aspect qui n'était pas pris en considération lors des siècles derniers : la pollution sonore. Les habitants des villes sont confrontés à de multiples et incessantes sources de bruits en tout genre – trafics aérien, routier ou ferroviaire, activités industrielles, voisinage – qui engendrent stress, maladies ou conflits sociaux. Dans les sociétés occidentales, le bruit est une des premières causes de plaintes individuelles. Des actions en justice sont menées contre les nuisances sonores engendrées par les aéroports ou des usines trop bruyantes.

Selon une étude de monitoring de la pollution sonore en Suisse de l'Office fédéral de l'environnement parue en 2018, une personne sur sept est exposée durant la journée à son domicile à un bruit nuisible ou incommodant dû au trafic routier et une personne sur huit durant la nuit. Le bruit du trafic est avant tout un problème des villes et agglomérations. Plus de 90 % des personnes qui en sont affectées vivent dans des grands centres urbains.

Pour lutter contre le bruit du trafic, de nombreux moyens sont mis en œuvre : parois antibruit le long des grands axes routiers, revêtements phonoabsorbants, diminution de la vitesse des véhicules et même des radars antibruit tel que celui que le canton de Genève a testé en juin dernier pour éviter les excès sonores inutiles des voitures et motos en ville.

Carte de la pollution sonore de Genève

Cadastre des principaux bruits routiers, ferroviaires et aériens rencontrés à Genève durant la journée
Source : SITG Genève



3. INSTRUMENTS ACOUSTIQUES DES COLLECTIONS

3.1. « VOIR » LE SON

Appareil à démontrer la propagation des ondes longitudinales

MHS 371
Bois, papier, acier, 19e siècle
109x12,5x12,5 cm

Le dispositif simule le mouvement d'une onde longitudinale (son) se propageant dans un tuyau ou un cylindre fermé. Il est constitué d'un cylindre peint en noir et recouvert de lignes blanches. Le cylindre est monté à l'intérieur d'une caisse en bois munie d'une longue fente longitudinale. Ces lignes représentent les molécules atmosphériques. Lorsque l'on fait tourner le cylindre et que l'on regarde à travers la fente, on a l'impression d'observer les contractions des spires qui se déplacent le long d'un ressort que l'on aurait comprimé à une extrémité. Les contractions correspondent aux nœuds d'une onde longitudinale en vibration.

Caléidophone

MHS 547
Acier, fonte, laiton, Koenig, Paris, 19e siècle
37x26x35 cm

Inspiré du kaléidoscope optique, le caléidophone inventé par Charles Wheatstone permet de visualiser des vibrations de tiges métalliques fixées par une de leur extrémité. Six tiges de sections rectangulaires différentes sont fixées verticalement sur une base en fonte. Chacune d'entre elles est coiffée d'une petite bille en verre. En éclairant cette bille avec un faisceau lumineux, on obtient par réflexion un point lumineux. Lorsque l'on fait vibrer la tige obliquement (à la fois dans le sens de la longueur et de la largeur), le point lumineux commence à décrire des courbes et des figures dites de Lissajous propres à chaque tige et aux rapports de la longueur sur la largeur de leur section respective.

Appareil à ondes

MHS 2602
Acier, bois, verre, Angleterre, 19e siècle
54x21x15 cm

Mis au point au milieu du 19e siècle par Charles Wheastone, un génial inventeur anglais auteur aussi du premier stéréoscope optique, cette machine à ondes est destinée à visualiser le comportement ondulatoire des ondes lumineuses, notamment des ondes polarisées qui oscillent dans des plans verticaux et horizontaux.

La machine contient un ensemble de barrettes métalliques munies de boules blanches qui coulissent chacune le long de fentes verticales et horizontales. Les boules blanches représentent les particules d'éther, la matière qui était supposée servir de support aux ondes lumineuses pour se propager dans le vide, selon la théorie physique de l'époque.

Les barrettes et les boules blanches sont déplacées de haut en bas et de côté par des glissières en bois en forme d'ondes que l'on glisse dans la machine. Lorsque les glissières sont poussées dans la machine, elles génèrent des trains d'ondes sur les boules blanches.

Dans sa configuration originelle, la machine présente sur sa face gauche une onde linéaire, sur sa face supérieure une onde circulaire (polarisée) et sur sa face droite une onde sinusoïdale horizontale.

Lorsque l'on introduit une paire de glissières d'ondes verticales et horizontales dans la machine, leur combinaison apparaît sur la face latérale gauche. Les interférences qu'elles créent avec l'onde circulaire polarisée propre à la machine sont visibles sur la face supérieure et celles qu'elles engendrent avec l'onde horizontale de la machine se lisent sur la face droite de la machine.

L'appareil est rangé dans une caisse en bois qui contient 6 autres paires de glissières (1 plane, 4 verticales, 1 horizontale) de longueurs d'onde différentes.

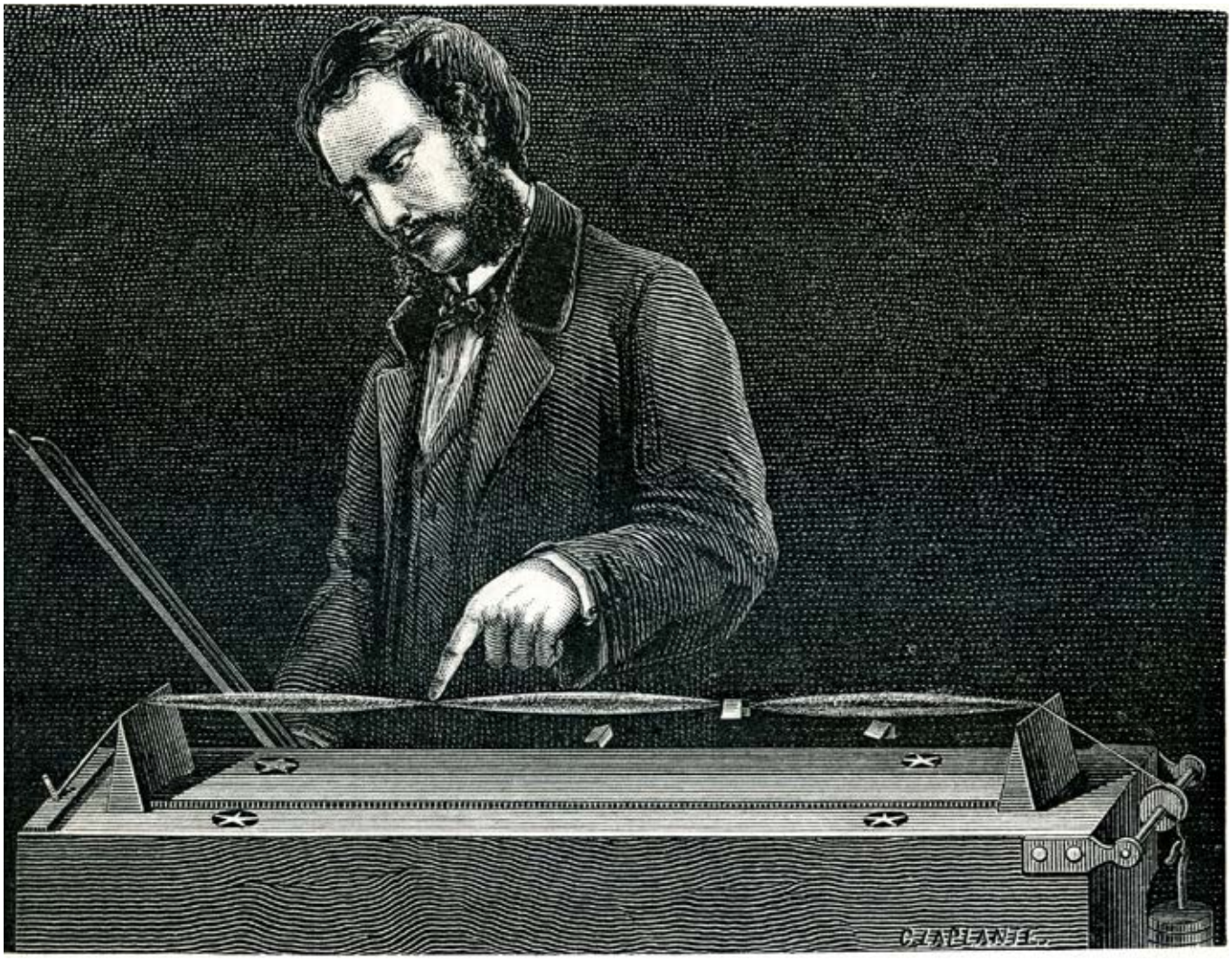
La machine a été fabriquée en Angleterre par différents constructeurs à partir de 1849 pendant une relative courte période. Sur le continent européen, le constructeur parisien d'instruments acoustiques Rudolf Koenig en proposait deux modèles de taille différente montés sur pied dans son catalogue de 1889. Seuls une trentaine d'exemplaires semblent avoir survécu à ce jour.

Monocorde

MHS 2075
Bois, acier, laiton, 19e siècle
Collection Pictet
72x10x18,5 cm

Appelé aussi sonomètre, le monocorde est un instrument classique pour l'étude des cordes vibrantes. Il est constitué d'une caisse en bois creuse destinée à renforcer les sons sur laquelle sont tendues une ou deux cordes métalliques. Les cordes sont fixées à leurs extrémités par une pince ou retenue par des poids suspendus que l'on peut ajuster pour régler la tension de la corde. Un chevalet mobile peut être déplacé le long d'une règle indiquant les notes jouées. Le chevalet permet de faire varier la longueur de la partie vibrante de la corde. L'instrument sert notamment à démontrer expérimentalement la loi des longueurs d'une corde vibrante, à savoir que sa fréquence de vibration est inversement proportionnelle à sa longueur.

Le monocorde peut aussi être utilisé pour visualiser les nœuds et les ventres sonores présents dans les sons harmoniques. Lorsque l'on touche une corde à la moitié de sa longueur et qu'on la fait vibrer avec un archet, le son produit est à l'octave du son fondamental de la corde. La corde présente alors deux parties vibrantes (les ventres) et une neutre (le nœud) que l'on peut visualiser avec des petits cavaliers en papier mis à cheval sur la corde. Les cavaliers situés sur les ventres sont éjectés et celui qui se trouve sur le nœud reste en place. Si l'on touche la corde au tiers de sa longueur, la corde présente cette fois-ci trois parties vibrantes séparées par deux nœuds. On peut répéter l'expérience en divisant la corde en quatre, puis en cinq parties égales. Il se forme alors autant de ventres qui éjectent les cavaliers. Les sons produits deviennent de plus en plus aigus. Ils correspondent aux harmoniques du son fondamental de la corde. En musique, les harmoniques sont des sons dont la fréquence est un multiple entier de la note fondamentale.



Nœuds et ventres d'une corde vibrante

L'expérimentateur place son doigt au tiers de la longueur et frotte la corde avec son archet. Celle-ci se divise en trois parties égales vibrant séparément. On peut visualiser le phénomène avec des cavaliers en papier. Les cavaliers placés aux points immobiles (nœuds) restent en place alors que ceux placés sur les parties vibrantes (ventres) sont éjectés.
Amédée Guillemin, les phénomènes de la physique, Paris, 1869, Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

Diapasons pour figures de Lissajous

MHS 2633
Acier, Koenig, seconde moitié du 19e siècle
34x57x11 cm (caisse)

Au milieu du 19e siècle, le physicien français Jules-Antoine Lissajous (1822-1880) parvient à rendre visibles les vibrations d'un diapason en fixant à l'extrémité de l'une des branches un petit miroir qu'il éclaire avec un faisceau lumineux. La lumière réfléchie est projetée sur un écran, sur un miroir tournant, ou encore observée à l'aide d'une lunette. Lorsque le diapason entre en vibration, le point lumineux s'allonge dans le sens de la longueur des branches. Si alors on fait pivoter le diapason (ou le miroir), l'apparence de la lumière réfléchie change. Au lieu d'un trait, on observe une ligne continue de forme sinusoïdale.

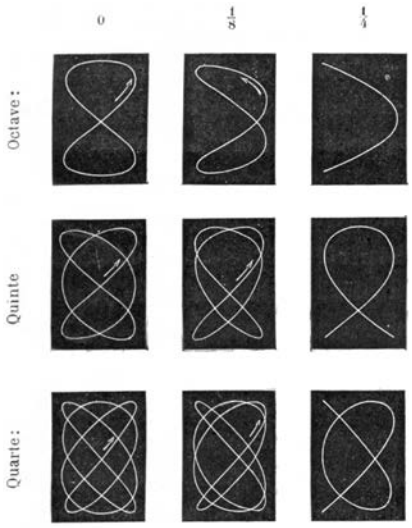
Poursuivant ses travaux, Lissajous développe une méthode optique pour comparer les vibrations entre deux diapasons. Il fixe un petit miroir sur une des branches

des deux diapasons à étudier. Le premier diapason est placé verticalement et le second horizontalement. A l'aide d'une lampe à arc, il envoie un puissant faisceau lumineux sur le miroir du diapason vertical. La lumière réfléchie frappe le second miroir avant d'être renvoyée sur un écran. Si seul un des deux diapasons vibre, un trait vertical ou horizontal apparaît sur l'écran. Si les deux diapasons vibrent simultanément, la combinaison des deux traits vertical et horizontal produit une courbe lumineuse dont la forme dépend des différences de fréquence, d'amplitude et de phase entre les deux diapasons.

Ces figures dites de Lissajous sont les mêmes que celles que l'on observe en faisant vibrer des tiges métalliques vissées sur un socle dans le caléidophone de Wheatstone (voir p. 25).

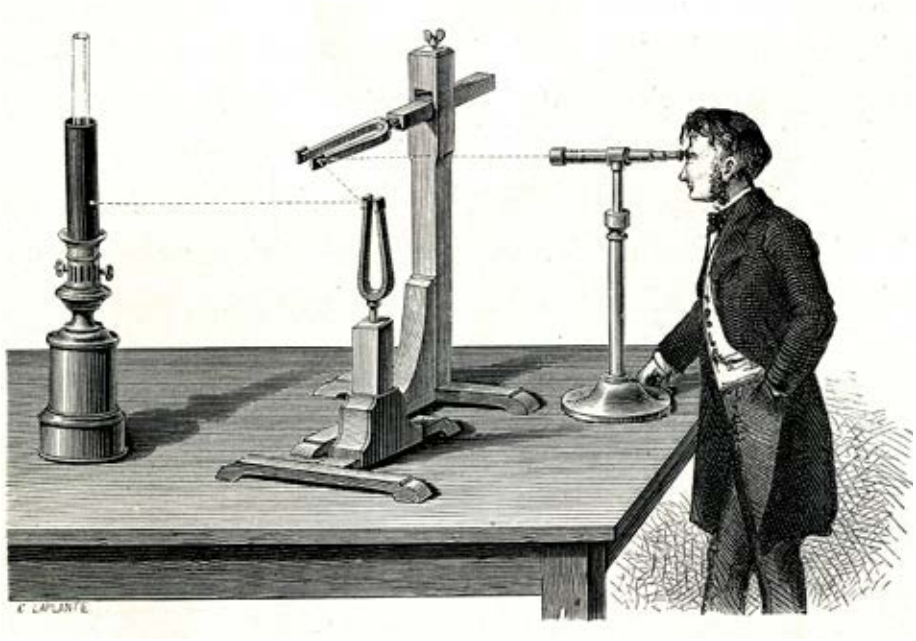
Aujourd'hui, des figures de Lissajous peuvent également être produites sur un oscilloscope en combinant deux signaux électriques sinusoïdaux sur le canal horizontal (X) et sur le canal vertical (Y).

Certains diapasons de ce dispositif portent sur leurs branches des masselottes que l'on peut déplacer pour ajuster la fréquence. Les diapasons sont signés Rudolf Koenig. Le mode d'emploi originel signé par Koenig est également présent.



Figures de Lissajous

Figures obtenues par la combinaison de deux diapasons résonnant à l'octave, à la quinte et à la quarte. Les figures sur une même ligne correspondent à différents décalages temporels entre les ondes (déphasages).
Amédée Guillemin, Les phénomènes de la physique, Paris, 1869
Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences



Méthode optique de Lissajous pour comparer la fréquence de deux diapasons

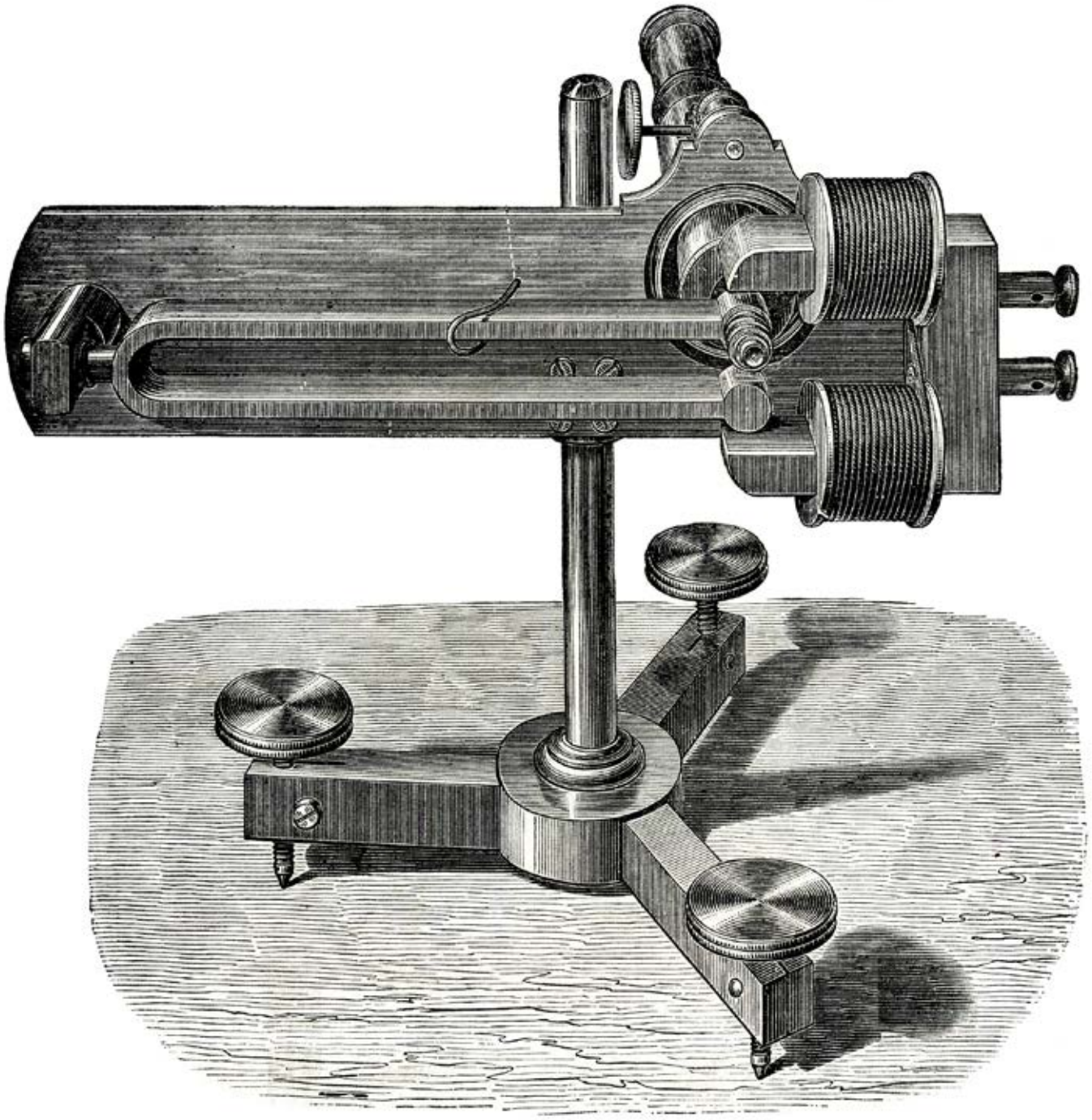
Deux diapasons munis de miroirs à l'extrémité de leurs branches sont placés l'un verticalement, l'autre horizontalement de manière à ce que leurs miroirs soient en regard. On projette un faisceau de lumière émis par une lampe à pétrole sur l'un des miroirs où il se réfléchit avant de frapper le miroir du second diapason qui le renvoie à travers une lentille optique avant d'être projeté sur un écran visible par l'observateur. Lorsque les deux diapasons sont en vibration, on obtient une courbe lumineuse dont la forme dépend du rapport entre leurs fréquences respectives, de leur amplitude et de leur différence de phase.
Amédée Guillemin, les phénomènes de la physique, Paris, 1869, Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

Comparateur optique

MHS 2599
Acier, laiton, Koenig, Paris, seconde moitié du 19e siècle
26x26x48 cm

Ce dispositif permet de comparer optiquement selon la méthode de Lissajous un diapason avec un modèle de référence, en utilisant cette fois des lentilles au lieu de miroirs. Une des branches du diapason est munie d'une lentille qui sert d'objectif à un microscope installé perpendiculairement au diapason. Lorsque l'on regarde un point lumineux à travers le microscope, le point apparaît comme un trait vertical lorsque la lentille vibre. Si ce point lumineux se trouve lui-même sur un second diapason qui vibre dans une direction perpendiculaire au premier, il se forme une figure lumineuse de Lissajous résultant de deux mouvements vibratoires orthogonaux.

Le diapason est monté entre les deux pôles d'un électroaimant qui permet d'entretenir la vibration, à la manière d'une sonnette électrique.



Comparateur optique

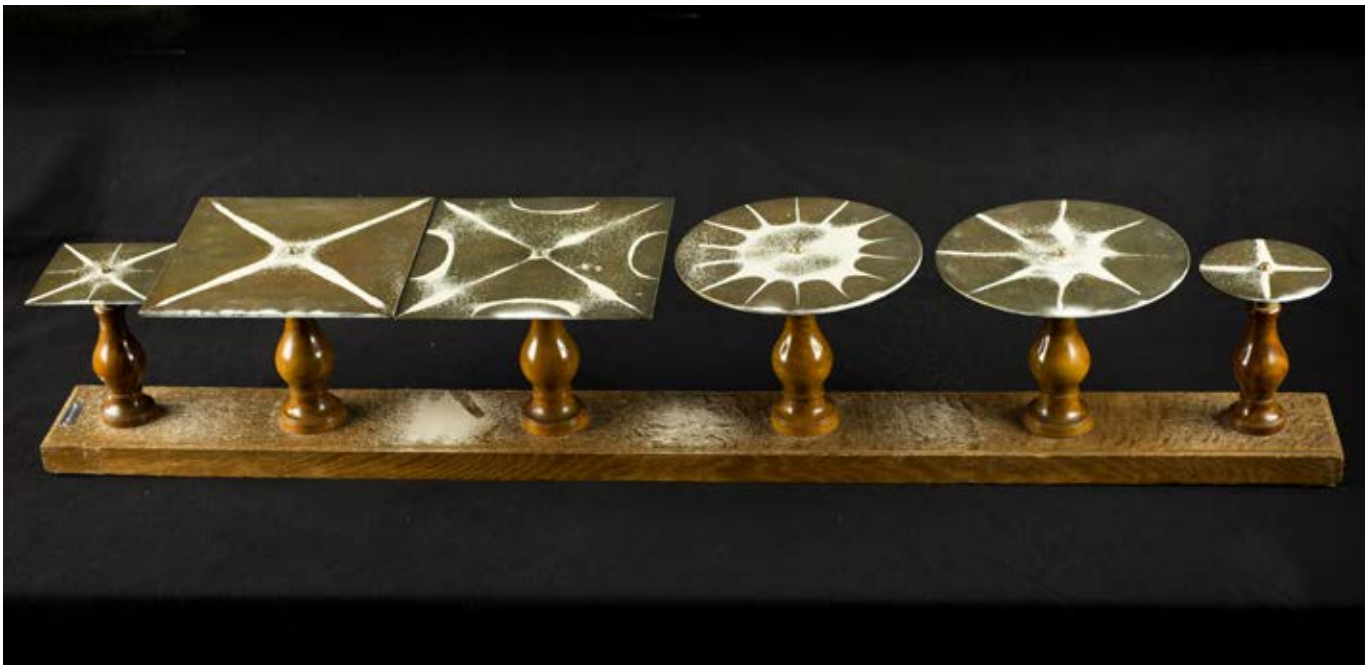
Comparateur optique muni de son microscope pour observer les figures de Lissajous produites entre un diapason et un modèle de référence.
John Tyndall, Le Son, trad. Abbé Moignot, Paris, 1869, Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

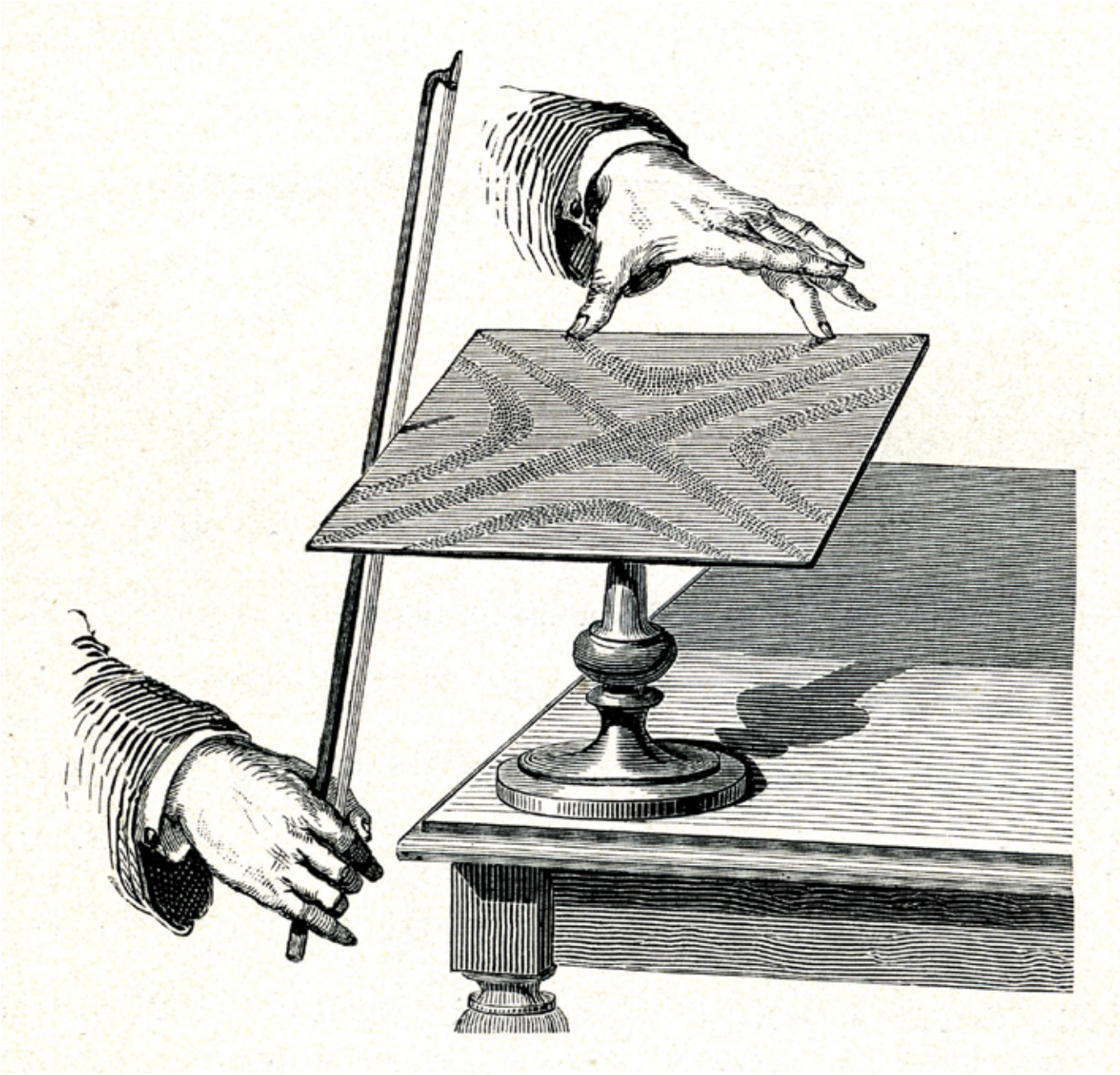
Plaques vibrantes pour figures de Chladni

MHS 2603
Bois, cuivre, laiton, Marloye, Paris, vers 1840
102x20x19 cm

Ce dispositif permet de reproduire les résultats des travaux du physicien allemand Ernest Chladni (1756-1827), considéré aussi comme l'un des fondateurs de l'acoustique moderne. Au début du 19e siècle, il est un des premiers à imaginer un dispositif expérimental destiné à rendre visibles les vibrations sonores. Faisant vibrer des plaques métalliques avec un archet, il constate que ces plaques produisent des sons différents selon les endroits excités par l'archet. Il a alors l'idée de saupoudrer les plaques de sable fin pour visualiser les vibrations. Dès que la plaque entre en vibration, les grains de sable se mettent en mouvement, quittant les parties vibrantes pour se déposer sur des lignes dessinant divers motifs géométriques, figures qui portent désormais son nom.

Chladni observe que ces figures varient selon la matière et les dimensions de la plaque, le point d'attaque de l'archet, les points amortis par les doigts de l'expérimentateur, etc. L'appareil est signé Albert Marloye (1795-1874), l'un des premiers fabricants d'instruments parisiens spécialisé dans l'acoustique.





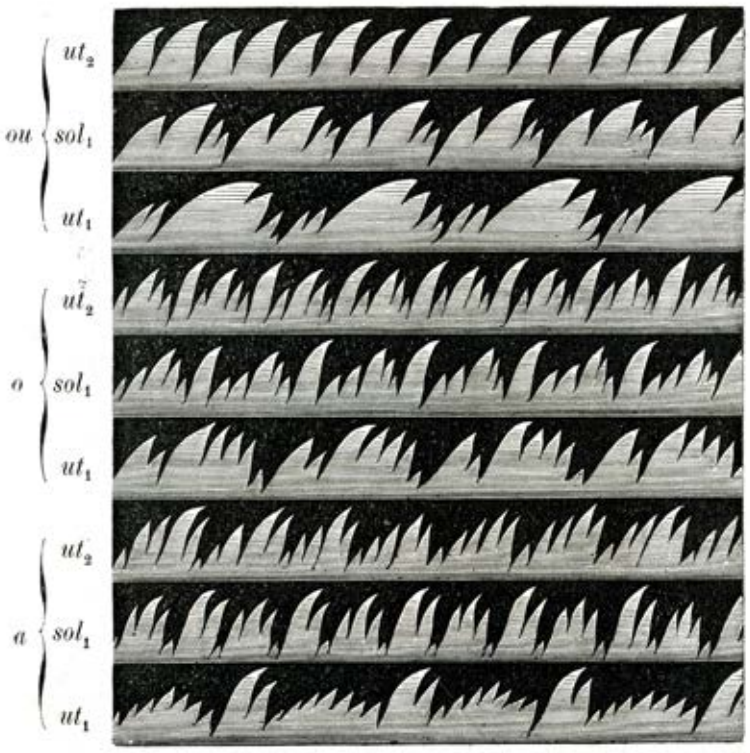
Vibration d'une plaque métallique

Lorsque l'on fait vibrer le bord d'une plaque métallique avec un archet, celle-ci se met à vibrer. Les vibrations peuvent être visualisées à l'aide d'une légère couche de sable dont on recouvre la plaque. Lorsque les vibrations commencent, le sable abandonne les parties vibrantes pour se déposer sur les endroits immobiles (zones nodales), formant ainsi des motifs appelés figures de Chladni. Les dessins géométriques produits par ces lignes nodales dépendent de la forme de la plaque, de son épaisseur, de la manière de frotter l'archet et de toucher du doigt certains points du pourtour.
Amédée Guillemin, les phénomènes de la physique, Paris, 1869, Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

Analyseur de timbres

MHS 1458
Acier, fonte, laiton, verre, Koenig, Paris, seconde moitié du 19e siècle
77x34x91 cm

Au cours de la seconde moitié du 19e siècle, le constructeur allemand Rudolf Koenig conçoit et fabrique un analyseur optique de son. Son appareil est destiné à étudier le timbre d'un son et le décomposer en ses notes harmoniques élémentaires. Il est composé de huit résonateurs de volumes différents installés l'un au-dessus de l'autre. Le plus gros résonateur renforce la note fondamentale (ut) et les sept autres les premières harmoniques (ut1, sol1, ut2, mi2, sol2, etc.). Les résonateurs sont reliés par un tube en caoutchouc à des capsules manométriques disposées verticalement face à un miroir tournant. Chaque capsule est divisée en deux par une membrane en caoutchouc. Un des compartiments communique avec le bec à gaz, l'autre avec le tuyau connecté au résonateur. Lorsque l'on produit un son à la fréquence d'un résonateur, la membrane dans la capsule correspondante se met à vibrer, modulant ainsi la longueur de la flamme. Pour être rendus visibles, les changements d'aspect de la flamme sont observés par réflexion sur le miroir tournant.



Etude des sons émis par la voix humaine

Chaque voyelle émise a un timbre particulier caractérisé par la prédominance des sons harmoniques particuliers. Ce tableau représente la forme des flammes manométriques qui caractérisent les voyelles a, o et ou chantées sur trois notes différentes.
John Tyndall, Le Son, trad. Abbé Moignot, Paris, 1869, Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

3.2. MESURER UN SON

Résonateurs

MHS 2050
Laiton, 19e siècle
86x25x28 cm

En 1863, le physicien allemand Hermann von Helmholtz (1821-1894) démontre expérimentalement que la plupart des sons musicaux sont composés d'un son fondamental et de sons partiels ou harmoniques. Sa méthode est fondée sur la résonance, c'est-à-dire la propriété que possèdent certaines cavités de renforcer un son donné lorsqu'elles ont les dimensions convenables.

Les résonateurs de Helmholtz sont des globes en cuivre de diverses grosseurs et percés de deux ouvertures d'inégales grandeurs. Chaque globe est conçu pour renforcer un son bien défini, produit par exemple par un diapason que l'on approche de sa grande ouverture. La fréquence des sons avec laquelle s'accorde un résonateur dépend de ses dimensions et de la forme de la grande ouverture. Plus un résonateur est petit, plus la note à laquelle il réagit est aigüe (fréquence élevée). L'expérimentateur place la petite ouverture conique dans une de ses oreilles pendant qu'il bouche l'autre. De cette façon, il perçoit très distinctement le son amplifié par le résonateur. Grâce à des résonateurs de différentes tailles, Helmholtz est parvenu à décomposer les sons de divers instruments de musique, des voix humaines et même des bruits quelconques.

Sirène simple

MHS 2684
Acier, laiton, 19e siècle
7x6x17 cm

Inventé par le physicien français Charles Cagniard-Latour (177-1859), cet instrument sert à mesurer la fréquence (ou la hauteur) d'un son.

Un courant d'air créé par une soufflerie passe à travers une série de petits trous disposés sur les circonférences de deux disques métalliques, l'un fixe et l'autre mobile, placés sur un tambour cylindrique. Selon la position des trous du disque mobile par rapport à ceux du disque fixe, l'air passe ou ne passe pas. Les variations de pression qui en résultent produisent une onde sonore. Sa fréquence peut être déterminée en multipliant le nombre de trous par le nombre de tours que le disque effectue en une seconde. Le comptage se fait par l'entremise d'un axe vertical solidaire du disque mobile dont la partie supérieure se termine par une vis sans fin engrenant sur deux roues dentées reliées à deux cadrans à aiguille servant de compte-tours.

Pour déterminer la fréquence d'un son produit par un instrument, on met la sirène à l'unisson du son et l'on détermine la fréquence par le biais du compte-tours.

Oscilloscope

MHS 2679
Acier, plastique, verre, Tektronix, vers 1970, Etats-Unis
59x27x17 cm

Couplé à un microphone, un oscilloscope permet d'afficher graphiquement une onde sonore sur un écran. On peut ainsi mesurer la forme, la tension, la période et la fréquence. Apparus dans les années 1930, les oscilloscopes ont rendu obsolètes les instruments d'acoustique classiques – diapasons, résonateurs, analyseurs – développés et utilisés durant le 19e siècle.

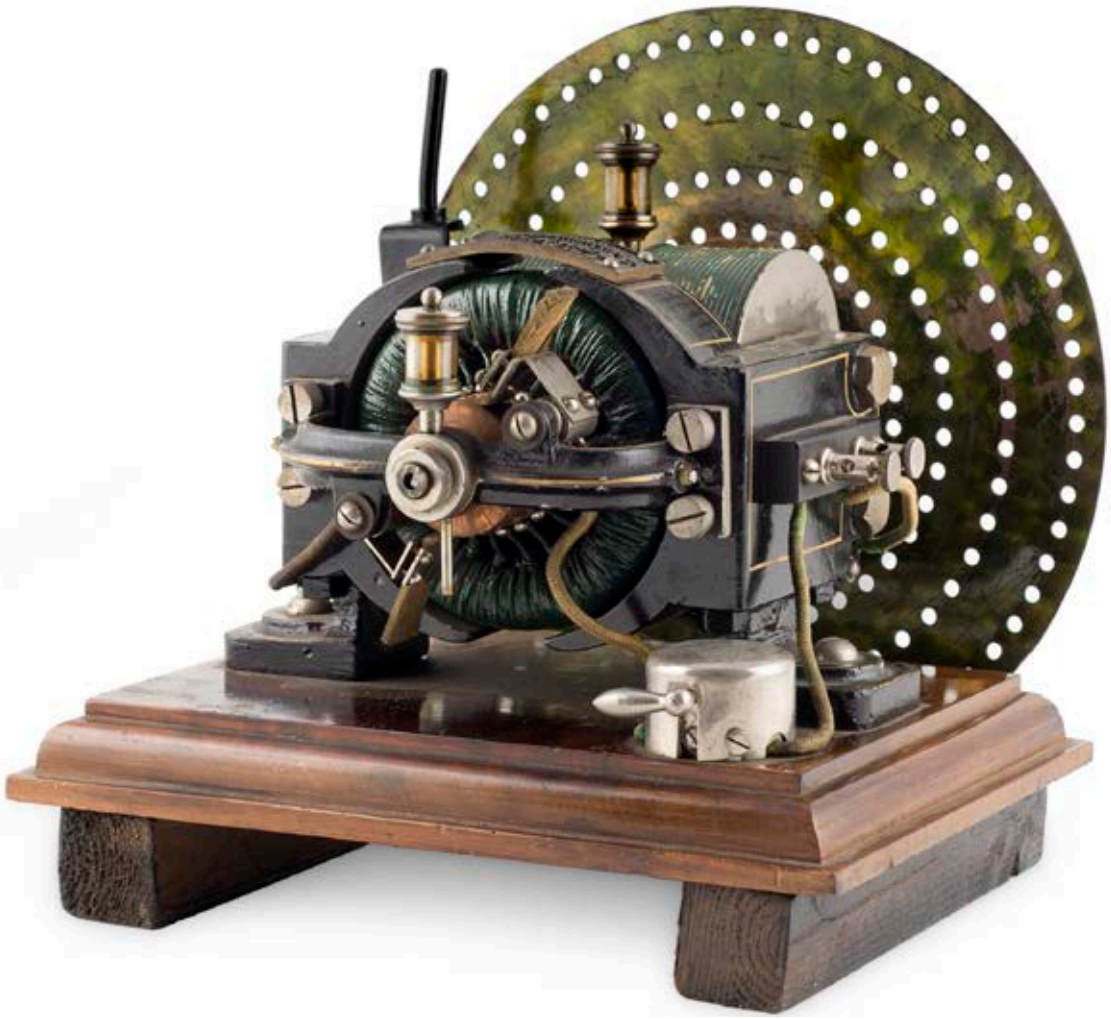
3.3. PRODUIRE UN SON

Sirène de Seebeck

MHS 2260
Acier, bois, laiton, Reiniger, Gebert & Schall, Erlangen, Bavière, fin du 19e siècle
19x21x23 cm

Un disque métallique entraîné par un moteur électrique est percé de trous à égale distance les uns des autres sur quatre rangées de sa circonférence. Les rangées comprennent respectivement 32, 40, 48 et 64 trous. Les fréquences produites sont dans le rapport 4:5:6:8, ce qui est perçu comme un accord parfait comprenant la tierce majeure, la quinte et l'octave.

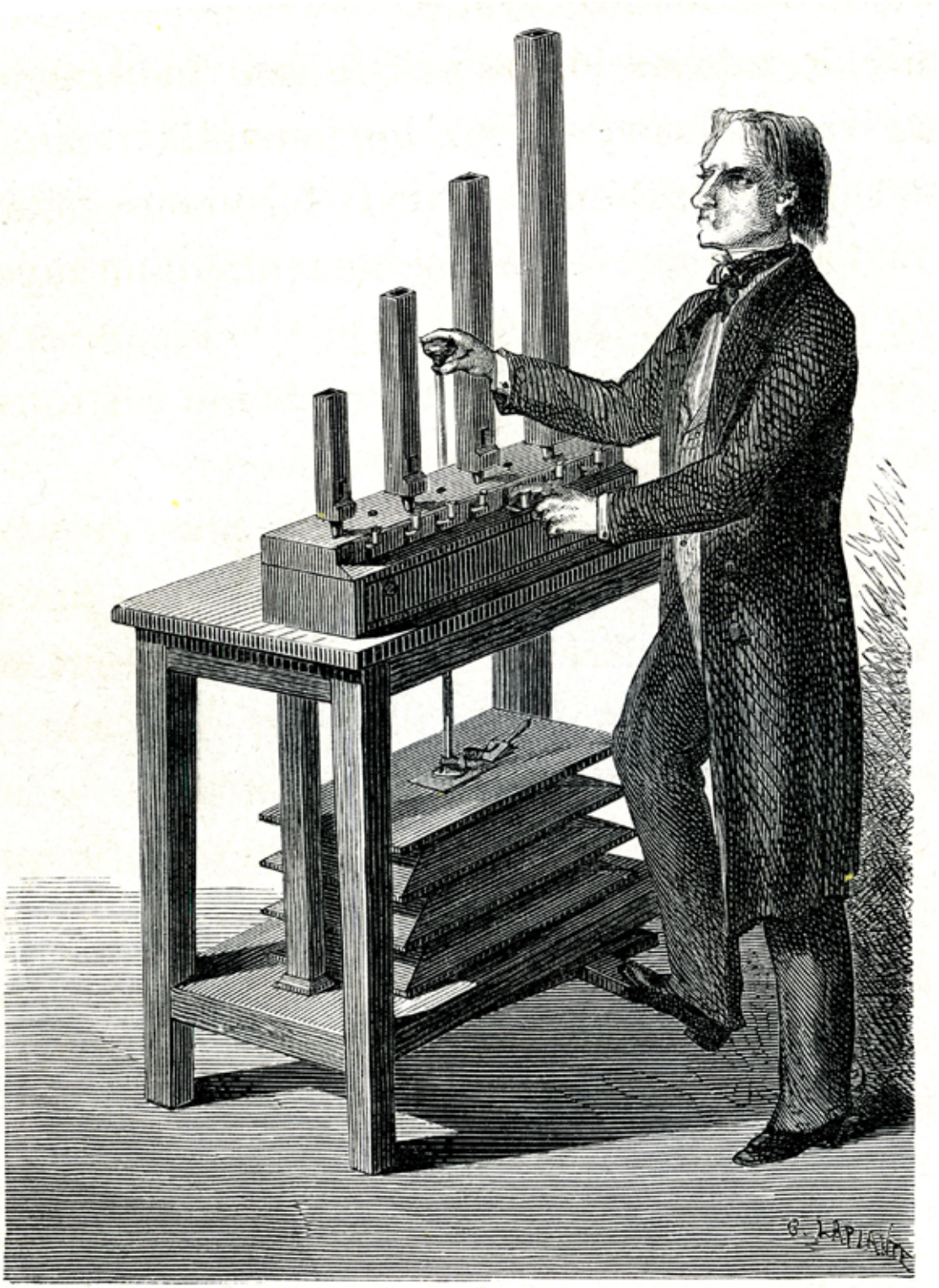
Une petite buse, reliée par un tuyau à une soufflerie, est approchée du disque en rotation. En présence d'un trou, l'air circule. Entre deux trous, l'air est bloqué. Ces alternances engendrent un son dont la fréquence dépend de la vitesse de rotation et du nombre de trous sur le passage du tuyau d'air.



Sirène double de Cagnard

MHS 833
Bois, laiton, fer, 19e siècle
40x25x45 cm

Le dispositif est constitué de deux sirènes simples dont les disques mobiles percés de trous sont montés sur un axe unique. L'extrémité supérieure de l'axe est munie d'une vis sans fin entraînant un compte-tours. Un courant d'air engendré par une soufflerie est dirigé dans les deux sirènes. Chacune d'entre elles peut être réglée pour créer son propre son. L'appareil permet d'obtenir des battements, un phénomène acoustique résultant de l'émission simultanée de deux sons de fréquences très proches.



La soufflerie

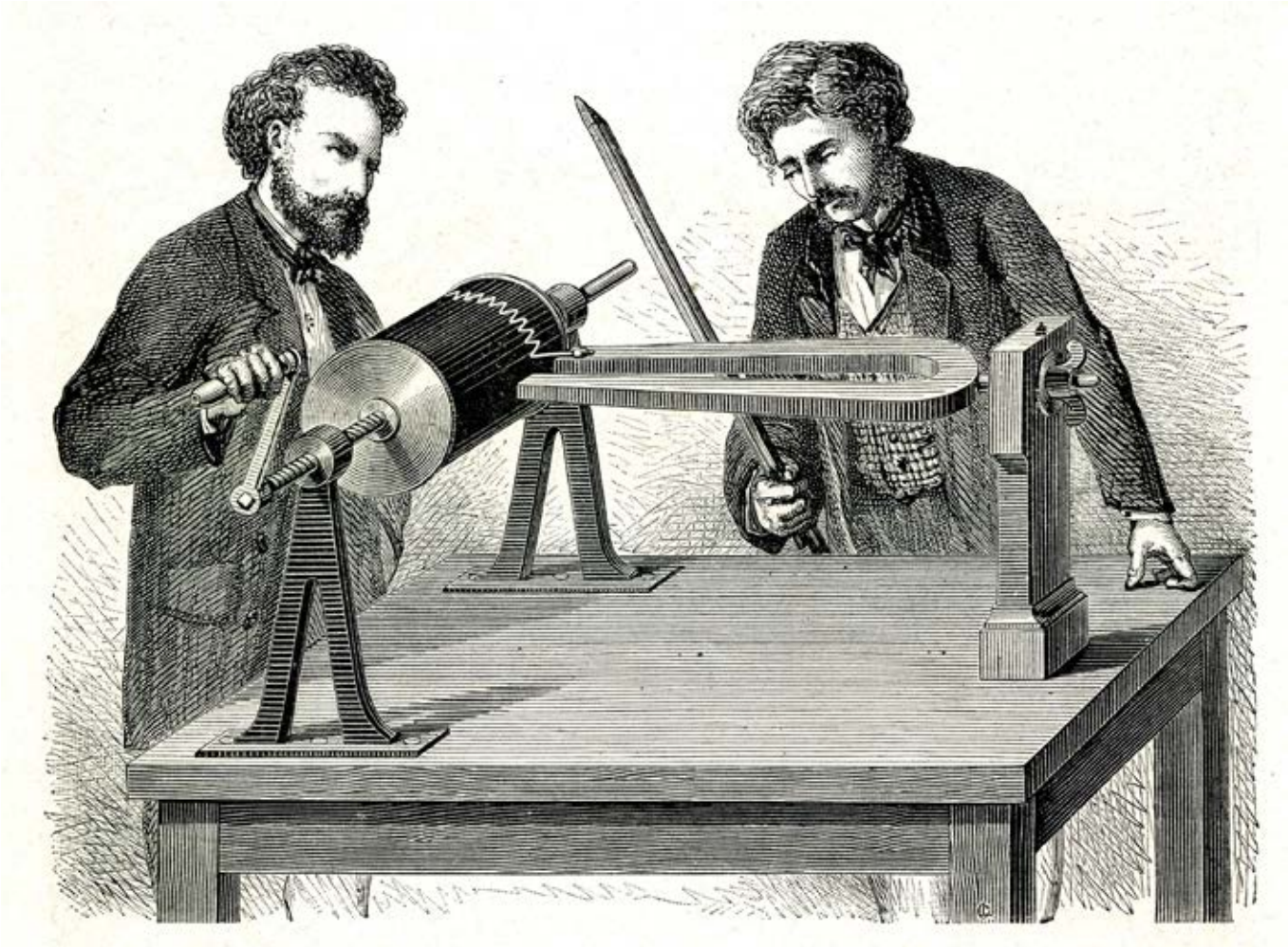
La soufflerie est un dispositif qui permettait de fournir le courant d'air nécessaire pour faire fonctionner un tuyau d'orgue (comme dans cette illustration) ou une sirène. L'expérimentateur entraîne à l'aide d'une pédale un soufflet placé entre les quatre pieds d'une table.
Amédée Guillemin, les phénomènes de la physique, Paris, 1869, Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

Diapason

MHS 1020
Acier, 19e siècle
3x1,5x30 cm
Collection Pictet

Le diapason a longtemps servi à fournir une note de référence aux musiciens pour accorder les voix et les orchestres. Inventé au début du 18e siècle par le luthiste anglais John Shore (1662-1752), le diapason est constitué d'une pièce métallique recourbée en U à la base de laquelle est fixée une tige qui sert à tenir l'instrument ou à le fixer sur un support.

Pour faire résonner un diapason, on frappe l'une de ses branches. Les deux branches se mettent alors à vibrer très rapidement et avec faible amplitude, produisant un son très pur perceptible à l'oreille. Les sons obtenus dépendent de la forme et des dimensions de l'instrument. Les diapasons les plus courants sont ceux qui vibrent 440 fois par seconde (440 Hz), produisant la note la_3, référence depuis 1939. Le son émis par un diapason est faible. Pour l'amplifier, on le fixe par sa tige sur une boîte fermée à l'une de ses extrémités, qui joue le rôle de résonateur.



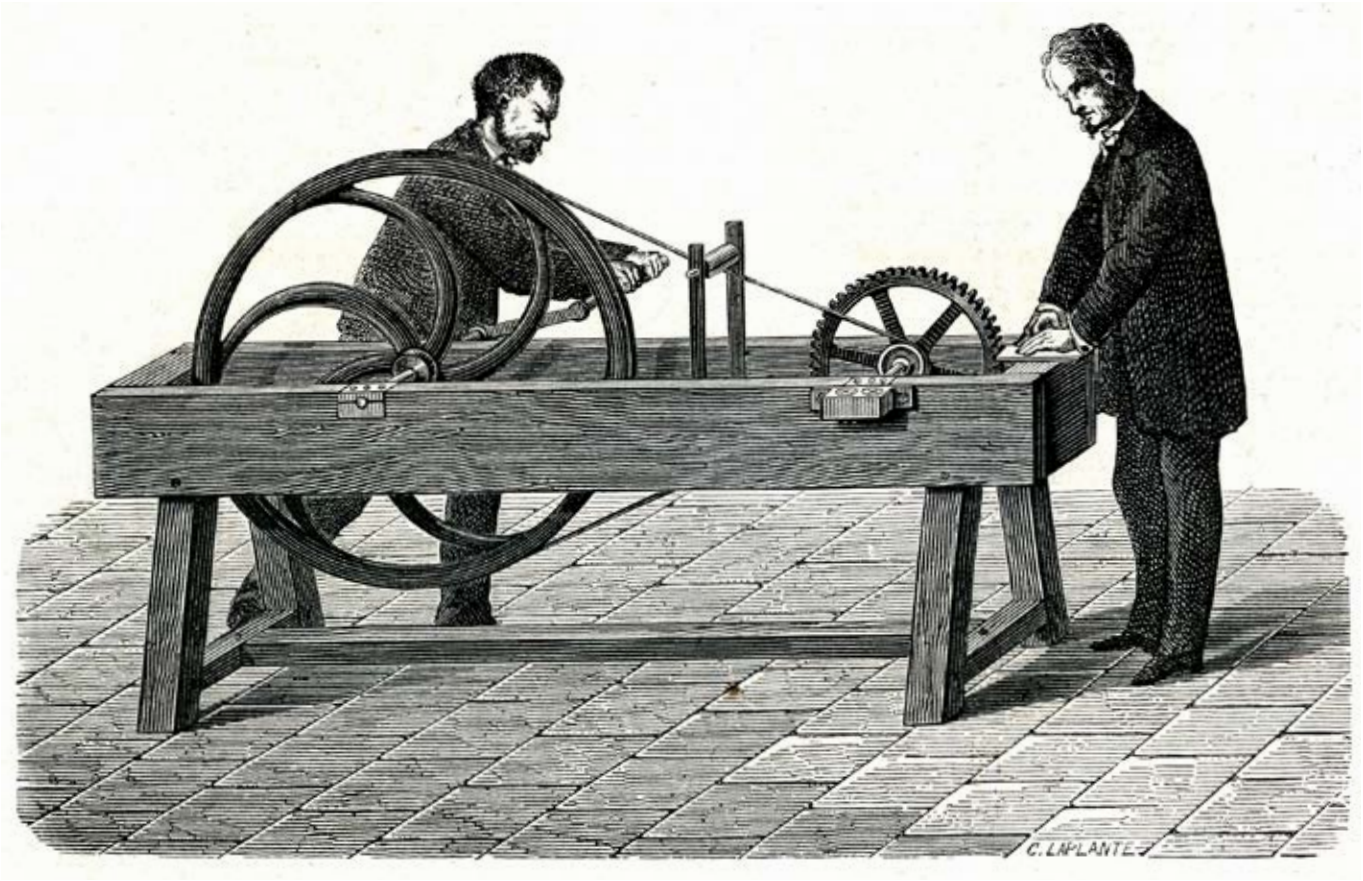
Observation des vibrations d'un diapason

Au 19e siècle est inventé le vibroscope, un appareil qui enregistre les vibrations d'un diapason. Une pointe métallique très fine fixée à l'extrémité d'un diapason en vibration trace des courbes sinusoïdales sur la surface de cylindres tournants recouverts de noir de fumée. Amédée Guillemin, les phénomènes de la physique, Paris, 1869, Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

Roues dentées

MHS 2683
Laiton, 19e siècle
7x7x12 cm

Dispositif imaginé par le physicien français Felix Savart (1791-1841) pour produire un son de fréquence définie. Quatre roues dentées sont montées sur un même axe. Chacune comprend un nombre de dents bien défini (48, 60, 72 et 96). Lorsque l'on fait tourner les roues dentées et que l'on approche un corps flexible, par exemple une carte de visite, contre les dents d'une roue, on produit des séries de bruits isolés. En augmentant la vitesse de rotation, les bruits se transforment en sons continus dont la fréquence est proportionnelle au nombre de dents et à la vitesse de rotation. Lorsque la carte de visite est mise au contact des quatre roues en mouvement, les sons forment un accord majeur parfait (tierce, quinte et octave).



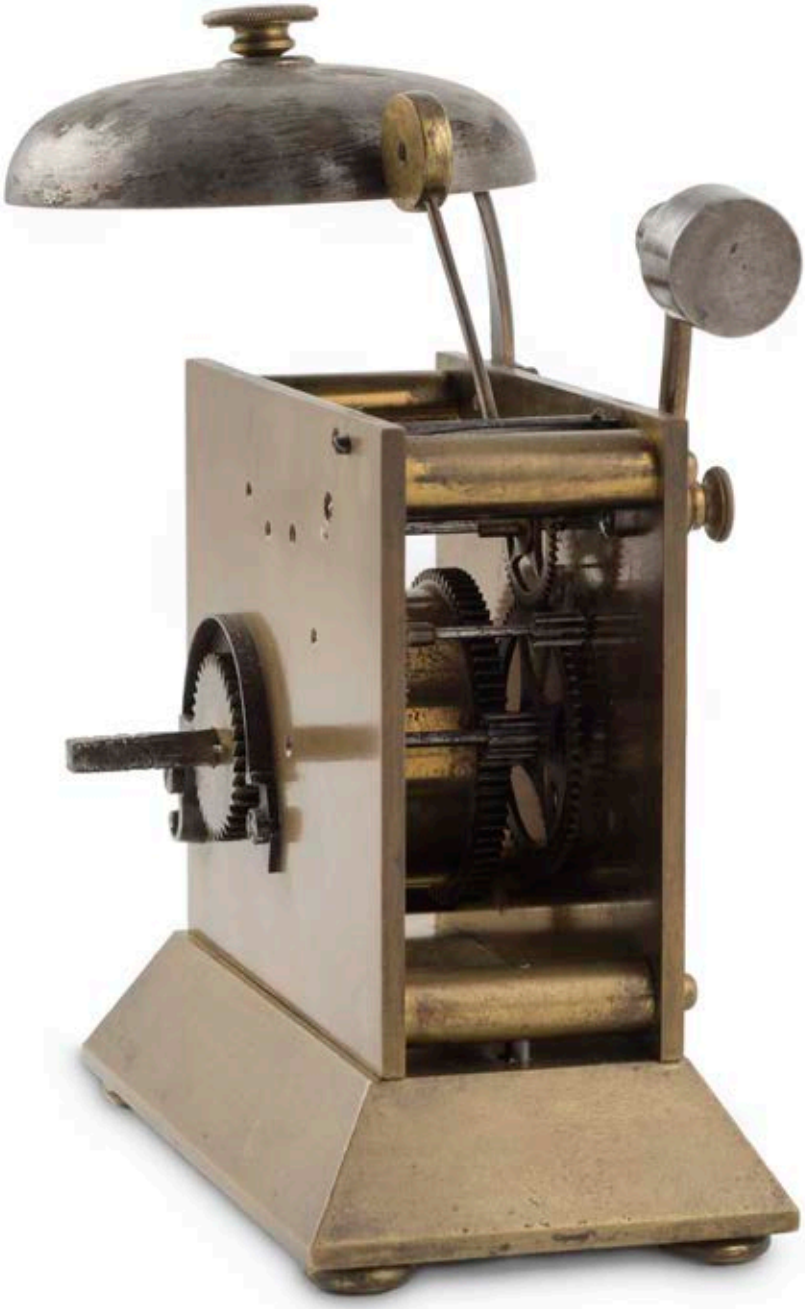
La grande roue dentée de Savart

La roue dentée imaginée par le physicien français Felix Savart (1791-1841) est un appareil qui produit des sons de fréquences bien définies. Les sons sont produits par le frottement d'une carte flexible contre les dents d'une roue entraînée par une manivelle. En augmentant la vitesse de rotation, on entend des sons continus de plus en plus aigus. Dans le cadre d'études sur l'audition humaine, Savart a développé une roue géante de 600 dents capable de tourner à plus de 40 tours/seconde. Produisant des sons avoisinant les 24'000 Hz, sa machine était un des premiers générateurs de sons à haute fréquence.
Amédée Guillemin, les phénomènes de la physique, Paris, 1869, Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

Sonnette

MHS 1123
Acier, laiton, 19e siècle
11,5x6x13 cm
Collection Pictet

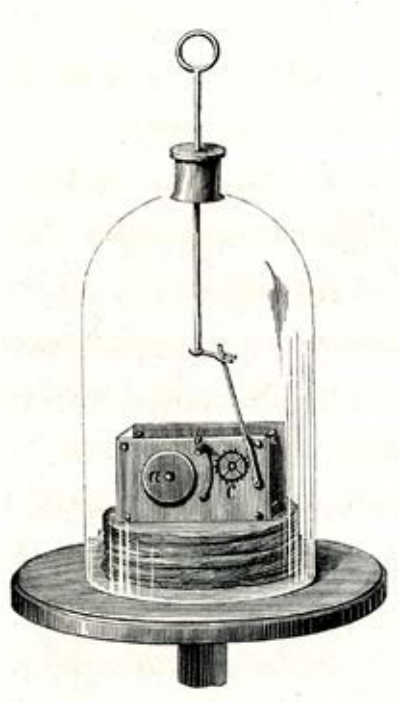
Dispositif destiné à être placé sous une cloche à vide pour démontrer l'extinction du son dans l'air raréfié. Un mouvement d'horlogerie qui se remonte à l'aide d'une clé actionne un battant qui frappe une cloche horizontale.



Sonnette

MHS 579
Acier, laiton, 19e siècle
14x9,5x12,5 cm
Collection Chapeaurouge

Sonnette à deux timbres latéraux entraînée par un mouvement d'horlogerie. L'appareil se plaçait sous une cloche à vide et servait à démontrer l'extinction du son dans l'air raréfié.



Le son ne se propage pas dans le vide

Une sonnette à ressort est placée sous une cloche à vide. Le battant est libéré par une tige métallique verticale. Avant de faire le vide, le son du battant qui frappe sur le timbre est clairement audible. Mais à mesure que l'air se raréfie, le son diminue d'intensité et disparaît complètement.
Amédée Guillemin, les phénomènes de la physique, Paris, 1869, Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

Métronome

MHS 2056
Fer blanc, laiton, Maelzel, Allemagne, 1815
12x12x30 cm
Collection Pictet

Il s'agit vraisemblablement de l'un des premiers métronomes à pulsation breveté par l'Allemand Johann Nepomuk Maelzel en 1815. L'instrument est constitué d'un mouvement d'horlogerie à échappement muni d'un balancier gradué dont les battements indiquent des durées de temps égales. La vitesse d'oscillation du balancier peut être modifiée grâce au contrepoids mobile coulissant sur le balancier. Chaque graduation indique le nombre de pulsations par minute.

Diapason électronique

MHS 2249
Plastique, acier, SIP, Genève, vers 1950
47x16x16 cm

Diapason électrique construit par la Société genevoise d'instruments de physique (SIP) à la demande d'Ernest Ansermet (1883-1969), chef titulaire de l'orchestre de la Suisse romande. Lorsqu'au milieu du 20e siècle fut adopté le « La international » (440 Hz), Ansermet fit construire par la SIP un appareil capable de donner le La à la fréquence appropriée afin de pouvoir accorder plus facilement tous les instruments de l'orchestre à une hauteur donnée.

3.4. AMPLIFIER UN SON

Stéthoscope

MHS 444 et MHS 445
Bois, 19e siècle
5,5x5,5x32 cm

Modèle similaire au premier stéthoscope inventé en 1816 par le médecin français René Laennec (1781-1826) pour ausculter le rythme cardiaque des patients. L'instrument est en bois. Le médecin place l'extrémité du tube contre la poitrine du patient et l'autre contre son oreille. Des modèles en bois ont été fabriqués jusqu'au 20e siècle. Ce type de stéthoscope, dit monaural, est toujours utilisé aujourd'hui pour amplifier les bruits du fœtus dans le ventre de sa mère.

Le stéthoscope classique à écoute biauriculaire en caoutchouc est apparu au cours du dernier tiers du 19e siècle.

Stéthoscope

MHS 1063
Ebonite, caoutchouc, France, 19e siècle
5,5x5,5x60 cm

Un des premiers modèles de stéthoscope avec tube flexible en caoutchouc.

Porte-voix

MHS 1124
Laiton, 18e siècle
Cabinet Pictet
114x40x40 cm

Porte-voix composé d'une partie intermédiaire en forme d'ellipsoïde, placée entre l'embouchure et le pavillon, destinée à renforcer l'intensité du son émis. Cette disposition particulière était censée favoriser la dispersion des ondes sonores en rayons parallèles. Les ondes devaient ainsi conserver une intensité constante à toute distance. L'appareil avait été décrit pour la première fois par le physicien allemand Jean Mathias Hase (1684-1742) en 1761.

Cornet acoustique

MHS 1748
Laiton, 19e siècle
39x12x10 cm

Accessoire destiné aux personnes malentendantes constitué d'un tube conique à placer dans l'oreille et d'un pavillon. Les sons extérieurs parviennent ainsi de manière amplifiée et concentrée à l'oreille.

Le cornet acoustique

Accessoire qui permet aux personnes malentendantes de mieux percevoir les sons extérieurs. La partie fine de l'appareil se place dans l'oreille. Alphonse Ganot, Cours de physique, Paris, 1866, Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

Cornet acoustique

MHS 1851
Résine, ivoire, verre, Audios, France, 19e siècle
3x3x30 cm

Les cornets acoustiques étaient des accessoires très en vogue au 19e siècle. Ce modèle est équipé d'un embout en ivoire et d'une lorgnette.

Cornet acoustique

MHS 93
Fer blanc, 19e siècle
202x26x20 cm

Cornet acoustique de grande taille utilisé par le physicien et ingénieur genevois Jean-Daniel Colladon (1802-1893) pour ses mesures de la vitesse du son dans l'eau, entre Rolle et Thonon, en novembre 1826. Sorte d'hydrophone géant en forme de cuillère, l'instrument, lesté avec du plomb, était immergé verticalement dans l'eau depuis un bateau à rames. L'expérimentateur collait son oreille contre l'orifice supérieur du tube pour percevoir les bruits d'une cloche fixée sous le second bateau émetteur. La cloche était frappée par un marteau muni d'un long manche. Un astucieux dispositif mécanique permettait au second expérimentateur de frapper la cloche tout en entraînant la mise à feu d'une poudre de feu d'artifice. L'éclair lumineux produit indiquait l'émission du son à l'expérimentateur situé sur le bateau récepteur.

Connaissant le temps de parcours du son (environ 9 secondes et quart) et la distance exacte entre les deux bateaux (calculée par triangulation), Colladon obtient la vitesse du son dans l'eau : 1435 m/s, une valeur très proche des 1437 m/s découlant de la formule théorique établie quelques années plus tôt par les physiciens Thomas Young (1773-1829), Pierre-Simon Laplace (1749-1827) et Siméon Denis Poisson (1781-1840). Cette vérification expérimentale, en plus de la mesure de la compressibilité de différents liquides, a valu à Colladon et à son compère et ami le mathématicien genevois Charles Sturm (1803-1855) le grand prix de l'Académie des sciences de Paris.

Cornet acoustique

MHS 203
Fer blanc, tôle
283x41x24 cm

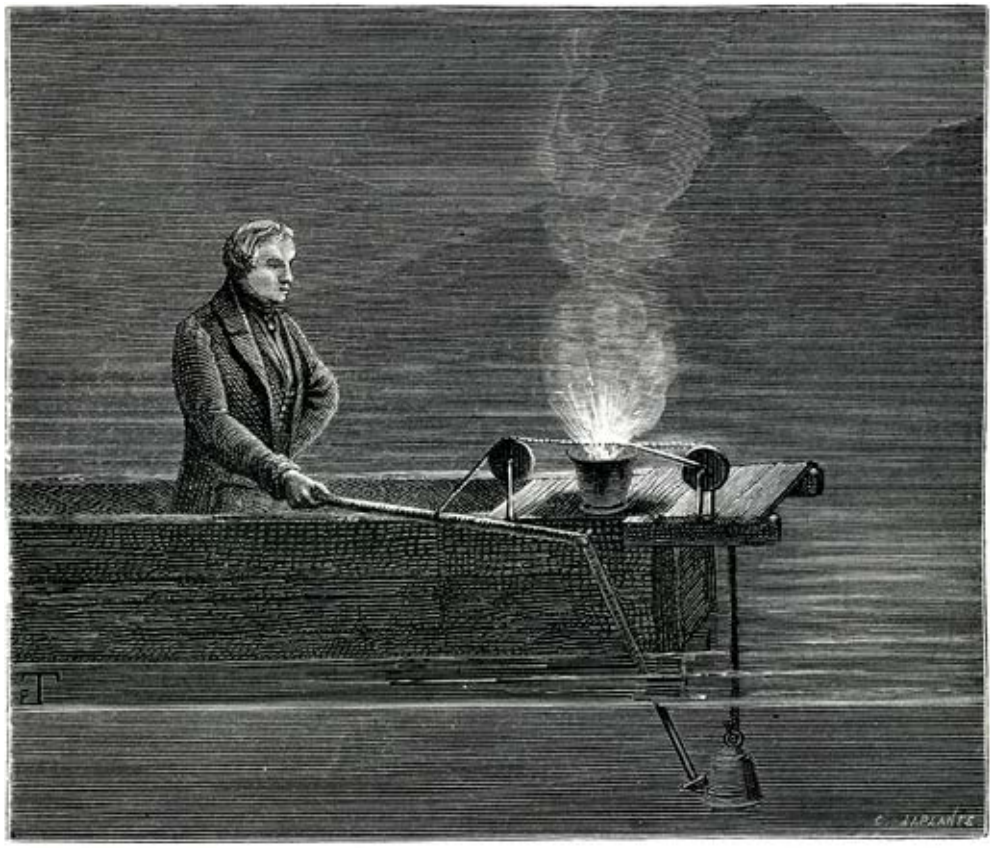
En août 1841, Colladon se livre à de nouvelles expériences de transmission du son dans l'eau. Cette fois-ci, il veut vérifier à quelle distance le son se propage. A l'aide d'une cloche de 500 kg suspendue au bout d'un palan installé à la poupe d'un bateau et d'un cornet acoustique de plus grande dimension, il se livre à des mesures entre Nyon et Cully (35 km), puis entre la pointe de Promenthoux près de Nyon et Veytaux près de Villeneuve, à cinquante kilomètres de distance. Les résultats sont probants : les sons de la cloche sont parfaitement audibles. Pragmatique, Colladon envisage d'utiliser son dispositif comme nouveau moyen de communication télégraphique dans la Manche, entre la France et l'Angleterre. Malheureusement, les Anglais projettent déjà de tirer une ligne télégraphique sous-marine entre les deux pays. Colladon songe encore à deux autres applications pour sa cloche frappée sous l'eau. La première consiste à établir des moyens de communication sous-marins entre navires en mer. La seconde « c'est de se servir des échos des sons de la cloche répercutés par le fond des mers pour vérifier leur profondeur ». Une hypothèse qu'il ne vérifiera pas dans le lac, mais qui lui vaut parfois d'être considéré comme le précurseur du sonar ou sondeur acoustique, un appareil utilisant les propriétés du son (les ultrasons) pour détecter les objets sous l'eau et mesurer les fonds sous-marins, qui sera inventé durant la Première Guerre mondiale.

La mesure de la vitesse du son dans l'eau par Colladon et Sturm : le bateau émetteur

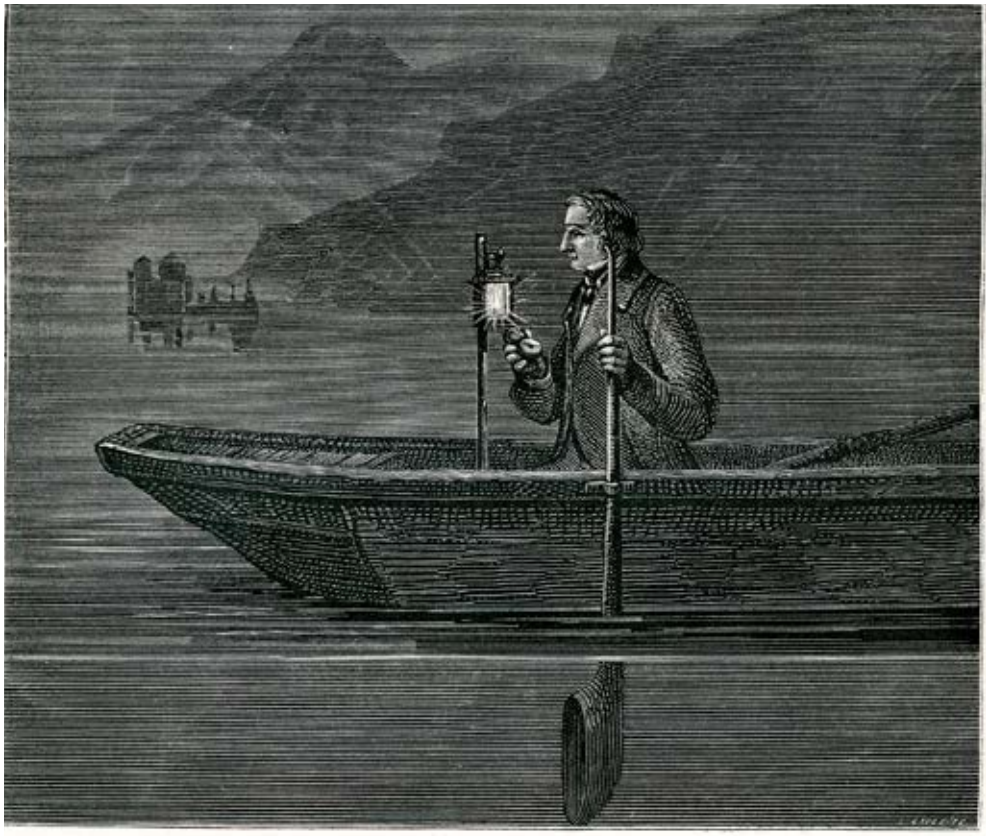
L'expérience se déroule de nuit. Le son est produit sur le bateau émetteur par le heurt d'un marteau sur une cloche plongée dans l'eau. Le coup de marteau entraîne simultanément l'abaissement d'une mèche enflammée sur un tas de poudre, produisant ainsi un signal lumineux à l'attention de l'observateur placé sur le bateau récepteur.

La mesure de la vitesse du son dans l'eau par Colladon et Sturm : le bateau récepteur

Sur le bateau placé à une distance bien déterminée du bateau émetteur, l'observateur est averti de l'émission du son par l'éclat lumineux de la poudre enflammée. L'oreille collée à l'ouverture du cornet acoustique plongé verticalement dans l'eau, il enclenche alors son chronomètre jusqu'à ce qu'il perçoive le son de la cloche dans le cornet. Sachant que la distance entre les deux bateaux est de 13'487 m et que le son a mis 9 secondes et quart à la parcourir, il est aisé pour Colladon et Sturm de calculer la vitesse du son dans l'eau : 1435m/s à la température de 8°C.
Amédée Guillemin, les phénomènes de la physique, Paris, 1869, Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences



Bateau émetteur



Bateau récepteur

3.5. REPRODUIRE UN SON

Phonographe

MHS 639
Acier, bois, étain, fonte, Edison, 1878
26x36x19 cm

Dispositif similaire au premier phonographe permettant d'enregistrer et de reproduire la voix humaine inventé par l'Américain Thomas Edison (1847-1931) en 1878.

L'appareil comprend un cylindre métallique monté sur un axe horizontal entraîné par une manivelle. Le cylindre est couvert d'une feuille d'étain. Un stylet fixé à une membrane métallique appuie sur la feuille d'étain. Cette membrane vibre à l'unisson des vibrations de l'air engendrées par la voix humaine. Solidaire de cette membrane, le stylet trace un sillon plus ou moins profond dans l'étain en fonction de la pression du son émis. Pendant l'enregistrement, le cylindre, que l'on fait tourner régulièrement à la main, se translate grâce à la vis sans fin. Lors de l'écoute, le cylindre est remis dans sa position initiale et déplacé à la même vitesse que lors de l'enregistrement. Le stylet, qui suit les dépressions des sillons creusés dans la feuille d'étain, fait vibrer la membrane, entraînant ainsi des vibrations de l'air ambiant qui produisent alors des sons audibles à travers un pavillon.

Phonographe à cylindre

MHS 1277
Acier, aluminium, bois, Edison, New Jersey, USA, vers 1902
25x20x22,5 cm

A la fin du 19e siècle apparaissent les premiers phonographes fonctionnant selon le principe inventé par Edison, capables de reproduire des sons enregistrés au préalable sur un cylindre en cire. Le cylindre est placé sur le tambour de lecture. Un moteur, qui se remonte avec une clé, entraîne le tambour et fait tourner le cylindre. Une aiguille fixe parcourt les sillons tracés dans la cire et fait vibrer la membrane. Les vibrations sont transmises à un pavillon qui les amplifie et les transforme en son audible.

Gramophone à disque

MHS 1112
Bois, acier, Thorens (?) Ste-Croix, Suisse, vers 1920
42x48,5x32,5 cm

Durant la fin du 19e siècle, un brevet est déposé aux Etats-Unis concernant un nouveau type de phonographe. La gravure à profondeur variable du cylindre d'Edison est remplacée par une gravure latérale sur la surface d'un disque horizontal en métal, en cire ou en gomme-laque. C'est l'invention du gramophone, l'ancêtre du tourne-disque.

4. BIBLIOGRAPHIE

Blaserna Pietro & Helmholtz Heinrich, *Le son et la musique*. Germer Baillière, Paris, 1877.

Brenni Paolo, *Le triomphe de l'acoustique expérimentale*. La revue du Musée des arts et métiers, Paris, septembre 1995.

Fischer Stéphane, *Jean-Daniel Colladon, savant et industriel genevois,* Les Petits carnets du Musée, Musée d'histoire des sciences, 2010.

Gires Francis, *Encyclopédie des instruments de l'enseignement de la physique.* ASEISTE, Niort, 2016.

Galilée, *Discours concernant deux sciences nouvelles,* trad. Maurice Clavelin, PUF, Paris, 1995.

Ganot Alphonse, *Traité de physique*, Hachette, Paris, 1884.

Guillemin Amédée, *Le son*, Hachette, Paris, 1878.

Holland Julian, *Charles Wheatstone and the representation of waves,* in Rittenhouse, Vol. 13 (1999) et Vol. 14 (2000)

Montheil J. VIe siècle av. J.-C., Pythagore musicien, Petites histoires des sciences, 20 juin 2016, https://petiteshistoiresdessciences.com/2016/06/20/pythagore-musicien

Tyndall John, *Le Son*, trad. Abbé Moignot, Paris, 1869.

Le monde des sons, Dossier pour la Science N°32, Paris, Juillet-octobre 2001.

Site de phonétique acoustique de l'Université Lumière Lyon 2 :
http://www.cyberphon.ish-lyon.cnrs.fr/

5. ACTIVITÉS À FAIRE EN CLASSE OU À LA MAISON, AVANT OU APRÈS LA VISITE

Dans le premier chapitre de cette brochure, vous trouverez des éléments théoriques en lien avec les activités proposées ci-dessous : les ondes sonores, l'audition, la production des sons.

Le sens de l'ouïe et les sons sont des sujets riches à explorer avec les enfants dès leur plus jeune âge. Ils permettent autant d'introduire des notions scientifiques (l'oreille, les ondes) que de faire un travail sur les émotions. En effet, chacune et chacun a une perception très divergente des sons et une tolérance différente à les supporter. Ils peuvent être également un lien de mémoire au même titre que la vue ou l'odorat : on se souvient d'une musique précise, d'un bruit traumatique, etc.

5.1. PRODUIRE DES SONS

Avec le corps

- Proposer aux enfants de faire un son continu « houuuuuu » comme un loup par exemple et de placer les mains sur la gorge, puis sur le nez. Ils devraient sentir les vibrations produites par la voix.
- Demander aux enfants de produire des sons avec leur corps sans utiliser la voix (se gratter la tête, frapper des mains, taper du pied, claquer la langue, frotter les dents).

Et il y a tous les sons que nous faisons sans le vouloir : ronfler, tousser, éructer et flatuler !

Avec des objets

- De nombreux objets en classe ou à la maison permettent de créer des sons : frapper un couvercle de casserole avec une spatule, taper délicatement sur un verre avec un crayon, colorier avec un crayon ou un feutre, découper du papier avec des ciseaux, etc.
- Des instruments de musique : si vous avez des instruments de musique à disposition, n'hésitez pas à les utiliser. Ils permettent aussi de bien appréhender la question des différents types de son (aigus ou graves).

Matériel

- 2 bâtonnets en bois (du type bâtonnet à sucette ou à glace géant, ou abaisse-langue). Plus les bâtonnets sont larges, plus la fabrication est aisée
- 2 petits élastiques
- 1 cure-dent
- du papier

Un harmonica pour canards...

Marche à suivre

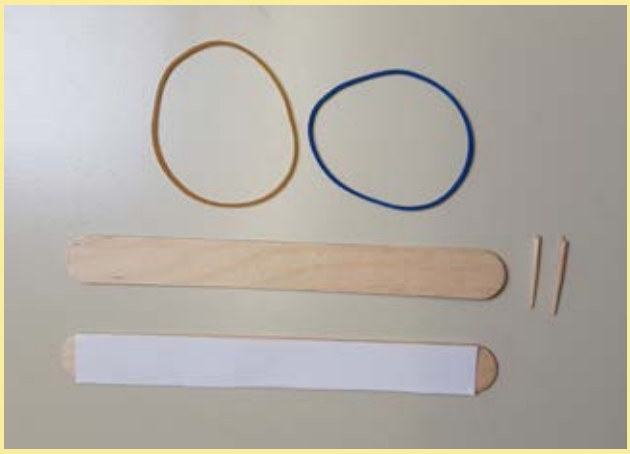
Découper une bande de papier de la largeur des bâtonnets, mais un peu moins longue.

Placer ensuite la bande de papier en sandwich entre les 2 bâtonnets et enrouler un élastique à l'une des extrémités.

Couper deux morceaux de cure-dent un tout petit peu plus large que les bâtonnets et faire glisser l'un des morceaux entre les 2 bâtonnets, afin de le placer à côté de l'élastique.

Reproduire la même chose à l'autre extrémité en plaçant le cure-dent de l'autre côté de la bande de papier.

Pincer l'instrument avec les lèvres (pas trop fort) et souffler. Le papier se met alors à vibrer et produit un son.



Des maracas avec des tubes de papier toilette

Il est intéressant de fabriquer ces maracas avec des graines (lentilles, riz, café, etc.) ou d'autres petits objets (trombones, petits clous, perles, etc.) et de comparer les sons avec les enfants. Si vous en fabriquez 10 paires avec des graines ou objets différents, vous pouvez les utiliser pour jouer à un memory des sons !

Matériel

- un tube de papier toilette
- des graines (lentilles, riz...) ou petits objets (perles, trombones...)
- ruban de masquage (p. ex. masking tape japonais)
- une agrafeuse
- matériel pour décorer : feutres, peintures, autocollants.

Marche à suivre

Pincer une extrémité du tube et agrafer pour fermer le tube.

Remplir le tube de graines ou objets choisis.

Fermer la maraca à l'autre extrémité en agrafant de nouveau.

Recouvrir les agrafes de ruban de masquage et décorer selon l'envie de chacun-e.

5.2. ÉCOUTER LES SONS

Ça fait mal aux oreilles… ou pas !

Pour les activités qui suivent, une petite base de données de sons est disponible à l'écoute à ce lien :

https://ducotedumhs.ch/sons/ ou en scannant directement ce QR code. Vous pouvez également les télécharger sur ce site internet :
https ://dessinemoiunehistoire.net/loto-sonore/

Faites écouter les dix sons suivants aux enfants. Après chaque son, demandez aux enfants de lever la main s'ils trouvent le son agréable ou de se boucher les oreilles s'ils le trouvent désagréable.

1. Ambulance
2. Foudre
3. Aboiement de chien
4. Pluie
5. Flûte de pan
6. Corneille
7. Tronçonneuse
8. Vent
9. Rouge-gorge
10. Voiture

Tout objet qui vibre peut produire un son. L'oreille humaine peut percevoir des sons de 16 Hz (très graves) à 16'000 Hz (très aigus, à la limite des ultrasons). Nous entendons le plus souvent des sons complexes (la voix, par exemple) constitués de plusieurs sons purs émis simultanément.

Lorsque le nombre de sons purs mélangés s'élève et accroît la complexité du son, on parle de bruit. Un bruit est défini par sa puissance, mesurée en décibels (dB). (cf p. 6, échelle de bruit)

Quel est donc ce son ?

Un quiz sonore peut paraître un exercice facile et pourtant, il n'est pas toujours évident de distinguer un son d'un autre (par exemple un ronflement ou un ronronnement de chat, une trompette d'un saxophone ou un pinson d'un rouge-gorge…).

Vous trouverez des quiz de difficultés différentes sur l'excellent site lasonothèque.org

https://lasonotheque.org/jeux/quiz-sonore

Si vous souhaitez composer votre propre quiz, vous pouvez télécharger des sons sur le même site ou avec le lien fourni plus haut.

Pour aller plus loin avec un jeu sonore, le site créé par une enseignante du primaire propose trois lotos sonores très bien réalisés :

https://dessinemoiunehistoire.net/loto-sonore/

Le téléphone pas smart

Matériel

- 2 boîtes de conserve vides sans couvercles, gobelets ou pots de yoghourt
- ficelle de 3 à 5 m ou plus
- 1 poinçon ou clou
- ciseaux

Marche à suivre

Faire un trou avec le clou ou le poinçon au fond de chaque récipient.

Passer un bout de la ficelle dans chaque trou et réaliser un nœud pour empêcher la ficelle de sortir.

Deux personnes prennent chacune un récipient et s'éloignent l'une de l'autre jusqu'à ce que la ficelle soit bien tendue (cet élément est important afin que la ficelle n'absorbe pas l'onde). L'une parle dans une boîte pendant que l'autre colle son oreille sur la seconde boîte pour écouter.

Attention, rien ne doit venir toucher la ficelle, sinon l'onde s'arrête à l'endroit de la perturbation.

Que se passe-t-il ?

L'onde sonore émise par la personne qui parle va faire vibrer le fond du récipient et se propager dans la ficelle pour faire vibrer le fond de la deuxième boîte pour enfin arriver aux oreilles de la deuxième personne.

On peut vérifier que le son se propage très bien avec d'autres matériaux : fil de fer, tige en bois, etc.

Matériel

- une cuillère à soupe
- 1 m de ficelle

Une cuillère cloche

Marche à suivre

Nouer la ficelle au milieu de la cuillère.

Enrouler les extrémités des ficelles autour des index que l'on place dans ses oreilles comme des écouteurs. Demander à quelqu'un de frapper la cuillère avec un crayon ou la frapper directement contre une table. On entend le son amplifié comme une cloche.

Que se passe-t-il ?

Le son est une vibration qui a besoin de matière pour circuler. Lorsque l'on ne met pas la ficelle dans les oreilles, le son créé par la vibration de la cuillère se disperse dans l'air. Seule une partie du son parvient aux oreilles. La ficelle est plus dense que l'air et canalise les vibrations qui s'y transmettent plus facilement et arrivent alors plus nettement aux oreilles.

On en conclut que les sons se transmettent bien mieux dans les solides que dans les gaz.

5.3. VOIR LES SONS

Les sons sont des ondes…

Les ondes sonores sont invisibles. On peut les imaginer comme les cercles formés lorsque l'on lance un caillou dans l'eau.

Une première expérience très simple pour s'imaginer des ondes est de lancer un caillou dans une bassine.

Le sel qui danse

Une expérience simple et ludique pour « voir » la vibration dans l'air

Marche à suivre

Tendre du papier cellophane sur la boîte et le fixer avec un élastique.

Disposer un peu de sel sur la cellophane.

Frapper sur un seau ou une casserole à proximité des grains de sel. Ils dansent !

Matériel

- une boîte cylindrique sans couvercle ou un bol
- de la cellophane
- quelques grains de sel
- un petit seau ou une casserole
- une cuillère

Que se passe-t-il ?

Les ondes sonores se propagent dans l'air et percutent la cellophane qui vibre alors jusqu'à faire sautiller le sel.

Volet pédagogique

L'exposition *Ecoute-Voir* et les expériences suggérées précédemment présentent des liens avec le PER en particulier avec les objectifs d'apprentissage suivants :

Cycle élémentaire : MSN 15, MSN 16 A 11 AC&M, A 13 AC&M, FG 11

Cycle moyen : MSN 25, MSN 26, SHS22, A 23 AC&M, FG 23

Cycle d'orientation : MSN35, MSN 36

Pour assurer la pertinence et l'intérêt de la visite, il est fortement conseillé de la préparer en classe avant votre venue au Musée d'histoire des sciences. Le présent document vous y aidera.

Cette brochure est téléchargeable sur www.museum.geneve.ch

L'exposition *Ecoute-Voir* est recommandée pour les enfants à partir de 4 ans. Il n'y a pas de limite supérieure.

Quelques références :

Livres :

Chavigny Isabelle. 2005. Expériences avec les sons. Illustrations de Jérôme Rullier.

Croq'sciences, Nathan/ Cité des sciences et de l'Industrie.

Chaumié Agnès, Morenton Alain. 2012. Musique à construire - 80 instruments de musique à fabriquer. Enfance et Musique Editions.

Sites web :

http ://phymain.unisciel.fr/ : une référence pour des petites expériences scientifiques. Pour le thème du son, recherchez « acoustique »

https ://www.wikidebrouillard.org/ : une référence pour des petites expériences scientifiques

https ://dessinemoiunehistoire.net/loto-sonore/

https ://lasonotheque.org/ : une base de données de sons divers libre de droits

https ://www.youtube.com/watch ?v=5QM7HEPQ5uY&t=0s : C'est pas sorcier – Coulisses d'un concert : faites parler décibels ! : 17 mai 2013.

https://www.youtube.com/watch?v=IlhJcfKNk3I : C'est pas sorcier – Bruit, 27 mars 2013.

Pour organiser votre visite

Ce document permet de préparer la visite de l'exposition *Ecoute-Voir* et de la découvrir de manière autonome.
Les visites guidées des collections du musée doivent être réservées au minimum deux semaines à l'avance par mail : maha.zein@ville-ge.ch ou au 022 418 50 69
Elles sont gratuites pour les écoles du Canton de Genève.
Pour les classes venant d'autres cantons ou de l'étranger, le tarif est de CHF 20.- par heure et par groupe.

Musée d'histoire des sciences de Genève

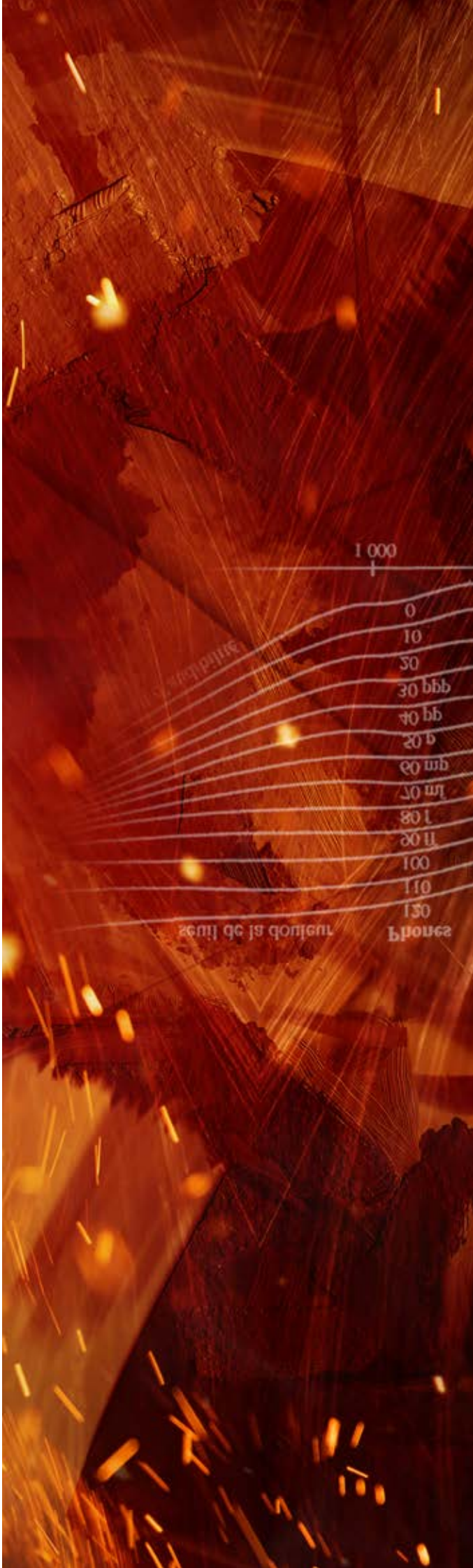
Villa Bartholoni
Parc de la Perle du Lac
128, rue de Lausanne
1202 Genève
www.ville-ge.ch/mhs
mhs@ville-ge.ch
+41 22 418 50 60

Horaires

L'exposition *Ecoute-Voir* est présentée
du 12 mai 2021 au 27 février 2022
Ouvert tous les jours de 10h à 17h
Fermé le mardi
Entrée libre

Accès

Le Musée se trouve dans la Villa Bartholoni, une villa de maître nichée dans le Parc de la Perle du Lac.
Il est conseillé de s'y rendre en transports publics.
Déconseillé en voiture. En semaine, il n'y a que quelques places disponibles à l'entrée du parc de la Perle du Lac. Le week-end, possibilité de stationner au parking de l'IHEID voisin.



INFORMATIONS PRATIQUES

HORAIRE
Le Musée d'histoire des sciences est ouvert
tous les jours de 10h-17h, sauf le mardi,
le jour de Noël (25 décembre) et le jour de l'An (1er janvier)
Les 24 et 31 décembre, le Musée ferme à 16h

MUSÉE
D'HISTOIRE
DES SCIENCES
GENÈVE

Parc de La Perle du Lac
128 rue de Lausanne
CH-1202 Genève, Suisse

CONTACT
Tél. +41 22 418 50 60
www.museum-geneve.ch
mhs@ville-ge.ch

ACCÈS
bus 1-25 (arrêt Perle du Lac)
tram 15 (arrêts Butini & France)
bus 11-28 (arrêt Jardin botanique)
bateau Mouettes M4 (arrêt Châteaubriand)
Le bâtiment étant ancien, il ne dispose d'aucun ascenseur

Gare CFF de Genève Cornavin à 15 min. à pied
Halte ferroviaire Genève Sécheron (lignes régionales) à 5 min. à pied

UN SITE DU muséum genève

© MUSÉUM GENÈVE 2021