



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider-Biskra Faculté des Sciences et de la technologie Département : Architecture

Année universitaire : 2019—2020

1^{ère} année master en Architecture

Matière : Equipement 2 Acoustique du bâtiment

Enseignant : Dr MEZERDI Toufik

Chapitre I **Caractérisation physique et physiologique des sons et des bruits**

Cour N° 03: Son et onde sonore



Cour N° 03

Sons et ondes sonores

Cour N° 03

Plan du cour

Introduction

1 . Théorie de L'Acoustique

1 . 1 Notions clés de la théorie de L'Acoustique

1 2 . Définition de L'Acoustique

1 3. Définitions du son

1 4 Origine du son

2 . L'onde sonore

2.1 Formation d'une onde acoustique

2.2 Propagation du son

3. Equation de propagation d'onde

4 Quelle différence entre un son et un bruit ?

6 Physiologie et perception du son

6 1 Acoustique et perception auditive

6 11 Rôles de la perception auditive dans la vie courante

6.1.2 Place de la perception auditive dans les domaines scientifique et industriel

6 2. Physiologie de l'audition

6 2.1. La tête

6 2.2. L'oreille externe

6 2.3. L'oreille moyenne

6 2 4 L'oreille interne

6 2 5 réflexe stapédien



Introduction

Aujourd'hui notre culture semble entièrement maîtrisée par les images, dominée par l'esthétique visuelle, à tel point que le monde du visible nous apparaît comme inné. Lorsqu'il s'agit de concevoir de nouveaux espaces, les architectes font sans cesse appel aux représentations graphiques qu'elles soient bidimensionnelles ou tridimensionnelles. Souvent trop focalisés sur la *perception visuelle*, ceux-ci en viendraient presque à oublier que l'espace est multi-sensoriel.

Poser la question du rapport entre l'espace et les sons ne se veut nullement une réponse à l'architecture, mais plutôt un nouvel angle d'attaque pour la problématique de la perception dans la conception des espaces. Les sons ou les bruits ont la particularité d'introduire la notion de temps, et donc une quatrième dimension.

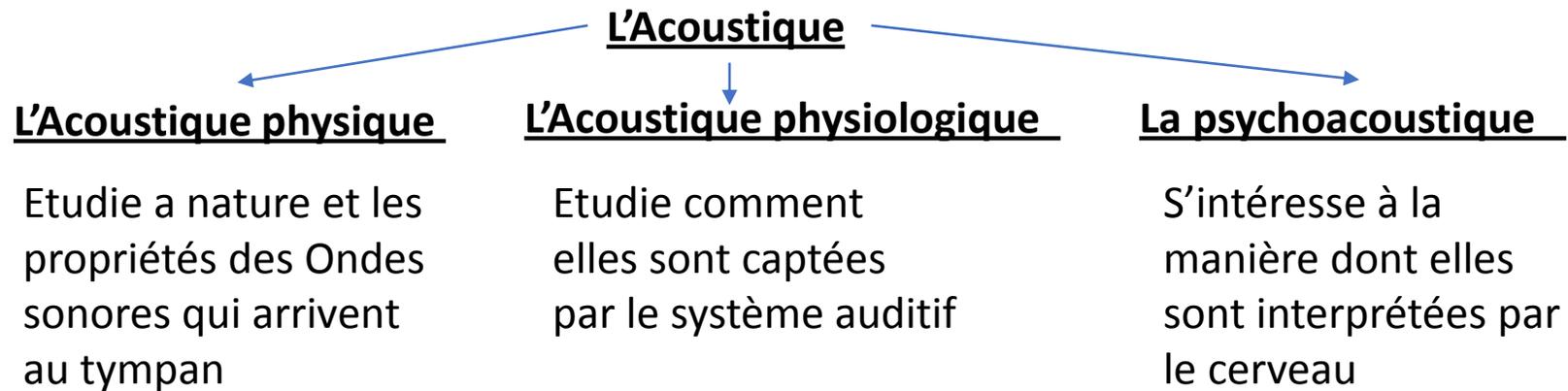
Le son n'est pas fixe comme une image, il bouge, diffuse, et évolue dans l'espace-temps. L'architecture est-elle apte à évoluer dans cet espace-temps ?



1 . Théorie de L'Acoustique

La théorie du son ou L'acoustique (terme forgé a partir du verbe grec (akouô), qui signifie « écouter » par Joseph Sauveur, vers 1700)

1 . 1 Notions clés de la théorie de L'Acoustique





1 2 . Définition de L'Acoustique

L'acoustique est le domaine de la science qui a pour objet d'étudier les problèmes physiques, physiologiques, et psychologiques liés à l'émission, la propagation et la réception des sons et des bruits [1]. L'acoustique a des applications dans de nombreux domaines des sciences de l'ingénieur, mais aussi dans les sciences de la vie et de la terre, les sciences de la santé ainsi que dans les sciences humaines et sociales (Fig 1,2).

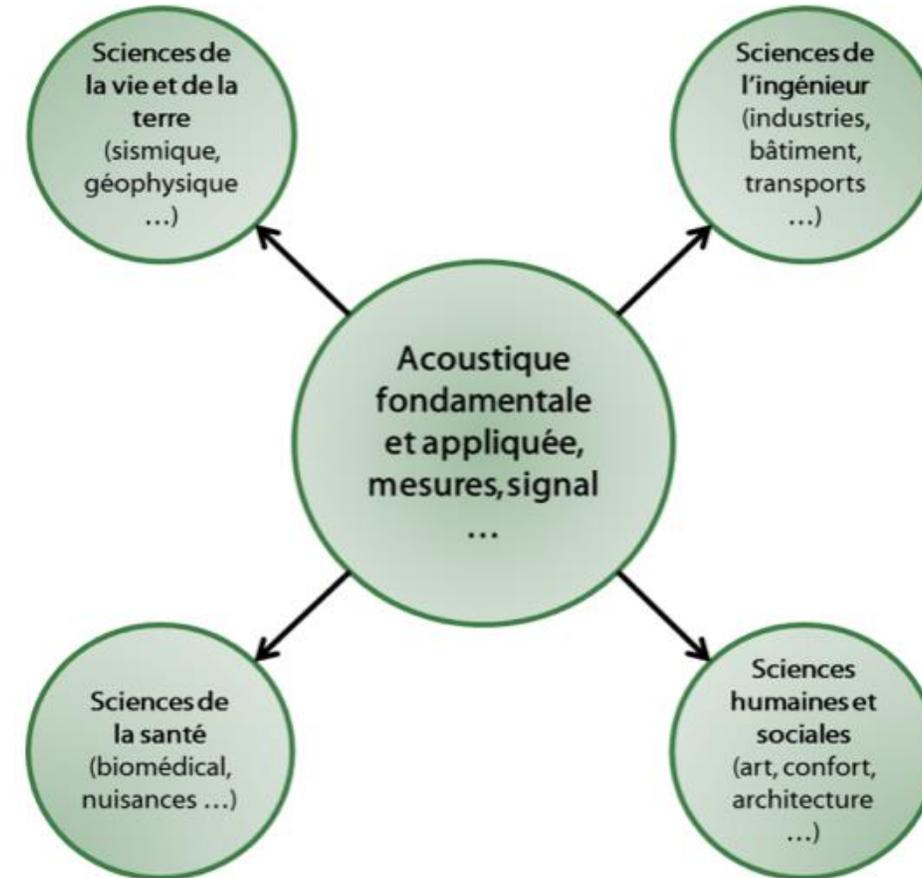


Fig 01: Domaines d'applications de l'acoustique (Source: <http://asm-acoustics.be/fr/notions-acoustiques/acoustique>)



Caractérisation physique des sons et des bruits

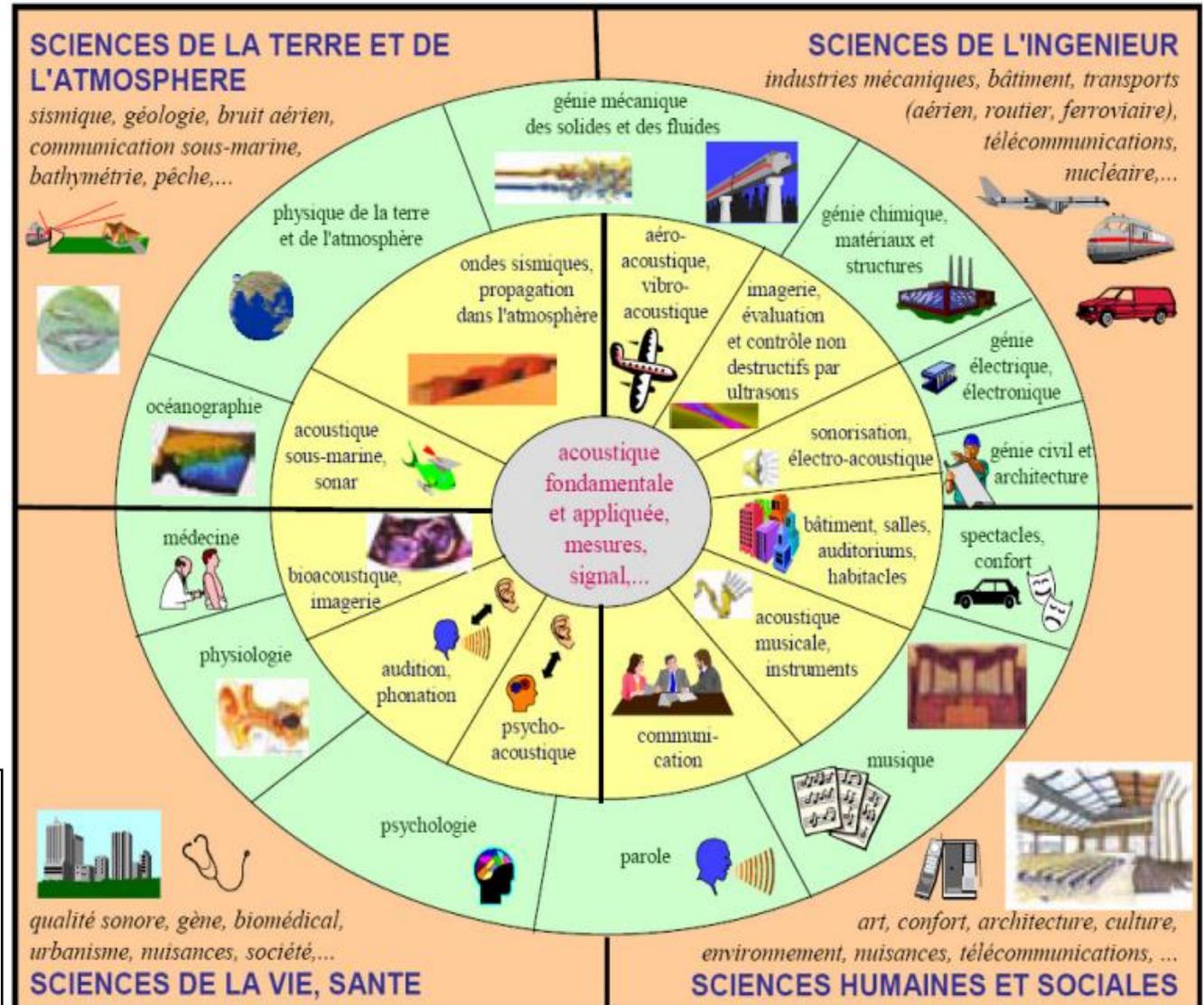


Fig 02: disciplines associées à l'acoustique. Le premier anneau à partir du centre contient les subdivisions traditionnelles de l'acoustique et l'anneau extérieur les noms des champs artistiques et techniques qu'elle couvre (d'après [Bruneau-1983, p. 41]).



1 3. Définitions du son

Un son correspond à tout phénomène provoquant une sensation auditive (c'est-à dire pouvant être perçu par l'oreille). Cette sensation est créée par un mouvement vibratoire dans un milieu comme l'air. Cependant, le son peut se propager dans l'eau (on parle d'acoustique sous marine) et dans les solides (par exemple, dans les rails de chemin de fer) [2] .

Le son correspond à une vibration d'un milieu mécanique (fluide, solide) qui se propage dans le temps et dans l'espace avec une célérité c , dépendant du milieu de propagation. Il est produit par une source sonore (membrane de haut-parleur, voix, instrument de musique, frottement, etc.) et, à la différence de la lumière, sa propagation nécessite un milieu matériel [3].

Le son est la sensation auditive engendrée par une onde acoustique qui se propage dans un milieu. L'onde acoustique résulte d'une vibration de l'air due à une suite de pression et de dépression. Tout son résulte de la vibration d'un corps [4].



1 4 Origine du son

Tout organe mécanique en état de vibration donne naissance, par l'intermédiaire de son enveloppe à une onde acoustique. Les particules fluides, en contact avec l'enveloppe, sont alors soumises du fait de leur élasticité alternativement à des compressions et des dépressions. De par l'inertie du milieu environnant, ces perturbations de pression se transmettent de proche en proche dans le milieu à une vitesse c appelée célérité du son, qui, dans le cas de l'air est :

$$c = \sqrt{\frac{\gamma P_{atm}}{\rho_0}} \quad \text{où} \quad \gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,4 : \quad \text{coefficient isentropique}$$

$P_{atm} = 10^5 \text{ Pa} :$ pression atmosphérique
 $\rho_0 :$ masse volumique de l'air (kg/m³) (fonction de la température)

L'élasticité du milieu de propagation produit sur l'élément fluide déplacé une force tendant à le ramener à sa position d'équilibre, de sorte que la propagation s'effectue sans transfert de matière. La vibration des particules autour de leur position d'équilibre est appelée vitesse particulière $v(t)$ fonction du temps.

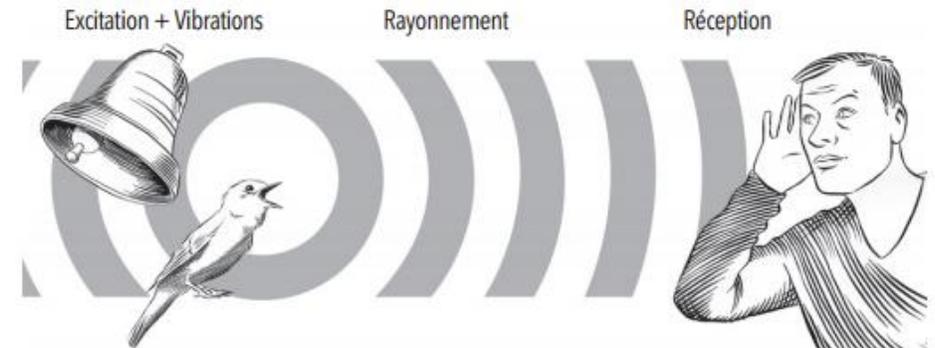
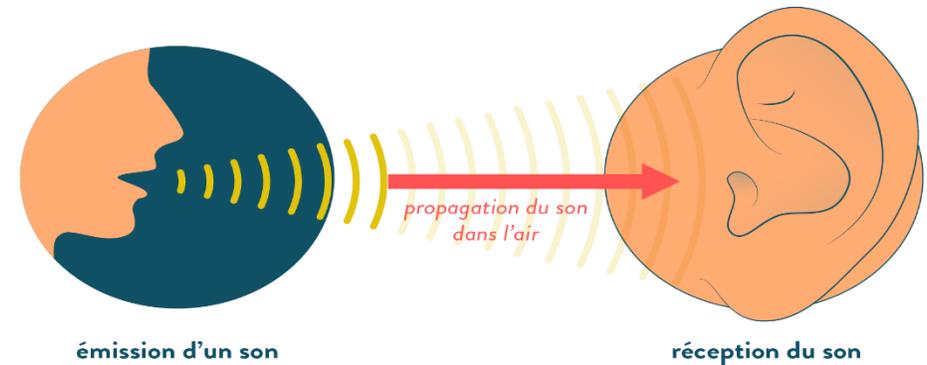
Les ondes se propageant dans une direction donnée sont telles que la vitesse particulière en un point est colinéaire à la direction de propagation de l'onde. On parle dans ce cas d'ondes longitudinales.

Cette onde sonore se propage dans toutes les directions de l'espace entourant la source. On appellera surface d'onde la surface dont tous les points sont dans un même état vibratoire.



2. L'onde sonore

Une onde sonore est la propagation de proche en proche d'une perturbation caractérisée par une vibration des molécules du milieu autour de leurs positions d'équilibre (ou état de repos). En effet, suite à une perturbation, créée à l'origine par une source mécanique, les molécules subissent de faibles variations de pression (pression acoustique) ; elles s'entrechoquent entre elles pour transmettre la déformation (perturbation) subissant ainsi de micro-déplacements. Ces molécules reviennent à leur position initiale une fois la perturbation passée ; c'est une propagation d'énergie dans un milieu matériel sans transport de matière. (<http://www.cochlea.eu/son>) *Antoine*





On rencontre deux sortes d'ondes :

- **Les ondes de vibrations mécaniques**, qui se propagent dans les milieux élastiques (cordes, solides, liquides, gaz), mais ne se propagent pas dans le vide. Les ondes sonores font parties de cette famille dans la limite où leurs fréquences restent dans le domaine audible (16 Hz, 20000 Hz).
- **Les ondes électromagnétiques** (ondes hertziennes, ondes lumineuses, rayons X ...) qui se propagent parfaitement dans le vide et se propagent dans les milieux en y étant plus ou moins absorbées. Les ondes électromagnétiques ne seront pas développées, mais il faut savoir qu'elles peuvent être utilisées pour transporter des ondes sonores (Radio diffusion, Télévision ...)



Caractérisation physique des sons et des bruits



Une onde est invisible. Elle ne peut donc pas se représenter matériellement. Cependant, certains phénomènes témoignent de la présence de ces ondes. C'est le phénomène de propagation. Il suffit de jeter une pierre dans l'eau pour voir apparaître des ondes.



Fig 04: Phénomène de propagation des ondes sur l'eau (Source: <http://tpewifilifi.e-monsite.com/pages/les-ondes-radio-des-ondes-electromagnetiques.html>)

L'onde sonore se distingue de l'onde lumineuse dans le sens où elle nécessite de la matière pour se propager, alors que l'onde lumineuse, portée par des photons, peut se déplacer même dans le vide. (<https://sites.google.com/site/tpe1ssaintmichelleson/i>)

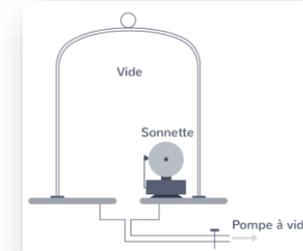


Fig 05: une sonnette dans une cloche dans laquelle le vide a été fait (Source: <https://www.kartable.fr/ressources/physique-chimie/cours/lemission-dun-son/49898>)

Une onde acoustique est un phénomène qui peut se produire dans d'autres milieux que l'air. L'oreille entend les sons résultant d'une onde acoustique se propageant dans l'air. Afin d'entendre quelqu'un situé derrière un mur, cette onde acoustique traverse d'abord la couche d'air entre la personne et le mur, puis le mur (solide) puis la couche d'air entre le mur et l'auditeur.

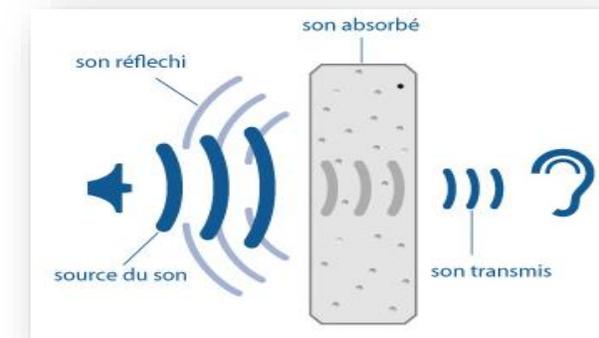
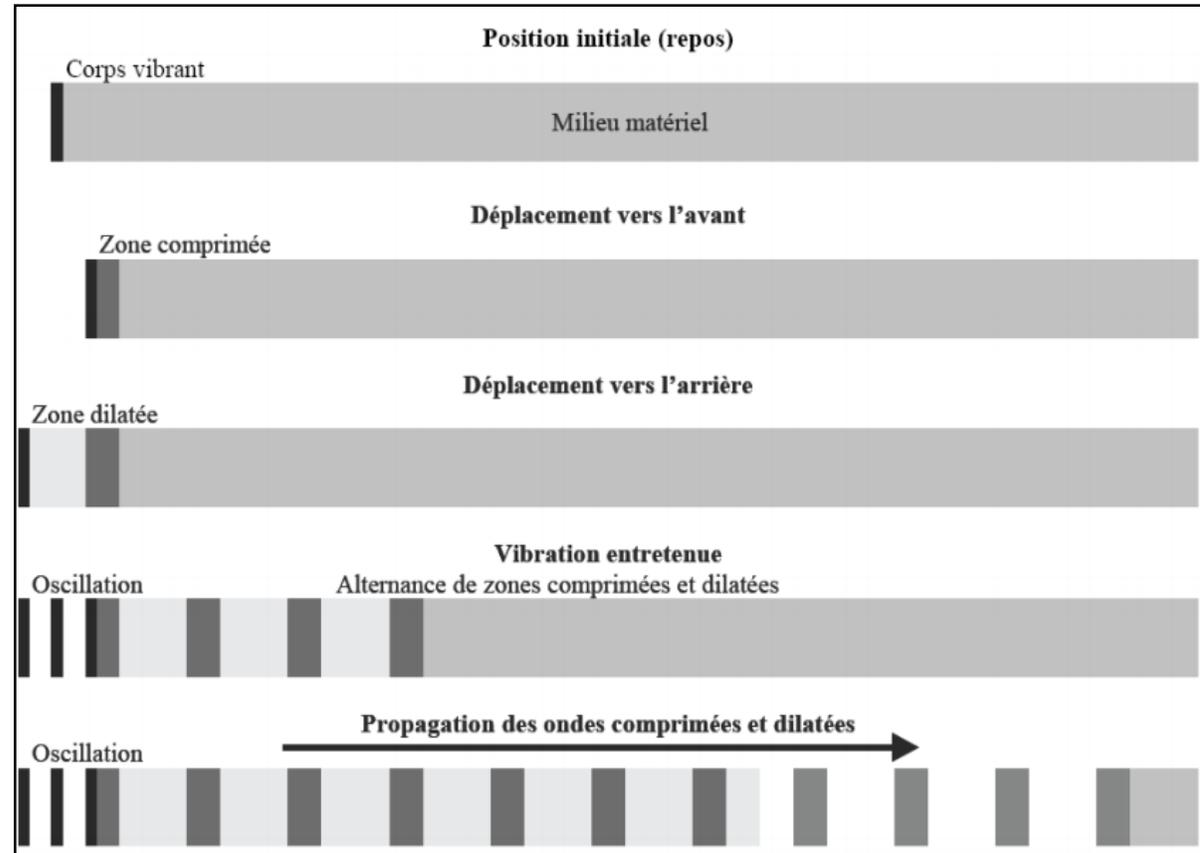


Fig 06: propagation solide <https://www.cellumat.fr/atouts/une-isolation-acoustique-remarquable-avec-nos-blocs-de-b%C3%A9ton-cellulaire>



2.1 Formation d'une onde acoustique

la propagation de l'onde acoustique correspond à un déplacement des zones comprimées et dilatées et non à un déplacement de particules matérielles: celles-ci sont uniquement mises en vibration autour de leur position d'équilibre(fig)





2.2 Propagation du son

Le **son** est une vibration mécanique : pour **se propager**, il a besoin d'un support matériel susceptible de **se déformer** à son passage. Dans un fluide compressible, le plus souvent l'air, cette propagation **se fait** sous forme d'une variation de **pression** créée par la source sonore

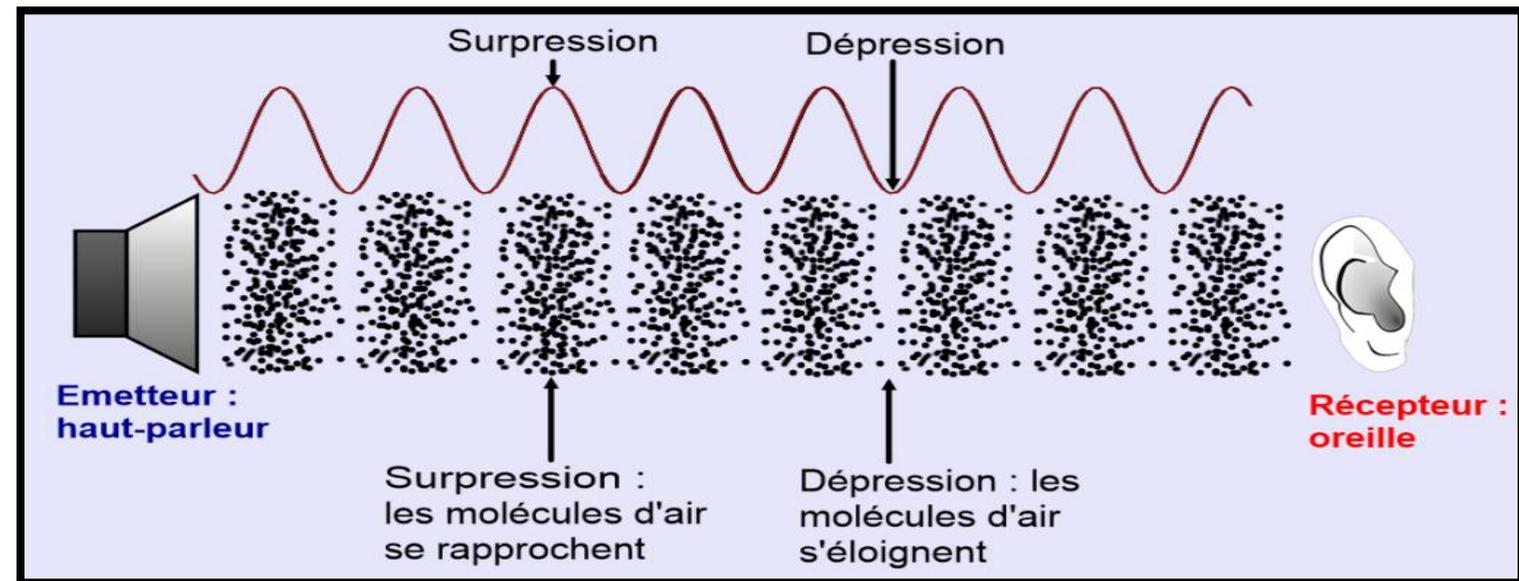


Fig 07: Propagation du son dans l'air (Source: <http://pccollege.fr/cycle-4/cycle-4-classe-de-5eme/chapitre-ix-le-son/>)



Caractérisation physique des sons et des bruits



Une onde acoustique se propage dans l'air sur une certaine distance, appelée **distance de propagation**. En effet, l'onde est amortie au fur et à mesure de son parcours dans le milieu.

Remarque : Les ondes acoustiques dans l'air sont des ondes longitudinales, contrairement aux vagues qui sont des ondes transversales.

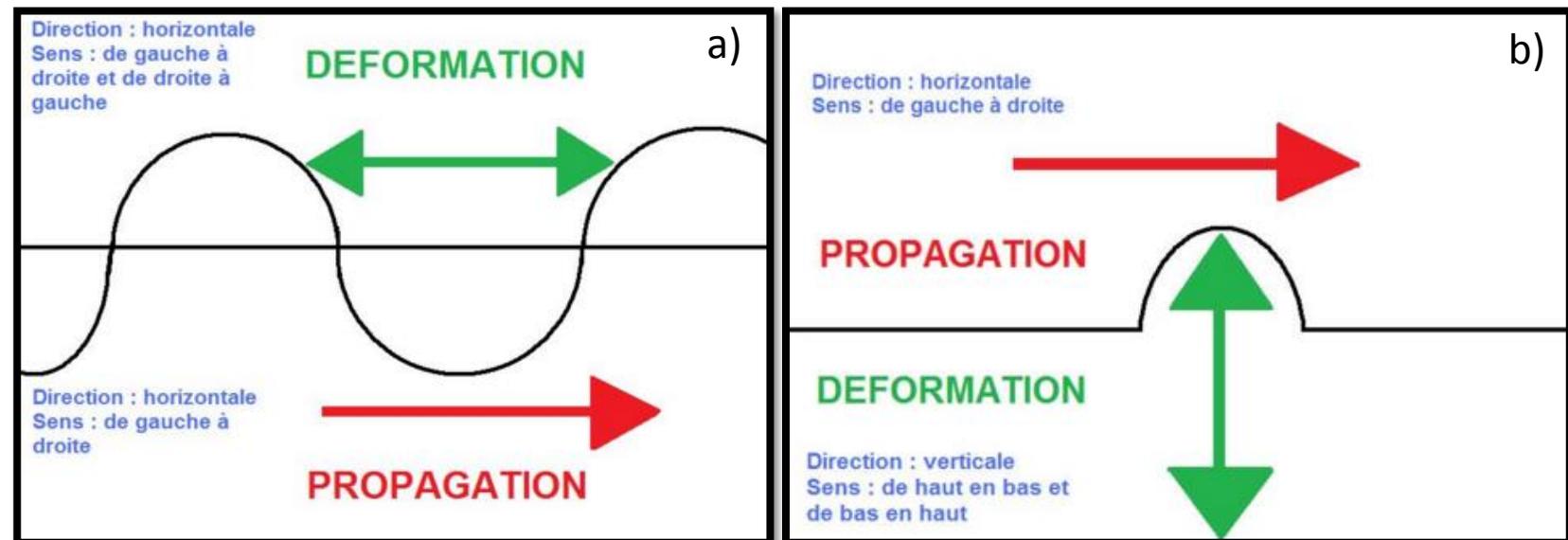


Fig 08: onde longitudinale (a) onde transversale (b) (Source: <https://tpechavesourisultrasons.wordpress.com/2014/01/06/a-generalites-sur-le-ondes/>)



Caractérisation physique des sons et des bruits



Ondes longitudinales: Une onde est dite longitudinale si la déformation du milieu matériel qu'elle provoque est parallèle à la direction de la propagation de la perturbation. Par exemple l'onde qui se propage dans un ressort

Onde transversales : Une onde est dite transversale lorsque la déformation du milieu provoqué par l'émission de l'onde est perpendiculaire à la direction de la propagation de la perturbation. (<https://tpechauvesourisultrasons.wordpress.com/2014/01/06/a-generalites-sur-le-ondes/>) par exemple propagation 'une onde transversale le long d'une corde

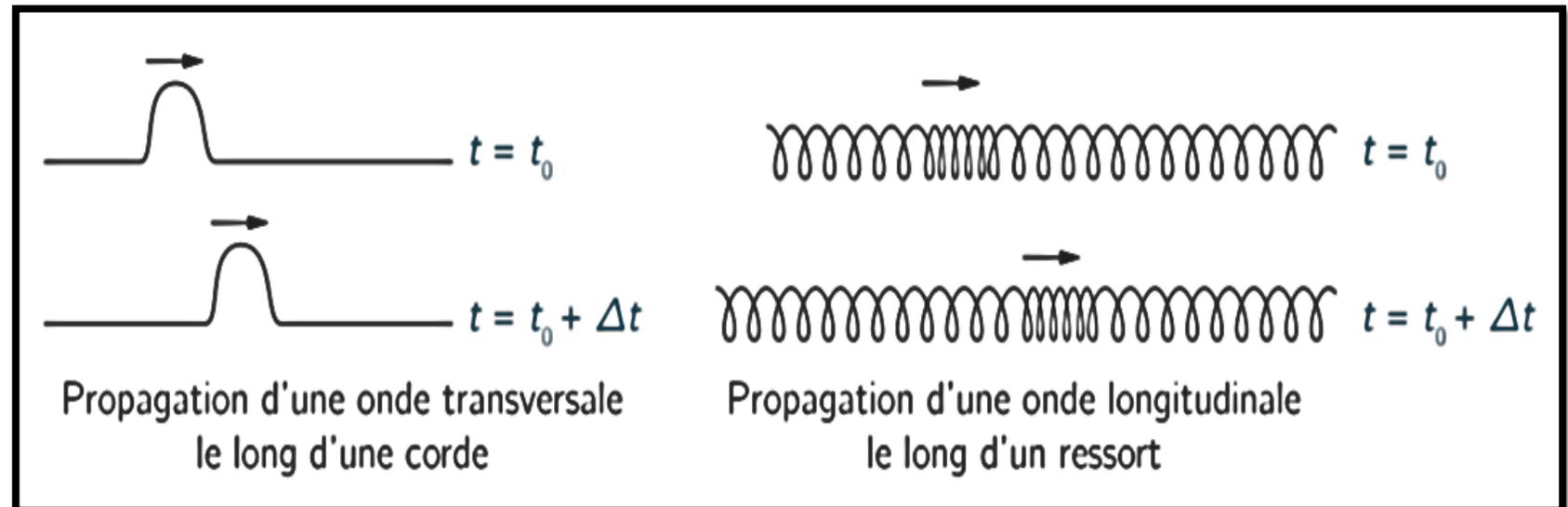


Fig 09: exemple d'onde transversale et longitudinale (Source : <https://www.kartable.fr/ressources/physique-chimie/cours/caracteristiques-des-ondes/22485>)



3. Equation de propagation d'onde

En tout point du volume d'air soumis au rayonnement vibratoire d'une source , la pression acoustique ou la vitesse particulaire sont dépendantes à la fois des coordonnées du point et du temps .

La propagation sonore est régie par une équation aux dérivées partielles.

Considérons un volume d'air élémentaire $\Delta V_0 = \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z$ perturbé par une onde de pression plane $p(x,t)$ se propageant vers le x positifs (figure 1.8)

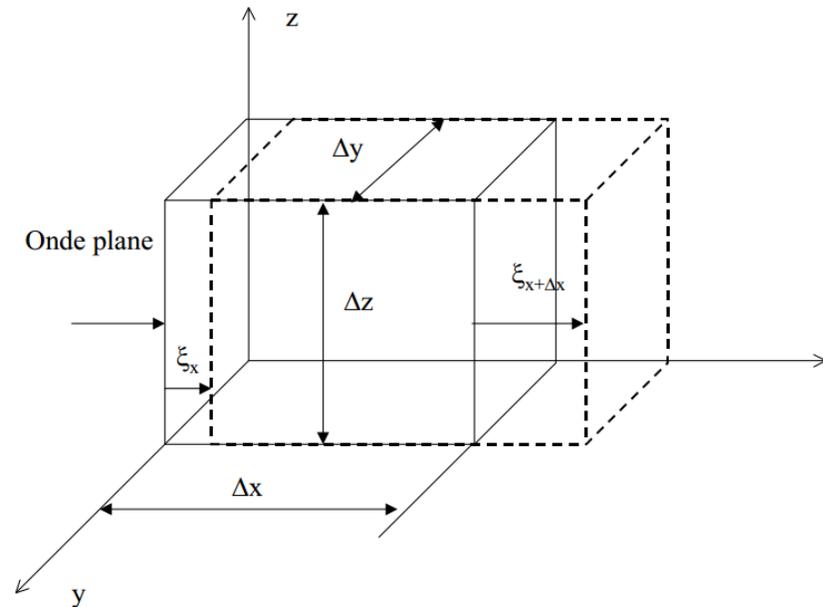


Figure 1.8 : déformation d'un volume d'air élémentaire



A un instant t donné s'exerce sur les frontières x et $x+\Delta x$ respectivement les pressions $p(x,t)$ et $p(x+\Delta x, t)$. Ce gradient de pression crée un déplacement des 2 frontières notés respectivement ξ_x et $\xi_{x+\Delta x}$ se traduisant par une déformation du volume .
Il s'en suit une vibration particulière de vitesse $v(t)$.

1.3.1. Principe fondamentale de la dynamique

Les lois de la dynamique des fluides et l'équation d'équilibre des forces qui s'exerce sur le volume d'air élémentaire conduit à l'expression :

$$\boxed{\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho_0 \frac{\partial v}{\partial t}} \quad (1.4)$$

ρ_0 masse volumique de l'air (1.2kg/m^3 à 20°C)

1.3.2. Loi de conservation de l'énergie

Les compressions et dépressions successives du milieu se traduisent par des variations de température que l'on peut considérer comme infinitésimales .On admet couramment l'adiabaticité des transformations représentée par la relation

$$P.(\Delta V)^\gamma = \text{cte} \quad (1.5)$$

avec $P(t) = P_{\text{atm}} + p(t)$ pression totale
 P_{atm} pression atmosphérique $\cong 10^5 \text{ Pa}$

où sous forme différentielle



Caractérisation physique des sons et des bruits

$$\frac{dP}{P} + \gamma \frac{d(\Delta V)}{\Delta V} = 0 \tag{1.6}$$

avec $\Delta V = \Delta V_0 + \tau$ où τ représente la variation de volume consécutive à l'onde acoustique
 ΔV_0 volume initial (en l'absence d'onde)

En considérant $p(t)$ et τ infiniment petit devant P_{atm} et ΔV_0 la relation (1.6) devient

$$\boxed{\frac{1}{P_{atm}} \frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{\gamma}{\Delta V_0} \frac{\partial \tau}{\partial t}} \tag{1.7}$$

$$\text{avec } \tau = (\xi_{x+\Delta x} - \xi_x) \Delta y \Delta z = \frac{\partial \xi}{\partial x} \Delta V_0$$

$$\text{soit } \frac{\partial \tau}{\partial t} = \Delta V_0 \frac{\partial v}{\partial x}$$

d'où

$$\boxed{\frac{1}{P_{atm}} \frac{\partial p}{\partial t} = -\gamma \frac{\partial v}{\partial x}} \tag{1.8}$$

Les expressions (1.4) et (1.8) établissent les relations entre pression acoustique et vitesse particulaire en un point du domaine fluide .

Afin d'éliminer la fonction $v(x,t)$ de ces deux expressions on dérive/x la relation(1.4) et /t la relation (1.8).Par combinaison des 2 dérivations on aboutit à l'équation d'ondes

$$\boxed{\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{\rho_0}{\gamma \cdot P_{atm}} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2}} \tag{1.9}$$



Caractérisation physique des sons et des bruits



La quantité $\frac{\gamma P_{atm}}{\rho_0}$ à la dimension d'une vitesse au carré qui représente la célérité c des ondes

dans l'air $c = \sqrt{\frac{\gamma P_{atm}}{\rho_0}}$ ($c=340\text{m/s}$ à 20°C)

Remarque

Par inversion des dérivées sur les relations (1.4) et (1.8) on élimine alors la fonction $p(x,t)$. On aboutit à l'équation en vitesse particulière identique à l'équation d'ondes en pression

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = \frac{\rho_0}{\gamma P_{atm}} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}$$

Equation d'ondes en coordonnées cartésiennes :

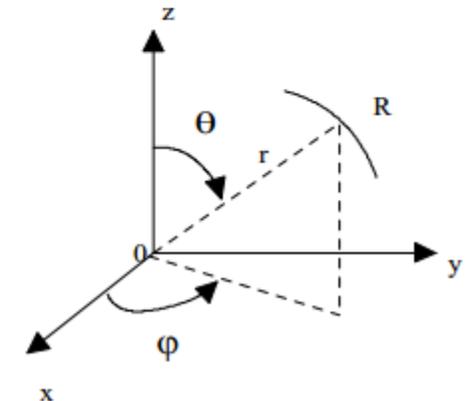
Dans un repère trirectangle (x,y,z) l'équation d'ondes est de la forme

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad \text{ou} \quad \Delta p = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (1.10)$$

avec Δp : Laplacien

Equation d'ondes en coordonnées sphériques

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial p}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial p}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 p}{\partial \varphi^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (1.11)$$



pour des ondes parfaitement sphériques la pression ne dépend que de r et



de t. L'équation d'ondes se réduit à

$$\boxed{\frac{\partial^2(p.r)}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2(p.r)}{\partial t^2}} \quad (1.12)$$

Cette équation d'ondes sphériques est à rapprocher de l'équation d'onde plane où la fonction $p(x,t)$ est remplacée par le produit $p(r,t).r$. En d'autres termes les solutions $p(x,t)$ sont analogues aux solutions $p(r,t).r$



4 Quelle différence entre un son et un bruit ?

La notion de 'son' couvre toute variation de pression qui peut être détectée par l'oreille humaine.

Le bruit est défini comme un son indésirable. Le 'bruit' est l'ensemble de sons vécus comme gênants et potentiellement nuisibles à la santé. La gêne dépend des caractéristiques du bruit lui-même (intensité, fréquence) mais aussi de la situation de la personne qui le perçoit (durée de l'exposition, sensibilité ou vulnérabilité éventuelle) et du type d'activités réalisées (par exemple : travail intellectuel qui nécessite de la concentration)



6 Physiologie et perception du son

6 1 Acoustique et perception auditive

L'acoustique est une science passionnante par son interaction avec une multiplicité de domaines très variés. Dans certains de ces domaines les problèmes posés sont si complexes que l'acoustique ne se développe véritablement avec profit que depuis quelques dizaines d'années. Cette complexité concerne aussi bien les phénomènes physiques, que les mécanismes du vivant, en particulier ceux de la perception auditive, qui ont évidemment une grande importance dans la vie de tous les jours. La branche de l'acoustique qui traite de la perception des sons s'appelle la psychoacoustique. Cette science étudie le fonctionnement de l'appareil auditif considéré comme une « boîte noire », en recherchant les relations entre les propriétés physiques des sons reçus et les sensations évoquées. Evidemment, elle est éclairée et complétée par l'étude des mécanismes mis en jeu, dans la physiologie et psychologie. (Goyé, A. 2002).



6 1 1 Rôles de la perception auditive dans la vie courante

La perception auditive remplit un grand nombre de fonctions diverses :

- Information sur l'environnement, les objets qui nous entourent : le bruit d'un choc sur un objet nous donne des indications sur son matériau, sa structure interne, son élasticité... Par exemple (tiré d'un article de Stephen McAdams) : une pile de vaisselle glisse d'une table, les assiettes s'entrechoquent dans l'air avant de s'écraser sur une surface dure où toutes se cassent, sauf une. A partir des seuls indices sonores, tout auditeur baignant dans une culture utilisant ces objets dans le même environnement, saura reconnaître sans difficulté la nature de l'événement, les objets intervenant dans celui-ci et la transformation qu'ils y subissent. (McAdams, S. E., & Bigand, E. E. 1993).



Figure : Écoute des sons de l'environnement : décryptage des événements sonores qui se produisent dans le monde extérieur.



Caractérisation physique des sons et des bruits

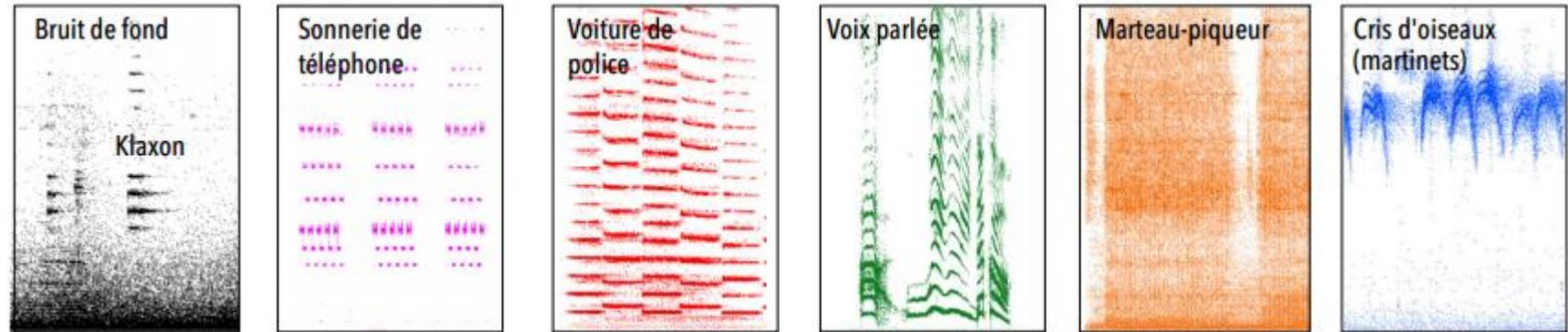


Figure : Analyses séparées des différents types sons.

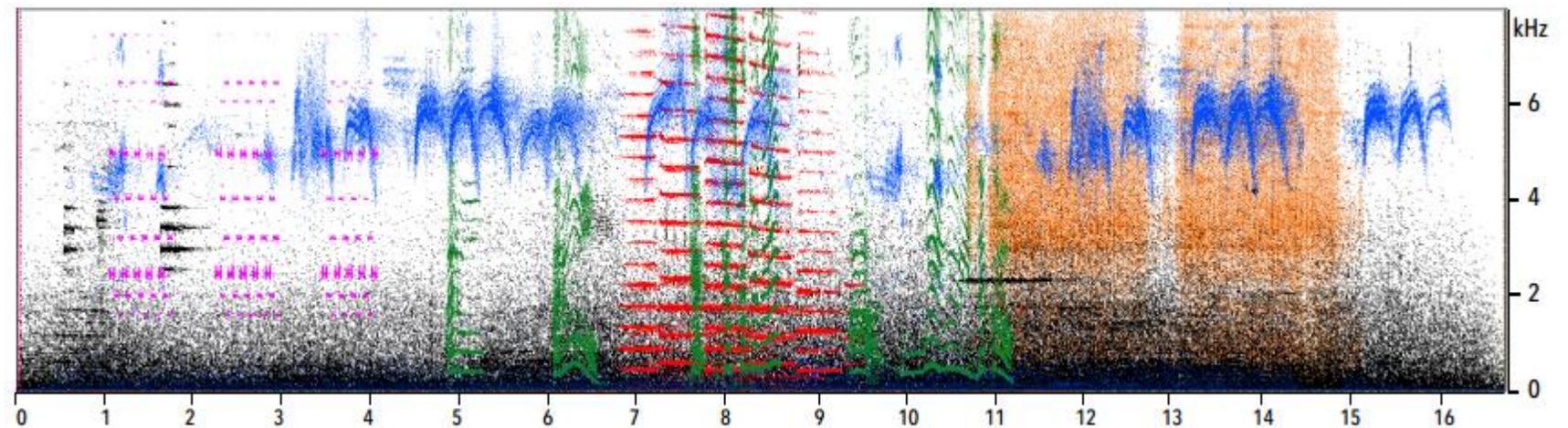


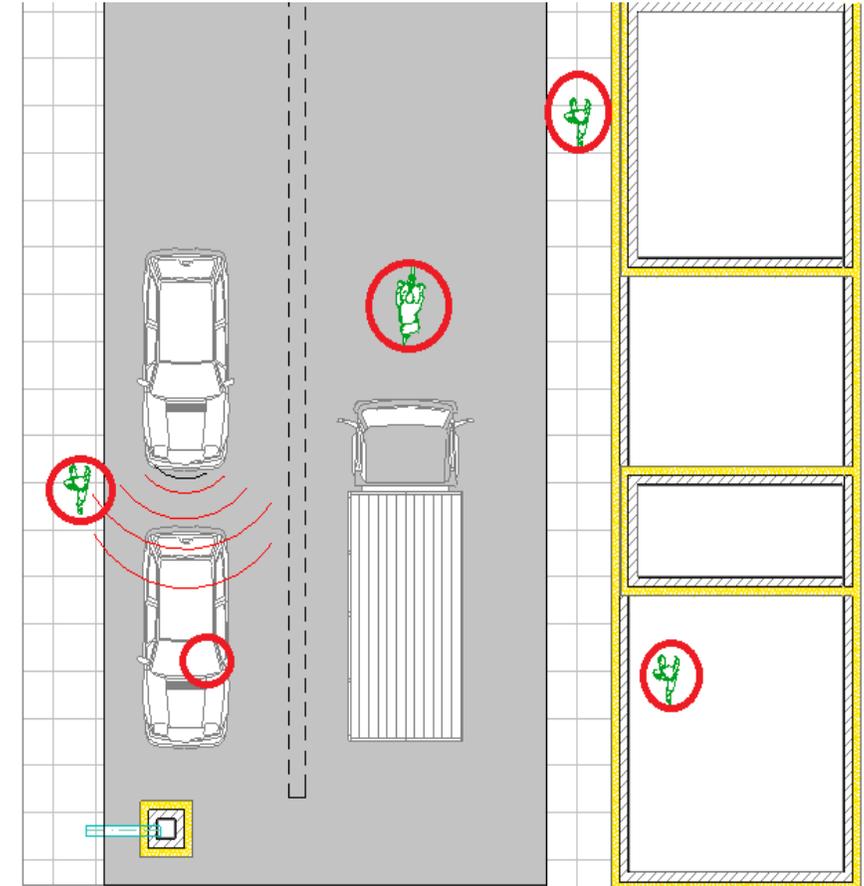
Figure : Représentation de type sonographique obtenue par la superposition des calques des six séquences de sons analysées séparément. La couleur de l'image est attribuée arbitrairement à un type de son (exemple : le vert pour la parole, le bleu pour la séquence d'oiseaux).



Caractérisation physique des sons et des bruits



- Alerte, détection, informations sur la proximité et la direction des sources sonores. La manière dont nous percevons ces sources sont perçues différemment suivant le contexte la situation de l'auditeur, comme le montrent les deux exemples suivants :
- 1. un coup de klaxon automobile sera généralement ignoré ou perçu comme gênant si l'on est chez soi... à moins que sa voiture soit mal garée devant la maison. Le même coup de klaxon prendra une signification différente si l'on traverse la rue, ou si l'on est au volant, attendant distraitemment au feu rouge.
- 2. dans une conversation que nous n'écoutions pas jusqu'alors, la simple prononciation de notre nom peut focaliser soudain notre attention.





Caractérisation physique des sons et des bruits



- **Reconnaissance de sources** : la caractéristique sonore d'une source nous permet de la reconnaître parmi de multiples semblables. On parle de signature acoustique de la source. Nous reconnaissons ainsi les voix, les pas de personnes connues, les cris d'un bébé, la sonnerie personnalisée de notre téléphone mobile, le bruit du moteur du camion-poubelles... Des spécialistes, les « oreilles d'or », sont entraînés à reconnaître la signature acoustique des bateaux et sous-marins.
- **Appréhension d'espaces clos** : les sons perçus, combinés avec la connaissance a priori que nous avons de leur source, nous renseignent sur l'espace environnant : son volume, les revêtements muraux, sa forme, etc.
- **La notion de confort acoustique** est essentielle dans les lieux voués à l'audition (amphis, auditoriums) mais prend également de plus en plus d'importance dans tous les lieux de vie (habitations, habitacles de véhicules, espaces de travail, lieux de réunion...)



6.1.2 Place de la perception auditive dans les domaines scientifique et industriel

La psychoacoustique trouve des applications dans tous les domaines où intervient le son audible ; on peut citer, sans être exhaustif :

- Audiovisuel : enregistrement, diffusion, reproduction sonores...
- Architecture et environnement : réduction du bruit, étude et contrôle des « ambiances » sonores...
- Télécommunications : codage et transmission de messages sonores, qui sont essentiellement de deux types : vocal et musical.
- Médecine : évaluation et réhabilitation des déficiences de la fonction auditive (aides auditives, implants cochléaires qui permettent par stimulation électrique du nerf auditif d'évoquer des sensations sonores chez des sourds profonds).
- Acoustique sous-marine : reconnaissance de signatures acoustiques (« oreilles d'or »)
- Automobile : champ acoustique de l'habitacle, réduction des bruits dans certaines zones et certaines gammes de fréquences, esthétique des bruits (une grande attention est portée par exemple à la qualité sonore du claquement de portière qui peut avoir un effet plus ou moins sécurisant).
- Industrie : casques et bouchons anti-bruit pour le confort et la sécurité des personnes.



6 2. Physiologie de l'audition

6 2.1. La tête

Le son doit d'abord contourner la tête avant d'arriver à l'oreille. Il subit à cette occasion: - une atténuation (sélective en fonction des fréquences), - un retard qui est différent sur les deux oreilles, et qui se traduit pour les sons périodiques par des différences de phase :

Cette atténuation et ce retard jouent un rôle essentiel dans la localisation des sources (tant dans l'évaluation de la direction que de la distance). Ils constituent un filtrage auquel s'ajoute celui de l'oreille externe

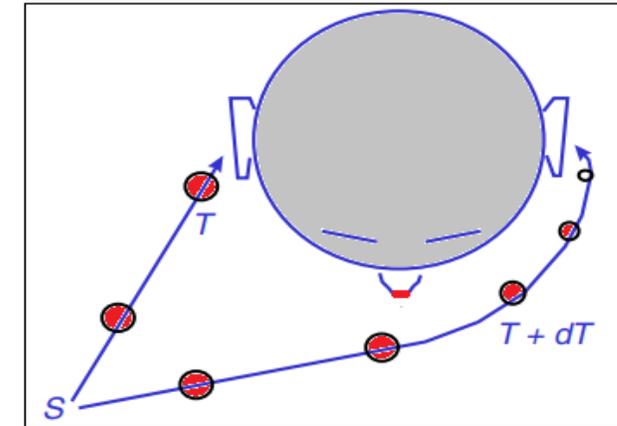
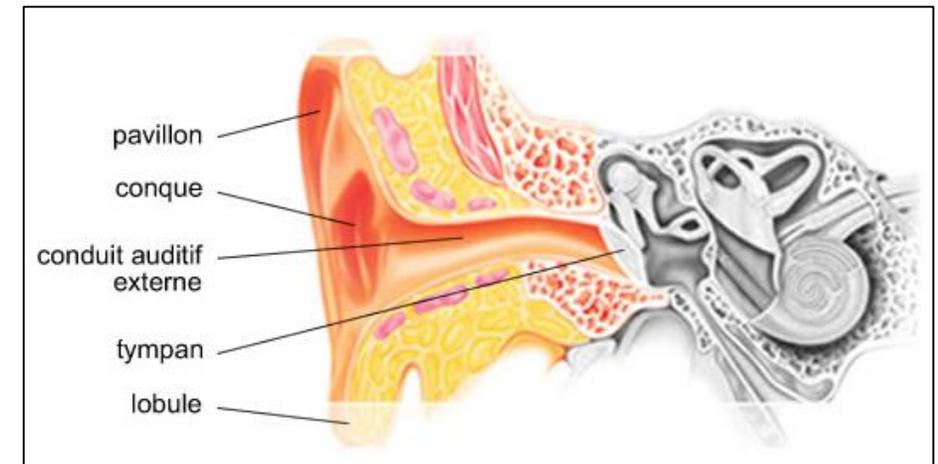


Figure : retard et atténuation du son par la tête du sujet



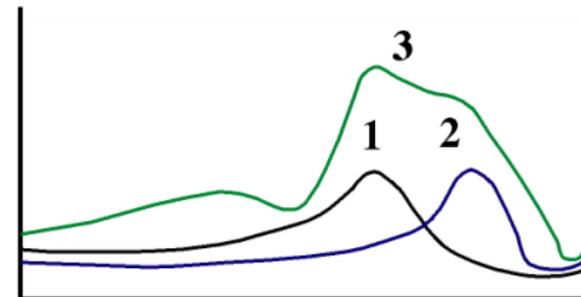
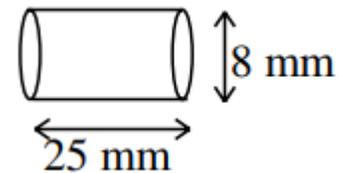


6 2.2. L'oreille externe

Celle-ci se compose du pavillon et du conduit auditif externe.

- le pavillon (orientable chez certains animaux, mais pas chez l'homme) réalise un filtrage sélectif suivant la direction d'incidence du son et sa fréquence
- le conduit auditif externe, peut être modélisé comme un cylindre fermé à une extrémité par le tympan : Le C.A.E. joue un rôle de guide d'onde, jusqu'au tympan.

L'ensemble de l'oreille externe a pour effet une augmentation de l'intensité sonore au niveau du tympan, de quelques dB entre 1,5 et 7 kHz. (avec un pic vers 6 kHz dû au pavillon, et un autre vers 2,5 kHz dû au C.A.E.)



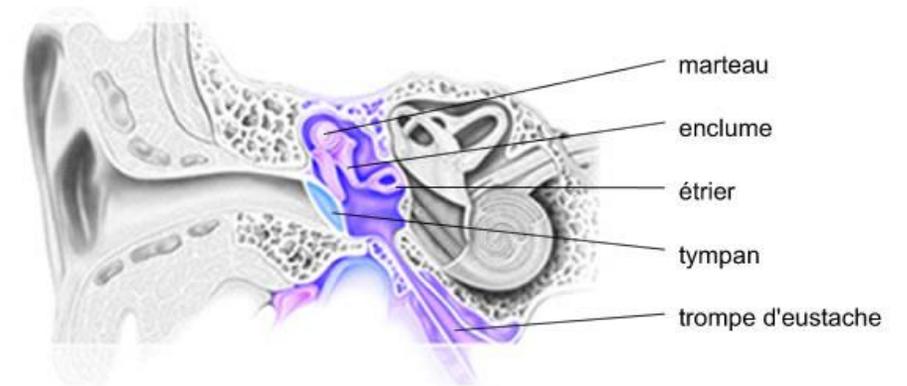


L'ensemble (tête et oreille externe) joue un rôle dans la perception de l'espace. C'est pourquoi on utilise dans de nombreux cas une **tête artificielle** (à défaut d'une vraie tête) pour faire des test ou des enregistrements. • L'analyse et la reproduction des fonctions de filtrage remplies par ces deux éléments permettent la spatialisation artificielle du son, selon une méthode étudiée plus loin dans ce cours.



6 2.3. L'oreille moyenne

L'oreille moyenne amplifie et transforme les vibrations aériennes en vibrations solidiennes (dues à un choc) pour les transmettre à l'oreille interne. L'oreille moyenne sert également à protéger l'oreille interne des sons trop puissants provenant de sources externes (au-delà de 80db), en limitant l'amplification, il s'agit du « **RÉFLEXE STAPÉDIEN** ». Arrivé au bout du conduit auditif, le son "tape" dans le tympan qui vibre. La vibration acoustique actionne la chaîne des **trois osselets : marteau, enclume puis étrier**. Ces derniers ont une fonction similaire agissent comme un "cric" de voiture : l'amplitude de vibration auriculaire est démultipliée.





6 2 4 L'oreille interne

C'est dans l'oreille interne que l'énergie mécanique est transformée en énergie **bioélectrique**, c'est à-dire en potentiels d'action nerveux.

La **cochlée** contient les **cellules ciliées** qui se contractent lors de l'arrivée de la vibration. Les différents cils activés par les vibrations rapides (aigus) sont en bas. Les cils activés par les graves sont en haut, donc mieux protégés. Ces vibrations sont ensuite transmises sous forme de **signaux nerveux** au cerveau pour être interprétées. La cochlée transmet les vibrations avec un effet d'ondes au cerveau, au moyen de ses cils. Ces ondes seront ensuite interprétées. La cochlée contient une membrane basilaire : une membrane qui permet de comprendre la parole même dans un environnement bruyant.



Les cellules ciliées, aussi appelées cellules cochléaires, sont non-renouvelables. Leur disparition, entraînant **perte auditive** et **surdité**, peut être causée par l'effet du vieillissement. On parle de dégradation naturelle de l'audition et de son confort, plus connue sous le nom de **Presbycusis**. Celles-ci peuvent également disparaître suite à un traumatisme sonore (une exposition excessive au bruit), ou bien à cause de médicaments ototoxiques (lésant la structure de l'oreille interne) ou pour d'autres raisons médicales. Les neurones cérébraux et les fibres nerveuses jouent un rôle central dans la transmission mécanique, la communication, la mesure et l'interprétation des ondes sonores. Ils communiquent les informations relatives à la fréquence du son dans la cavité auriculaire.



6 2 5 réflexe stapédien

Le **réflexe stapédien**, aussi appelé **réflexe acoustique**, est la contraction involontaire des deux muscles de l'oreille moyenne, le muscle stapédien (du latin *stapia* : étrier) et le muscle du marteau. En rendant plus rigide la chaîne des osselets, il atténue le niveau des sons transmis à l'oreille interne.

L'application d'un son fort provoque ce réflexe bilatéral. Il agit sur les deux oreilles, même si le son fort n'est présenté qu'à une seule oreille



le crissement de la craie sur le tableau

La craie qui glisse sur le tableau émet un bruit dont les fréquences se situent entre 2.000 et 4.000 hertz. Ces fréquences ne sont pas rares dans la vie quotidienne puisqu'elles sont proches de celles de la voix dans les aigus. Les jeunes enfants pleurent surtout dans cette gamme sonore. Or, la forme du conduit auditif a tendance à provoquer la résonance de ces sons. C'est de là que viendrait au moins une partie de la gêne occasionnée.



Références

Bailhache, P. (2001). *Une histoire de l'acoustique musicale* (p. 199). CNRS.

Flandrin, P., & Sessarego, J. P. (1990). Méthodes temps-fréquence en acoustique. *Le Journal de Physique Colloques*, 51(C2), C2-707.

Ghio, A. (2007). L'onde sonore: réalités physiques et perception.

Eldin, G., & Laheurte, J. P. (1979). Propagation d'une onde sonore soumise à un vent acoustique dans l'air. *Journal de physique*, 40(5), 495-500

Cannard, G., & Prost, J. (1980). LA PROPAGATION DES ONDES SONORES APPLIQUEE A L'ETUDE DE LA PRISE DES CIMENTS. *BULL LIAISON LAB PONTS CHAUSS*, (108).

Hemon, C. H. (1978). Equations d'onde et modeles. *Geophysical prospecting*, 26(4), 790-821.

Ginestet, A. (2007). *Modélisation de la propagation d'une onde électromagnétique sur des scènes de grande taille par résolution de l'équation parabolique 3D vectorielle* (Doctoral dissertation).

Condamines, R. (1986). *Acoustique psycho-physique*. Masson.

Ferbach-Hecker, V. (2002). *La Perception auditive de l'anticipation des gestes vocaliques en français* (Doctoral dissertation, Strasbourg 2).

Lazzarotto, S. (2017). *Qualité de vie des sujets âgés déficients auditifs: rôle, place et importance des déterminants de qualité de vie* (Doctoral dissertation, Aix-Marseille).