

## 1. ACOUSTIQUE PHYSIOLOGIQUE

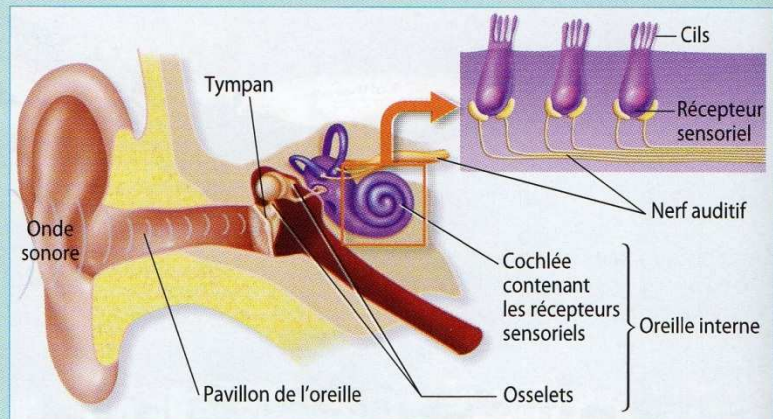
### 1.1. Problématique

Notre oreille différencie un son grave d'un son aigu, et un son faible d'un son fort.  
Comment l'oreille humaine fonctionne-t-elle ?

### 1.2. Documents

L'oreille humaine est sensible à la **puissance acoustique** transportée par l'onde sonore. Afin de préserver l'audition, cette puissance acoustique ne doit pas dépasser une limite appelée le seuil de douleur [doc. 1 et 2].

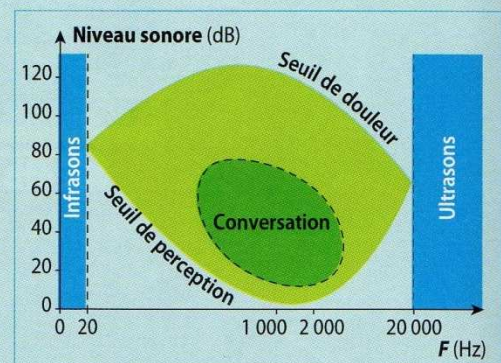
Lorsqu'une onde sonore de haute fréquence est transmise à la cochlée [doc. 3], seul les récepteurs sensoriels du début de la cochlée sont activés. Lorsque la fréquence de l'onde sonore diminue, les récepteurs plus éloignés sont aussi activés. Les récepteurs font ensuite converger l'information vers les nerfs auditifs, qui la transmettent au cerveau sous forme de signaux électriques. La fréquence de ces signaux ne dépasse pas quelques dizaines de hertz.



3 Structure de l'oreille humaine.

$\Delta P$ (Pa)	$I$ ( $W \cdot m^{-2}$ )	$L$ (dB)	Exemple de bruit
200	100	140	Réacteur d'avion au décollage
20	1	120	Sirène de pompier
6	0,1	110	Moto à l'accélération
0,2	$10^{-4}$	80	Circulation automobile
0,036	$3 \cdot 10^{-6}$	65	Conversation animée
$2 \cdot 10^{-3}$	$10^{-8}$	40	Chuchotement
$6 \cdot 10^{-5}$	$10^{-11}$	10	Chambre anéchoïque
$2 \cdot 10^{-5}$	$10^{-12}$	0	Limite d'audition (oreille humaine)

1 Correspondance pour quelques bruits usuels des différentes grandeurs.



2 Audiogramme d'une oreille humaine.

### S'informer

La **puissance acoustique**  $P$  (W) est l'énergie transportée par l'onde sonore par unité de temps. L'**intensité acoustique**  $I$  est la puissance acoustique surfacique ( $W \cdot m^{-2}$ ). Le **niveau sonore**  $L$  est exprimé en décibels :

$$L(\text{dB}) = 10 \log(I/I_0) = 20 \log(\Delta P/\Delta P_0).$$

$I_0 = 10^{-12} W \cdot m^{-2}$  est l'intensité acoustique de référence (son audible le plus faible pour une oreille humaine).  $\Delta P$  est l'amplitude de la surpression par rapport à la pression atmosphérique.  $\Delta P_0 = 2 \cdot 10^{-5} Pa$  est la surpression de référence.



### 1.3. Questions

- 1) Suggérer une source sonore pouvant fournir une intensité acoustique  $I$  de  $2 \cdot 10^{-5} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .
- 2) Calculer le niveau sonore  $L$  et la surpression  $\Delta P$  correspondants à cette intensité acoustique.
- 3) Quelles sont les fréquences maximale et minimale des sons perçus par l'oreille humaine ?
- 4) À quelle fréquence le seuil de douleur est-il le plus élevé ? À quelle fréquence est-il le plus faible ?
- 5) Calculer la valeur des intensités sonores correspondantes.
- 6) Pour l'oreille, les harmoniques des sons sont masqués par le fondamental. Pourquoi ?
- 7) La bande passante d'un téléphone portable est limitée par les fréquences 300 Hz et 3,4 kHz. Est-ce un choix judicieux ? Combien d'octaves le son du téléphone contient-il ?

## 2. LA VOIX ET LA RECONNAISSANCE VOCALE

### 2.1. Problématique

La voix humaine est un phénomène complexe qui met en jeu une très grande quantité d'organes.

Comment la voix produit-elle des sons ?

### 2.2. Documents

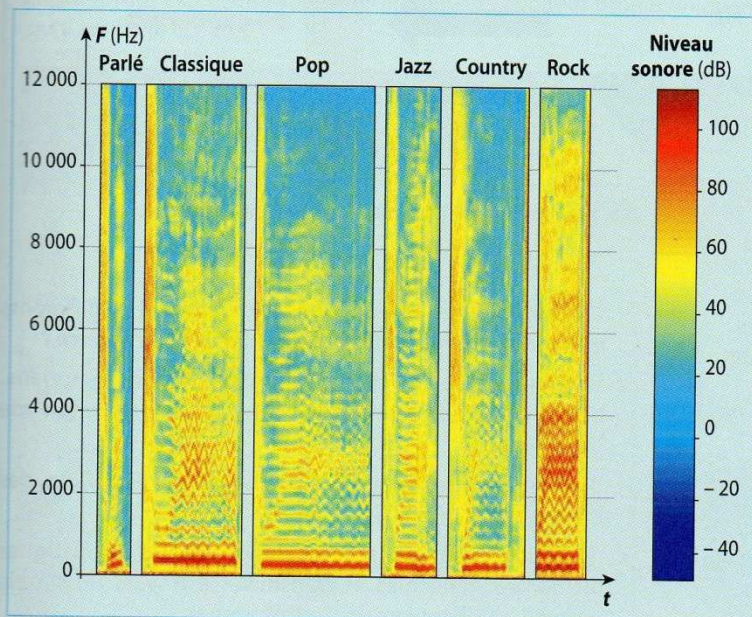
Le nombre d'organes qui interviennent dans la voix varie selon le type de signal émis : parole, cri ou chant.

Les organes les plus mobilisés sont le larynx et ses deux cordes vocales, la gorge, le nez, la langue, la bouche et les lèvres.

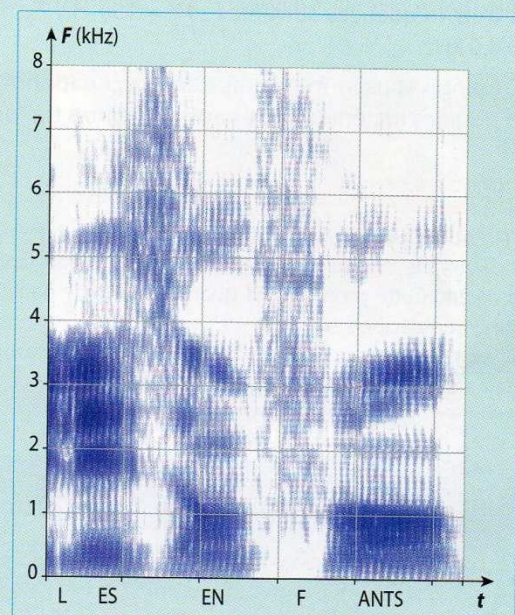
Le spectre des fréquences de la parole [doc. 4] dépasse rarement quatre octaves et s'étend entre 300 Hz et 8 kHz. Certains types de chants atteignent des fréquences de 10 000 Hz.

Sur le spectrogramme enregistré pour un locuteur prononçant : « les enfants » [doc. 5], les fréquences sont comprises entre 0 Hz et 8 000 Hz. L'intensité acoustique est indiquée par des

zones plus ou moins noircies. Les voyelles correspondent à des intensités acoustiques plus fortes que les consonnes en basses fréquences. Ce spectrogramme illustre le principe de la reconnaissance vocale, qui repose sur la comparaison des rythmes, des amplitudes et des fréquences entre un enregistrement et les mots d'un locuteur. La reconnaissance vocale a deux objectifs :  
 – la reconnaissance de mots-clés prononcés par une personne dans un menu proposé par un répondeur téléphonique ;  
 – la reconnaissance d'une personne et la réception d'un ordre en vue de commander une machine.



4 Spectrogramme présentant l'analyse du mot « sweet » parlé et chanté dans différents styles.



5 Spectrogramme présentant l'analyse des mots « les enfants » prononcés par un locuteur masculin.

### 2.3 Questions

- 1) Quel organe joue le rôle de caisse de résonance lors de la production de la voix ?
- 2) Le téléphone limite les signaux transmis entre les fréquences 300 Hz et 3,4 kHz. Pourquoi ?
- 3) Quelles sont les propriétés communes aux différents styles de chant ?
- 4) Sur le doc. 5, où se situe le son sifflant « z » ?
- 5) Quelle est la caractéristique des sons sifflants « s », « z » et « f » ?
- 6) Différencier les autres consonnes des sons sifflants.
- 7) Pourquoi ce spectrogramme permet d'illustrer le principe de la reconnaissance vocale ?
- 8) Résumer le principe de la synthèse vocale et en donner des exemples d'utilisation.



### 3. ACOUSTIQUE ACTIVE

#### 3.1. Problématique

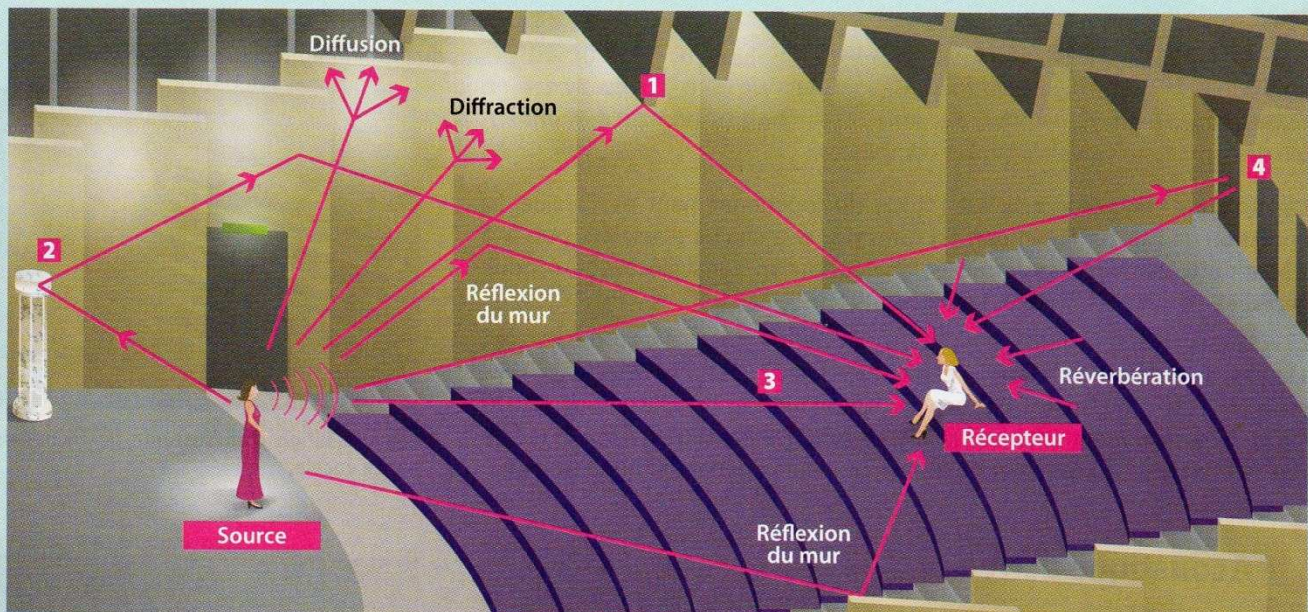
L'acoustique d'une salle de concert doit être la meilleure possible pour le confort des spectateurs. Comment améliorer l'acoustique de ces salles ?

#### 3.2. Documents

Un auditorium [doc. 8] est une salle de spectacle conçue de façon à adapter la **réverbération** des sons au style de musique jouée. L'**acoustique active** vise à augmenter les performances d'un auditorium, soit en supprimant la réverbération, soit en la restituant avec un retard afin de créer l'effet d'une grande salle. Elle assure également une certaine flexibilité à la salle : l'exploitant adapte le dispositif à chaque type de spectacle (théâtre, musique, chant, etc.). La suppression de la réverbération est obtenue en captant l'onde sonore incidente puis en émettant une onde de même intensité, mais en opposition de phase, à l'aide de systèmes électroacoustiques (microphones, amplificateurs, haut-parleurs) judicieusement placés. Localement, au niveau du mur, l'intensité sonore est nulle. La réverbération peut donc être modifiée « à la carte » en adaptant l'amplification et le retard de l'onde émise. Certains casques audio utilisent également cette absorption active [doc. 9] : les sons « parasites » (bruits extérieurs) sont alors annulés et l'auditeur profite uniquement de la musique qu'il souhaite écouter.



9 Un casque audio avec acoustique active.



8 Schéma simplifié d'un auditorium.

#### S'informer

La **réverbération** est l'ensemble des réflexions du son sur toutes les parois d'un espace clos ou semi-clos. Le son persiste après interruption de la source sonore.

#### 3.3. Questions

- 1) Associer les numéros du doc. 8 aux légendes : réflexion du plafond ; réflexion de la scène ; écho ; son direct.
- 2) Indiquer quelques matériaux utilisés pour le revêtement des murs et des fauteuils dans un auditorium.
- 3) Dans quel autre domaine de la physique les phénomènes de diffraction et de réflexion existent-ils ?
- 4) Représenter l'onde incidente reçue par le système électroacoustique, puis l'onde créée par acoustique active.
- 5) Quelle est la différence entre le casque audio passif et celui dit actif ? Préciser leur utilisation, leurs avantages et leurs inconvénients.



## 4. LES CHAMBRES SOURDES

### 4.1. Problématique

Les salles sourdes sont spécialement conçues pour supprimer des sons parasites dus aux réflexions sur les murs.

### 3.2. Documents

#### Doc 1 L'écho



#### Doc 2 Qu'est-ce que l'écho ?

La réflexion se produit lorsqu'une onde rencontre un obstacle. Une forme bien connue de réflexion des ondes sonores est l'écho.

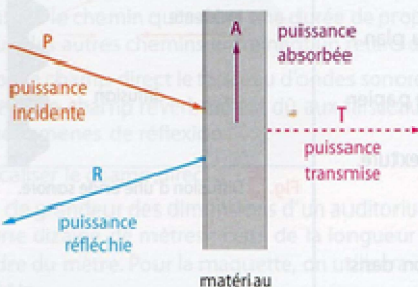
Le son est une onde longitudinale : les molécules constituant l'air vibrent dans la direction de propagation de l'onde. Si une onde s'approche d'une surface solide, comme un mur par exemple, celui-ci limite le mouvement des molécules de l'air. Les molécules au contact du mur peuvent même ne pas vibrer du tout.

Lorsque l'onde arrive, les molécules proches du mur poursuivent leur mouvement vers lui jusqu'à ce qu'elles rebondissent effectivement sur lui – redirigeant alors leur mouvement dans le sens opposé – ce qui provoque la réflexion de l'onde. Les physiciens disent que le mur constitue une « condition-limite » pour l'onde.

Différents types d'obstacles peuvent produire différentes « conditions-limites ». Par exemple, l'onde peut rencontrer une paroi flexible, et donc déformable, qui peut absorber une partie de l'énergie de l'onde fournie par les molécules pour déformer le mur. Dans ce cas, l'onde réfléchie possède une amplitude plus faible et l'écho est moins intense.

D'après S. Holzner, *Physics II For Dummies*, Wiley Publishing, 2010.

#### Doc 3 Réflexion, absorption et transmission du son



#### Doc 4 Pièce « sourde »

Le son incident sur un mur  $y$  est partiellement réfléchi. L'onde réfléchie atteint une autre paroi où, à nouveau, une partie d'elle est réfléchie. Le son est donc perceptible même après l'arrêt de son émission pendant une certaine durée, le temps de réverbération. Plus durs sont les parois, plus grande est la réflexion, et par conséquent le temps de réverbération.

Une discussion dans une salle dont le temps de réverbération est grand devient rapidement inintelligible (salle

sonore). On peut diminuer la réverbération avec des revêtements absorbants (moquette, tissu, polystyrène expansé, liège, etc.).

Dans un laboratoire acoustique aux murs matelassés, le son n'est pas réfléchi : la pièce est « sourde ». Le temps de réverbération doit donc être ajusté suivant la destination du local.

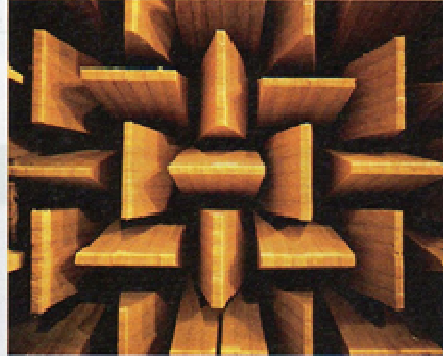
D'après I. Berkes, *La Physique de tous les jours*, Vuibert, 1996.

**Doc 5 Drôles de chambres**

Les voitures comportent de nombreuses sources acoustiques (moteur, suspensions, roues, etc.). Les constructeurs automobiles testent leurs modèles dans des salles sourdes appelées « chambres anéchoïques », afin de déterminer si les ondes sonores générées ne produisent pas de gêne pour les passagers du véhicule.

**Doc 6 Structure des parois des chambres****sourdes**

Les chambres sourdes servent à certaines études d'acoustique. Leurs parois sont formées de matériaux absorbants, disposés en chicanes. Ainsi, les ondes incidentes qui, après une première incidence, ne sont pas absorbées par la paroi mais réfléchies, sont renvoyées vers d'autres couches absorbantes et non vers l'intérieur de la chambre.

**3.3. Questions**

- 1) Quelles conditions doivent être réunies pour percevoir un écho ?
- 2) a) Quel nom donne-t-on au phénomène physique à l'origine de l'écho ?  
b) Comment décrire, au niveau microscopique, l'apparition d'un écho ?
- 3) a) Un écho a-t-il nécessairement la même amplitude que l'onde sonore incidente ?  
b) Comment peut-on expliquer cela ?
- 4) Pourquoi un écho peut être entendu alors que l'émission du son est terminée ?
- 5) a) Quelle grandeur permet d'évaluer la durée d'un écho ?  
b) Comment varient les propriétés acoustiques d'une salle en fonction de cette durée ?
- 6) a) Comment procède-t-on pour réduire la durée des échos dans une salle sourde ?  
b) Décrire les matériaux utilisés à cet effet.
- 7) a). Quelle est la principale propriété d'une salle sourde ?  
b) Justifier le choix du mot « anéchoïque » également utilisé pour nommer une salle sourde.