

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE
CHU SIDI BEL ABBES
FACULTE DE MEDECINE TALEB MOURAD

LES EXPLORATIONS FONCTIONNELLES DE L'AUDITION

Présenté par Dr. LEKHAL

LE PLAN :

I/INTRODUCION.

II/RAPPEL ANATOMIQUE.

III/ RAPPEL PHYSIOLOGIQUE.

IV/LES EXAMENS SUBJECTIFS DE L'AUDITION

II-A/LES EPREUVES ACOUMETRIQUES.

II-B/LES EPREUVES AUDIOMETRIQUE.

III/LES EXAMENS OBJECTIFS :

III-A/IMPEDANCEMETRIE.

III-B/LES POTENTIELS EVOQUES AUDITIFS.

III-C/LES OSTEOEMISSIONS ACOUSTIQUE PROVOQUEES.

I/INTRODUCTION :

-L'exploration fonctionnelle de l'audition répond à un triple objectifs :

- détecter une surdité.
- préciser le type et le degré.
- estimer les possibilités thérapeutiques.

-La surdité est définie par l'atténuation (hypoacusie) ou la disparition complète de l'audition (cophose).

-Les surdités sont habituellement classées en quatre groupes :

- ***surdités de transmission** : caractérisées par une atteinte de l'oreille externe ou l'oreille moyenne .
- ***surdités de perception** : caractérisées par une atteinte de l'oreille interne (plus particulièrement la cochlée).
- ***surdités retro cochléaire** : caractérisées par une atteinte des voies nerveuses.
- ***surdités centrales** : caractérisées par une atteinte de centres nerveux de l'audition.

- NB : il existe des surdités mixtes à la fois de perception et de transmission.

II/RAPPEL ANATOMIQUE :

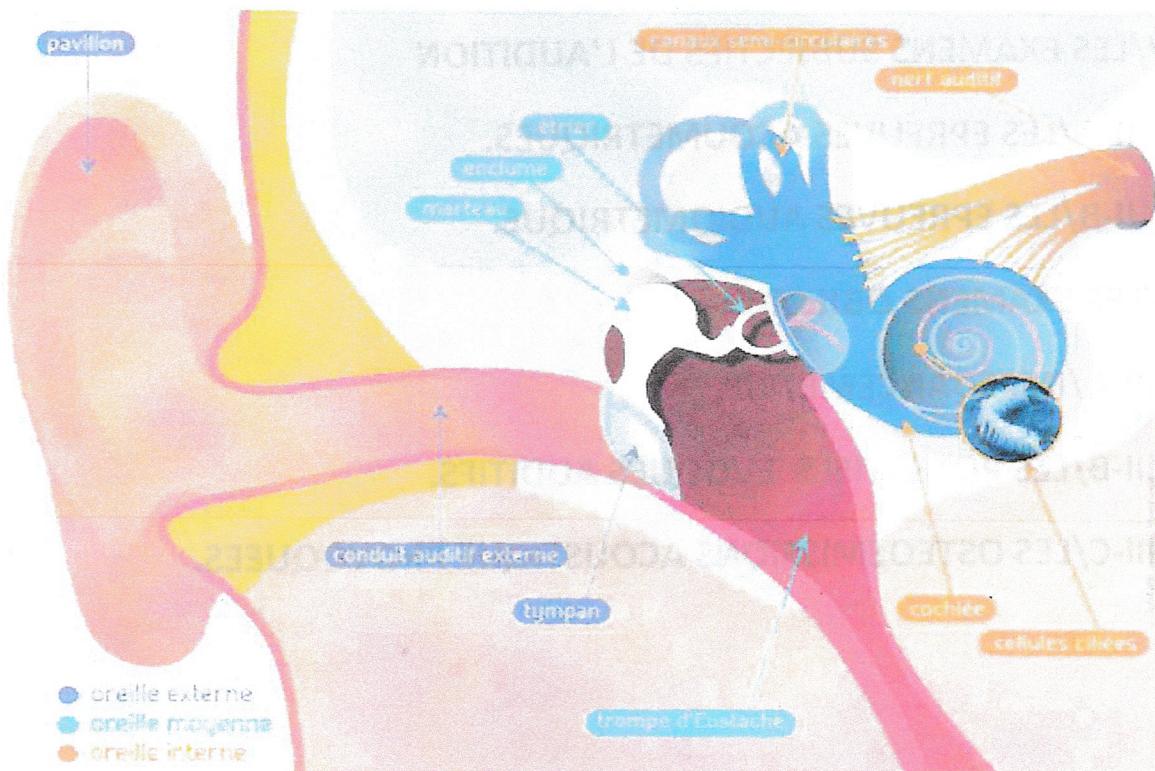


Fig.1 : schéma anatomique de l'oreille

III/ RAPPEL PHYSIOLOGIQUE :

le son est capté par le pavillon et focalisé dans le conduit auditif externe puis amené à travers de ce dernier au tympan pour le faire vibrer. Lorsqu'il atteint le tympan, le son est transformé en énergie mécanique. Il est ensuite partiellement amplifié par les osselets et transmis dans l'oreille interne par le mouvement de piston de l'étrier, celui ci va mettre à son tour en mouvement le liquide contenu dans l'oreille interne (périlymphe et l'endolymph) et de proche en proche faire vibrer les cellules ciliées de l'organe de corti contenue da la cochlée.

A ce niveau, le son est transformé en énergie électrique (influx électrique) qui sera transmise par le nerf auditif vers cerveau pour être interprétée. C'est un mécanisme délicat et très complexe de transformation d'énergie.

Le tympan est une membrane élastique mobile autour d'une position d'équilibre (déformabilité tympanique ou déplacement du tympan). Cette position est maintenue lorsque :

- La chaîne des osselets est intacte.
- la pression externe (pression atmosphérique) égale à la pression interne, donc lorsque la trompe d'Eustache s'ouvre normalement (fonction tubaire normale).

C'est dans cette position d'équilibre, que le tympan absorbe au mieux les ondes sonores qui le frappent tout en assurant la transmission de l'information sonore vers l'oreille interne. Le tympan et les osselets servent à adapter l'impédance entre l'oreille externe (milieu aérien) et l'oreille interne (milieu liquidiens).

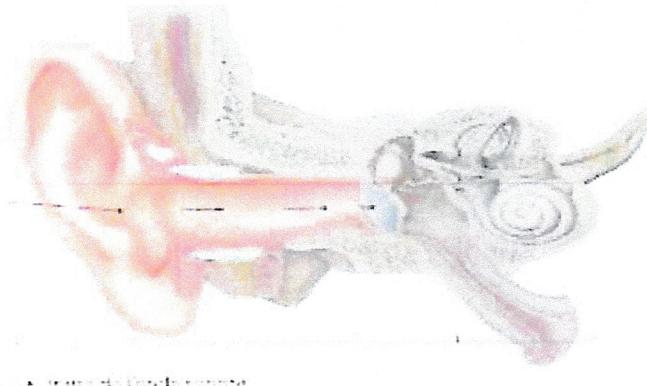


Fig .2 : trajet de l'onde sonore dans l'oreille

V/EXAMENS SUBJECTIFS DE L AUDITION :

IV-A/ LES EPREUVES ACOUMETRIQUES:

IV-A-1/ acoumétrie vocale :

- Elle consiste à faire répéter au sujet des mots et des chiffres **aigues** (6, 10, i, u) ou **graves** (2,11, 12, e, o) :

-La voix chuchotée doit être entendu à environ 7 mètres, elle permet d'affirmer une fonction auditive subnormale.

-la voie haute doit être entendue à 40 mètre, lorsqu'elle n'est pas perçue à toute proximité de pavillon elle peut évoquer une cophose.

IV-A-2/ acoumétrie instrumentale :

Elle consiste à explorer l'audition à l'aide d'un diapason en réalisant plusieurs épreuves (épreuve de WEBER, épreuve de RINNE et autres), elle permet de tester :

-la conduction aérienne (CA) :

Le son est émis dans l'air, il doit donc être capté par le pavillon de l'oreille, mettre en vibration le tympan, être transmis par la chaîne des osselets pour atteindre l'oreille interne. L'oreille externe et moyenne constituent donc **l'appareil de transmission**.

-la conduction osseuse (CO) :

En conduction osseuse, le stimulus vibratoire est directement appliqué sur la boîte et se propage dans l'os pour atteindre ainsi la cochlée sans passer par l'appareil de transmission. L'oreille interne constitue donc **l'appareil de perception**.

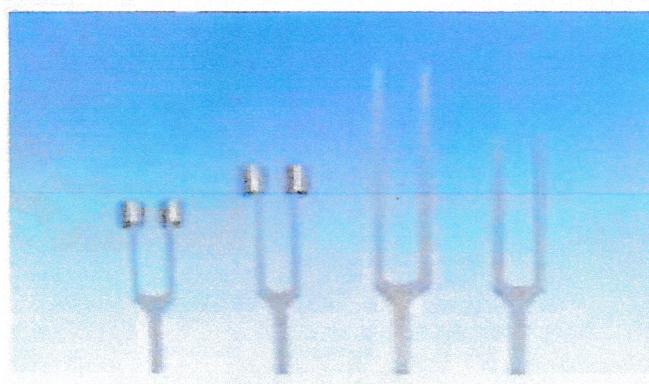


Fig.3 :le diapason

1-épreuve de WEBER :

Méthode :

Après stimulation de diapason (percussion sur l'éminence thénar, le coude, le condyle fémoral), son pied est appliqué sur l'un des points suivant : vertex, le front, racine de nez ou le menton, et on demande au sujet à quel endroit il perçoit le son (fig.4)

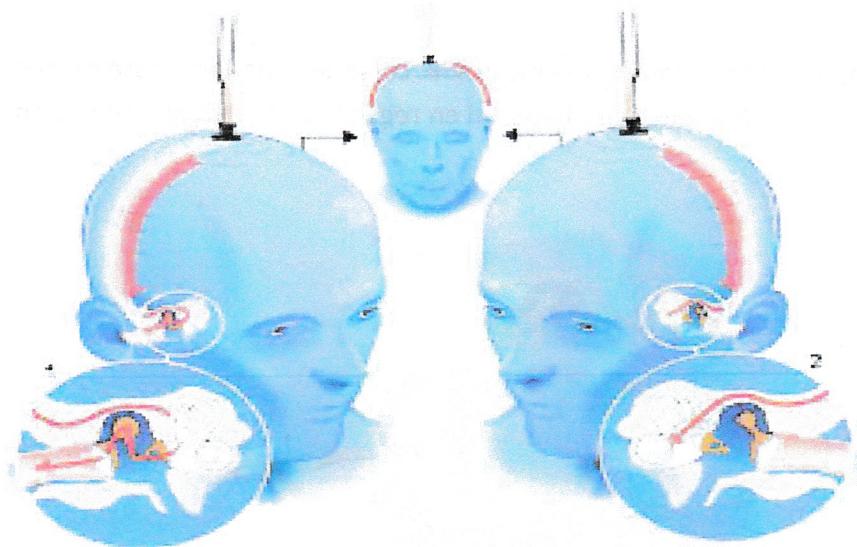


Fig.4 : technique de l'épreuve de Weber

Résultat :

- patient perçoit la vibration des deux côtés ⇒ Le weber dit indifférent ⇒ audition normale (fig.5).
- Si le sujet perçoit la vibration sonore du côté sein ⇒ weber latéralisé du côté sain ⇒ surdités de perception du côté malade (fig.7).
- patient perçoit la vibration sonore du côté sourd ⇒ weber latéralisé du côté sourd ⇒ surdités de transmission du côté sourd (fig.6).

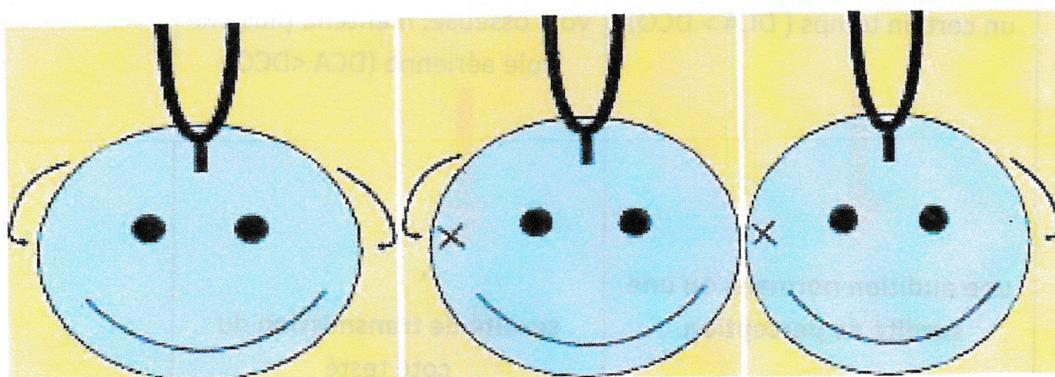


Fig.5

Fig.6

Fig.7

2-épreuve de RINNE :

- Avec le diapason, on compare la durée de perception de la vibration sonore par voie aérienne et par voie osseuse. Une oreille normale entend plus longtemps les vibrations par voie aérienne que par voie osseuse.
- cette épreuve permet de comparer donc la durée de conduction osseuse (DCO) et la durée de conduction aérienne (DCA).

Méthode :

le pied de diapason est appliqué sur la mastoïde. Lorsque le patient cesse de percevoir la vibration, on place les branches de diapason en regard du conduit auditif (à 2 cm) (fig.7)

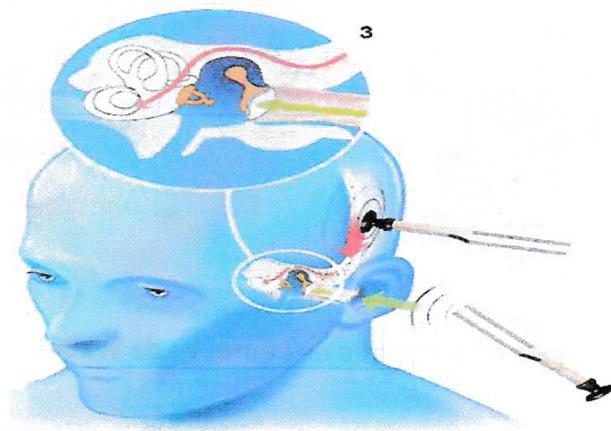


Fig.8 :technique de l'épreuve de Rinne

Résultats :

RINNE positif	RINNE négatif
patient entend encore pendant un certain temps (DCA > DCO) ↓ une audition normale, ou une surdité de perception.	si le patient, qui a entendu par voie osseuse, n'entend plus par voie aérienne (DCA <DCO) ↓ surdité de transmission du côté testé

IV-B/ LES EPREUVES AUDIOMETRIQUES :

On distingue :

- l'audiométrie tonale liminaire
- audimétrie tonale supralimininaire.
- audiométrie vocale (test d'intelligibilité).

L'audiométrie tonale liminaire :

C'est un examen subjectif qui nécessite la coopération du malade et qui permet de :

- chiffrer la perte auditive par rapport à une oreille normale.
- rechercher le seuil absolu d'audibilité de l'oreille.

■ Matériel nécessaire :

- Une cabine audiométrique insonorisée (fig.9).
- Un audiomètre
- Un casque pour la conduction aérienne (fig.10)
- Un vibrateur pour la conduction osseuse (fig.11)



Fig.9



Fig.10



Fig.11

■ La mise en place du malade :

pour mesurer le seuil en CA ,le casque doit être poser directement sur les oreilles, préalablement dégagées des cheveux en plaçant l'écouteur bleu sur l'oreille gauche et l'écouteur rouge sur l'oreille droite.

pour mesurer le seuil en CO, Le vibrateur est posé contre la mastoïde dégagée, en prenant soin de ne pas toucher le pavillon.

■ Déroulement de l'épreuve :

-débuter par la meilleure oreille en audition.
-étudier d'abord la CA.
-On envoie un son **pur pulsé ou continu** à différentes intensités et fréquences (125, 250 , 500, 1000 ,2000, 4000 , 6000 et 8000 Hz) par l'intermédiaire du casque , en débutant à un niveau sonore de confort à 1000 Hz, puis en descendant progressivement jusqu'au seuil ou alors débuter par des intensités faibles puis augmenter par pallier de 5dB.

4-ensuite passer à l'étude de conduction osseuse, vibreur est placé sur la mastoïde mais toujours avec masquage contralatéral en testant les fréquences comprises entre 250 et 4000 Hz.

■ Réponse de malade :

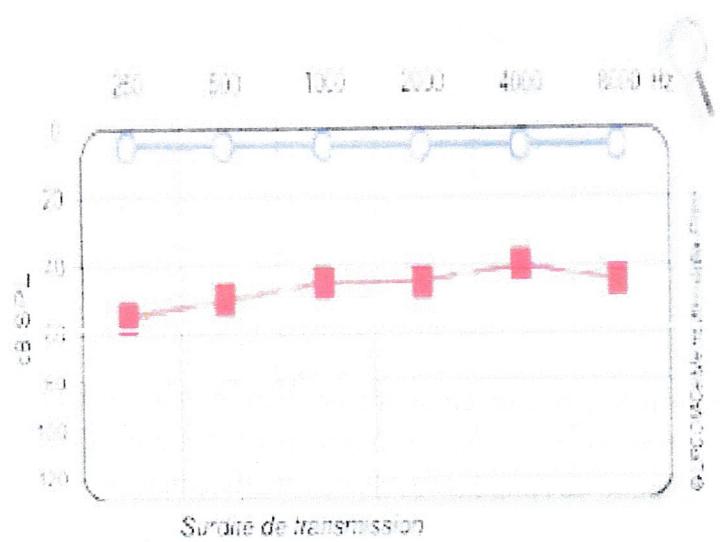
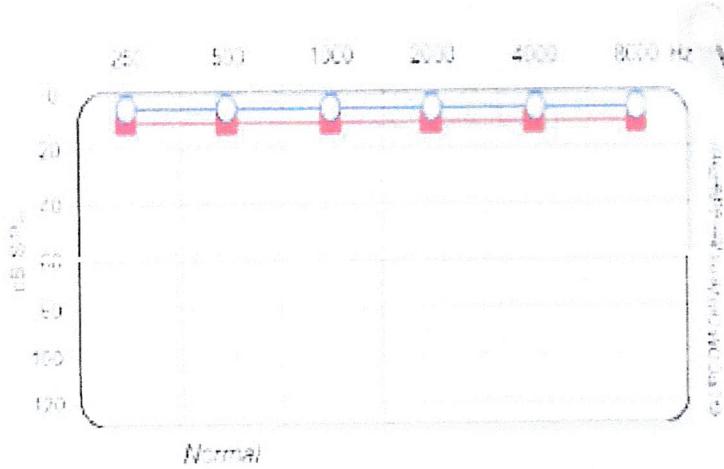
Le patient répondra au test soit en levant la main droite lorsqu'il entendra le son dans l'oreille droite ou la main gauche lorsqu'il entendra le son dans l'oreille gauche ; soit en appuyant sur le bouton-poussoir de réponse et chaque pression sur ce bouton allume une lampe témoin.

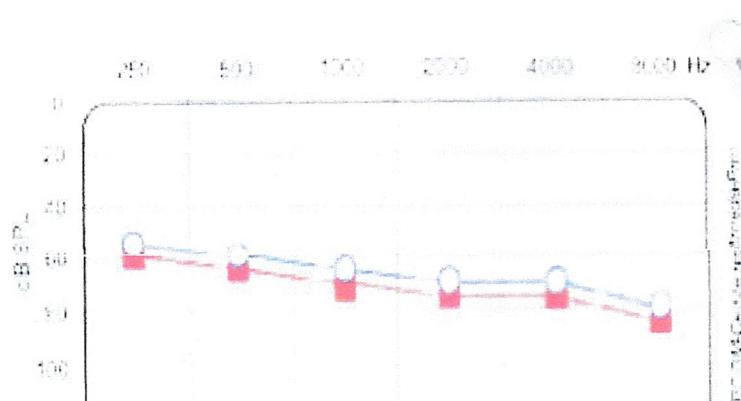
■ Résultats :

-Les différents paramètres sont consignés sur un diagramme qui est **l'audiogramme** (la courbe de CO superpose toujours celle de la CA).

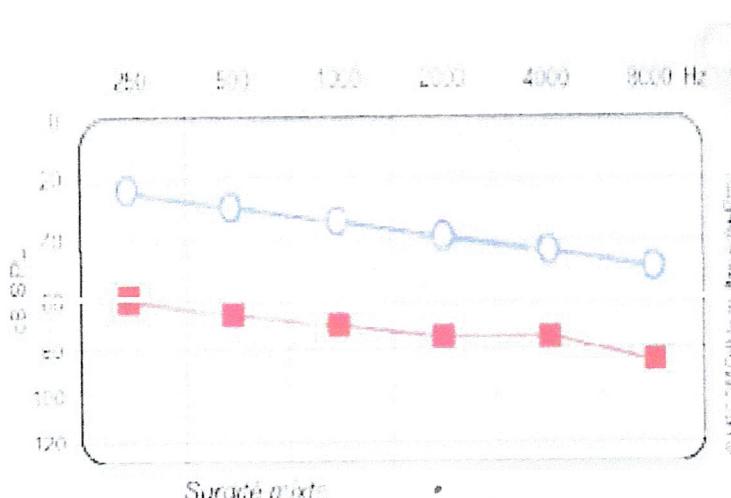
un sujet normal	les courbes en CO et en CA sont accolées avec un seuil d'audibilité à 0 et 10 dB
surdité de perception	les courbes en CO et en CA sont accolées, mais abaissées.
surdité de transmission	la courbe en CO est normale ; en CA est abaissée et les deux courbes sont dissociées (Rinne audiométrique).
Surdité mixte	Les deux courbes sont abaissées avec un Rinne audiométrique.

Conduction obscure
Conduction aérenne





Surdité de perception



Surdité mixte

V/ LES EXAMENS OBJECTIFS :

V-A/impédancemétrie:

Impédancemètre envoie un son par l'intermédiaire d'un embout placé hermétiquement au niveau du méat acoustique externe. Une fraction de ce son est réfléchi par le tympan et renvoyé vers une sonde : cette fraction dépend de l'impédance de l'oreille moyenne.

L'impédancemétrie a pour objectif:

- D'étudier les variations de complaisance (mobilité) de du système tympano-ossiculaire grâce à une pression exercée dans le conduit auditif externe (tympanométrie).
- D'étudier le reflexe stapédiien.

1- Tympanométrie :

- La tympanométrie ne peut être réalisée que si le tympan est fermé.
- Les deux oreilles sont testées séparément à l'aide d'un Impédancemètre qui est formé d'une sonde qui s'adapte à la taille du conduit auditif externe. Cette sonde présente 3 canaux :
 - Un relié à un haut-parleur qui produit le son de référence
 - Un autre relié à un microphone qui recueille la fraction du son renvoyée par le tympan.
 - Le dernier permet de faire varier la pression aérienne du conduit auditif externe en y créant une hyperpression (+200 mm H₂O) puis une dépression (-200 mm H₂O).
- la tympanométrie permet d'établir la courbe de la variation de la compliance tympano-ossiculaire en fonction de la pression.

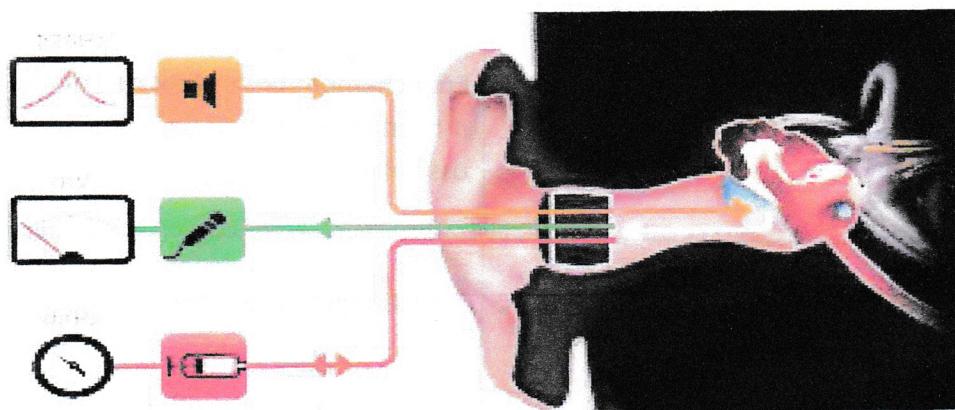
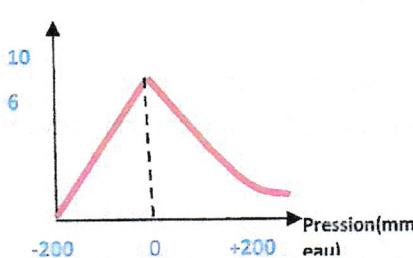
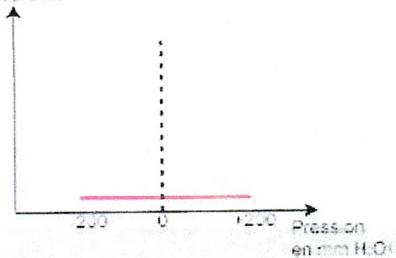
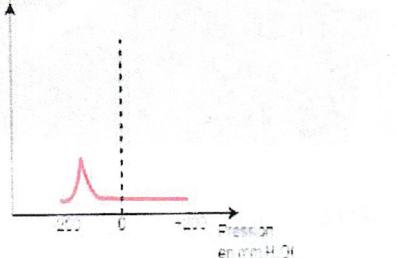
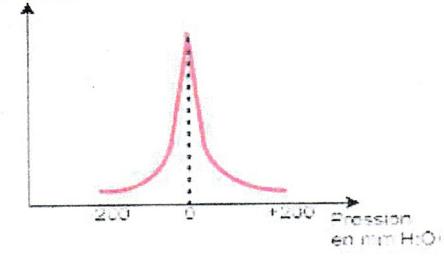


Fig.12:Impédancemètre.

Interprétation des résultats :

tympanogramme	interprétation												
<p>La compliance</p>  <table border="1"> <caption>Data for Tympanogramme type A</caption> <thead> <tr> <th>Pression (mm eau)</th> <th>Compliance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>-200</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>10</td></tr> <tr><td>+200</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Pression (mm eau)	Compliance	-200	0	0	10	+200	0	<p>Tympanogramme type A</p> <p>courbe en toit de pagode.</p> <p>Tympanogramme normal</p>				
Pression (mm eau)	Compliance												
-200	0												
0	10												
+200	0												
 <table border="1"> <caption>Data for Tympanogramme type B</caption> <thead> <tr> <th>Pression en mm H₂O</th> <th>Compliance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>-200</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>+200</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Pression en mm H₂O	Compliance	-200	0	0	0	+200	0	<p>Tympanogramme type B</p> <p>mobilité tympanique faible ou nulle</p> <p>Epanchement des cavités de l'oreille moyenne ou fixation de la chaîne ossiculaire.</p>				
Pression en mm H₂O	Compliance												
-200	0												
0	0												
+200	0												
 <table border="1"> <caption>Data for Tympanogramme type C</caption> <thead> <tr> <th>Pression en mm H₂O</th> <th>Compliance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>-200</td><td>0</td></tr> <tr><td>-100</td><td>10</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Pression en mm H₂O	Compliance	-200	0	-100	10	0	0	<p>Tympanogramme type C</p> <p>pic déplacé vers les pressions négatives</p> <p>obstruction tubaire (trompe d'eustache).</p>				
Pression en mm H₂O	Compliance												
-200	0												
-100	10												
0	0												
 <table border="1"> <caption>Data for Tympanogramme type D</caption> <thead> <tr> <th>Pression en mm H₂O</th> <th>Compliance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>-200</td><td>0</td></tr> <tr><td>-100</td><td>10</td></tr> <tr><td>0</td><td>20</td></tr> <tr><td>+100</td><td>10</td></tr> <tr><td>+200</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Pression en mm H₂O	Compliance	-200	0	-100	10	0	20	+100	10	+200	0	<p>Tympanogramme type D</p> <p>Courbe en « Tour Eiffel » : augmentation de l'amplitude du pic</p> <p>rupture de la chaîne ossiculaire.</p>
Pression en mm H₂O	Compliance												
-200	0												
-100	10												
0	20												
+100	10												
+200	0												

2- étude de reflexe stapédiens :

-Le réflexe stapédiens permet de protéger l'oreille interne contre les sons forts par la contraction du muscle stapédiens (muscle de l'étrier) qui entraîne une augmentation de la rigidité de la chaîne tympano-ossiculaire par basculement de l'étrier en arrière et en dehors ce qui modifie l'impédance de l'oreille moyenne.

- ce reflexe est bilatéral , agissant sur les deux oreilles, même si le son fort n'est présenté qu'à une seule oreille.

-L'impédancemétrie permet la mesure du réflexe stapédiens en stimulant l'oreille avec un son à une intensité de 85 dB au dessus du seuil auditif (il doit être réalisé suite à la tympanométrie).

-On définit le seuil du réflexe stapédiens comme l'intensité sonore la plus basse donnant lieu à un changement mesurable d'impédance.

-en fonction de la présence ou de l'absence de ce réflexe on déduit l'étiologie.

V-B /Les potentiels évoqués auditifs :

➤ objectif :

-analyser l'intégrité des voies nerveuses auditives conduisant le son de l'OI vers les aires auditives centrales (lobe temporal).

-dépister une surdité de perception.

- dépister une surdité chez le nouveau né puisqu'il ne requiert pas la participation du patient.

➤ **Principe :** le son est émis par une sonde et l'enregistrement de l'influx nerveux se fait à l'aide d'électrodes placées à des endroits précis sur le crâne (mastoïde et front).

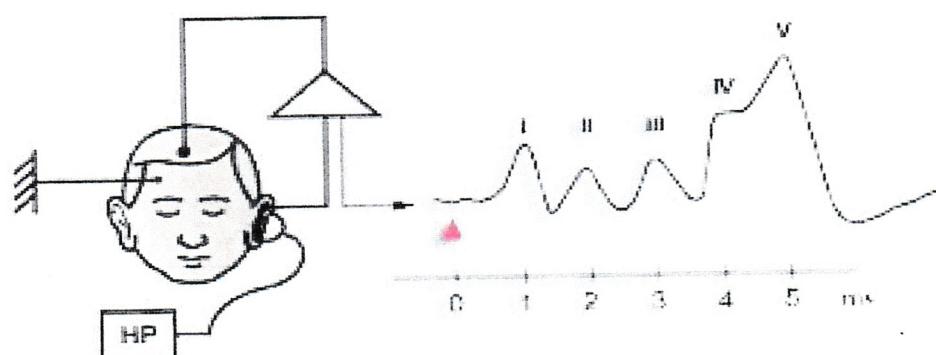


Fig.15 : technique d'PEA

IV-C/ les otoémissions acoustiques provoquée OEAP:

- Elle permet l'enregistrement de l'énergie générée par la contraction des cellules ciliées externes de l'oreille interne après un son bref au niveau du conduit auditif externe
- La présence d'OEAP témoigne du fonctionnement normal de la cochlée.
- L'absence d'OEAP évoque une surdité de perception > 30 dB.

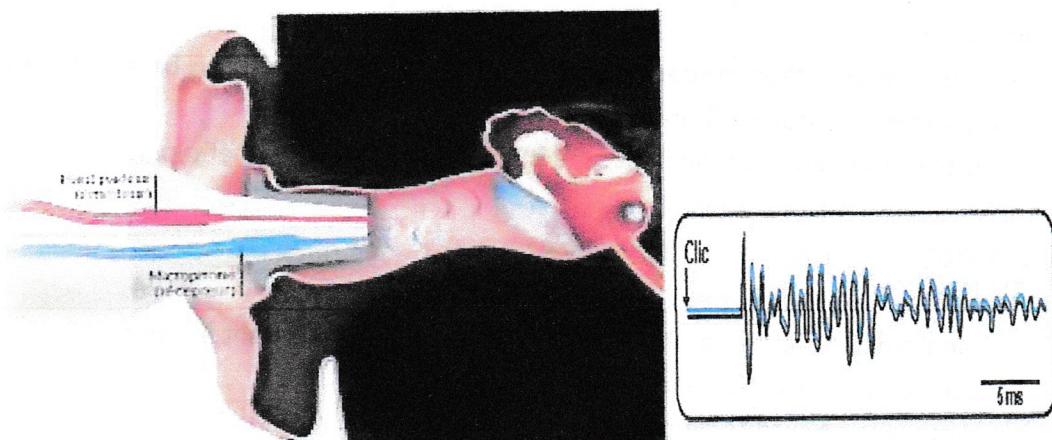


Fig.14 :technique d'OEAP

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE

CHU SIDI BEL ABBES

FACULTE DE MEDECINE TALEB MOURAD

LA PHYSIQUE ACOUSTIQUE

LE Plan :

I/ INTRODUCTION.

II/ LE SON PUR.

II-A/DEFINITIONS.

II-B/CARACTERISTIQUES PHYSIQUE DU SON.

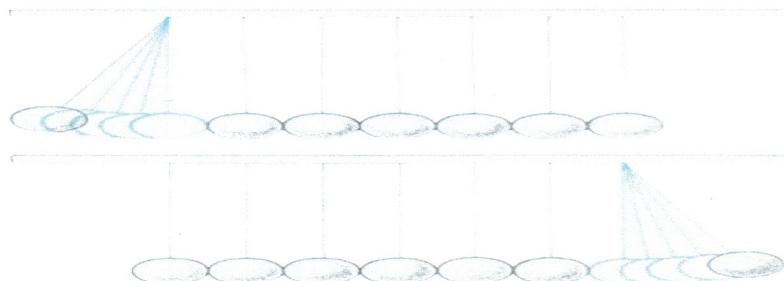
II-C/ INTERACTION DES ONDES SONORES AVEC LA MATIERE.

III/ LE SON COMPLEXE.

IV/ LE BRUIT.

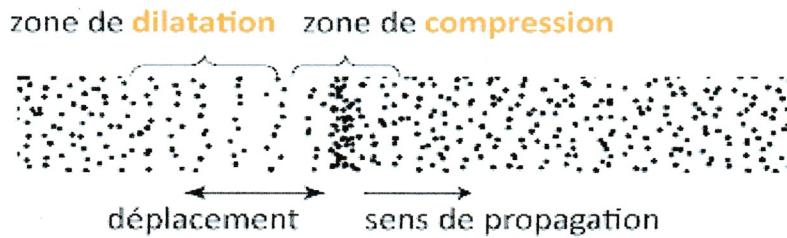
I/INTRODUCTION :

- L'acoustique est le domaine qui étudie les propriétés des ondes sonores, leur production, leur propagation et leurs effets.
- le son est une vibration acoustique qui se transmet depuis une source, jus qu'à un récepteur (oreille) engendrant ainsi une sensation auditive.
- l'onde sonore est une onde mécanique générée par la mise en vibration des molécules d'un milieu matériel (solide, liquide ou gazeux) et qui se propage de proche en proche.
- supposant que ce milieu matériel est l'air ; donc une particule d'air qui vibre va se déplacer - avec une vitesse instantanée différente de la vitesse de propagation de l'onde sonore (la célérité) - et déplace la particule voisine ; celle-ci va repousser la première vers sa position initiale ; la seconde particule déplacée va déplacer une troisième, etc. de proche en proche (**fig.1**).
- donc, la propagation du son peut se visualiser comme une vibration des éléments d'un milieu autour d'une position d'équilibre : il s'agit d'un transfert d'énergie sans transfert de matière.



(Fig.1).

- cette propagation s'accompagne d'une variation de la pression du milieu traversé entraînant ainsi des zones de compression et de dilatation (dépression) (**fig.2**).
- dans le vide, l'onde sonore ne peut plus se propager.



(Fig.2)

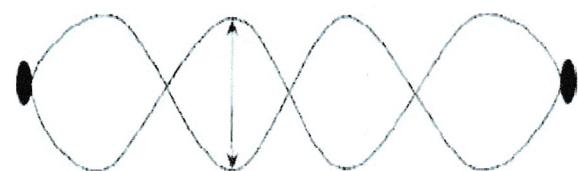
-L' onde sonore peut être transverse ou longitudinale :

- **Onde transverse** : si la vibration de particule est perpendiculaire à la propagation de l'onde sonore.

exemples :

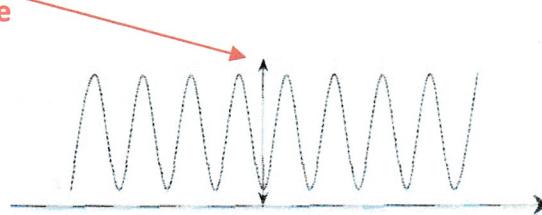


Vagues à la surface de l'eau



Corde vibrante

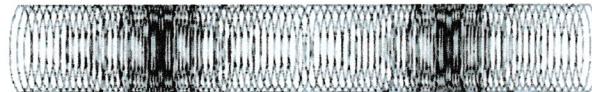
Mouvement vibratoire



Direction de propagation

- **Onde longitudinale** : si la vibration de particule est parallèle à la propagation de l'onde sonore.

Exemple : mouvement d'un ressort



II/ LE SON PURE

II-A/ DEFINITIONS

- Le son pur constitue la forme la plus simple des sons.
- il est caractérisé par **une vibration sinusoïdale périodique** des particules du milieu matériel.
- exemple : un son émis par un diapason (**fig.3**)



Fig.3: un son émis par un diapason

- La particule mis en mouvement est caractérisée par :

- L'elongation :

-déplacement de la particule autour de sa position d'équilibre.

- c'est une fonction sinusoïdale du temps, telle que : $x = a \sin (\omega t)$.

(a) = L'amplitude (l'elongation maximale.)

(ω) = La pulsation ou vitesse angulaire : $\omega = 2 \pi f$.(f : la fréquence); elle

est exprimée en radian/seconde (2π radians = 360°)

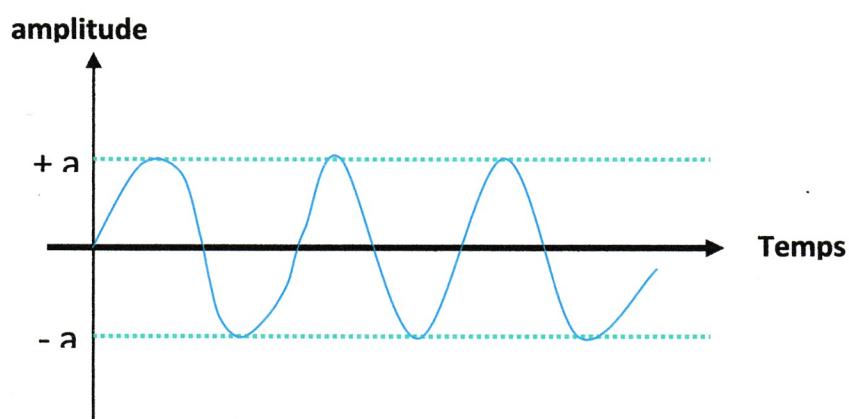


Figure 4 : État vibratoire d'une particule en un point.

- **La vitesse dite vibratoire ou vitesse instantanée :**

-c'est la vitesse locale d'une particule mise en mouvement de vibration.

-elle correspond à la dérivée par rapport au temps de la fonction de déplacement

$$x = a \sin (\omega t) :$$

$$v = dx/dt = a \omega \cos (\omega t)$$

- cette vitesse est à distinguer de la vitesse de propagation de l'onde sonore qui est la célérité.

- **L'accélération:**

-L'accélération est définie comme étant :

$$\gamma = dv/dt = \Rightarrow \gamma = d [a \omega \cos (\omega t)/dt]$$

$$\Rightarrow \gamma = -a \omega^2 \sin \omega t$$

II-B/CARACTERISTIQUES PHYSIQUE DE L'ONDE SONORE :

1. La période (T) -C'est le temps au bout duquel le phénomène se reproduit identiquement à lui-même telle que : $T = 1/f$ (seconde).

2. La fréquence(f):

-C'est le **nombre de cycles(vibrations) par seconde**

- $f = 1/T$;elle est exprimée en **Hertz** (1Hz =1cycle /s) .

-selon la valeur de la fréquence on distingue : les infrasons ,les sons audibles et les ultrasons (fig5)

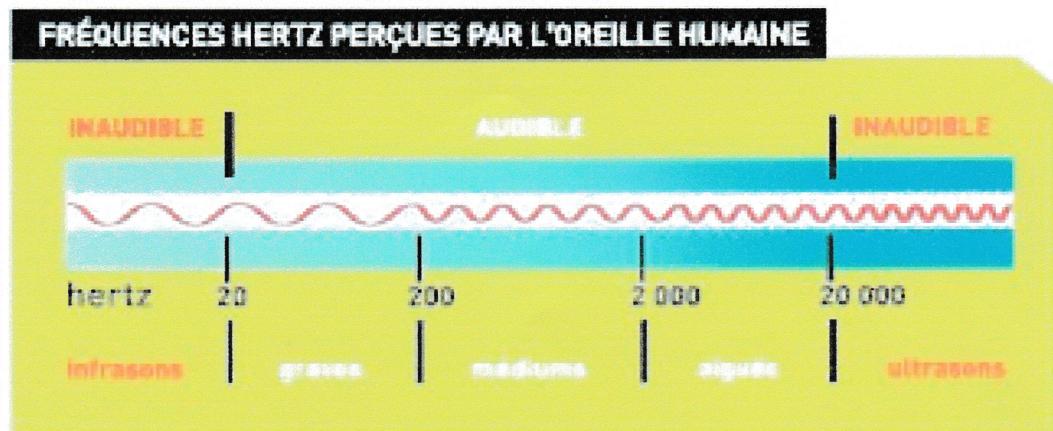


Fig5 :classification des sons en fonction de leurs fréquences

-les sons audibles sont classés en trois types :

- sons graves (20 - 200 Hz)
- sons medium (200 - 2000 Hz)
- sons aigue (2000 - 20000 Hz)

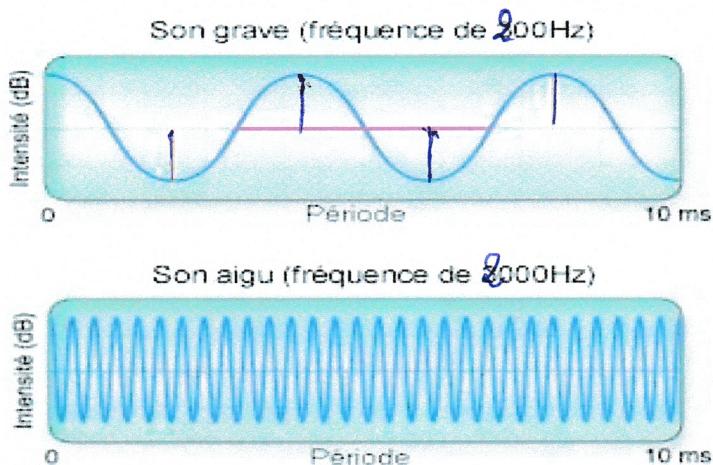


Fig6 :le sons aigue et le son grave

3. la longueur d'onde (λ) : c'est la distance parcourue par l'onde durant l'intervalle d'une période telle que $\lambda = C \cdot T$.

4. l'amplitude :

c'est une grandeur qui renseigne sur l'énergie transportée par une vibration. Elle caractérise directement l'intensité du son c'est-à-dire son volume.

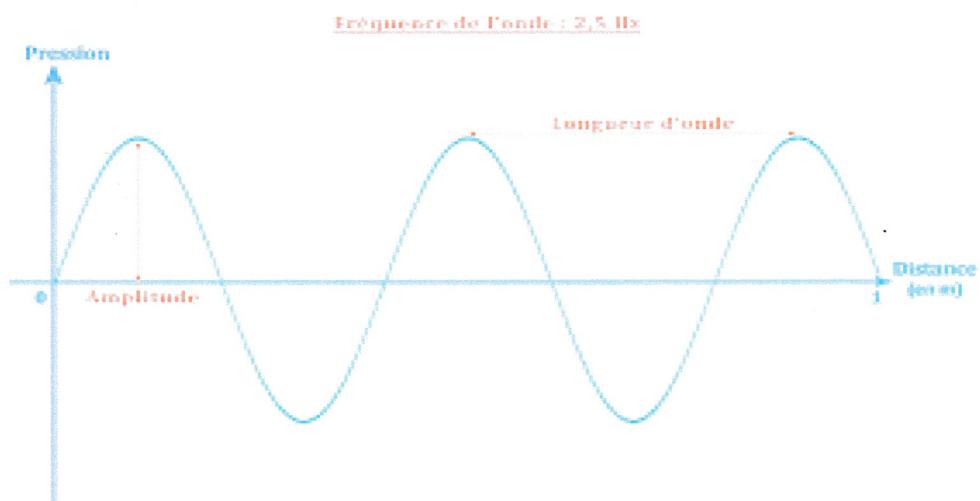


Fig7 : fréquence et amplitude de l' onde sonore

5. La célérité :

c'est la vitesse de propagation l'onde acoustique:

l'air	l'eau
$C=344 \text{ ms}^{-1}$ à 20°C	$C= 1500 \text{ ms}^{-1}$ à 20°C
$C=331.4 \text{ ms}^{-1}$ à 0°	

TABLEAU 1 : variation de la célérité du son d'un milieu à un autre et en fonction de la température

6. La pression acoustique (p):

- Au repos, les molécules d'air sont soumises à la pression atmosphérique.
- la vibration de ces molécules s'accompagne de variations périodiques de la densité de la matière (zones de compression et de dépression) que l'on peut traduire en termes de pression : **pression acoustique (fig8)**.

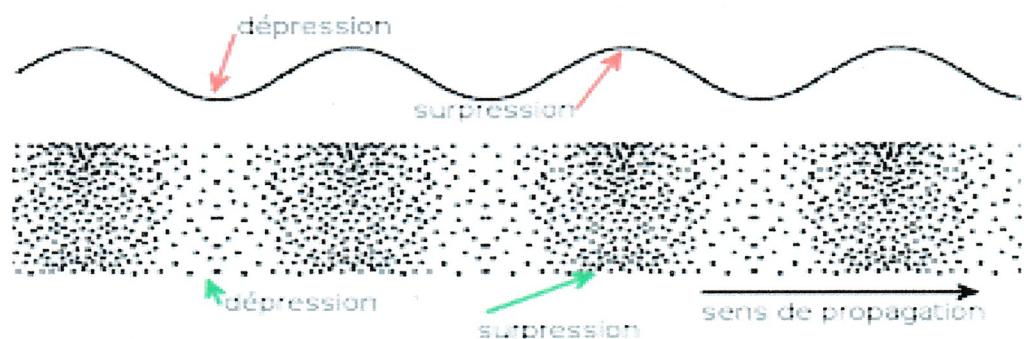


Fig8 : variation de la pression acoustique

- La pression totale (p_T) au qu'elle sont soumises les particules d'air mises en mouvement
 $=$ pression atmosphérique (p_0) + pression acoustique (p).

$$p_T = p_0 + p$$

-le pression acoustique peut être exprimée en fonction de la vitesse instantanée, la masse volumique du milieu de propagation et la célérité tel que $p = v \cdot \rho \cdot C$

-les pressions acoustiques audibles sont comprises entre **20µ pascal (seuil d'audibilité)** et **20pascale (seuil douloureux)** donc varie dans un rapport de 10^6 .

7. L'IMPEDANCE ACOUSTIQUE :

C'est une résistance du milieu matériel à la propagation des ondes sonores.

$$Z = \rho \cdot C \text{ (Kgm}^{-2}\text{s}^{-1} \text{ ou en RAYL).}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} p = v \rho \cdot C \\ \Rightarrow Z = \frac{p}{v} \\ Z = \rho \cdot C \end{array} \right.$$

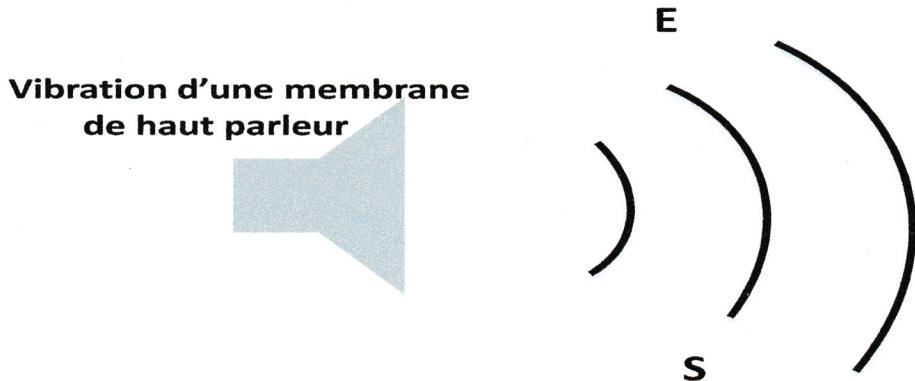
8. ENERGIE ACOUSTIQUE, PUISSANCE ACOUSTIQUE SURFACIQUE ET INTENSITE ACOUSTIQUE:

La propagation de l'onde sonore est une propagation d'énergie acoustique :

➤ puissance acoustique surfacique :

-L'onde sonore transporte de l'énergie mais elle perd toujours un peu au cours de sa propagation.

-Soit une membrane de haut parleur, à chaque oscillation cette membrane fournit une énergie aux molécules d'air ; cette énergie est répartie sur certaine surface S.



-on appelle **puissance acoustique(P)** : l'énergie transportée par unité de temps

$$P = \frac{E}{t} \text{ (watts)}$$

-on appelle **puissance acoustique surfacique(W)** : l'énergie transportée par unité de temps et par unité de surface

$$W = \frac{P}{S} \text{ (watts. m}^{-2}\text{)}$$

$$W = Pv \quad (\text{en fonction de la pression et la vitesse})$$

$$W = \frac{p^2}{Z} \quad (\text{en fonction de la pression et l'impédance})$$

- La puissance surfacique minimale $W_0=10^{-12}$ Watts. m^{-2} (**seuil d'audibilité**)
- La puissance surfacique maximale $W=10$ Watts. m^{-2} (**seuil douloureux**)

➤ **Intensité acoustique :**

- C'est une grandeur qui caractérise la « force d'un son ».

- Physiquement, elle est représentée par la puissance acoustique surfacique donc elle est exprimée en **Watts .m⁻²**.

➤ **Le niveau de puissance acoustique surfacique (niveau d intensité sonore) ou le niveau sonore :**

-Les valeurs de puissance surfacique varient dans un rapport de 10^{13} .

-Pour réduire ce domaine de valeurs on a alors créé une nouvelle grandeur : **le niveau de puissance surfacique L ou le niveau sonore** (*L* pour « Level » in english) donné par la formule suivante :

-**Log** : logarithme décimal.

$$L = \text{Log} \frac{W}{W_0} \text{ (Bel)} \quad \text{avec} \quad - W : \text{puissance surfacique de la source sonore.}$$

- W_0 : puissance surfacique de référence.

$$(W_0 = 10^{-12} \text{ Watts.m}^{-2})$$

-le niveau sonore est exprimé en **Bel**.

-Calculons alors le niveau sonore pour le seuil d'audibilité W_0 :

$$L = \text{Log} \frac{W}{W_0} \Leftrightarrow L = \text{Log} \frac{W_0}{W_0} = 0 \text{ Bel}$$

- Calculons maintenant le niveau sonore pour le seuil de douleur :

$$L = \text{Log} \frac{W}{W_0} \Leftrightarrow L = \text{Log} \frac{10}{10^{-12}} = 13 \text{ Bel}$$

-Donc, on conclu que les valeurs de niveau sonore varient entre (0-13) Bel \Rightarrow échelle trop tassée.

-pour cela, le niveau sonore est généralement exprimé en **dixième de bel absolu ou décibel absolu**.

$$L = 10 \text{Log} \frac{W}{W_0} \text{ (dB)}$$

-on obtient donc une échelle qui varie entre (0-130) dB.

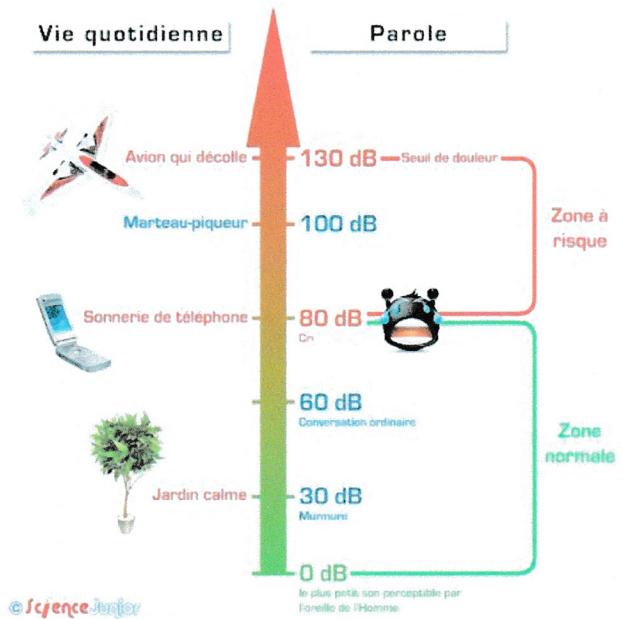


Fig 9: quelque exemple de niveaux sonores en dB absolu

➤ **Superposition de deux niveaux sonores :**

Soit deux sons ayant les caractéristiques suivants :

- Le premier son : W_1, L_1
- Le deuxième son : W_2, L_2

Le niveau de superpositions (L_s) de deux sons, sa revient pas à sommer les niveaux sonores ($L_s \neq L_1 + L_2$) mais à additionner les puissances acoustique $W_T = W_1 + W_2$.

Superposition de deux niveaux identiques :

Superposer deux sons de même niveau revient à doubler la puissance acoustique.

$$\text{On a : } L = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad \text{avec } W_1 = W_2 = W$$

$$\text{Donc } L_s = 10 \log \frac{2W}{W_0} \quad \Leftrightarrow \quad L_s = 10 \log 2 + 10 \log \frac{W}{W_0}$$

$$\Leftrightarrow L_s = 3 + L$$

Superposition de N niveaux sonores identiques :

$$L_s = 10 \log \frac{Nw}{W_0} \Leftrightarrow L_s = 10 \log N + 10 \log \frac{w}{w_0}$$

$$\Leftrightarrow L_s = 10 \log N + L$$

Superposition de deux niveaux sonores différents

$$W_T = W_1 + W_2$$

$$L_s = 10 \log \frac{W_T}{W_0} \Leftrightarrow L_s = 10 \log \frac{W_1 + W_2}{W_0} \dots \dots \dots \text{(I)}$$

$$\text{or } L_1 = 10 \log \frac{W_1}{W_0} \Rightarrow \log \frac{W_1}{W_0} = \frac{L_1}{10}$$

$$\Rightarrow W_1 = W_0 10^{\frac{L_1}{10}} \text{ et donc } W_2 = W_0 10^{\frac{L_2}{10}}$$

$$(I) \Leftrightarrow L_s = 10 \log \frac{W_0 10^{\frac{L_1}{10}} + W_0 10^{\frac{L_2}{10}}}{W_0}$$

$$\Leftrightarrow L_s = 10 \log (10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}})$$

NB: on peut comparer deux sons quelconques on obtenant des décibels relatifs tel que :

$$L_s = 10 \log \frac{W_1}{W_2} \dots \dots \dots \text{(II)}$$

$$(II) \Leftrightarrow L_s = 10(\log W_1 - \log W_2)$$

$$\Leftrightarrow L_s = 10(\log \frac{W_1}{W_0} W_0 - \log \frac{W_2}{W_0} W_0)$$

$$\Leftrightarrow L_s = 10([\log \frac{W_1}{W_0} + \log W_0] - [\log \frac{W_2}{W_0} + \log W_0])$$

$$\Leftrightarrow L_s = 10(\log \frac{W_1}{W_0} - \log \frac{W_2}{W_0})$$

$$\Leftrightarrow L_s = 10 \log \frac{W_1}{W_0} - 10 \log \frac{W_2}{W_0}$$

$$\Leftrightarrow L_s = L_1 - L_2$$

Le niveau sonore de superposition de deux sons différents représente la différence entre les deux niveaux absolus correspondants.

II-C/ INTERACTIONS DES ONDES SONORES AVEC LA MATIERE :

➤ Réflexion et transmission (réfraction) de l'onde sonore :

-Lorsqu'une onde sonore passe d'un milieu à un autre, une partie de l'énergie incidente est transmise et l'autre est réfléchie au niveau de l'interface séparant ces deux milieux.

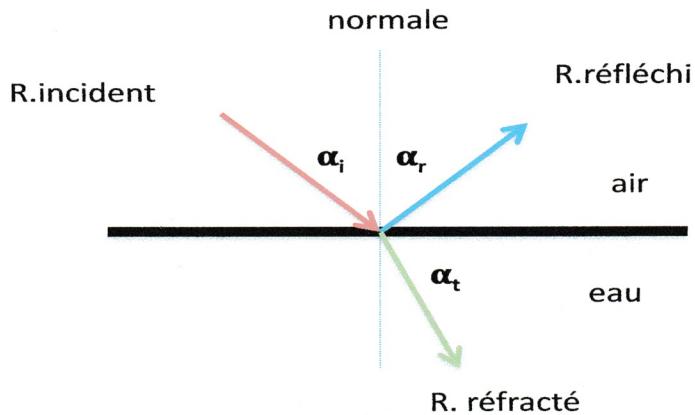


Fig10 : réflexion et transmission de l'onde sonore

α_r : angle de réflexion.

α_i : angle d'incidence.

α_t : angle de réfraction ou de transmission.

-si L'onde réfléchie repart avec un angle identique à l'angle d'incidence : $\alpha_r = \alpha_i$; on parle de réflexion spéculaire.

-Lorsque l'onde atteint la surface de séparation **perpendiculairement** ($\alpha_i = 0$) , la transmission se fait dans la même direction ($\alpha_t = 0$).

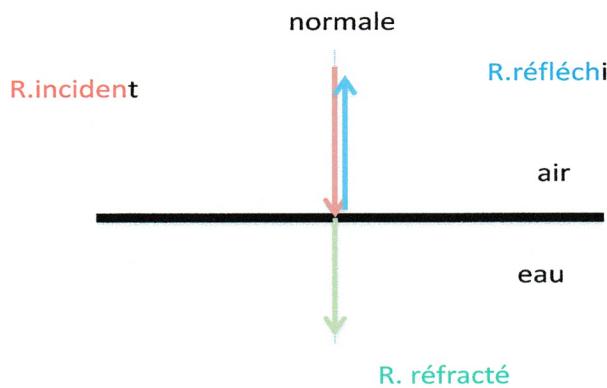


Figure 11: Cas où le rayon incident est perpendiculaire à la surface de séparation.

-Cependant, La puissance surfacique W_i se partage à la surface en 2 parties, telle que :

$$W_i = W_r + W_t.$$

Donc on définit les **pouvoirs de réflexion (R)** et de **transmission (T)**, par :

$$R = \frac{W_r}{W_i} \quad \text{et} \quad T = \frac{W_t}{W_i}$$

Par ailleurs, l'énergie n'est pas totalement transmise en raison des différences de **Z** (impédance acoustique):

Ainsi, plus les valeurs des impédances (**Z**) sont différentes, plus l'intensité réfléchie est grande, et donc une transmission mauvaise (**MUR ANTIBRUIT**).

➤ **diffraction d'un son :**

- la diffraction est la capacité d'une onde à contourner un obstacle ou à passer dans une fente. C'est grâce à ce phénomène qu'il est possible d'entendre un son émis derrière un obstacle .
- La diffraction est importante quand la fréquence est basse (longueur élevée) , c'est-à-dire que si l'auditeur est situé dans **la zone d'ombre**, il entendra mieux un son grave qu'un son aigu.
- L'importance de la diffraction dépend de la taille de l'obstacle, comparée à la longueur d'onde du son (λ) :
Si la taille de l'obstacle < λ , alors la diffraction est importante, et l'obstacle ne fait pas d'ombre , par exemple, à travers d' une grille, le son se propage comme si la grille n'existe pas.
Si la taille de l'obstacle > λ , par exemple, une montagne où la diffraction est négligeable, l'obstacle crée une zone de silence.

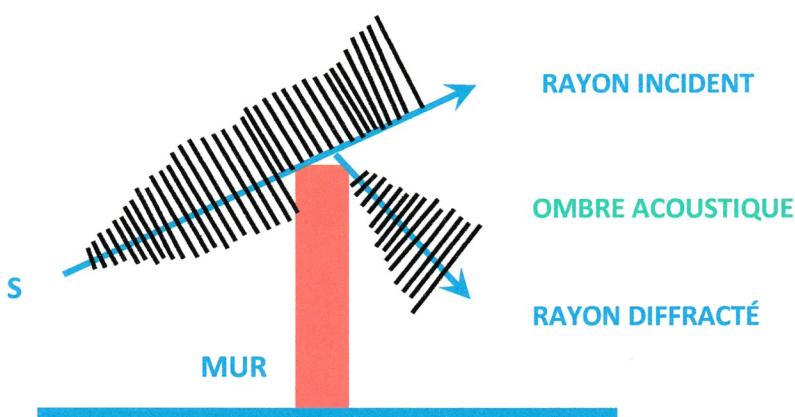


Fig11 :diffraction de l'onde sonore

➤ Absorption par le milieu

Lorsque l'onde sonore traverse un milieu d'épaisseur x , une partie de son énergie sonore est absorbée par deux mécanismes :

- viscosité du milieu (frottement des particules vibrante entre elles)
- cession sous forme de chaleur aux particules voisine.

III/ Les sons complexes :

Ils résultent de l'addition de plusieurs sons purs de fréquences et ou d'amplitudes différentes.

on distingue :

- les sons complexes périodiques non sinusoïdaux (sons musicaux).
- Le bruit.

III-a/-les sons complexes périodiques non sinusoïdaux (sons musicaux) :

Graphiquement, ce son complexe est représenté par une courbe périodique, non sinusoïdale et de forme compliquée.

Elle est la résultante de la superposition de plusieurs vibrations : la vibration fondamentale de fréquence f_1 sur laquelle se superposent des vibrations harmoniques dont les fréquences sont des multiples de la première.

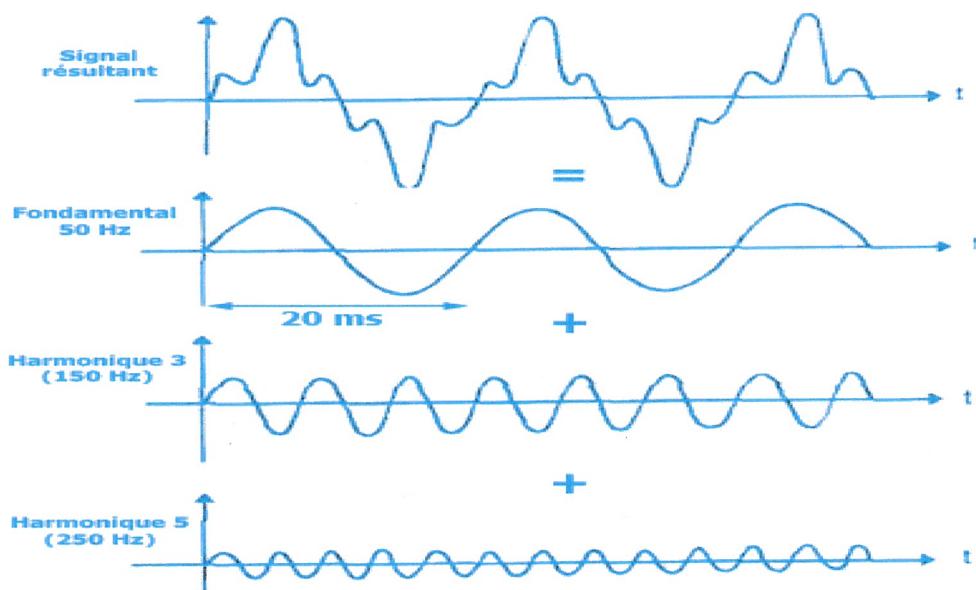


Fig12:un son complexe périodique : un son complexe formé par l'addition de trois sons purs dont les fréquences sont différentes.

III-b/ Le bruits:

Sont dus à des vibrations non périodiques.

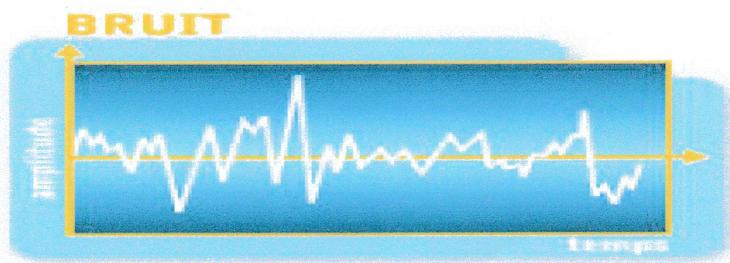


Fig13: le bruit

IV/ LES PHENOMENES SUJECTIFS DE L'AUDITION :

1- Hauteur d'un son (la tonie) :

C'est la Qualité qui permet de dire si un son est grave (basse fréquence) ou aiguë (fréquence élevée) .

2- L'intensité (la sonie) :

c'est le nom donné à la sensation qui nous fait dire si un son paraît fort ou faible.

3- timbre :

Il représente l'identité sonore, donc il permet d'identifier un son d'une façon unique. Deux sons peuvent avoir la même fréquence fondamentale et la même intensité, mais ne peuvent jamais avoir le même timbre.

Le timbre est comme le visage de la voix. Il définit la personnalité vocale et sa physiologie cachée. Il dépend de la morphologie des cordes vocales.

Exercice 1:

Quel est le niveau sonore d'une conversation dont la puissance est 10^4 W_0 ?

Exercice 2:

Quel est le niveau de superposition de deux sons de 4dB chacun

Exercice 3 :

- 1°) Calculer le niveau sonore pour une oreille qui reçoit une intensité de 100 W.m^{-2} .
- 2°) Quelle intensité ne doit pas être dépassée pour une oreille dont le seuil de douleur se situe à 130 dB ?
- 3°) Dans une conversation normale, le niveau sonore atteint 50 dB lorsqu'une seule personne s'exprime. Quel niveau est atteint :
 - a/ lorsque 2 personnes parlent simultanément ?
 - b/ lorsque 10 personnes parlent simultanément ?

Exercice 4:

Deux engins émettent une puissance acoustique de 90 dB pour l'un et 40 dB pour l'autre, quel est en décibel absolu, la puissance émise par ces deux derniers marchants ensemble ?

Exercice 5:

Le niveau sonore d'une salle est de 60 dB, sachant que le niveau sonore moyen d'une personne est de 42 dB ; combien y-a-il de personnes dans la salle ?