

Rapport écrit du TPE sur les ondes sonores

Réalisé par
Emmanuelle ROGER
Emma BOUTIER
Léa LAVERGNE
Damien SELLIER

Disponible à l'adresse <http://tpeondessonores.free.fr>

Sommaire

I. Qu'est-ce qu'une onde sonore ?

1. Définitions

- 1.1 Espace-temps
- 1.2 Amplitude et force

2. Ce que nous entendons

- 2.1 Le haut parleur
- 2.2 L'oreille
- 2.3 La perception

3. Que se passe-t'il au niveau microscopique ?

4. Questions

II. Propagation du son

1. Dans l'air

- 1.1 Vitesse de l'onde
- 1.2 Vitesse du son en fonction de l'altitude
- 1.3 Calcul de la vitesse du son avec un oscilloscope

2. Dans l'eau

- 2.1 Principe de la propagation sous l'eau
- 2.2 Vitesse de l'onde

3. Propagation dans les métaux

4. L'effet Doppler

III. Utilisation des ondes sonores

1. Les dauphins

2. Les chauve-souris

3. Le sonar

IV. Bibliographie

I. Qu'est-ce qu'une onde sonore ?

1. Définitions

Le son est une sensation auditive due à une vibration acoustique. Le son est émis par un émetteur et reçu par un récepteur. L'oreille humaine est un récepteur ; elle reçoit des sons de fréquence entre 15Hz et 20000Hz. Certains animaux ont des récepteurs auditifs plus sensibles. La chauve-souris est capable de recevoir des sons de fréquence supérieures à 20000Hz : ce sont des ultrasons. Un son de fréquence inférieure à 15 Hz est appelé infrason.

Le son est une onde qui se propage dans l'air, mais aussi dans un milieu liquide ou solide.

L'onde sonore représente le nombre de vibrations par seconde auquel notre oreille est soumise. Elle est généralement représentée par une variation de l'amplitude du signal électrique en fonction du temps. Plus le nombre de vibrations est important, plus la fréquence paraît aiguë.

Plusieurs types d'ondes sonores existent. L'onde longitudinale se déplace dans le sens de la vibration comme les ondes sonores dans l'air. L'onde transversale se déplace perpendiculairement au sens de la vibration. Les ondes produites par la corde d'un instrument de musique sont transversales. L'onde torsionnelle se déplace dans le sens axial de la vibration.

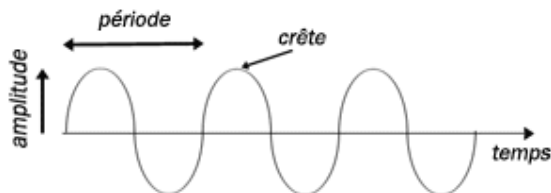
Beaucoup de phénomènes physiques se transmettent sous la forme d'ondes. Les ondes mécaniques (vibrations mécaniques, ondes sonores, vagues à la surface de l'eau, ondes sismiques...), où se propage un état de tension, de vitesse et de pression. Les ondes électromagnétiques (lumière, ondes radio, infrarouge, ultraviolet, rayon X, rayon gamma...) où se propage un état de champs électrique et magnétique. Les ondes de spin où se propage un état d'orientation d'atomes...

Lors de la propagation d'une onde d'un point vers un autre, il n'y a pas de transport de matière (les vagues ne font pas avancer le bateau). L'onde ne transporte que de l'énergie, Un point atteint par une onde, reproduit l'état de la source avec une amplitude moindre et un retard du à la durée nécessaire à l'onde pour parcourir la distance qui le sépare de la source.

Pour qu'une onde se propage, il faut :

_ Que le milieu environnant la source permette la propagation de l'onde. Une onde sonore ne peut pas se propager dans le vide.

_ Que la source soit dans un état vibratoire comme la corde vibrante d'un instrument de musique.



1.1 Espace-temps

Comme en musique, le temps joue un rôle fondamental en acoustique. Il existe même des relations très étroites entre l'espace et le temps. Cela est dû au fait que le son est une onde qui se propage dans l'espace au cours du temps. A ce stade, on distingue trois grandes classes de signaux acoustiques.

- Périodiques: Signaux dont la forme se répète dans le temps
- Aléatoires : Signaux qui n'ont pas de caractéristiques périodiques. Dans ce qui suit, et d'une manière générale, on ne s'intéressera qu'à un ensemble restreint de ces signaux; ceux qui ont des caractéristiques statistiques stables dans le temps. On les appelle signaux aléatoires ergodiques. Concrètement c'est le cas des bruits "blanc ou rose" utilisés par les scientifiques et certains artistes.
- Impulsionnels: Signaux qui ne se répètent pas dans le temps et ont une forme déterminée.

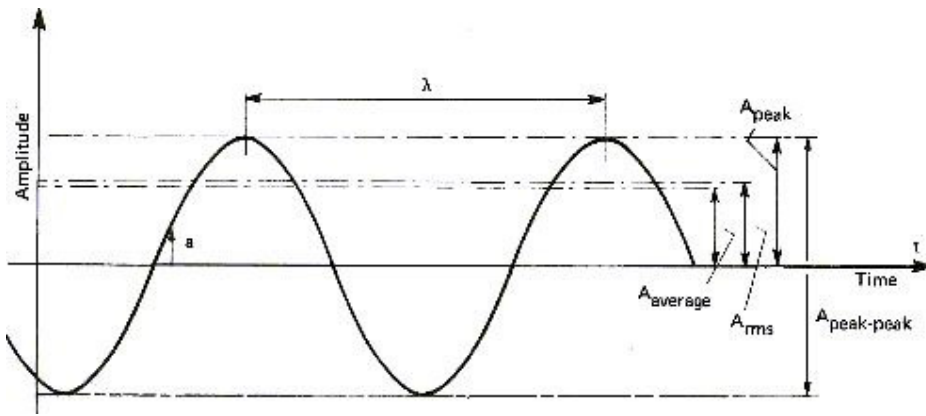
1.2 Amplitude et force

Une autre caractéristique importante d'un son est son amplitude. Il peut être fort ou doux. Dans l'air cela correspond à des variations de pressions grandes ou petites selon que l'air est fortement comprimé ou non. En acoustique, la force d'un son se mesure en décibel. Le décibel a été choisie ainsi parce que cela permet d'avoir des chiffres aisément manipulables et parce que cette formule logarithmique correspond à ce que perçoit l'oreille humaine.

Les décibels expriment la puissance acoustique d'un son. 0 décibel correspond au minima que l'oreille humaine peut percevoir et non à l'absence de sons. Les décibels représentent en effet une mesure relative du bruit par rapport à ce que peut entendre un humain.

Il existe plusieurs façons de mesurer l'amplitude d'un son d'un signal quelconque de nature ondulatoire.

La figure suivante illustre cela:



Pour éliminer les fréquences gênantes, on utilise des filtres. Filtre est un terme assez large qui dénomme un appareil capable de retenir ou de transformer une partie d'un son. On utilise par exemple des filtres passe-bas pour supprimer les hautes fréquences, inaudibles mais gênantes pour l'acquisition (les hurlements des chauves-souris). Voici un schéma qui donne les principales caractéristiques d'un filtre:

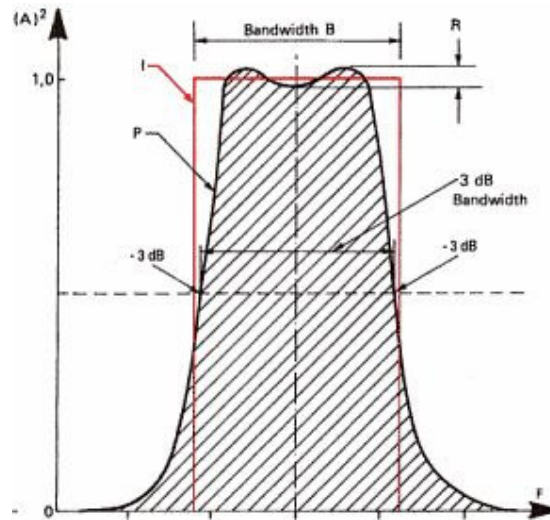


Figure 9: Filtre pratique et théorique.

I: Filtre idéal

P: Filtre pratique

R: Ondulation

B: Bande passante efficace

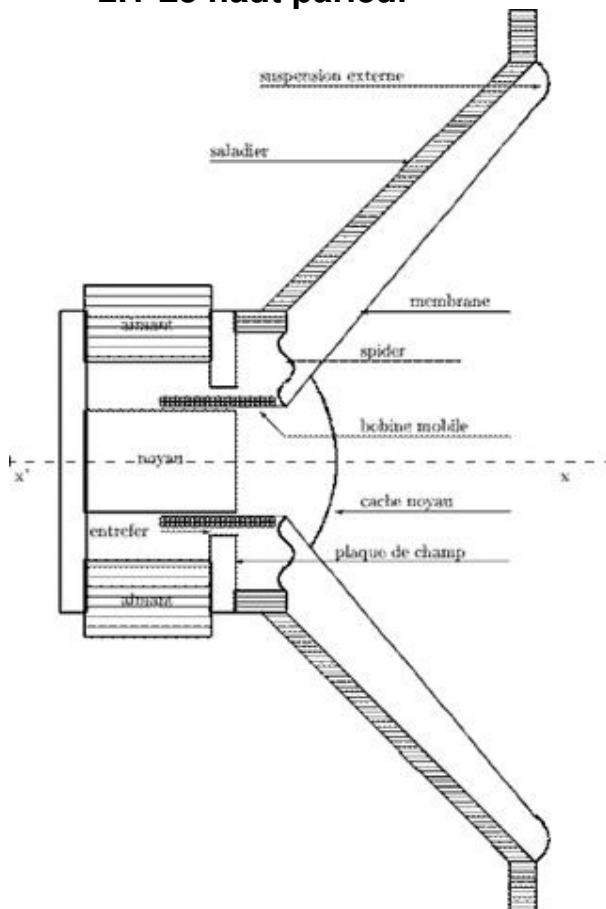
Un filtre se comporte comme un manipulateur de signal et ceci a des effets à la fois sur la forme temporelle de l'onde et sur son spectre. Ainsi un signal carré à 100 Hz que l'on filtre à 200 Hz deviendra une sinusoïde à 100 Hz car on lui aura enlevé la partie supérieure de son spectre. De la même manière, une note de piano à 1000 Hz sonnera comme un vulgaire sifflet si elle est filtrée à 1200 ou 1500 Hz. La fréquence de base du signal est appelée fondamentale. Les autres sont des multiples de cette fondamentale et sont appelées harmoniques. Coté temporel, un

filtre introduit aussi des modifications appelées distortions. Cela provient principalement du retard que prennent les harmoniques les unes par rapport aux autres.

2. Ce que nous entendons

Le son est reçu par un récepteur. Chez l'homme, ce récepteur est l'oreille. Cependant, l'oreille est très complexe, et la sensation auditive varie d'un individu à l'autre. De plus, l'oreille humaine ne peut percevoir tous les sons : elle est sensible à certaines fréquences (15Hz à 20000Hz). De nombreux animaux ont une sensation auditive plus développée que l'homme (la chauve-souris, le chat, le dauphin...) Nous étudierons dans un premier temps, le haut-parleur qui est un émetteur de son. Puis, nous verrons l'importance du rôle de l'amplitude et la force du son, ainsi qu'un schéma explicatif de l'oreille. Nous étudierons, seulement en surface car c'est un sujet très subjectif, la perception du son.

2.1 Le haut parleur

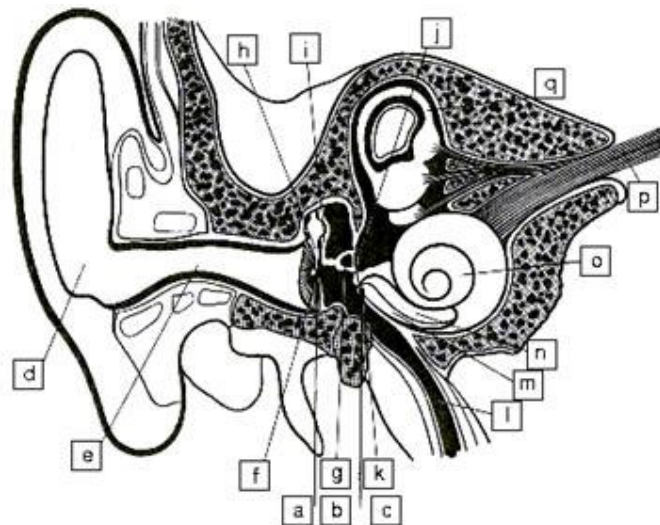


Le haut parleur est un système électromagnétique. Le champ magnétique et le courant, fournis par l'amplificateur créent une force qui anime la membrane. Cette force circule dans la bobine mobile. La membrane et la bobine mobile sont fixées ensemble. Il en est de même pour le saladier et le moteur : ils sont solidaires l'un de l'autre. Ils sont fixés sur la face avant de l'enceinte, c'est-à-dire le baffle. Le moteur est en fait l'ensemble des aimants qui créent un champ magnétique dans la partie inférieure du haut-parleur. L'ensemble bobine mobile membrane et l'ensemble saladier moteur est lié l'un à l'autre par des suspensions, l'une s'appelle le spider et l'autre s'appelle la suspension périphérique. Les suspensions guident les parties mobiles vers leurs positions d'équilibre. Le cache noyau est destiné à empêcher les poussières magnétiques de se déposer dans l'entrefer. On branche les fils électriques dans le bornier.

2.2 L'oreille

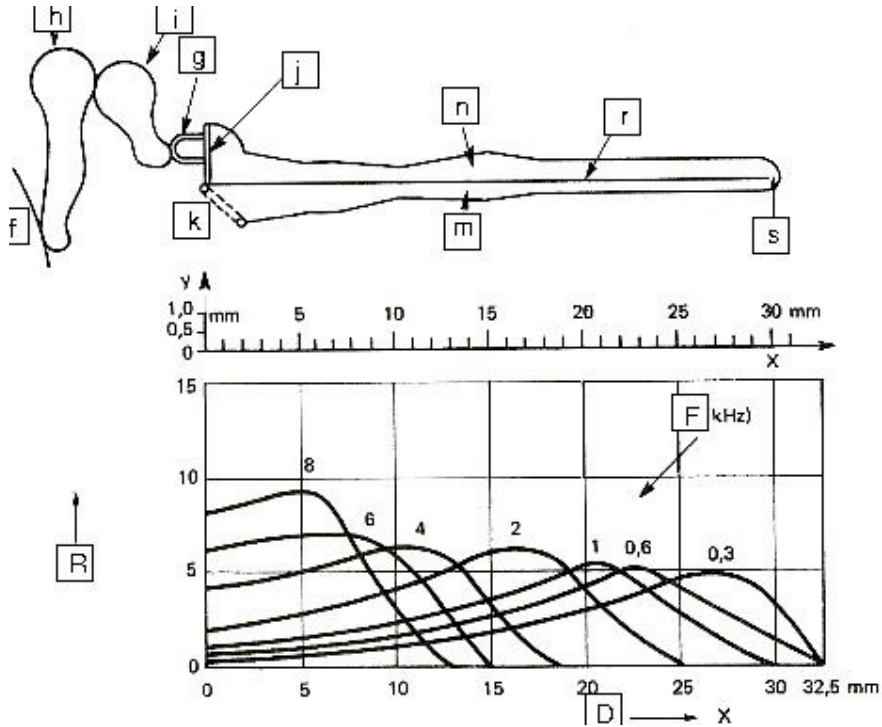
Pour mieux appréhender l'acoustique et les sons, analysons d'un peu plus près l'organe qui nous sert à les percevoir: l'oreille. La figure 12 représente une section de l'oreille. Le son est capté dans le pavillon et traverse le conduit auditif jusqu'au tympan qui se comporte à quelque chose près comme un microphone. Les vibrations du tympan sont amplifiées par les trois osselets appelés le marteau, l'enclume et l'étrier.

Principales parties de l'oreille



a) Oreille externe	j) Fenêtre ovale
b) Oreille moyenne	k) Fenêtre ronde
c) Oreille interne	l) Trompe d'eustache
d) Pavillon	m) Scala Tympani
e) Conduit auditif	n)Scala vestibulli
f) Tympan	o) Cochlée
g) Etrier	p) Fibre nerveuse
h) Marteau	q) Canaux semi-circulaires
i) Enclume	

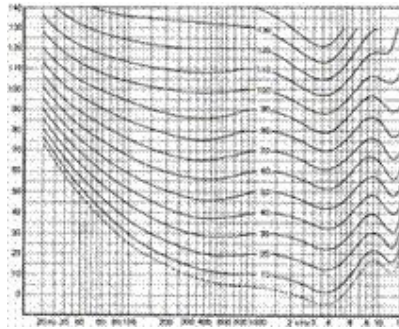
Les mouvements de l'étrier sont transmis, via la fenêtré ovale et le vestibule, au limaçon aussi appelé cochlée. Le limaçon contient deux chambres séparées par la membrane basilaire, elle-même recouverte des cellules cillées sensibles aux vibrations et reliées au nerf auditif. La membrane basilaire agit comme un filtre spatial. Ainsi les portions du limaçon ont différentes sensibilités selon les fréquences ce qui permet au cerveau de différencier la hauteur des sons.



Section de la cochlée

2.3 La perception

Le rôle du cerveau est particulièrement important car il fournit un gros travail d'analyse pour reconnaître les sons, selon leur hauteur bien sûr, mais aussi selon leur évolution au cours du temps. Le cerveau permet aussi la corrélation entre les deux oreilles afin de situer le son dans l'espace. Ainsi si une de nos oreilles est trop près de la source musicale, elle s'annule. C'est notre cerveau qui nous permet de reconnaître un instrument ou une personne précise et de les situer dans l'espace. Il semble qu'une grande partie du travail effectué par le cerveau soit apprise. La figure 15 montre comment nous percevons l'intensité des sons en fonction des fréquences.



Niveaux d'égalité d'intensité

Il existe de grandes disparités entre les individus et plusieurs facteurs influencent directement l'audition:

- l'expérience: être musicien ou pas par exemple.
- l'exposition au bruit.
- l'âge.

Les ondes sonores, selon leurs fréquences (amplitudes, forces...) nous parviennent en des sons différents. Si la fréquence est élevée, notre oreille percevra un son aiguë. Les ondes sonores nous transmettent donc une énergie. Notre oreille la reçoit, notre cerveau la décode. En résultat, nous entendons un son.

3. Que se passe t'il au niveau microscopique ?

Une onde sonore est une onde mécanique : elle est constituée d'énergie qui se propage en faisant vibrer et osciller les molécules de l'air. (D'ailleurs, dans l'espace, là où il n'y a pas d'air, il n'y a pas d'ondes sonores, donc pas de son.)

Les ondes, qu'elles soient mécaniques ou électromagnétiques, ont la faculté de transporter de l'énergie d'un point à un autre sans qu'il y ait transfert de matière. Quand nous parlons, par exemple, notre voix émet une impulsion sonore qui met en mouvement les molécules d'air à la sortie de notre bouche. L'oscillation de ces molécules d'air déclenche l'agitation de leurs voisines, qui font vibrer à leur tour les molécules qui leur sont proches. L'énergie de l'onde sonore se propage ainsi de proche en proche, sans que les molécules ne voyagent véritablement, jusqu'à ce que le son atteigne l'oreille de notre interlocuteur. Tout comme les vaguelettes qui se forment sur un lac quand on y lance une pierre, les ondes sonores sont des ondes mécaniques.

Questions :

Pourquoi le son traverse-t-il les murs ?

Lorsqu'une onde sonore rencontre un mur, les molécules d'air transmettent leur énergie aux atomes de la surface du mur, qui eux-mêmes la communiquent aux atomes voisins, et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'onde sonore ait traversé la paroi. Une fois de l'autre côté, les atomes de la surface opposée transfèrent leur énergie aux molécules d'air et l'onde sonore poursuit sa course jusqu'à notre tympan.

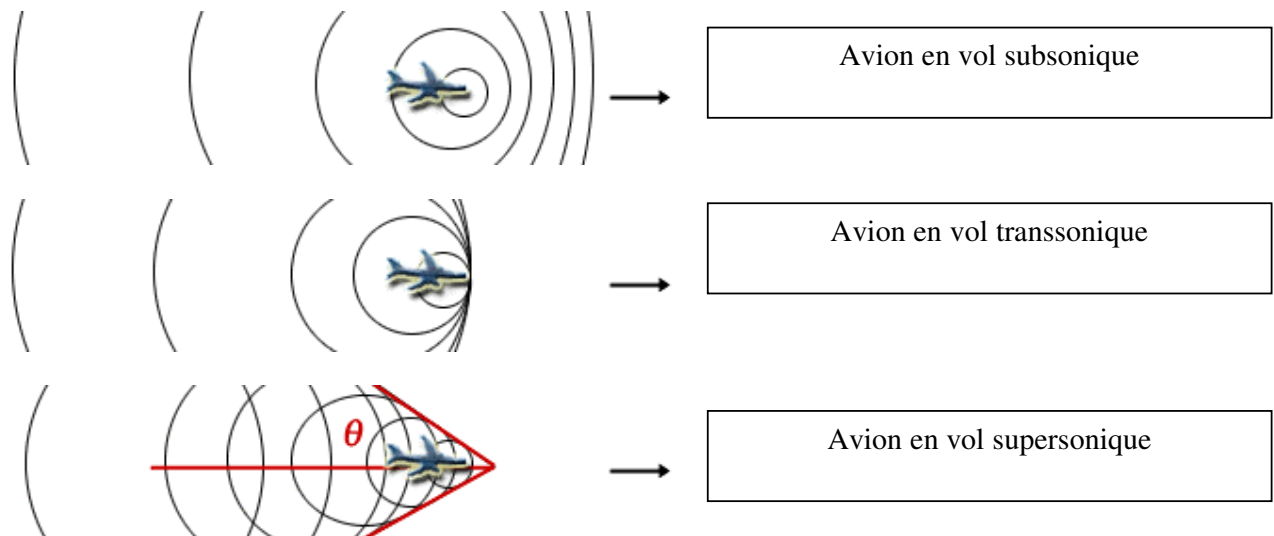
Pourquoi n'y a-t-il pas de bruit dans l'espace?

Le bruit est une onde sonore qui naît et se propage dans un milieu matériel - comme l'eau, l'air, les murs, etc. L'espace étant, contrairement à l'atmosphère terrestre, dépourvu de matière, il est condamné à demeurer silencieux...

Qu'est-ce que le mur du son?

L'expression "mur du son" fait partie du folklore de l'aviation. Lorsque les premiers avions approchaient la vitesse du son, à 1200 km/h, les vibrations devenaient telles que le pilote perdait parfois le contrôle de son appareil et celui-ci pouvait même se disloquer en plein vol. Des douzaines de pilotes ont d'ailleurs perdu la vie en tentant de franchir le fameux mur du son. À cette époque, dépasser la vitesse du son semblait assez problématique et l'expression "mur du son" est passée dans le vocabulaire courant. Le 14 octobre 1947, le pilote américain Chuck Yeager réussira finalement à dépasser la vitesse du son à bord de l'avion expérimental X-1. L'ère du vol supersonique venait de sonner.

Lorsqu'un avion atteint la vitesse du son (aussi appelé MACH 1, en l'honneur du physicien autrichien Ernst Mach), il se produit un phénomène intéressant : on n'entend plus l'avion s'approcher parce que ce dernier va plus vite que les ondes sonores. Au lieu de se diffuser au devant de l'avion, les ondes sonores forment un cône derrière l'avion. Ce cône est une onde de choc. À son passage, on ressent un changement soudain dans la pression de l'air - et on entend surtout le boum sonore caractéristique. Un avion supersonique traîne toujours derrière lui cette onde de choc en forme de cône et on entend le boum partout où l'onde passe. Ce qu'il faut se rappeler, c'est que le boum sonore n'apparaît pas uniquement au moment où l'avion traverse le mur du son, mais bien en tout moment lorsque sa vitesse dépasse celle du son et que l'onde de choc passe au-dessus de nous.

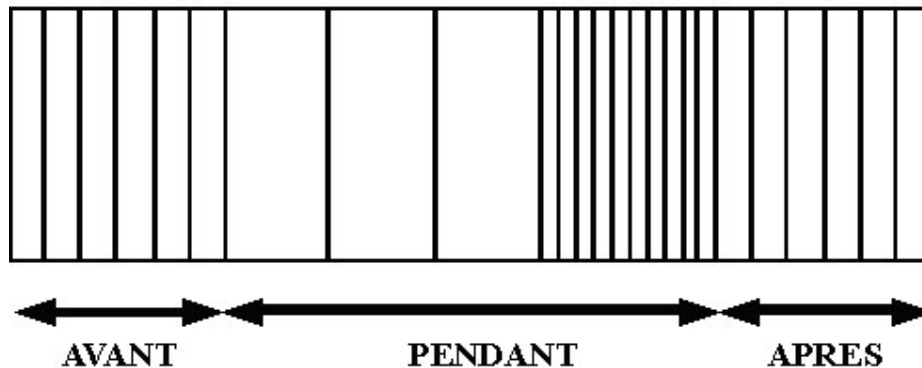


II. Propagation du son

Introduction :

Une onde sonore peut se déplacer dans n'importe quel milieu. Ces ondes sont dites ondes de compression-décompression, ce qui signifie qu'elles ne modifient pas le milieu qu'elles traversent. L'onde va en fait "compresser" puis "décompresser" le milieu, le laissant ainsi inchangé après le passage. Le schéma ci-dessous illustre les conséquences, ou plutôt les effets observés sur le milieu, lors du passage d'une onde sonore.

LE MILIEU :



LE PASSAGE DE L'ONDE SONORE

Le milieu de propagation (ici, symbolisé par des bâtons) peut être un liquide, un solide ou un gaz. La nature de ce milieu se détermine par la vitesse de propagation de l'onde. En effet, celle-ci varie selon les différents milieux :

1. Dans l'air

1.1 Vitesse de l'onde

La vitesse de propagation du son dans l'air sec, c'est à dire à une température de 0°C, est de 331.6 m/s. La vitesse du son augmente lorsque la température augmente (par exemple, à 20°C, la vitesse du son est de 334 m/s). Dans un milieu de densité constante, la variation de pression ne fait pas varier la vitesse de propagation des ondes sonores. Cependant, la vitesse dépend de la densité du gaz : si les molécules du gaz sont très lourdes, elles auront du mal à se déplacer et le son se déplacera donc moins vite. Plus le gaz est dense, plus la vitesse de propagation du gaz sera lente dans un liquide ou un solide. Ainsi, le son se propage généralement plus vite dans un liquide ou dans un solide que dans l'air.

=>La vitesse du son est proportionnelle à la racine carrée de l'élasticité du milieu.

Quelques valeurs:

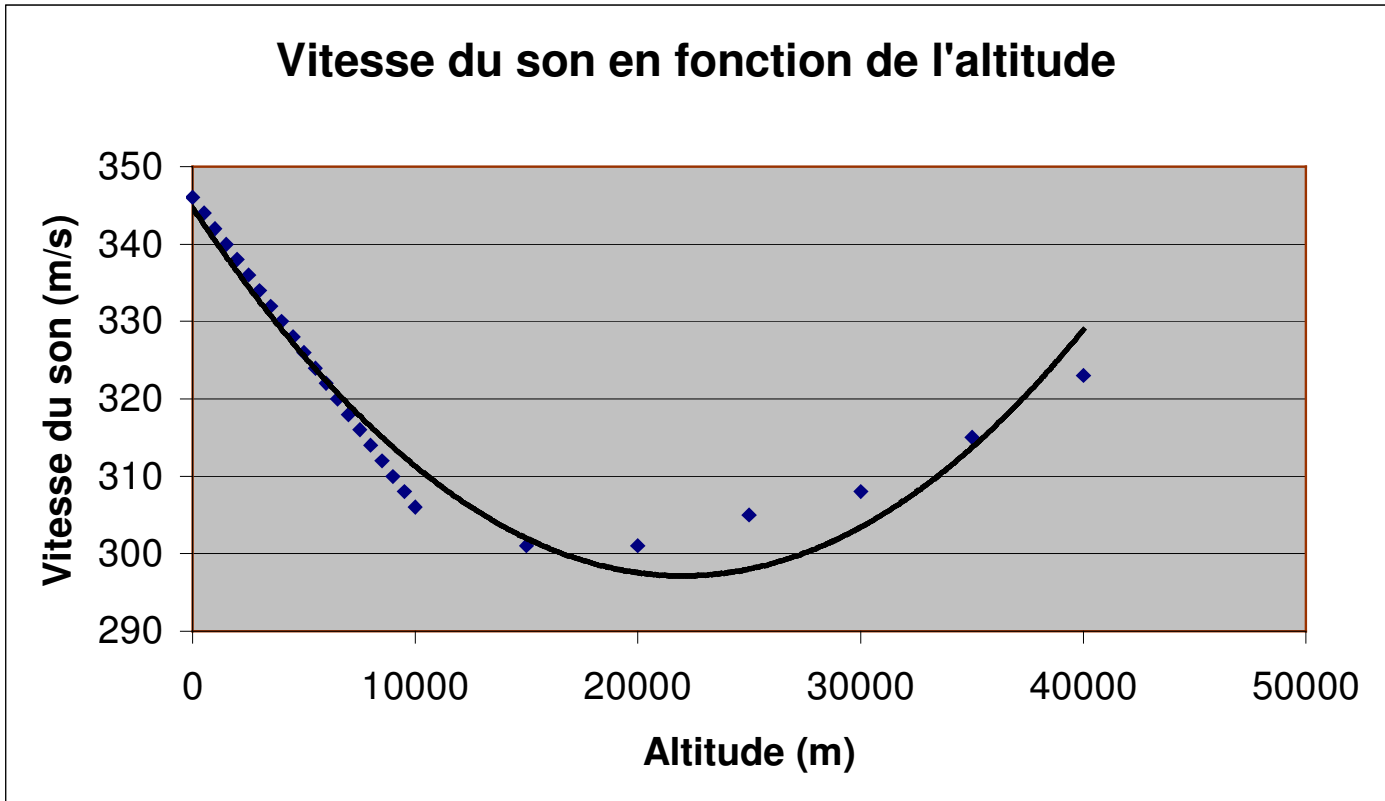
- Milieu Gazeux:

Air (20°C)	Air (0°C)	Hydrogène (peu dense)	CO2 Gaz « lourd »
334 m.s ⁻¹	321.29 m.s ⁻¹	1270 m.s ⁻¹	258 m.s ⁻¹

1.2 Vitesse du son en fonction de l'altitude

Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la vitesse du son en fonction de l'altitude.

La température au sol est alors de 20 °C. Les résultats suivants ont été obtenus à partir d'un simulateur et des données de la page d'après.



Remarques :

On s'aperçoit que cette vitesse diminue régulièrement jusqu'à 10000 mètres d'altitude.

On remarque en revanche que elle augmente après. Le tableau des données ci-dessous informe qu'une hausse de température accompagne l'augmentation de la vitesse. Les deux paramètres ont agi de concert. On peut donc supposer un lien entre les deux.

Ces données ont servi à réaliser le graphique

température (°C)	altitude (mètres)	Vitesse du son (m/s)
25	0	346
21.75	500	344
18.5	1000	342
15.25	1500	340
12	2000	338
8.75	2500	336
5.5	3000	334
2.25	3500	332
-1	4000	330
-4.25	4500	328
-7.5	5000	326
-10.75	5500	324
-14	6000	322
-17.25	6500	320
-20.5	7000	318
-23.75	7500	316
-27	8000	314
-30,25	8500	312
-33.5	9000	310
-36.75	9500	308
-40	10000	306
-46.5	15000	301
-46.5	20000	301
-41.5	25000	305
-36.5	30000	308
-26.1	35000	315
-12.1	40000	323

1.3 Calcul de la vitesse du son avec un oscilloscope :

On peut mesurer la vitesse du son dans toutes les expériences où il est possible de mesurer la longueur d'onde (Tube de Kundt par exemple) quand on connaît la fréquence du son émis :

$$\text{célérité} = \text{longueur d'onde} \times \text{fréquence.}$$

On peut mesurer directement la vitesse du son à l'aide d'un tuyau, d'un haut-parleur, d'un microphone et d'un oscilloscope.

On place le haut-parleur à l'extrémité du tuyau et le microphone à l'autre. On déclenche l'oscilloscope (trigger) à l'aide du haut-parleur branché sur "trigger ext." et le microphone est branché sur "une voie". Il suffit d'envoyer sur le Haut-parleur une impulsion ; l'oscilloscope déclenche et on voit apparaître l'impulsion décalée dans le temps sur l'écran de l'oscilloscope.

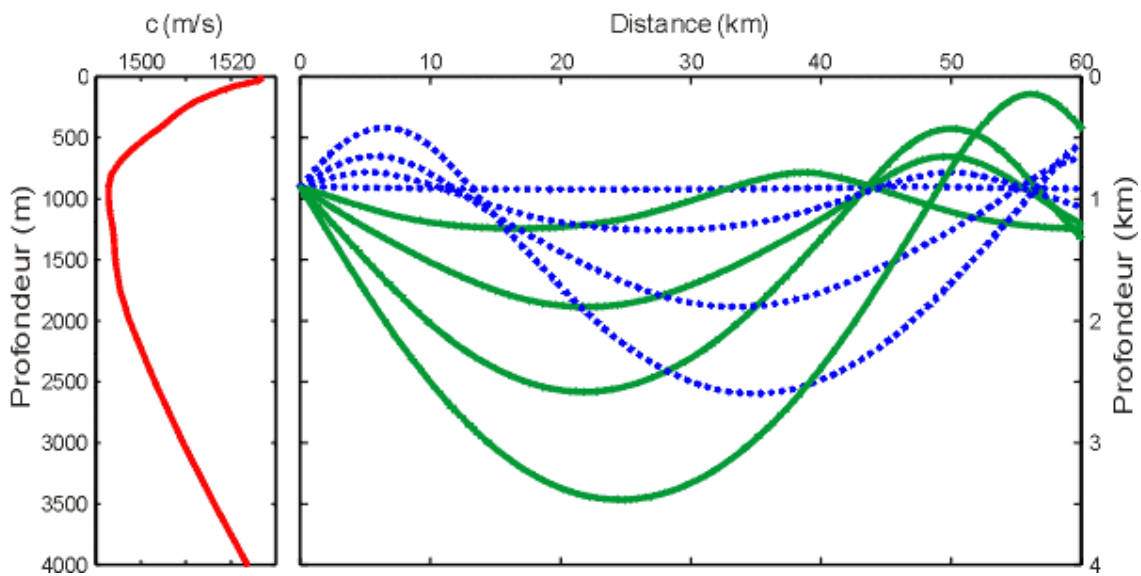
Connaissant la longueur **L** du tuyau et le temps **T** (décalage de l'impulsion mesuré sur l'oscilloscope), on en déduit la vitesse du son : **célérité = L / T**. Elle est de 340 m/s à 15°C (moins si la température est plus faible ou plus si la température est plus élevée).

2. Dans l'eau

Les longueurs d'onde couramment rencontrées dans l'océan s'étendent du millimètre à environ 50 mètres. La vitesse du son dans l'eau étant approximativement égale à 1500 m.s^{-1} , cela correspond à des fréquences de 30 Hz à 1,5 Mhz (la limite audible pour l'homme est de 20 KHz). La célérité des sons dans l'eau est fonction de la température, la pression et la salinité.

2.1 Principe de la propagation dans l'eau

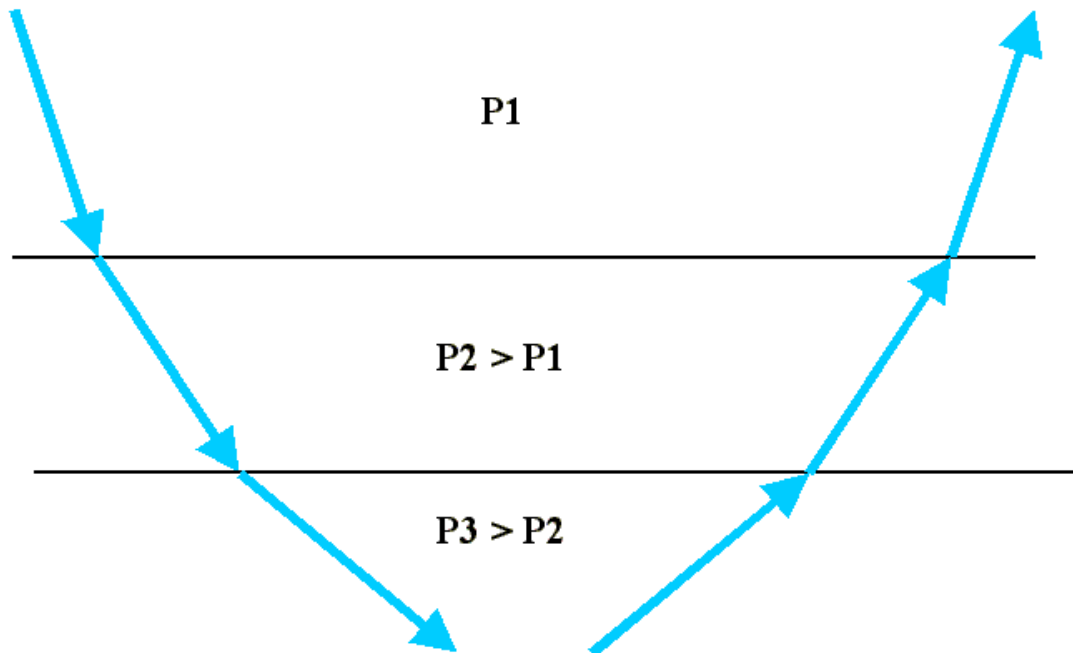
Dans l'eau l'onde sonore se déplace dans toutes les directions des 3 dimensions. Sa célérité dépend beaucoup de la nature du milieu marin ; or la mer est sujette à de nombreuses variations (pression, salinité) qui engendrent une trajectoire irrégulière



Propagation de rayons acoustiques émis à partir d'une source à 900 m de profondeur. En pointillés : rayon émis vers le haut (0 à 7°); en traits pleins : rayons émis vers le bas (2 à 12°). A gauche le profil de vitesse du son correspondant.

De sorte que, dans l'eau, les sons épousent des trajectoires sinusoïdales.

La pression augmente avec la profondeur
 Ici, on simplifie en modélisant par tranches pour des pressions différentes
 Chaque tranche constitue un milieu d'indice différent
 Au passage d'une tranche à la suivante (dioptre)
 Il y a phénomène de réfraction sur les dioptres
 selon la loi de Snell-Descartes: $n \sin i = n' \sin i'$



2.2 Vitesse de l'onde

Célérité :

$$c = 1449,2 + 4,6T - 0,055T^2 + 0,00029T^3 + (1,34 - 0,0107)(S - 35) + 1,58 \times 10^{-6} p$$

- c vitesse du son en m.s^{-1} ,
- T température en $^{\circ}\text{C}$,
- S salinité,
- p la pression en Pa.

3. Propagation dans les métaux

Plomb	Acier	Aluminium	Bois	Verre
1250 m.s ⁻¹	5050 m.s ⁻¹	5200 m.s ⁻¹	1000-4000 m.s ⁻¹ Selon la composition	3500-5000 m.s ⁻¹ Selon la composition

On peut se rendre compte que la vitesse du son dans un solide n'est pas directement proportionnelle à sa masse molaire, ni à sa densité ; elle dépend de plusieurs paramètres dont la température.

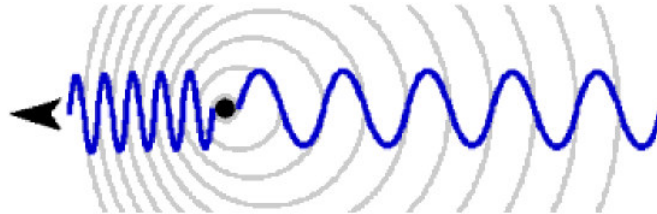
Dans ce tableau, les vitesses sont calculées pour une température ambiante de 20 °C.

Si la température augmente on constate que la valeur de ces vitesses chute également. En fait c'est l'élasticité du milieu qui chute avec une augmentation de la température.

La vitesse du son est proportionnelle à la racine carré de l'élasticité du milieu.

4. L'effet Doppler

=>C'est la variation apparente de la fréquence d'une onde émise par une source en mouvement par rapport à un observateur ou l'inverse. L'effet tient son nom du physicien Christian Johann Doppler, qui établit le principe physique du phénomène en 1842.



4.1 Source en mouvement

La variation de la fréquence des ondes peut-être calculée.
Soient

- v la vitesse radiale (d'éloignement ou de rapprochement par rapport au récepteur) de la source d'ondes,
- c la vitesse de propagation,
- T la période des ondes,
- leur longueur d'onde et f leur fréquence.
- λ' et f' sont la longueur d'onde et la fréquence reçues par l'observateur.

La variation de la longueur d'onde est égale à la distance parcourue par la source pendant une période, c'est-à-dire :

$$\lambda' = \lambda \pm vT$$

En utilisant les formules de la longueur d'onde ($\lambda = cT$ et $\lambda = c/f$), on peut calculer la fréquence des ondes reçues par l'observateur.

$$f' = f / (1 \pm v/c)$$

Ce qui équivaut à :

$$T' = T / (1 \pm v/c)$$

Détail du calcul

- $\lambda' = \pm vT$
- $\lambda' = cT \pm vT$ car $\lambda = cT$
- $c/f' = cT \pm vT$ car $\lambda = c/f$
- $c/f' = T(c \pm v)$
- $c/f' = (c \pm v)/f$ car $T = 1/f$
- $f'(c \pm v) = f c$
- $f' = f c / (c \pm v)$
- **$f' = f / (1 \pm v/c)$**

La vitesse v peut être négative (l'observateur s'éloigne) ou positive (dans ce cas il se rapproche).

=>Mais que se passe t'il quand la vitesse v se rapproche de c ?

Ecrivons alors que la distance totale parcourue par le deuxième front d'onde pendant le temps T_{rec} à la vitesse c est la somme de la distance qu'elle aurait parcourue si l'observateur était resté au repos et de la distance que il a parcourue à la vitesse v .

$$c T_{rec} = c T_{em} + v T_{rec}$$

Nous en déduisons :

$$T_{rec} = T_{em} / [1 - (v/c)] .$$

On constate que si l'observateur s'éloigne à une vitesse supérieure à la vitesse des ondes c , il ne reçoit plus aucune onde (algébriquement, T_{rec} tend vers l'infini quand v tend vers c et si v augmente encore la formule n'a plus de sens).

- Une illustration de l'effet doppler est disponible sur notre site :

<http://apsandco.free.fr/tpe/doppler.html>

4.2 Récepteur en mouvement

Dans ce cas, c'est l'observateur qui est en mouvement, la source étant fixe.

S'il se rapproche de la source, la distance entre deux fronts d'ondes qu'il reçoit, c'est à-dire la longueur d'onde reçue λ' , sera réduite de la distance qu'il parcourra entre la réception de ces deux fronts d'onde.

S'il s'éloigne, λ' sera au contraire augmentée de cette distance.

Cette variation de la longueur entraîne là encore une modification de la fréquence des ondes reçues.

Détail du calcul

- $\lambda' = \pm vT'$
- $c/f' = c/f \pm v/f'$ car $c = c/f$ et $T = 1/f$
- $(c \pm v)/f' = c/f$
- $f(c \pm v) = f'c$
- $f' = f(c \pm v)/c$
- **$f' = f(1 \pm v/c)$**

4.3 Applications

=>Formule de la vitesse d'un obstacle en mouvement

Soit f_{obs} la fréquence de l'onde reçue par l'obstacle. D'après la formule de l'effet Doppler pour un récepteur en mouvement, on a :

$$f_{\text{obs}} = f (1 \pm v / c)$$

L'obstacle réfléchit donc les ondes à la fréquence f_{obs} . Cependant, l'obstacle étant lui-même en mouvement, on doit en plus appliquer à f_{obs} la formule pour une source en mouvement, ce qui donne :

$$f' = f_{\text{obs}} / (1 \pm (-v) / c)$$

D'où finalement :

$$f' = f(1 \pm v/c) / (1 \pm (-v) / c)$$

Ceci est une formule exacte, valable dans tous les cas. Mais la plupart du temps, la vitesse v de l'obstacle est très petite devant la vitesse c de propagation des ondes : On peut alors obtenir une bonne approximation de cette formule en la linéarisant par un développement limité à l'ordre 1 en v / c . On obtient finalement :

$$f' = f(1 \pm 2 v / c)$$

On en déduit alors la vitesse de l'obstacle v :

- **$f' = f(1 \pm 2 v / c)$**
- $f' = f \pm 2 v f / c$
- $f' - f = \pm 2 v f / c$
- $v = \pm c (f' - f) / (2 f)$
- **$v = \pm c (f' / f - 1) / 2$**

III. Utilisation des ondes sonores

1. Les dauphins

Le Dauphin possède un organe qui fonctionne comme un **sonar** (voir p ?).
Nous Humain n'entendons que certains sons émis par les dauphins, car ils émettent des ultrasons que nous ne percevons pas.

Le sonar du dauphin se situe à l'intérieur du crâne, il s'agit en fait de petits sacs qui se remplissent d'air quand le dauphin respire. Alors est-ce que l'animal les vides ? Est-ce que les sacs se frottent les un contre les autres ? On ne le sait pas vraiment.

Ces sons permettent non seulement aux dauphins de communiquer entre eux mais aussi de distinguer des obstacles et se trouver de la nourriture. Mais comment font les dauphins pour à partir de sons distinguer un obstacle ou une proie ?

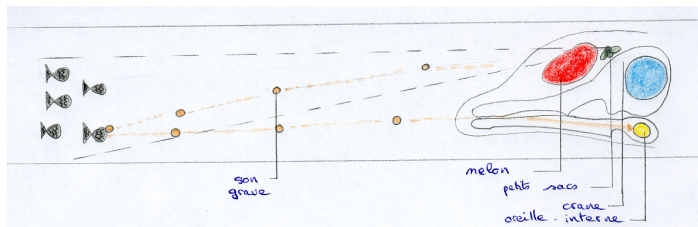


Fig.1.0

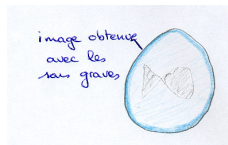


Fig.1.1

Au départ le dauphin émet des sons graves, car ils vont loin, dans un rayon plutôt large, quand se son rencontre un obstacle il est réfléchi et l'écho fait le chemin inverse, puis il est canalisé par la mâchoire jusqu'à l'oreille interne qui est en relation au cerveau et l'animal obtient une image de l'obstacle mais une image plutôt floue (voir fig.1.0 et fig.1.1), pour avoir plus d'information le dauphin doit donc émettre d'autres sons, des sons plus aigus, les ultrasons.

Ces ultrasons sont focalisés par le dauphin grâce au melon, qui contient une substance gélatineuse qui en se déformant agit comme une lentille. Les sons forment alors un faisceau assez fin pour pouvoir déterminer précisément les contours de l'obstacle qu'il a devant le rostre et ce qu'il y a à l'intérieur, comme si la dorade est vivante ou morte.(voir fig.2.1 et fig.2.2).

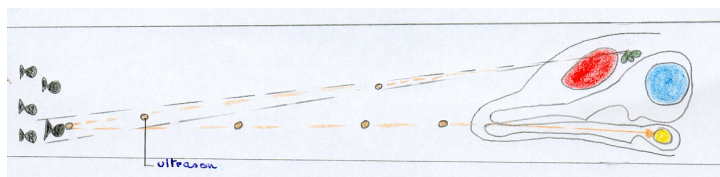


Fig.2.1

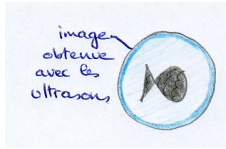


Fig.2.2

A la surface les dauphins émettent des sons comme le croassement de la grenouille pour indiquer leur contentement. Mais ces sons ne sont pas émis avec leur bouche car ils n'ont pas de cordes vocales comme les nôtres mais avec leur résonateur.

Sous l'eau les dauphins émettent aussi des sons, des sortes de sifflements, qui n'ont rien à voir avec leur sonar, c'est pour communiquer entre eux, du moins c'est ce que pensent les scientifiques.

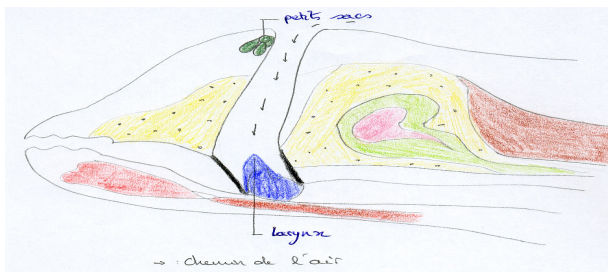


Fig.3.1

Il y a plusieurs hypothèses quant à ces sons :

- Soit le sifflement provient du larynx en entre-ouvrant celui-ci et en expulsant de l'air ce petit organe vibrerait alors comme l'ancre d'un saxophone.
- Ou une autre possibilité est que les petits sacs se vident et font vibrer le conduit nasal comme vibre le corps d'une flûte.

Ces sifflements sont avant tout intéressants car chaque dauphin a le sien, ils constituent une sorte de carte d'identité en fait ce sifflement vient :

- En partie du sifflement de la mère.
- Une autre partie étant commune à tous les dauphins d'un même groupe
- Et dernièrement une partie propre à chaque dauphin

Donc on peut voir en quoi le sifflement d'un dauphin tient une grande complexité, et lui sert à communiquer pour signaler un danger par exemple, mais aussi pour chasser et reconnaître son groupe, se déplacer, et autre. Le son tient donc un rôle prépondérant sur cette planète Terre.

2. Les chauve-souris

Les chauves-souris appartiennent à la même classe animale que l'homme ; celle des mammifères. Elles s'aident de leurs « mains » pour voler et sont par conséquent appelées « chiroptères », littéralement « mains ailées » (nom dérivé du grec : *kheir*=main et *pteron*=aile). Leurs ailes leur permettent d'une part de faciliter la capture d'une proie, et d'autre part, de se débarrasser de leur chaleur corporelle excédentaire.

Les chauves-souris sont les seuls mammifères à avoir développé et perfectionné le « vol actif ». En effet, les chiroptères sont renommés pour leur capacité à se déplacer et à chasser sans difficultés dans l'obscurité totale. Elles possèdent un système de déplacement très élaboré, qui leur permet de localiser et d'obtenir des informations précises sur les objets de leur environnement. Ce système d'orientation active est appelé « système sonar ». C'est donc grâce à ce « sonar », et à certains neurones spécialisés de leur système auditif, que les chauves-souris peuvent poursuivre et capturer les papillons de nuit avec une facilité et une précision impressionnantes.

Le « système sonar » des chauves-souris repose en fait sur le principe de l'écho. Les chiroptères émettent des ondes sonores (produites dans la gorge, au niveau du larynx) par les narines ou par la bouche, dont les fréquences varient selon les espèces. Selon le principe de l'écho, ces ondes ultrasonores, sont ensuite réfléchies par les obstacles rencontrés, pouvant être aussi bien inertes que mobiles. L'écho est à son tour perçu par les oreilles des chauves-souris, qui obtiennent alors une « vision acoustique » précise de l'environnement et de leurs proies. Ce système de navigation et de localisation n'est mis en évidence qu'à la fin années 1940, et est logiquement appelé « système d'écholocation ».

L'homme est à peine capable de détecter une onde à une fréquence de 20 000 vibrations par seconde. En revanche, grâce à leur système « sonar », les chauves-souris ont recours à des sons de fréquences beaucoup plus importantes; elles varient de 50 000 à 200 000 vibrations par seconde. Ces sons sont envoyés dans toutes les directions et peuvent être émis jusqu'à 30 fois par seconde.



Cette image donne une idée de la manière avec laquelle une chauve-souris repère sa proie

3.3 Le sonar

Le mot sonar vient de "**Sound Navigation and Ranging.**" Un sonar écoute les sons qui se propagent dans l'eau, à partir des sous-marins, des navires, des aéronefs, des avions qui larguent des bouées sonar, des hélicoptères qui plongent un sonar dans l'eau à l'aide d'un dispositif treuil-câble, de lignes d'écoute fixes posées sur le fond de la mer...

L'échographe pour examiner le bébé est un sonar à haute fréquence

On peut séparer les sonars en deux catégories

Actif :

Le sonar émet des sons puissants et en écoute les échos sur la coque des sous-marins ou des navires.

Passif :

Le sonar écoute les sons existants dans l'eau :

- émis par les sonars des autres
- rayonnés par les moteurs des sous-marins ou des navires
- engendrés par les animaux marins

Remarque : les sous-marins sont entièrement aveugles. Et même dotés d'yeux ils ne pourraient rien voir aux profondeurs dans lesquelles ils évoluent. Ils n'utilisent que les ondes sonores pour se diriger, d'où l'importance d'un sonar perfectionné. Ce sont de gigantesques oreilles tapies dans la mer.

Le sonar est beaucoup plus complexe à utiliser que le radar ; les sons ne se propagent pas en ligne droite dans l'océan. De plus le sous-marin doit écouter dans toutes les directions à la fois, ce qui nécessite de grandes puissances de calcul. Il est très difficile d'obtenir la distance de la provenance d'un son. Il faudrait pouvoir déterminer le centre de l'onde sphérique. Pour compliquer la tâche des sonars, les sous-marins peuvent stationner dans des zones abritant une forte faune aquatique (le bruit émis par le sous-marin est alors brouillé avec celui des poissons) ou alors chercher les "zones d'ombre", des endroits qui ne sont pas atteints par les ondes sonores des sonars à cause de la célèbre loi de réfraction (selon le même principe que les ondes sismiques).

IV. Bibliographie

Nous remercions vivement tous ceux qui ont pu nous fournir nos informations.

Physique-chimie 2^{ae} Nathan 1997
Livre de l'ancien programme

Encarta

<http://isitv.univ-tln.fr/~lecalve/oceano/fiches/fiche3F.htm>

« le son dans la mer »

<http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/divers/vitson.html>

« vitesse du son dans les gaz »

<http://villemin.qerard.free.fr/Scienmod/Son.htm#voix>

« son et acoustique »

<http://cyberzoide.developpez.com/pourquoi/index.php3?page=murson>

Pourquoi un avion passant le mur du son fait-il "bang" ?

<http://ondessonorestpe.free.fr/>

<http://linkfanel.free.fr/effetdoppler/frameset.html>

l'effet doppler

<http://www.digitaldutch.com/atmoscalc/>

Un bon simulateur

<http://mrw.wallonie.be/dqrne/sibw/especes/ecologie/mammiferes/chauvessouris/detail.html>

http://membres.lycos.fr/clpalchauve_souris/echolocation.htm

Les chauve-souris

<http://heberqement.ac-poitiers.fr/I-is-anqouleme/pedaqo/acoustic/sonar/>

Le sonar

<http://www.palais-decouverte.fr/discip/physique/faq/acous.htm>

Pour les curieux...