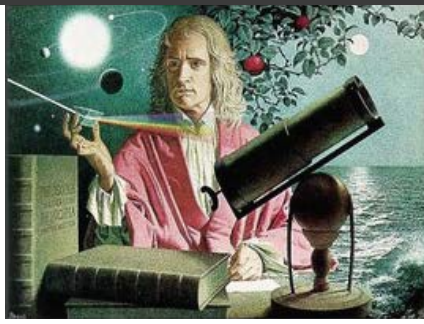
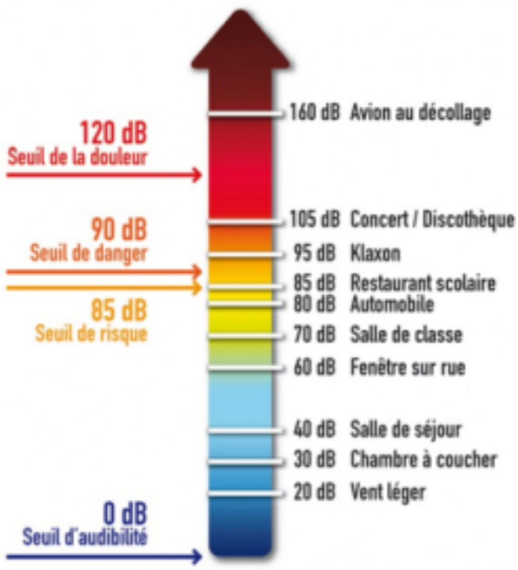
SciencesOz



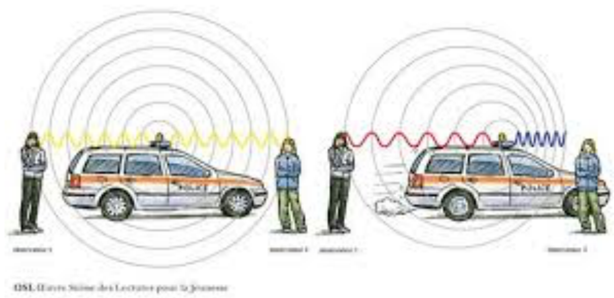
Spécialité Tale

P9
Sons et effet Doppler

I. Rappels
II. Les ondes sonores
III. L'effet Doppler



Source ADEME



Nadia LAVOIGNAT
Lycée Ozanam MACON

P9 - SONS ET EFFET DOPPLER

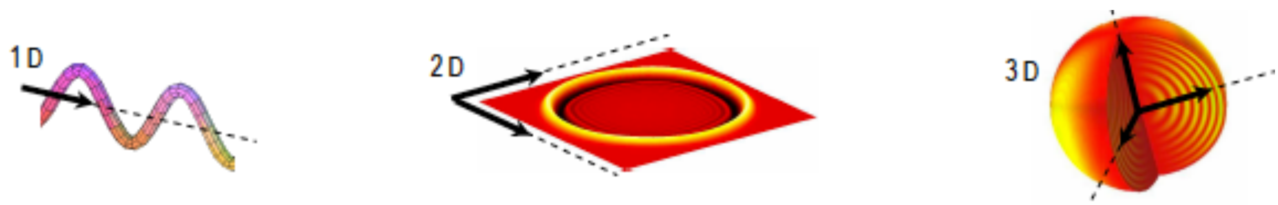
I. Rappels : généralités sur les ondes

Lorsqu'on jette une pierre sur un plan d'eau, on crée localement une perturbation qui se traduit par une déformation de la surface de l'eau qui se propage.

Une onde progressive est une perturbation qui se propage de proche en proche dans un milieu.

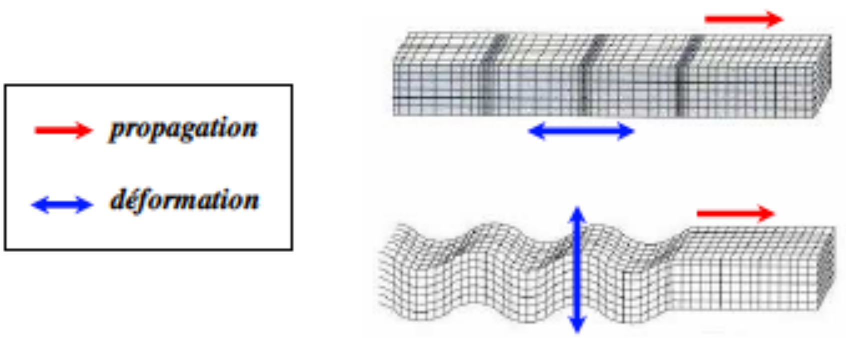
Une onde ne transporte pas de matière, mais uniquement de l'énergie.

Une onde se propage dans toutes les directions qui lui sont offertes. Néanmoins, si le milieu, du fait de sa structure, ne permet que la propagation dans une direction donnée, on parle d'onde à une dimension :



Remarques :

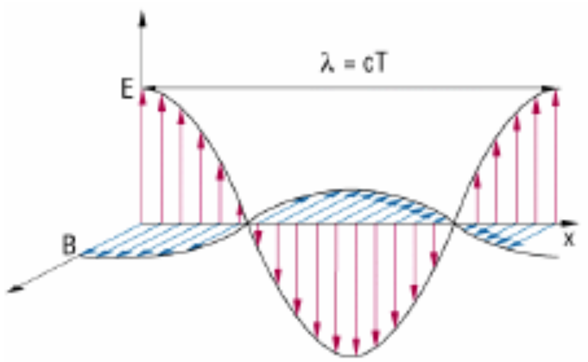
• *Une perturbation qui s'accompagne d'une déformation de la matière est appelée* ***onde mécanique*** *(ex : son, vague, onde sismique, …).*



• *Si la déformation du milieu est parallèle au déplacement de l'onde, on parle d'****onde longitudinale****.*

• *Si la déformation du milieu est perpendiculaire au déplacement de l'onde, on parle d'****onde transversale****.*

• *La lumière est une onde progressive qui n'est pas mécanique car elle ne déforme par la matière qu'elle traverse. C'est une perturbation d'un* ***champ électrique conjugué à un champ magnétique*** *qui se propage.*



Représentation d'une onde électromagnétique

Formules à retenir :

- Un phénomène est dit périodique s'il se répète identique à lui-même ET à intervalle de temps régulier appelé période et noté T.
- La fréquence f associée est définie par la relation : $f = \dfrac{1}{T}$ | f en hertz (Hz), T en s
- Une onde progressive sinusoïdale est la propagation d'une perturbation décrite par une fonction sinusoïdale du temps :

$$y = Y_{max} \times cos\,(\omega t + \varphi)$$

Y_{max} l'amplitude de l'onde
ω la pulsation en rad.s^{-1}
φ le déphasage en rad

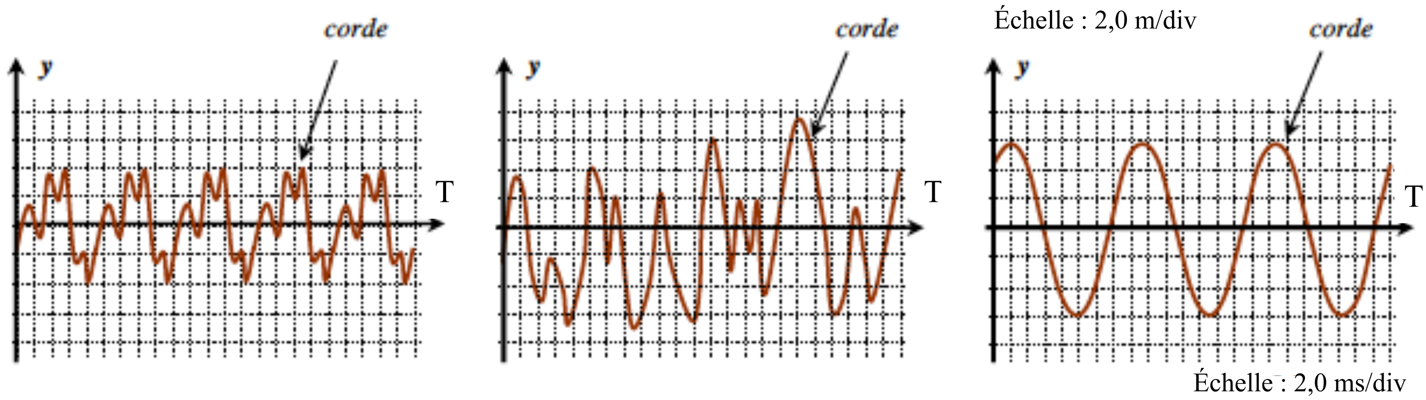
- La longueur d'onde λ d'une onde progressive est la longueur que parcourt cette onde durant une durée égale à sa période T. Ainsi, toute onde progressive périodique est caractérisée par la relation :

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad ou \quad v = \lambda \times f$$

λ en m
f en Hz
T en s
v en m.s^{-1}

Application :

On considère trois cordes tendues et excitées chacune par une onde progressive de célérité 4,0 m/s. A un instant t quelconque, on prend une photo pour visualiser l'état de ces trois cordes :

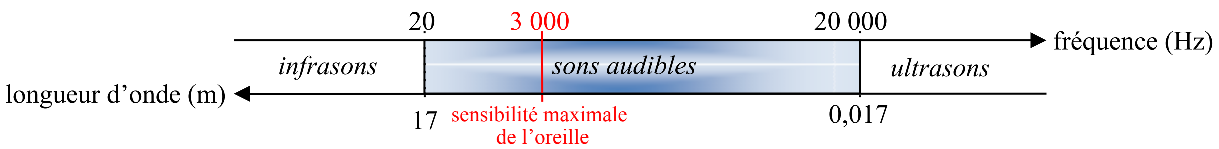


1. Ces ondes sont-elles transversales ou longitudinales ?
2. Parmi les ondes ci-dessus, déterminer la ou les ondes périodiques.
3. Définir pour cette ou ces ondes périodiques la période T leur correspondant.
4. Quelle est l'onde que l'on peut qualifier d'onde périodique sinusoïdale ?
5. Déterminer sa fréquence f et son amplitude maximale Y_{max}

II. Les ondes sonores

1. Intensité sonore

L'oreille humaine normale perçoit des sons dont les fréquences sont comprises entre 20 Hz et 20 kHz

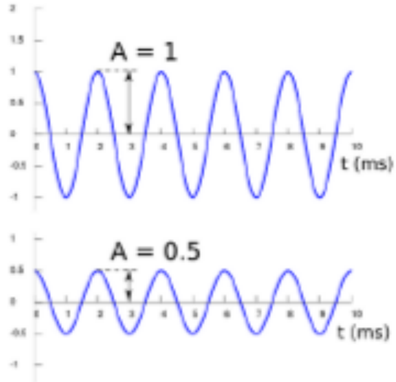


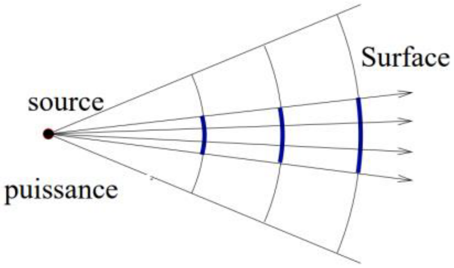
L’intensité sonore est liée à l’amplitude de l’onde sonore :

La sensation auditive dépend de l’intensité I des sons reçus.

Les ondes sonores transportent de l’énergie (acoustique) dont une partie est reçue par la surface du tympan.

L’intensité sonore I est la puissance P de la vibration sonore reçue par unité de surface S :





$$\boxed{I = \frac{P}{S}}$$

P en W
I en W.m^{-2}
S en m^2

Plus on s’éloigne de la source sonore plus l’intensité diminue car l’énergie produite par la source se répartit sur une surface plus grande.

La perception d’un son de fréquence 1000 Hz pour l’oreille humaine est telle que :

* Le seuil d’audibilité est : $I_0 = 10^{-12}$ W.m^{-2}
* Le seuil de douleur est : $I_M = 1$ W.m^{-2}

Application :

L’explosion d’un petit pétard engendre à 50 cm de la source de l’explosion une intensité sonore égale au seuil de douleur.

1. Calculer la puissance sonore de cette explosion.
2. En supposant que cette puissance reste constante, déterminer la distance à laquelle l’intensité sonore est divisée par 2.

2. Niveau sonore

La sensation auditive n’est pas proportionnelle à l’intensité acoustique.

Dans une salle où fonctionne un haut-parleur, l’installation d’un second haut-parleur identique ne change guère la sensation auditive : l’intensité acoustique double, mais l’auditeur n’entend pas un son deux fois plus fort.

Aussi a-t-il été défini une grandeur liée à la sensation auditive de l’oreille ; elle est appelée niveau d’intensité acoustique.

Le niveau d’intensité acoustique L (Level = « niveau » en anglais) est mesuré en décibel (symbole dB ou dBA) avec un sonomètre et est défini par la relation suivante :

$$\boxed{L = 10 \times log\left(\frac{I}{I_0}\right)}$$

L sans dimension (dB)
I et I_0 en W.m^{-2}

Remarques : L’intensité acoustique est une grandeur additive alors que le niveau d’intensité acoustique L n’est pas une grandeur additive !

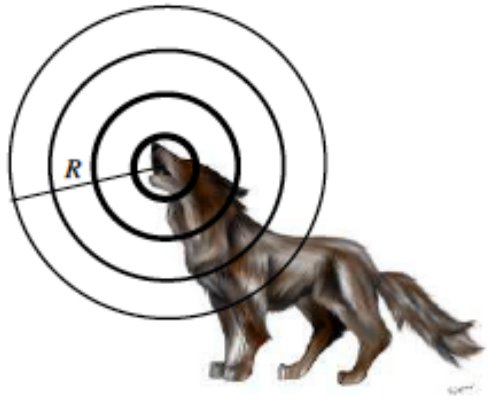
Le niveau d’intensité acoustique L est calculé pour une fréquence donnée du son.

Décibel : unité donnée en hommage à Graham Bell (1847-1922), inventeur du téléphone en 1876.

Applications :

1. Calculer le niveau sonore pour une intensité I à 1000 Hz égale à I_0.
2. Même question pour une intensité égale au seuil de douleur I_M.
3. Déterminer le niveau sonore perçu pour un son de puissance 1,50 W réparti sur une surface de 30 m^2.

Un loup hurle avec une puissance sonore d'environ $5{,}0*10^{-2}$ W. Le son du hurlement se propage de manière sphérique dans l'air. On considère que la puissance reste constante au cours de sa propagation.



4. Donner l'expression de l'intensité sonore perçue à une distance R du loup.
5. En déduire l'expression du niveau sonore L à cette distance R.
6. Peut-on entendre le cri du loup à une distance de 1 km ? 10 km ?

On estime à 70 dB le niveau sonore produit par un seul violon à 5 m. Calculer le niveau sonore produit par un groupe musical constitué de 10 violons identiques. On considère que tous les violons sont à 5 m de l'auditeur.

L'exposition à une intensité sonore $I = 1{,}0 \times 10^{-1}$ $W.m^{-2}$ peut endommager l'oreille de l'auditeur. Combien de violons doivent jouer pour atteindre cette intensité pour un auditeur situe à 5 m ? Conclure.

3. Atténuation

Un son est atténué lorsqu'on s'éloigne de la source ou lorsqu'on place entre la source et l'observateur un obstacle.

Soit L le niveau sonore de référence et L' le niveau sonore atténué. L'atténuation sonore A se calcule alors avec la relation :

$$\boxed{A = L' - L} \quad ou \quad \boxed{A = 10\log\left(\frac{I'}{I}\right)}$$

A et L sans dim (dB)
I et I' en $W.m^{-2}$

Application :

Une machine dans un atelier a un niveau sonore $L_1 = 72$ dB pour un observateur placé à 5,0 m de distance.

1. Déterminer l'intensité sonore I_1 correspondante.
2. Calculer le nouveau niveau sonore L_2 perçu si une deuxième machine identique se met en marche à la même distance.
3. En fermant alors la porte entre l'observateur et les deux machines en marche, la nouvelle intensité sonore perçue par l'observateur n'est plus que de $2{,}0*10^{-6}$ $W.m^{-2}$. En déduire la valeur de l'atténuation du son.

L'atténuation géométrique *correspond à une diminution de l'intensité sonore quand on s'éloigne de la source car l'aire de la surface sur laquelle la puissance est répartie augmente.*

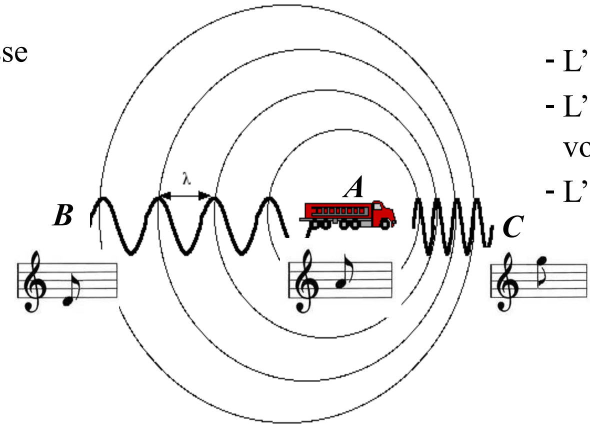
L'atténuation par absorption *correspond à une diminution de l'intensité sonore quand le son traverse un milieu matériel dans lequel une partie de la puissance sonore est absorbée.*

III. L'effet Doppler

1. Définition

Un véhicule roule à vitesse constante.

Les observateurs A, B et C ne perçoivent pas la même fréquence.



- L'observateur A est le pilote.
- L'observateur B est immobile et voit le véhicule s'éloigner de lui.
- L'observateur C est immobile et voit venir le véhicule vers lui.

B perçoit une note plus grave que A car la fréquence du signal sonore qu'il reçoit est inférieure à la fréquence de la source : $f_B < f_A$

A l'inverse, C capte un son plus aigu que le son de la source car $f_C > f_A$.

L'effet Doppler correspond à un décalage de la fréquence d'un son perçu par un récepteur lorsque l'émetteur et le récepteur sont en déplacement relatif.
Plus la vitesse relative est grande, plus le décalage en fréquence est important.

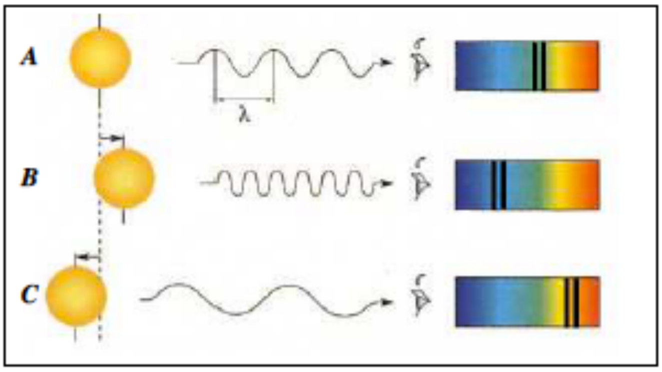
2. Application à l'astronomie

En appliquant les travaux de Christian Doppler à la lumière, Hippolyte Fizeau a postulé que :

* si une **étoile s'approche** d'un observateur, les raies d'absorption de son spectre doivent apparaître décalées vers les hautes fréquences (blueshift).

* Inversement, si **l'étoile s'éloigne** de l'observateur, les raies d'absorption de son spectre doivent apparaître décalées vers les basses fréquences (redshift).

* Plus la vitesse de l'étoile est grande par rapport à la Terre, plus le décalage observé est important.



Effet Doppler – Fizeau

A : Etoile immobile par rapport à l'observateur
B : Etoile qui s'approche de l'observateur
C : Etoile qui s'éloigne de l'observateur

	Décalage vers basses fréquences	*Décalage vers hautes fréquences*
son	*Son plus grave*	*Son plus aigu*
lumière	*Lumière plus rouge*	*Lumière plus bleutée*

Formules démontrées avec le TP :

Pour une source de fréquence f_E et de célérité c (sonore ou lumineuse) en mouvement relatif par rapport à un observateur, la fréquence f_R perçue par l'observateur est telle que :

* si l'observateur ou la source **se rapproche à la vitesse v** : $f_R = f_E\left(\frac{c}{c - v}\right)$

* si l'observateur ou la source **s'éloigne à la vitesse v :** $f_R = f_E\left(\frac{c}{c + v}\right)$

Application :

Le klaxon d'une voiture a pour fréquence sonore 520 Hz. La vitesse du son dans l'air à 20°C est d'environ 340 m/s.

1. Déterminer la fréquence perçue par un observateur voyant arriver vers lui la voiture klaxonnant à 110 km/h.
2. Même question pour un observateur voyant la voiture s'éloigner de lui à cette même vitesse.
3. Quelle est la fréquence que percevra le chauffeur du véhicule à cette vitesse ?

Edwin Hubble remarque en 1929 que plus une galaxie est distante de nous, plus son spectre apparaît décalé vers le rouge. Il en conclut que plus une galaxie est distante plus elle s'éloigne vite. Cette observation est historiquement la première à étayer la théorie du Big Bang selon laquelle l'Univers aurait connu dans son passé lointain une époque où il était extrêmement chaud et dense.