

Caractéristiques des ondes sonores

1. propagation d'une onde sonore

1. qu'est-ce qu'une onde sonore ?

De manière générale, une onde est une perturbation qui se propage. Cette propagation s'effectue sans transport de matière mais avec transport d'énergie.

Une onde sonore est produite par la vibration d'un objet matériel. Dans l'air, il peut s'agir de la peau d'un tambour, de la membrane d'un hautparleur, de la vibration d'une corde de guitare...

Chaque molécule composant l'air en contact avec la source se met à vibrer à son tour et, de proche en proche, la vibration se propage dans le milieu.

Voir animation : http://www.ostralo.net/3_animations/swf/onde_sonore_plane.swf

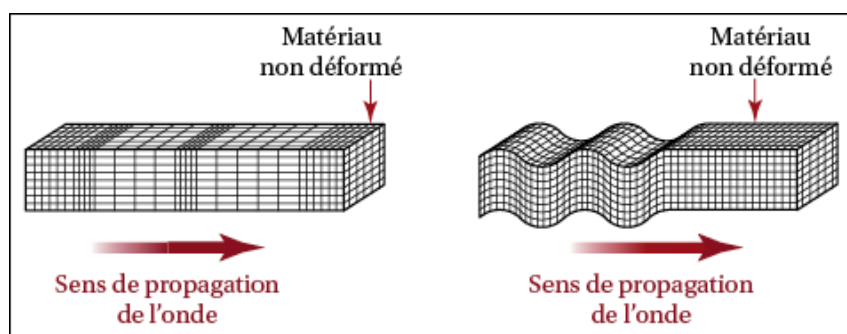
2. Onde transversale, onde longitudinale

Pour une onde transversale la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation. Par exemple, c'est le cas d'une onde se propageant le long d'une corde.

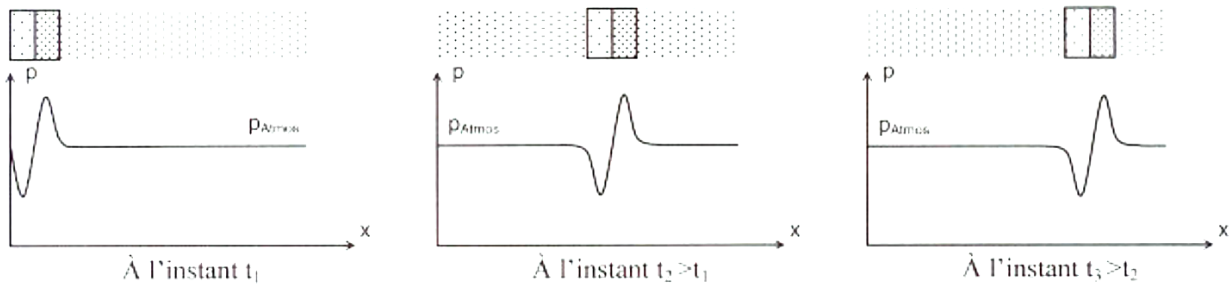
Voir animation : http://clemspcreims.free.fr/simul_ostralo/onde_corde.swf

Pour une onde longitudinale la perturbation est parallèle à la direction de propagation. Par exemple, c'est le cas d'une onde se propageant le long d'un ressort ou d'une onde sonore dans l'air.

Sur l'exemple suivant, repérer les ondes transversales et les ondes longitudinales :



Dans les fluides, les ondes acoustiques sont longitudinales et se traduisent par une petite variation locale de la pression. Cette surpression acoustique reste toujours très inférieure à la pression atmosphérique (de $2 \cdot 10^{-5}$ Pa à 20 Pa). On peut schématiser la surpression de la manière suivante :



Afin de mettre en évidence la nature des ondes sonores, placer une bougie allumée devant un hautparleur alimenté par un GBF. Observer les mouvements de la flamme. Y a-t-il un mouvement d'ensemble de la matière associé à la propagation de l'onde ? Les ondes sonores sont-elles transversales ou longitudinales ?

3. Influence du milieu de propagation

La lumière se propage dans les milieux transparents ainsi que dans le vide, qu'en est-il des ondes sonores ?

On met un petit buzzer sous une cloche à vide et on fait progressivement le vide dans l'enceinte. Le son reçu par l'oreille diminue progressivement au cours de l'expérience. On en conclut que l'onde sonore a donc besoin d'un support pour se propager.

D'autre part, la vitesse de propagation d'une onde sonore dépend de la nature du milieu de propagation, c'est-à-dire de sa rigidité et de sa masse volumique. L'expérience prouve que la vitesse des ondes sonores dans les solides est supérieure à celle des ondes sonores dans les liquides, elle-même supérieure à la vitesse des ondes sonores dans les gaz.

Voici quelques valeurs approchées de vitesses de propagation à la température ambiante (20°C) :

Matériaux	Air	Eau	Béton	Acier
C en m/s	340	1500	1000 à 4000	5500

Par exemple, dans les westerns, les cowboys mettent l'oreille sur le rail pour savoir si le train arrive ou pas. En effet, le son émis par le train arrive plus rapidement jusqu'au cowboy par le rail métallique que par l'air car le son s'y propage plus rapidement.

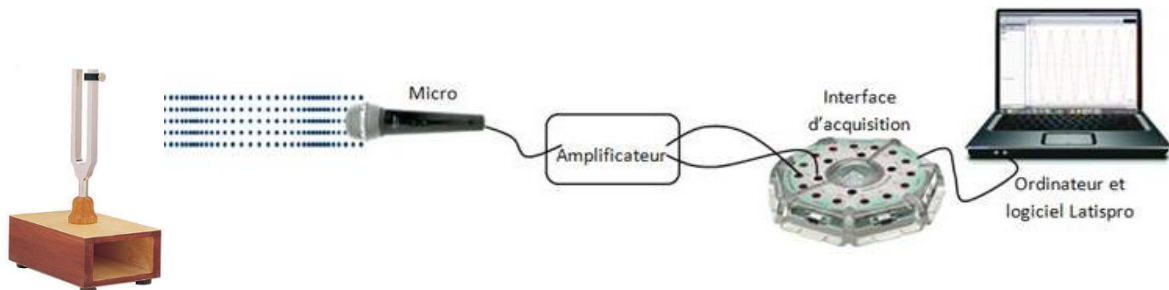
4. Son et lumière

Une onde acoustique est une vibration de la matière (autour de sa position d'équilibre) qui se propage. La lumière, les ondes radios, les rayons uv sont des ondes électromagnétiques qui sont de nature complètement différente. Elles sont constituées d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui se propagent. Ces ondes n'ont pas besoin de support matériel pour se propager et peuvent se propager dans le vide. De plus, elles se propagent dans le vide et dans l'air à $3,0 \cdot 10^8$ m/s, c'est-à-dire bien plus rapidement que les ondes acoustiques.

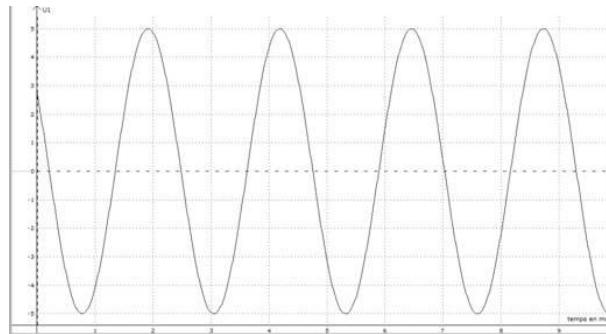
2. Propagation d'une onde sonore périodique

1. Description du phénomène

Sur un ordinateur muni du logiciel Latispro, on visualise l'onde sonore émise par un diapason.



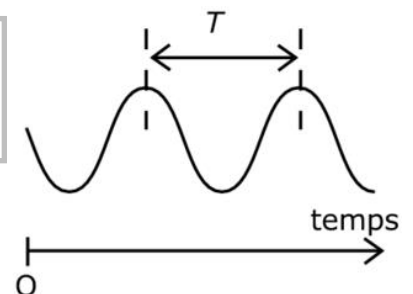
On observe un signal sinusoïdal qui s'amortit au cours du temps :



2. Grandeurs caractéristiques

Une onde progressive est périodique lorsque la perturbation se reproduit identique à elle-même au cours du temps.

La période temporelle s'appelle la période T . Elle caractérise le plus petit intervalle de temps au bout duquel la perturbation se reproduit identique à elle-même.

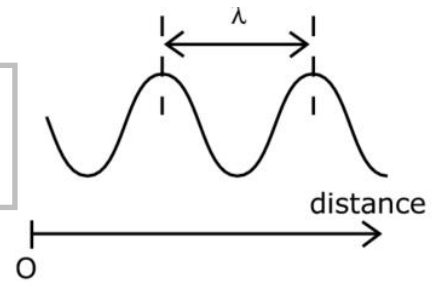


La fréquence f de l'onde est le nombre de répétitions de la perturbation par seconde. Période et fréquence sont reliées par la relation :

$$f = \frac{1}{T}$$

La fréquence s'exprime en Hertz (Hz) et la période en seconde (s).

La longueur d'onde λ est la plus petite distance qui sépare deux points pour lesquels les perturbations du milieu sont les mêmes. Elle s'exprime en mètres.



On peut aussi dire que la longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant le temps T à la vitesse C :

$$\lambda = C \cdot T$$

C est la célérité de l'onde en m/s.

(Voir TP Les caractéristiques des ondes sonores)

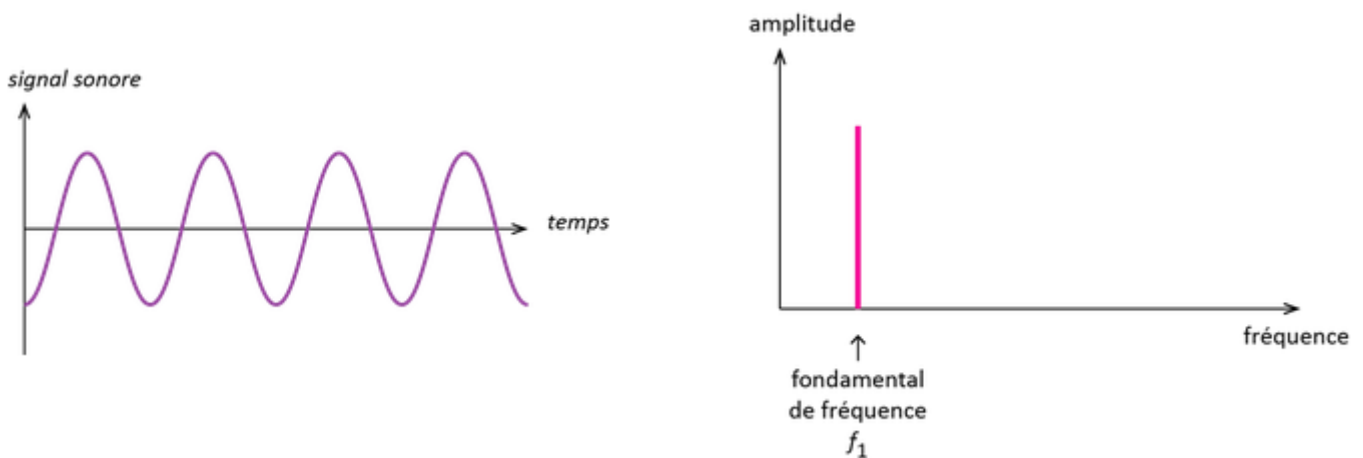
3. Composition spectrale des ondes acoustiques

1. Son pur

Un son pur ne contient qu'une seule fréquence et constitue une référence.

Le signal associé à un son pur est sinusoïdal.

Par exemple, un diapason fournit un son pur.

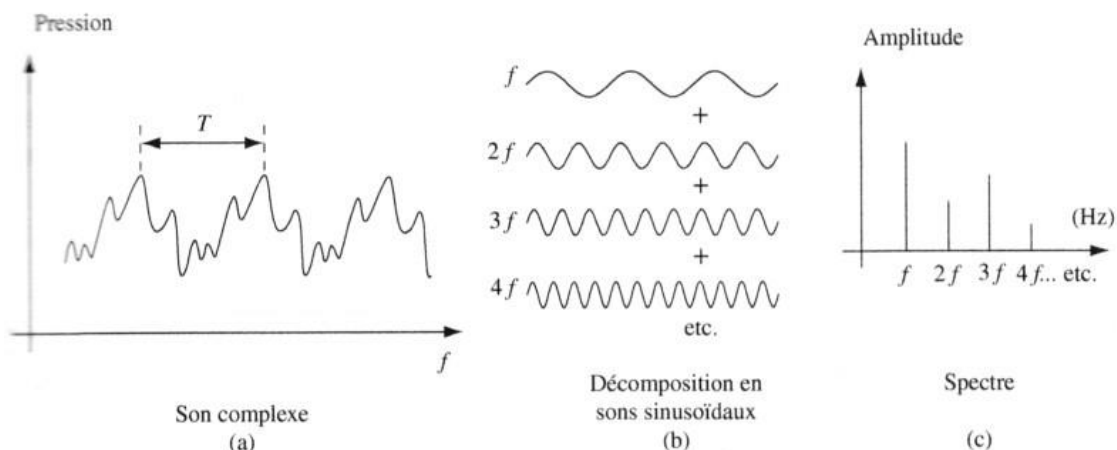


2. Son complexe

Un son complexe est constitué de plusieurs fréquences de puissances différentes. Si le son est périodique, on peut le décomposer en une somme de fonctions sinusoïdales de fréquences f , $2f$, $3f$, etc... c'est le théorème de Fourier. La plus petite fréquence est appelée le fondamental. Les fréquences multiples du fondamental sont appelées les harmoniques.

La décomposition d'un son en une succession d'harmoniques constitue le spectre de ce son. On représente graphiquement le spectre en traçant en abscisse les fréquences et en ordonnée la puissance des harmoniques. Le spectre s'obtient grâce à un outil mathématique appelé la transformée de Fourier.

Voici le principe de la décomposition spectrale :

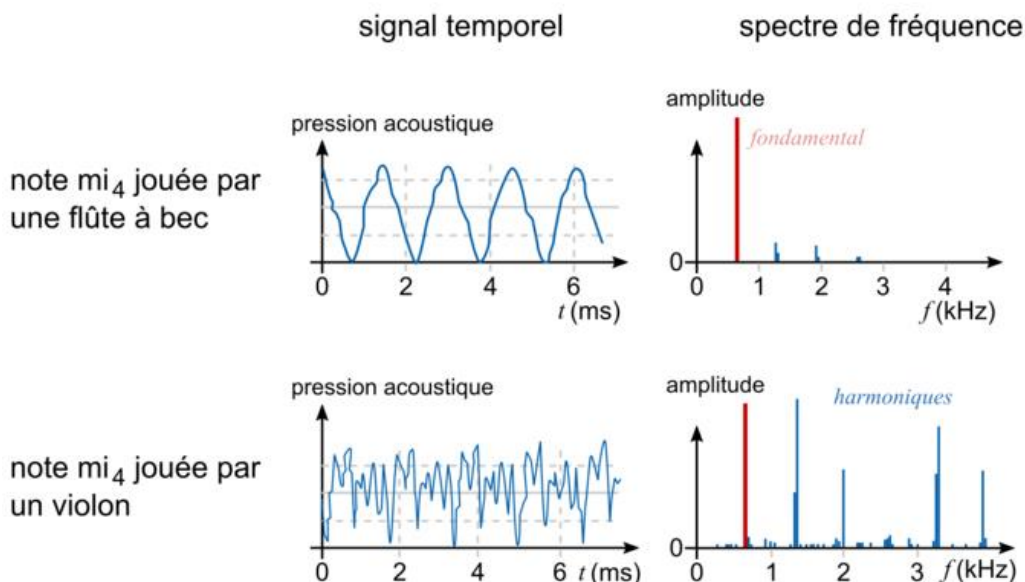


3. Utilité du spectre

La fréquence du fondamental donne la hauteur d'un son autrement dit la note lorsqu'il s'agit d'un instrument de musique : un do ou un ré par exemple.

La décomposition spectrale permet de distinguer deux instruments qui émettent la même note. S'ils émettent la même note, la hauteur, c'est-à-dire la valeur du fondamental est la même (les harmoniques sont aussi les mêmes). Par contre, les puissances des harmoniques sont différentes.

Voici par exemple les spectres d'une flûte à bec et d'un violon qui jouent un mi_4 :

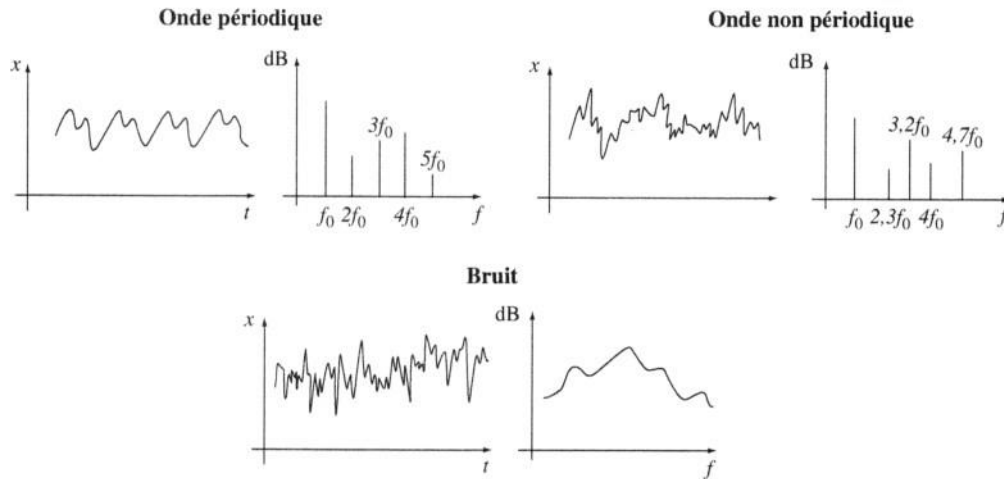


Le timbre est la caractéristique subjective qui permet de différencier à l'oreille deux sons qui correspondent à la même note au même niveau sonore. Le timbre dépend de la composition spectrale mais aussi de l'attaque du son ou encore de l'évolution temporelle des différentes harmoniques.

4. Bruits

Définition

Le spectre d'un bruit est continu, il comporte toutes les fréquences avec des puissances plus ou moins importantes. Par exemple, les chocs brefs ou les consonnes de la voix humaine sont des exemples de bruits.



Remarque

Un son peut être non périodique sans pour autant être un bruit, dans ce cas, le spectre est composé de fréquences qui ne sont pas multiples d'une même valeur.

Décomposition d'un spectre en bande d'octaves

Deux sons purs sont séparés d'une octave, si la fréquence f du premier et la fréquence f' du second sont reliées par la relation :

$$f' = 2 \cdot f$$

On appelle bande d'octave l'étendue fréquentielle comprise entre la fréquence f et la fréquence double $2 \cdot f$. On divise généralement le spectre en bandes d'octaves. Ces bandes sont repérées par leur fréquence centrale (multiple de 2 quand elles sont consécutives). Les valeurs extrêmes des fréquences comprises d'une bande d'octave sont données par :

$$f_{\min} = \frac{f_{\text{centrale}}}{\sqrt{2}} \text{ et } f_{\max} = f_{\text{centrale}} \cdot \sqrt{2}$$

f_{centrale} (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
----------------------------	-----	-----	-----	------	------	------

On mesure ensuite le niveau sonore moyen dans chaque bande (voir le chapitre suivant). Il se mesure en décibels (dB).

Bruits de référence

Bruit blanc

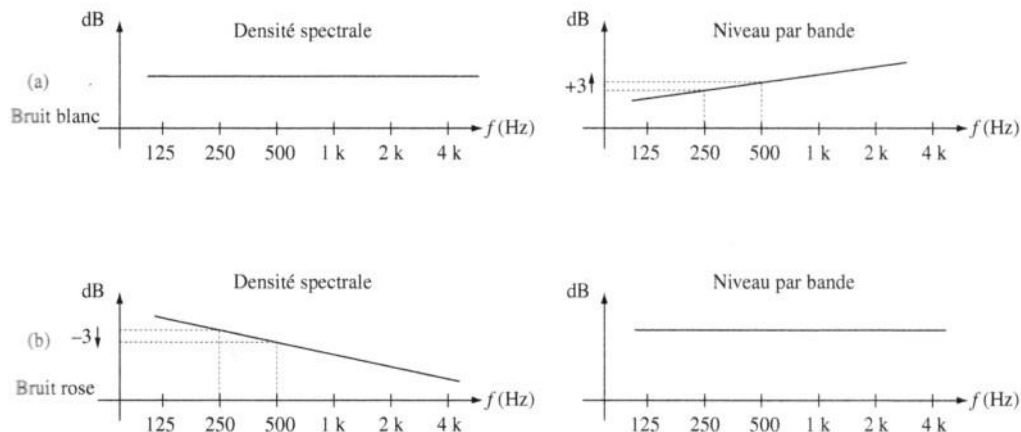
Un bruit blanc est une superposition d'ondes acoustiques de même niveau d'intensité acoustique quelle que soit la fréquence. Chaque bande d'octave contient un nombre double de fréquences quand la fréquence centrale est doublée, il en résulte une augmentation de 3dB par bande d'octave dans son spectre.

Bruit rose

Un bruit rose est une superposition d'ondes acoustiques de même niveau acoustique pour chaque bande d'octave.

De par leur définition, les bandes d'octave n'ont pas la même largeur. Il y a beaucoup plus de fréquences représentées dans les bandes d'octave aiguës que dans les graves. Ainsi pour obtenir le même niveau acoustique dans chaque bande, les fréquences graves doivent avoir un niveau acoustique plus important. C'est pourquoi le bruit rose est plus riche en basses fréquences que le bruit blanc.

Voici les spectres des bruits blancs et roses :



Sur le spectre, on considère des petites bandes spectrales de largeur constante (10Hz environ). On mesure ensuite le niveau sonore dans chaque bande.

La densité spectrale est la courbe représentant le niveau dans chacune de ces bandes de fréquences.

Bruit routier

Le bruit route, également appelé bruit routier, est lui aussi un bruit normalisé. Il est une référence pour le bruit des trafics routiers et ferroviaires. Pour représenter un tel bruit, son spectre est enrichi en basses fréquences et appauvri dans les aigus par rapport à un bruit rose.

(Voir TP Sons purs, sons complexes et bruits)