

Chapitre S-1 PROPAGATION D'UN SIGNAL PHYSIQUE

******Comment voir un signal? Comment le caractériser?******

A) Signal : acquisition, visualisation et traitement

Types de signaux, bruit

B) Propagation dans un milieu homogène et illimité

Célérité, retard temporel,

Signal sinusoïdal, représentation, fonction mathématique

C) Notions générales sur les ondes

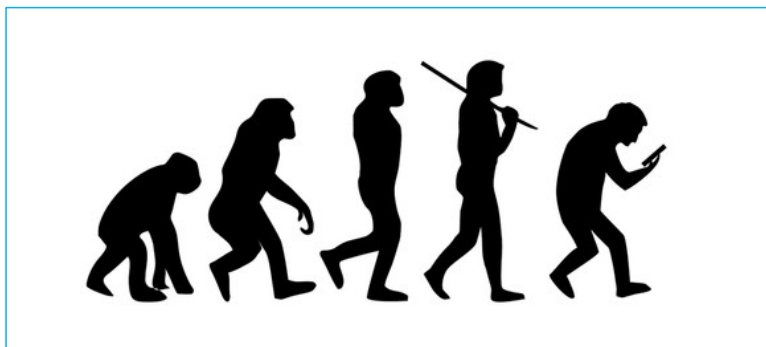
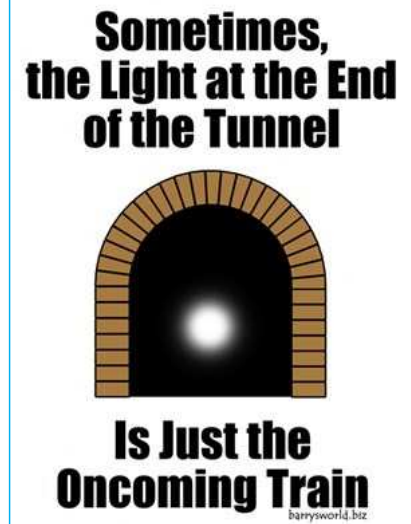
Dimension, propagation, onde sinusoïdale, onde progressive

D) Rayonnement électromagnétique

Théorie ondulatoire

Théorie corpusculaire

Choix de la théorie à utiliser



1

A- Signal : acquisition, visualisation et traitement

La notion de « **signal** » est une notion très générale pour les scientifiques. La nature d'un signal est variable.

- *Signal sonore = variation de pression (succession de compression/dilatation du milieu)*
- *Signal sismique = mouvements du sol*
- *Signal électrique = tension ou intensité*
- *Signal électromagnétique = lumière, rayonnement UV, onde radio...*
- ...

Un signal est **dépendant du temps** quand la grandeur qui le caractérise (tension, température, intensité lumineuse...) est une fonction du temps. **On peut alors représenter son évolution dans le temps par une courbe** : temps en abscisse et grandeur en ordonnée.

□ Comment visualiser le signal?

Une première étape consiste à **mesurer** le signal, à l'aide d'instruments ou de capteurs adaptés (*microphone pour un son, capteur thermique pour une température, sismographe pour un séisme, capteur de pression, de position, de vitesse, voltmètre pour une tension, ampèremètre pour une intensité...*).

On distingue le signal **analogique** (signal continu en fonction de t) du signal **numérique** (= suite de nombres, obtenu après numérisation). cf document annexe

2

❑ Traitement du signal

La notion de « traitement » est aussi très générale. Elle concerne toutes les manipulations faites sur le signal « brut ». On peut le coder, le compresser, le filtrer, le convertir...

- *un son est une variation de pression, convertie en tension par un microphone*
- *une photo prise avec un téléphone portable et reçue par un ami est un signal qui a subi beaucoup de traitements avant d'être analysée par son cerveau !*

Une première étape du traitement va servir à extraire du signal des informations.

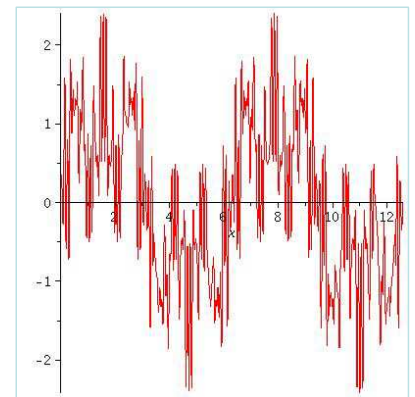
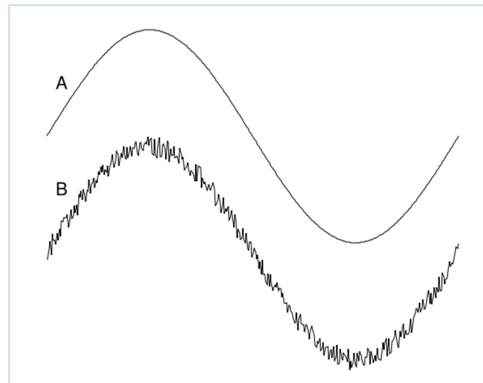
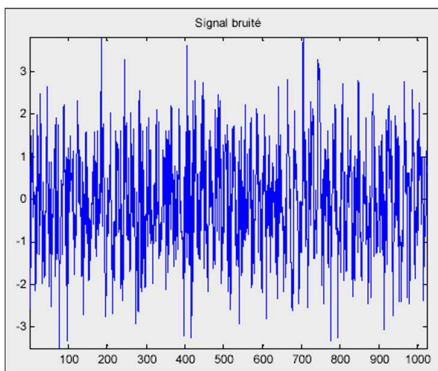
❑ Notion de bruit

- *Dans un environnement bruyant, l'oreille perçoit un signal sonore correct à condition qu'il soit plus fort que le bruit ambiant : un chuchotement n'est pas audible à côté d'un aspirateur en marche.*

Le bruit est plus généralement un signal « parasite » et non maîtrisé qui se superpose au signal intéressant. Il peut venir d'une fluctuation aléatoire de la mesure. Pour que le signal soit visible, il doit être plus fort que le bruit.

➡ Un « bon » signal doit avoir un **rapport signal sur bruit élevé**.

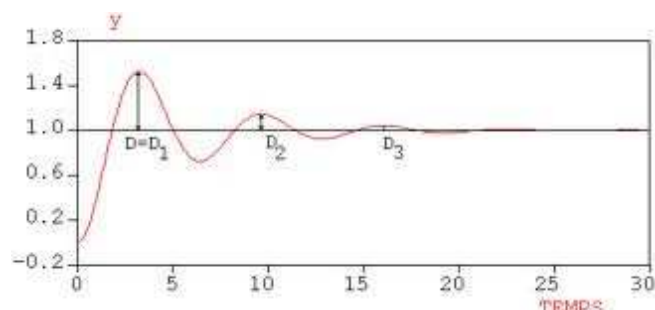
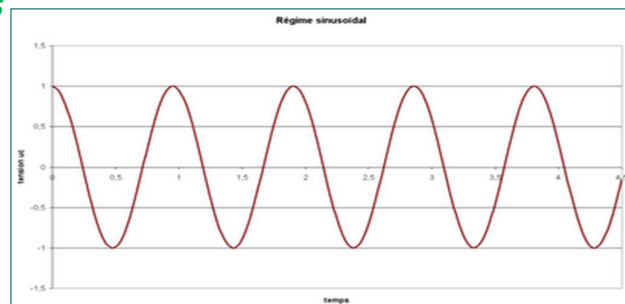
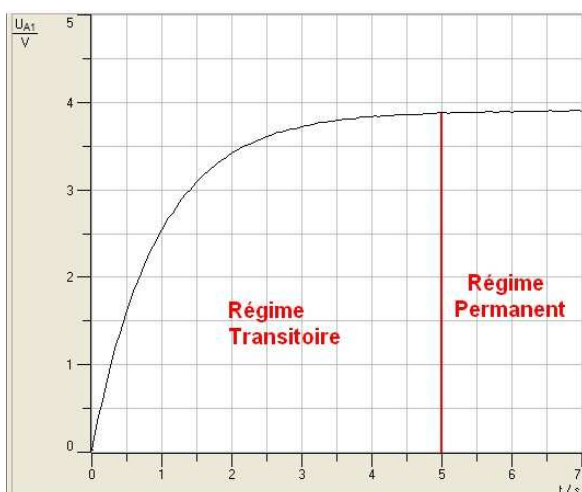
- *Repérer le bruit et le signal dans les cas visualisés ci-dessous, discuter de la qualité du signal.*

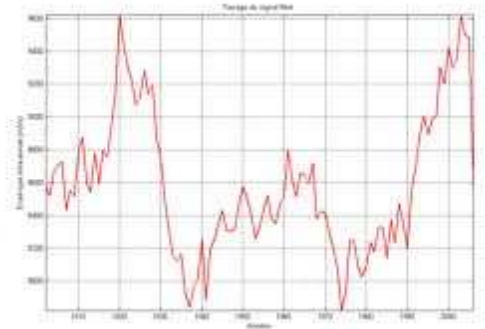
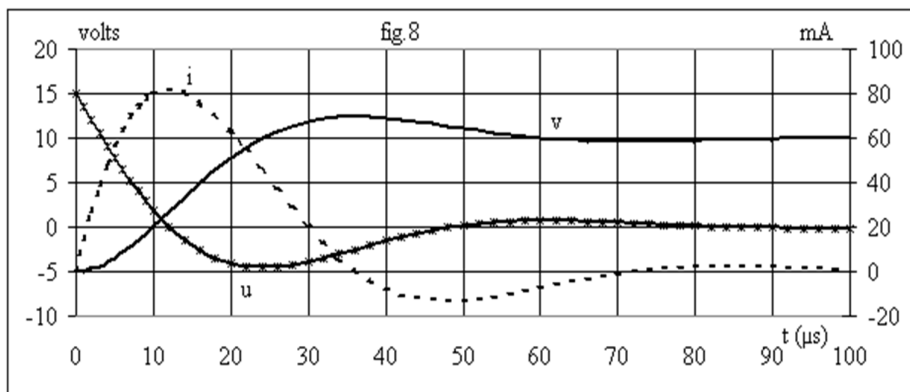
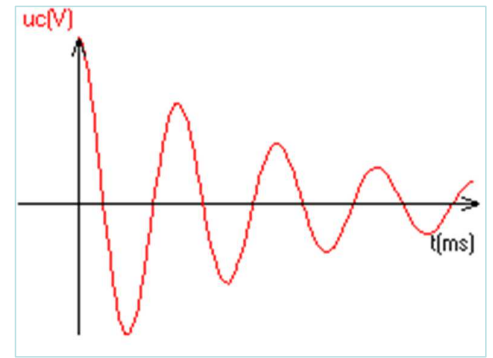
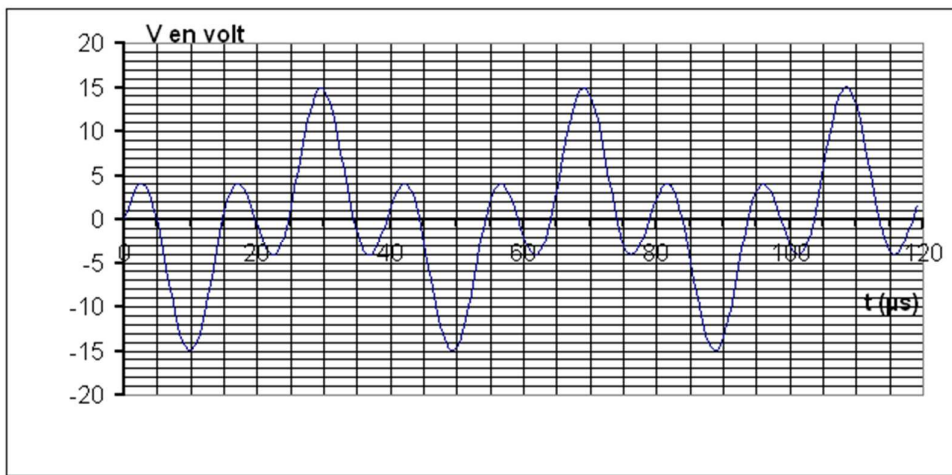


• Les régimes particuliers

Selon l'allure de la courbe d'évolution temporelle, on distingue plusieurs régimes :

- **Régime permanent** ou **stationnaire** : ne dépend pas du temps. Se traduit par une horizontale
- **Régime transitoire** : dure un temps limité et **précède un régime permanent**
- **Régime périodique** : on définit alors **période T (en s)** et **fréquence $f = 1/T$ (en Hz)**
- **Régime pseudopériodique** : par rapport à un régime périodique, le signal s'amortit ou s'amplifie au cours du temps. Ce régime peut être transitoire.
- *Identifier les régimes, indiquer s'il y a lieu la durée du régime transitoire ou celle de la période dans les signaux ci-dessous*





5

B) Propagation dans un milieu homogène et illimité

1- Célérité

La **célérité c est la vitesse de propagation** d'un signal. Elle dépend à la fois du type de signal et du milieu dans lequel il se propage

- **Signal lumineux**
 - Dans le vide : $c = 3.10^8$ m/s, c'est un maximum absolu, rien ne peut aller plus vite que la lumière dans le vide !
 - Dans l'eau : $c = 2,3.10^8$ m/s, la lumière va moins vite dans la matière
- **Signal sonore**
 - Dans le vide... le son ne se propage pas!
 - Dans l'air : $c = 340$ m/s en moyenne
 - Dans l'eau : $c \approx 1500$ m/s, le son se propage plus vite dans l'eau que dans l'air
 - Dans un métal : c proche de 4000 ou 5000 m/s, encore plus élevé.

Commentaire sur l'évolution de c :

Si le signal a parcouru une distance d pendant un temps t , la célérité est :



2- Retard temporel

Si le signal part d'une source S et se propage à une vitesse c , il n'arrive pas au même moment au même endroit.

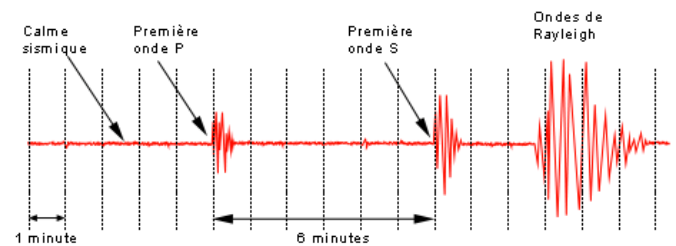
6

- Soit deux points, M_1 et M_2 situés à la distance d_1 et d_2 de la source. On note t_1 et t_2 les temps de parcours respectifs.
 - 1) Faire un schéma
 - 2) Exprimer le retard temporel Δt
 - 3) Comment peut-on mesurer la célérité?

On peut également parler de retard temporel quand deux signaux issus d'une même source mais de célérités différentes arrivent en un point.

Exemple : un séisme est à l'origine de deux types d'ondes volumiques, les ondes P et S. Les ondes P (primaires) sont des ondes de compression/dilatation du sol. Elles se propagent dans tous les milieux et sont les plus rapides ($v_P = 6 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ près de la surface). Les ondes S (secondaires) sont des ondes de cisaillement. Leur vitesse est $v_S = 4 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

- Le sismogramme ci-contre montre l'enregistrement d'un séisme.
 - 1) A quelle distance du sismographe s'est produit le séisme?
 - 2) Comment peut-on localiser précisément le foyer d'un séisme?



7

3- Cas particulier d'un signal sinusoïdal

Lorsque la source responsable du signal impose une variation sinusoïdale dans le temps, on parle de **signal sinusoïdal**

- son d'un diapason (La à 440Hz).
- lumière monochromatique d'un laser (onde lumineuse électromagnétique).
- perturbation électromagnétique due au secteur électrique (50Hz).

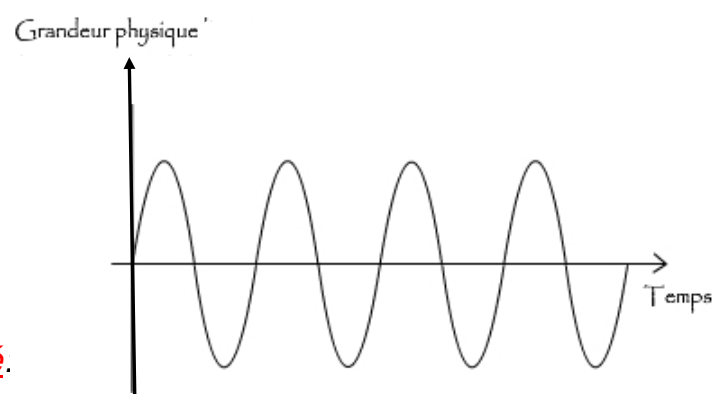
La perturbation dépend du **temps** et de la **position**. A un instant t donné, la perturbation est une fonction périodique de l'espace. En un point donné, la perturbation est fonction périodique du temps. L'onde est caractérisée par plusieurs paramètres :

- La **période** temporelle T et la **fréquence** ν , reliées par $T = 1/\nu$
- La période spatiale ou **longueur d'onde** λ
- L'**amplitude** de la perturbation
- La **vitesse** ou **célérité** v (ou c)

Relations entre les paramètres :

Valeur moyenne :

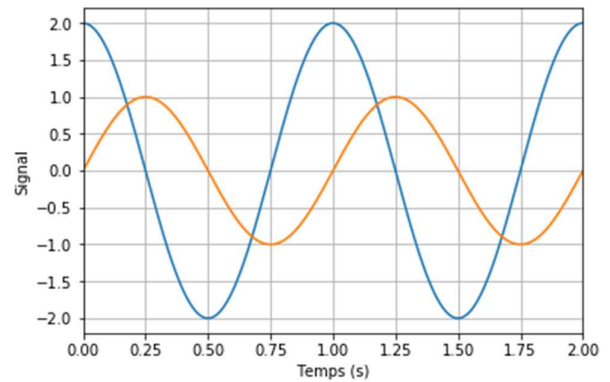
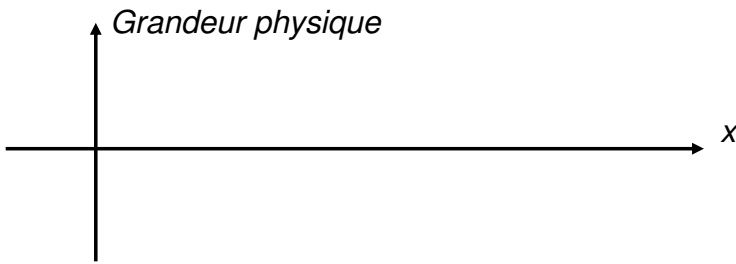
Représentation graphique à un endroit donné.



8

Pour visualiser la longueur d'onde, il faut observer le signal à un instant fixé mais à différents endroits.

- Représenter un signal sinusoïdal selon un axe Ox , à un instant fixé:



- Sur les deux signaux ci-contre, indiquer la période, la fréquence et l'amplitude.
Lequel des deux est en avance sur l'autre?

□ Cas d'une onde sonore sinusoïdale

La fréquence du son donne sa hauteur. L'oreille humaine peut percevoir tout un intervalle de fréquences sonores, entre environ **20 Hz** (= son le plus grave) et **20 000 Hz** (son le plus aigu).

Les sons de fréquence inférieure à 20 Hz sont des infrasons ; ceux de fréquence supérieure à 20 000 Hz sont des ultrasons. *Les chauves-souris peuvent percevoir des ultrasons jusqu'à 120 kHz selon les espèces.*

9

□ Cas d'une tension sinusoïdale

➤ **Signal alternatif, centré sur zéro.** On définit

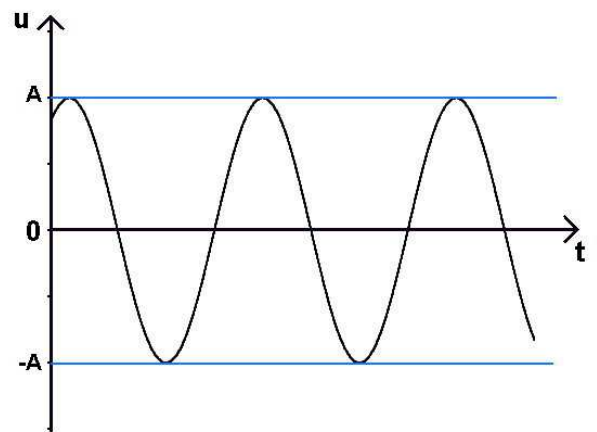
- la **pulsation** ω par $\omega = 2\pi \cdot \nu$
- La **phase à l'origine** ϕ
- **L'amplitude** A (souvent notée U_m)

L'expression de la tension est alors :

$$u(t) = A \cdot \cos(\omega t + \phi)$$

Valeur moyenne : 0

Valeur efficace : $U = \frac{A}{\sqrt{2}}$



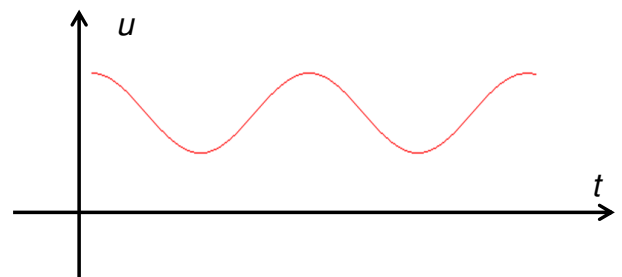
- Pour le secteur électrique: 50Hz et $U = 230 \text{ V}$
Calculer période, pulsation et amplitude

➤ **Non centré sur zéro, avec composante continue**

La courbe ci-contre a pour équation :

$$u(t) = B + A \cdot \cos(\omega t + \phi)$$

- Comment trouver graphiquement A , B et ω ?



- Quelle est la valeur moyenne?

10

C) Notions générales sur les ondes

1- Définition

Beaucoup de phénomènes physiques et de signaux se transmettent sous forme d'ondes. On distingue essentiellement :

- Les **ondes mécaniques** : ondes sonores, vagues à la surface de l'eau, ondes sismiques. Ne se propagent que dans un milieu matériel.
- Les **ondes électromagnétiques** : lumière, ondes radio, infrarouge, rayon X..

Une **onde** est la **propagation** d'une **perturbation** produisant sur son passage une **variation réversible** de grandeurs physiques locales. (*pression, position, champ électrique...*)

L'onde **transporte de l'énergie sans transporter de matière**. La matière peut bouger transitoirement au passage de l'onde (pour une onde mécanique) mais reprend ensuite sa place.

2- Dimension d'une onde

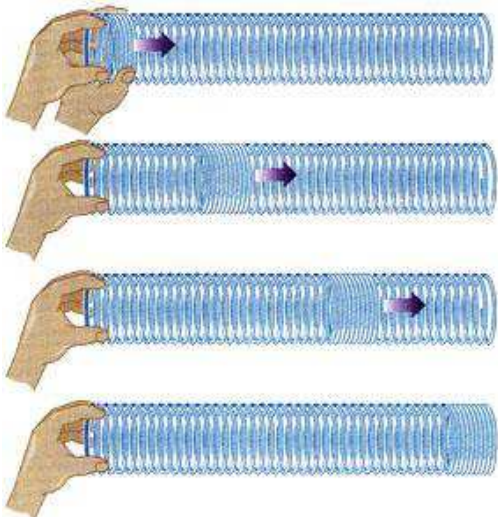
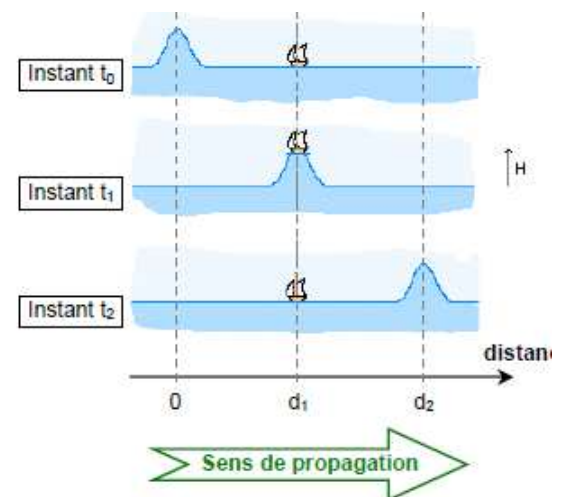
- Onde à une dimension : propagation dans une seule direction. *Ex : onde se propageant le long d'une corde, son dans un tube, émission d'un laser....*
- Onde à deux dimensions : propagation dans un plan. *Ex : onde provoquée par une pierre lancée sur l'eau.*
- Onde à trois dimensions : propagation dans tout l'espace à partir du point de perturbation. *Ex : son provoqué par un claquement de doigt*

11

3- Onde transversale ou longitudinale

Onde transversale : le phénomène qui se propage est perpendiculaire à la direction de propagation.

- *ci-contre : propagation d'une vague. Le phénomène qui se propage est un mouvement vertical réversible de l'eau sur la hauteur de la vague. Ce mouvement vertical est perpendiculaire au déplacement de l'onde (dans un plan horizontal)*



Onde longitudinale : déplacement des points du milieu de propagation dans la même direction que celle de la propagation.

- *ci-contre : quelques spires d'un ressort sont comprimées puis lâchées. On peut observer la déformation se propager le long du ressort. Chaque spire fait un bref mouvement de va et vient dans la direction de propagation.*

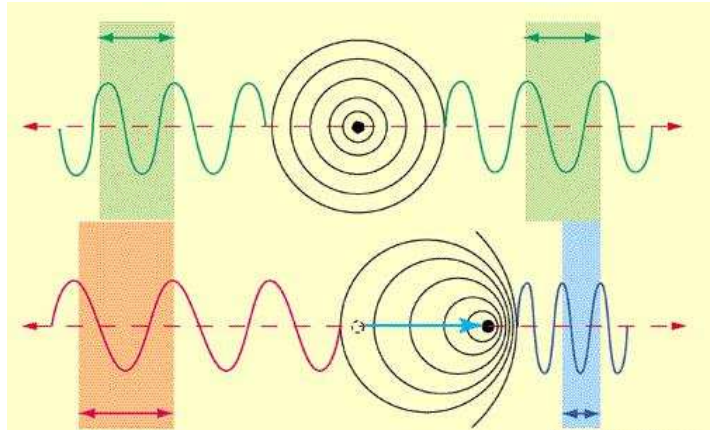
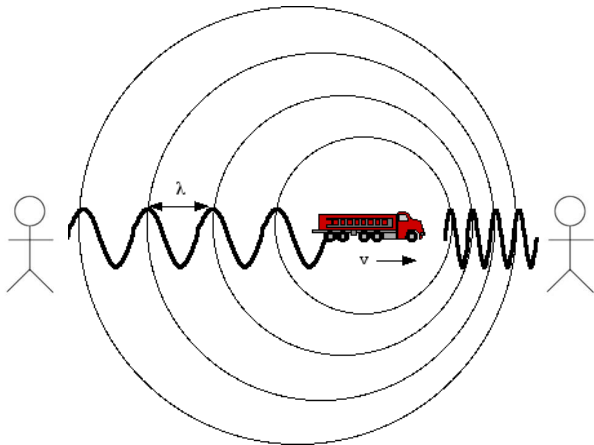
Cette expérience illustre bien la propagation du son dans un tube. Le son qui se propage est une perturbation de la pression (compression puis dilatation). Les molécules d'air effectuent un petit mouvement de va-et-vient dans la direction de propagation.

12

4- Onde progressive

Une **onde progressive** se propage sans se déformer ni s'amortir. Elle se caractérise par sa continuité. L'amplitude reste constante au cours du temps.

Les signaux ondulatoire étudiés dans le cadre du programme seront tous progressifs. Attention, si une source émet une fréquence f_0 et est en mouvement, les observateurs ne vont pas mesurer cette fréquence. C'est **l'effet Doppler**, *très facilement audible quand un véhicule passe rapidement à votre niveau. On entend un son plus quand le véhicule se rapproche et un son plus quand il s'éloigne.*



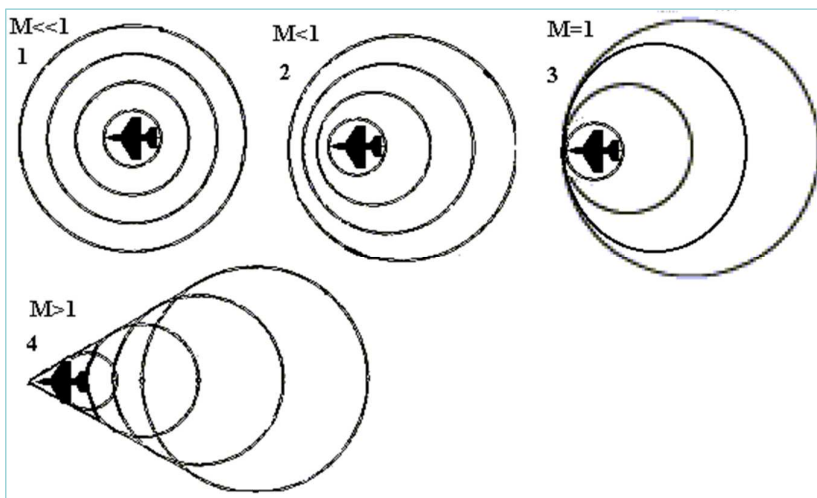
- *Légèder le schéma*
- *Si on court vers une source sonore immobile, cela modifie-t-il le son entendu ?*

13

Culturel : onde de choc

Quand un objet se déplace plus vite que l'onde qu'il génère, cela crée des perturbations importantes.

- *Ci-dessous, on illustre le déplacement d'un avion superposé à celui de l'onde sonore qu'il émet. Le coefficient M (de Mach) est le rapport entre la vitesse de l'avion et celle du son. Si l'avion est supersonique, les ondes « s'accumulent » sur le devant et cela crée une forte surpression et une onde de choc, (« bang »). Cette onde suit l'avion en permanence et est assez puissante pour casser les vitres au sol, si l'avion vole trop bas. On la visualise sur la photo car elle provoque une condensation en cône sur son passage*



Une onde de choc peut provenir aussi d'une explosion violente, d'une balle de pistolet, de l'extrémité d'un fouet qui claque, etc...

Rem : un bateau qui avance plus vite que les vagues qu'il génère à la surface de l'eau crée de même de fortes turbulences à l'arrière, qui se propagent en « V » sur l'eau

14

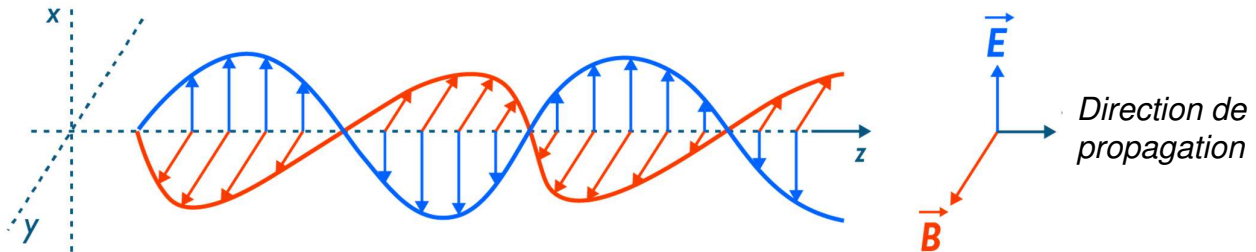
D) Rayonnement électromagnétique

Qu'est-ce que la lumière?

le modèle de l'optique géométrique, deux théories plus poussées permettent de décrire le rayonnement électromagnétique (la lumière). On les rappelle très brièvement.

1- Théorie ondulatoire (Maxwell, fin 19^e siècle)

Dans ce modèle, la lumière est la propagation simultanée d'un champ électrique $\vec{E}$ et d'un champ magnétique $\vec{B}$

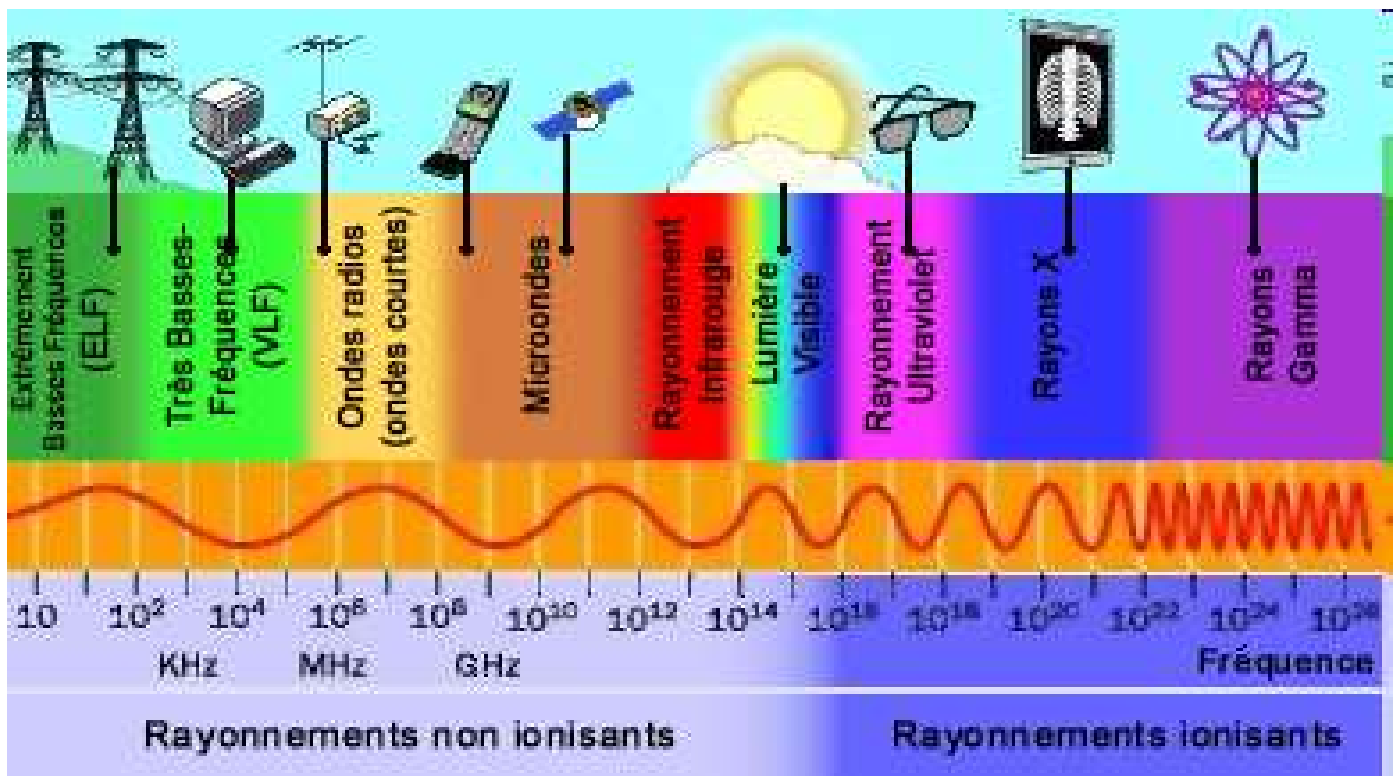


La vitesse de l'onde ou célérité est notée c . Dans le vide, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

En notant λ la longueur d'onde, ν la fréquence, T la période, on rappelle les relations :

15

Spectre du rayonnement électromagnétique en échelle log (pourquoi?)



Quelques exemples :

Courant électrique 50 Hz	Radio FM 100 MHz	Tél portable 900-1800 MHz	Four micro-onde 2450 MHz	Rouge : 750 nm 4.10 ¹⁴ Hz, 1,7 eV	Violet : 400 nm 7,5.10 ¹⁴ Hz, 3,1 eV
-----------------------------	---------------------	------------------------------	-----------------------------	---	--

16

2- Théorie corpusculaire ou quantique (début 20^e siècle, Planck et Einstein)

Dans ce modèle, la lumière est un jet de particules élémentaires appelés **photons**. Un photon est une **particule d'énergie pure**, sans masse, c'est un **quantum d'énergie**.

Energie d'un photon de longueur d'onde λ et de fréquence ν :

$$E_{\text{photon}} = h\nu$$

Avec $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$, la **constante de Planck** et ν la fréquence de la radiation

Le photon a aussi une quantité de mouvement. On rappelle que pour un objet de masse m et de vitesse $\vec{v}$, la quantité de mouvement, aussi appelée **impulsion** est le vecteur $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$. Pour un photon, on ne peut pas utiliser cette expression mais on peut exprimer son impulsion à partir de l'énergie et de la longueur λ selon les règles suivantes :

Impulsion ou quantité de mouvement $\vec{p}$ du photon telle que :

- $\vec{p}$ est orientée dans le sens et dans la direction de propagation de l'onde

- La norme est : $\|\vec{p}\| = p = \frac{h}{\lambda}$

Vérifier l'homogénéité de cette formule

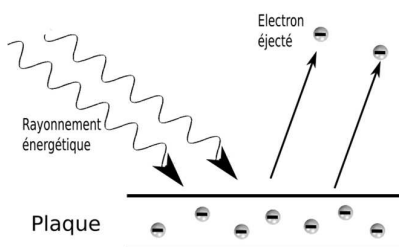
17

3- Choix du modèle

Il faut utiliser ces deux théories pour bien comprendre ce qu'est la lumière. Selon le phénomène à étudier, on choisit le modèle le mieux adapté.

Quelle théorie choisir pour étudier les phénomènes suivants :

❑ *L'effet photoélectrique = émission d'électron sous l'effet de la lumière*



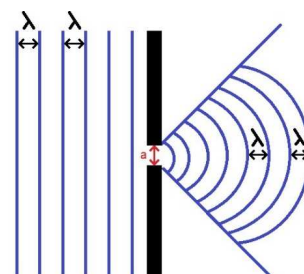
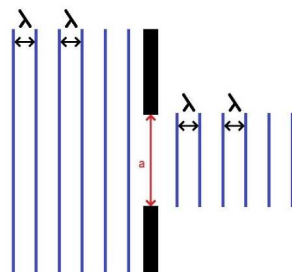
Théorie , interprétation :

❑ *Diffraction : phénomène observé par exemple quand un faisceau incident parallèle traverse une fente. Selon la taille a de la fente, le faisceau reste parallèle ou devient divergent.*

À légénder :

Théorie :

Angle de diffraction :



18

- ❑ *Interférences : sous certaines conditions, la superposition de deux faisceaux lumineux présente une alternance de zones lumineuses et sombre (il faut que les deux faisceaux soient eux-mêmes issu d'une seule source mais ils ont parcouru un chemin différent). Ci-contre, la figure d'interférence des anneaux de Newton en lumière blanche.*

Théorie, interprétation :

- ❑ *Effet photo ionisant : certains rayonnement sont suffisamment énergétiques pour arracher des électrons aux atomes. Les rayonnements ionisants sont utilisés par exemple pour désinfecter (des surfaces ou des aliments). Leur utilisation demande des précautions car ils présentent un risque pour la santé*

Théorie , interprétation :

- ❑ *Un reflet sur l'eau ou dans un miroir.*

Théorie , interprétation :

