



Thème 1 : ondes et signaux

S1. Propagation d'un signal

Notions et contenu	Capacités exigibles
1. Propagation d'un signal	
Signaux.	Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques, électromagnétiques.
Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle linéaire non dispersive. Célérité, retard temporel.	Écrire les signaux sous la forme $f(x-ct)$ ou $g(x+ct)$. Écrire les signaux sous la forme $f(t-x/c)$ ou $g(t+x/c)$. Prévoir dans le cas d'une onde progressive, l'évolution temporelle à position fixée, et l'évolution spatiale à un instant donné.
Onde progressive sinusoïdale : déphasage, double périodicité spatiale et temporelle.	Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustiques et électromagnétiques. Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la célérité. Mesurer la longueur d'onde et la célérité d'une onde progressive sinusoïdale. T.P. ultrasons
Interférences entre deux ondes acoustiques ou mécaniques de même fréquence. Déphasage.	Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour visualiser le phénomène d'interférences de deux ondes. Cuve à ondes. Exprimer les conditions d'interférences constructives ou destructives.
Diffraction à l'infini.	Utiliser la relation $\theta \approx \lambda/a$ entre l'échelle angulaire du phénomène de diffraction et la taille caractéristique de l'ouverture. Choisir les conditions expérimentales permettant de mettre en évidence le phénomène de diffraction en optique ou en mécanique. T.P. Caractère ondulatoire de la lumière.

1 ONDES ET SIGNAL

1.1. Les ondes

Lorsqu'on jette un caillou dans l'eau, on observe des ronds dans l'eau. (voir figure ci-contre).

Ces ronds proviennent d'un même point et grandissent petit à petit.



Au contact de la pierre, la surface de l'eau a été perturbée. On constate que cette perturbation se transmet depuis ce point **source** sous la forme d'un phénomène que l'on nomme une **onde**. Une onde est une **perturbation qui se déplace**. Cela est appelé le **phénomène de la propagation**.

Définition :

Une onde est la modification des propriétés physiques d'un milieu, qui se propage avec une vitesse finie (déterminée par les caractéristiques du milieu).

Le phénomène ondulatoire nécessite donc une source et un milieu de propagation. Un éventuel récepteur situé plus loin recevra l'onde en un temps fini.

Exemples :

Les ondes mécaniques : vagues, son, ondes sismiques...

Les ondes électromagnétiques : radio, lumière, UV...

Les ondes électriques...

1.2. Le signal

Définition :

Un signal physique correspond à la perturbation portée par l'onde en un point donné de l'espace. Il correspond à une modification temporaire de certaines propriétés physiques d'un milieu.

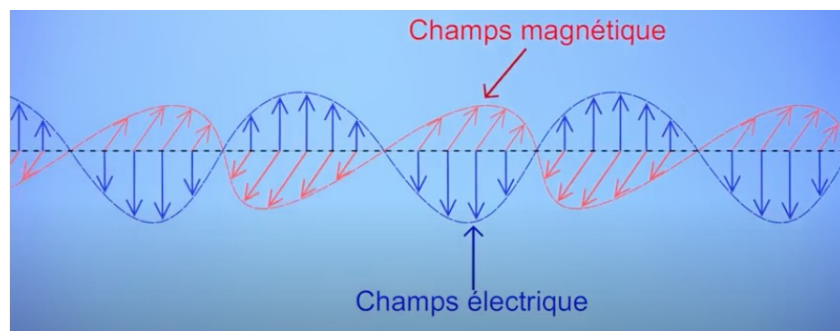
Le signal est ce qui est lu par le récepteur, placé en un point donné de l'espace.

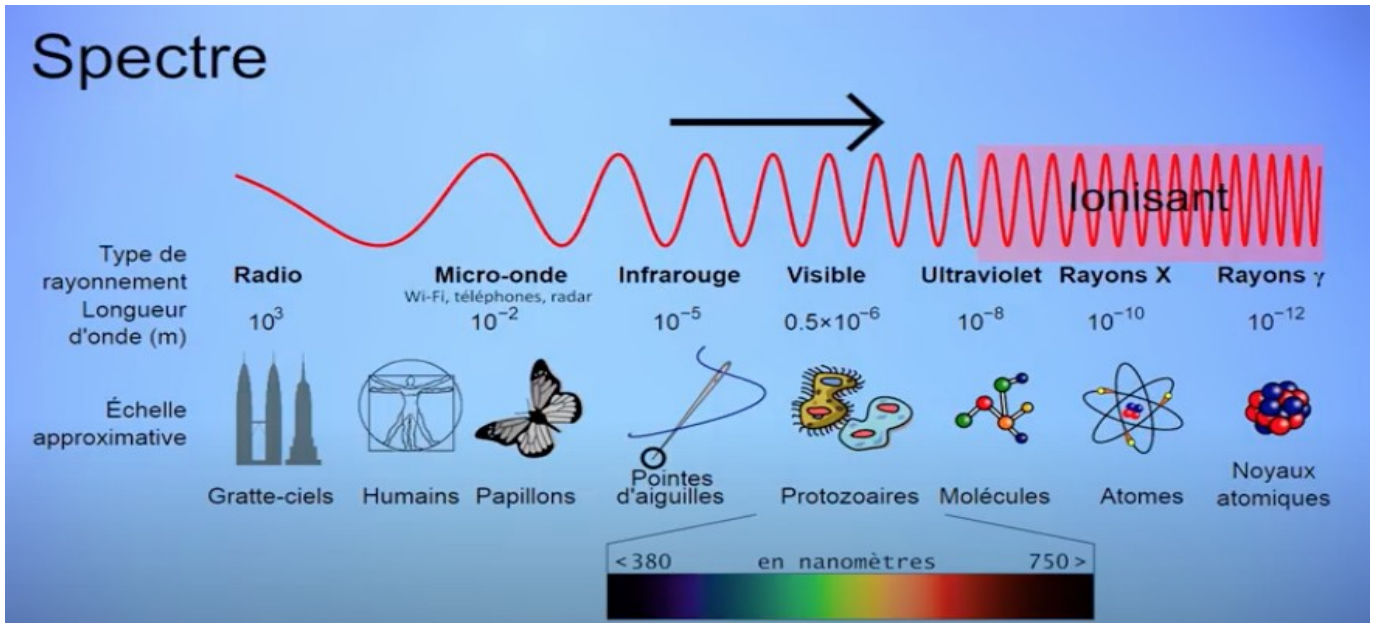
L'onde radio porte le signal d'une chanson.

Les signaux peuvent être de nature:

- **mécanique**: déformation d'une corde, d'un ressort, onde à la surface de l'eau, signaux sonores...

- **électromagnétiques**.





<https://youtu.be/w7y-1eY0mcE> onde électromagnétique spectre em

<https://youtu.be/LgOH6xxCBQA> Onde mécanique et électromagnétique

Une onde se propage, à partir de la source, dans toutes les directions qui lui sont offertes.

Il existe ainsi des ondes à **une, deux ou trois dimensions**.

Une onde à une dimension a lieu dans une seule direction, par exemple, le long d'une corde.

Une onde à deux dimensions a lieu dans un plan, par exemple à la surface de l'eau .

Une onde à trois dimensions a lieu dans l'espace, par exemple dans l'air.

On appelle **célérité c (ou v)** de l'onde la vitesse de propagation de l'onde. C'est le rapport entre la distance d parcourue par l'onde et la durée Δt du parcours.

$$c = \frac{d}{\Delta t} \quad \text{avec } c \text{ en m.s}^{-1}, d \text{ en m et } \Delta t \text{ en s.}$$

On préfère le mot **célérité** au mot **vitesse** auquel est associé la notion de déplacement de matière (vitesse d'une automobile, d'une particule etc...).

La **célérité** de l'onde est une propriété du milieu de propagation , elle est donc constante dans un milieu donné et dans des conditions données.

Par exemple, la **célérité** du son dans l'air dépend de sa température. La **célérité** d'une onde se propageant sur une corde dépend de sa tension et de sa masse linéique (masse par unité de longueur).

milieu	Célérité du son en m.s ⁻¹	milieu	Célérité du son en m.s ⁻¹
Air (20°C)	340	Brique	2500
Eau	1460	Verre	5000 à 6000
Bois	1000 à 2000	Plomb	1320
Béton	3500	Liège	450 à 500
Acier	5000 à 6000	Caoutchouc	40 à 150

Quelques ordres de grandeurs de célérités à connaître.

Signal	Célérité en m.s ⁻¹
Ondes électromagnétiques dans le vide	3.10^8 (vitesse de la lumière)
Son dans l'air à 20°C sous 1 bar	340
Son dans les métaux	Environ 3000 à 5000
Son dans l'eau	Environ 1500

Remarque:

Plus le milieu est rigide, plus l'onde est rapide. Comme le son se propage beaucoup plus vite dans les métaux que dans l'air. Il était courant au début du XXème siècle, pour entendre l'arrivée de trains, de coller son oreille contre les rails. Si les indiens utilisaient cette méthode, c'est parce que le son se propage beaucoup plus vite dans le métal que dans l'air.

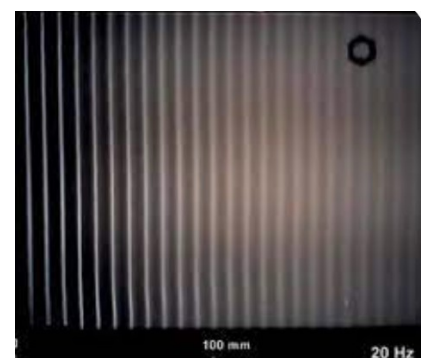
De même, une explosion sera entendue beaucoup plus rapidement sous la mer que dans l'air.



Définition :

Un milieu est dit dispersif si la célérité des ondes qui se propagent dans ce milieu dépend de leur fréquence.

- Exemple de milieu dispersif : sur la cuve à onde on engendre, au moyen d'une règle solidaire du vibreur, des ondes planes se propageant à la surface de l'eau. La fréquence f est réglable et peut être lue sur le générateur d'onde. Un stroboscope permet d'observer, en arrêt sur image, les rides obtenues à un instant t .



Pour différentes fréquences f , on mesure la longueur d'onde λ (distance entre deux rides) puis on calcule $v = \lambda.f$. **On s'aperçoit que v dépend de f . Le milieu est dispersif.**

La célérité d'une onde progressive périodique plane à la surface de l'eau dépend de la fréquence de l'onde (égale à la fréquence de vibrations de la source).

- Exemple de milieu non dispersif :

Pour les ondes sonores de fréquences audibles ($20 \text{ Hz} < f < 20000 \text{ Hz}$) l'air est un milieu non dispersif. Toutes les ondes sonores audibles se déplacent à la même vitesse (heureusement pour les auditeurs se trouvant au fond d'une salle de concert).

Remarque : Pour des ondes sonores audibles de **très grande amplitude** l'air devient dispersif : le roulement du tonnerre s'explique par le fait que les ondes sonores de basses fréquences sont plus lentes que les autres.

De même pour des ondes ultra sonores de très grandes fréquences ($f > 10^9 \text{ Hz}$) l'air devient dispersif.

Nous verrons que le phénomène de dispersion de la lumière joue un très grand rôle en optique. Mais les ondes optiques ne sont pas des ondes **mécaniques**, ce sont des ondes **électromagnétiques** qui se propagent même dans le vide. C'est d'ailleurs dans le vide qu'elles se propagent le mieux et le plus rapidement.

2 DESCRIPTION D'UNE ONDE PROGRESSIVE DANS LE CAS UNIDIMENSIONNEL

2.1. Définitions

Un phénomène qui se propage est dit unidimensionnel lorsque la propagation se fait dans une seule direction de l'espace.

C'est le cas des signaux dans les câbles électriques, dans les fibres optiques, les vagues dans les canaux...

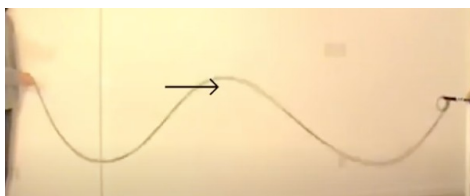
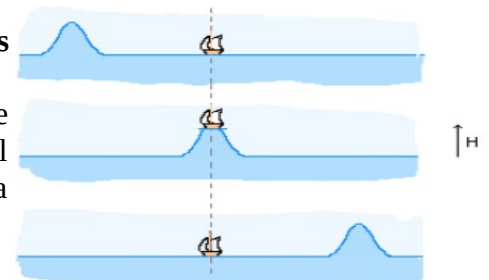
Une onde progressive est une perturbation qui se propage sans transport de matière dans un milieu en restant identique à elle-même. Elle se retrouve à l'identique un peu plus loin un peu plus tard.

Une onde progressive est donc la répétition dans le temps de signaux identiques. Le terme « progressive » signifie qui progresse c'est-à-dire qui se propage.

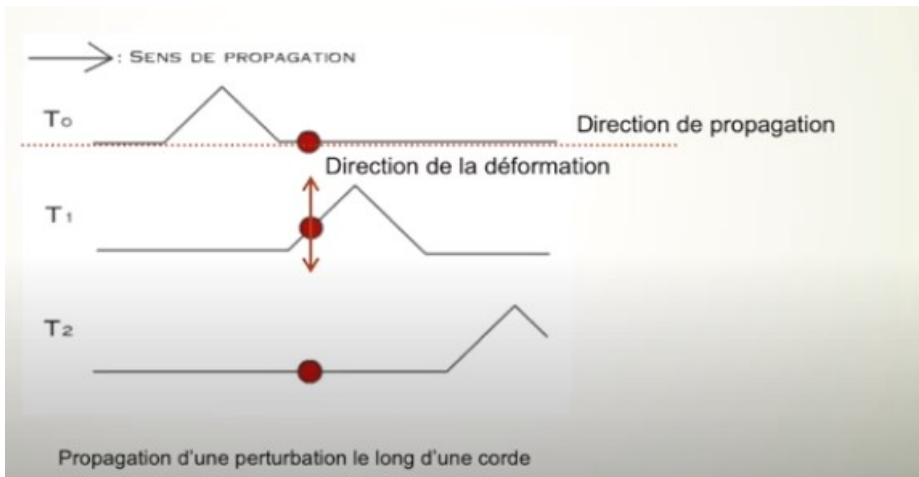
Transfert d'énergie sans transport de matière :

Une onde mécanique progressive transporte de l'énergie sans transport de matière.

Au passage d'une vague, le bateau s'élève d'une hauteur H , son énergie potentielle augmente. Cette énergie lui est apportée par l'onde, mais il n'y a pas de transport de matière (l'abscisse du bateau est restée la même).



photographie d'une corde :



<https://youtu.be/bfkDuhZKCVE>

Les ondes progressives sont de deux sortes:

- onde transversale :

Une onde est transversale lorsque la perturbation s'effectue perpendiculairement à la direction de propagation.

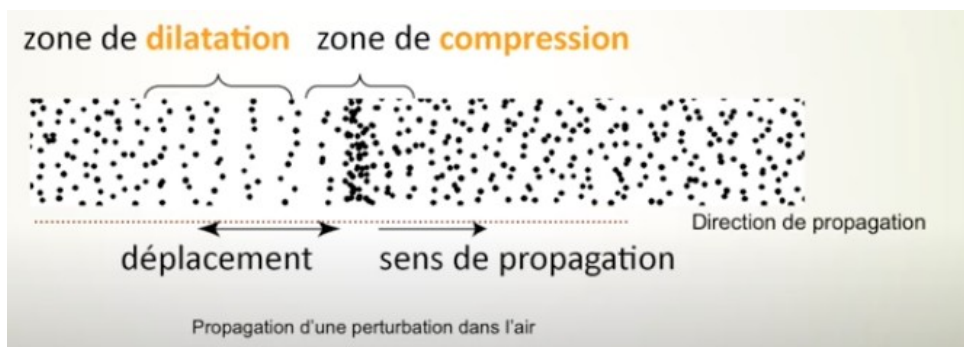
Ici, la perturbation est une déformation de la corde provoquée sur la corde qui se propage de proche en proche dans la direction horizontale alors que les points de la corde se déplacent verticalement. Remarque: La corde est le milieu de propagation, elle ne se déplace pas. Il n'y a pas de transport de matière. Il faut que le milieu de propagation présente une certaine élasticité.

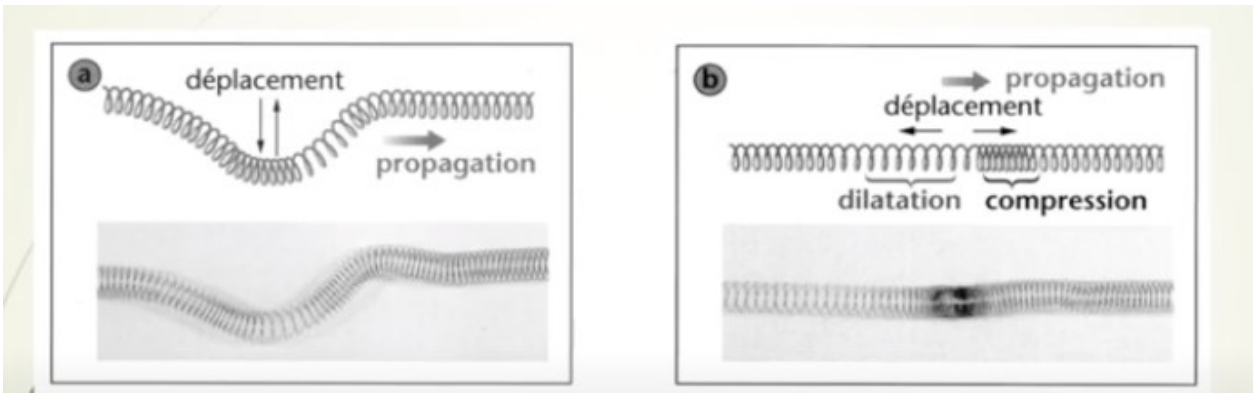
- onde longitudinale :

Une onde est longitudinale lorsque la perturbation s'effectue parallèlement à la direction de la propagation.

Le son dans l'air est une onde longitudinale. La perturbation (succession de compression et de détente) dans l'air se propage de proche en proche horizontalement, les molécules de l'air effectuent un va-et-vient horizontalement.

Remarque: L'air, milieu de propagation ne se déplace pas. Il n'y a pas de transport de matière. L'air est un milieu élastique.

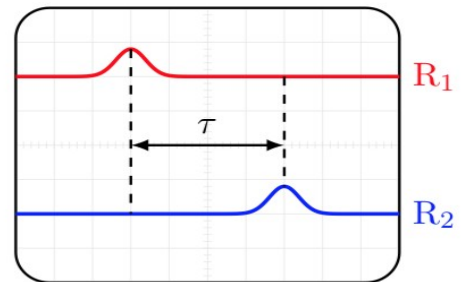




cas a) ressort soumis à une secousse de haut en bas le long d'un ressort et cas b) ressort dont certaines spires sont pincées puis relâchées.

2.2. Célérité et retard

Émetteur



On réalise l'expérience schématisée ci-dessous : un émetteur d'ultrason envoie des salves mesurées par deux récepteurs situés à une distance L l'un de l'autre. Sur l'oscilloscope, on visualise simultanément les deux signaux mesurés en fonction du temps. On observe une figure similaire au schéma ci-contre.

Le temps mesuré τ est le **retard** entre la réception de l'onde par le récepteur R_1 et le récepteur R_2 . Le retard d'une onde correspond au temps nécessaire pour que le signal se propage.

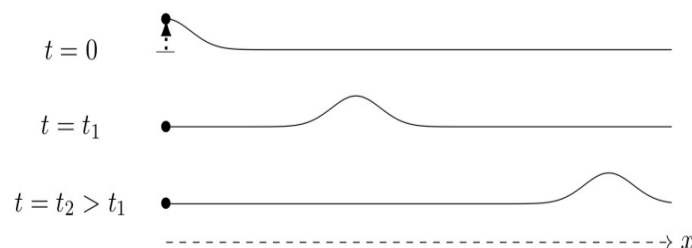
On définit la **célérité** c d'une onde comme sa vitesse de propagation. Elle s'exprime en m/s. La célérité correspond à la distance L entre un récepteur et un émetteur divisée par le temps nécessaire à l'onde pour parcourir cette distance τ , soit $c = L / \tau$.

Remarque : autre méthode expérimentale de mesure de la célérité des ultrasons : voir T.P.

2.3. Représentation spatiale d'une onde progressive

Dans une représentation **spatiale**, on regarde à un **temps fixé** la perturbation dans **tout l'espace**.

Ébranlement d'une corde:



Une photographie est une **représentation spatiale**, à un instant donné, on regarde la disposition des choses. Voir annexe (représentation mathématique).

2.4. Onde progressive périodique. Périodicité spatiale et temporelle d'une onde périodique.

Définition:

Une onde progressive est dite périodique si la perturbation qui la caractérise se répète à intervalles de temps réguliers appelés périodes et notés T.

Une onde ne peut être périodique que si sa source est elle-même périodique. Comme tous les phénomènes périodiques, une telle onde est aussi caractérisée par sa fréquence f qui peut être calculée à partir de la relation suivante: $f = \frac{1}{T}$ avec T en seconde (s) et f en Hertz (Hz).

Déterminer la fréquence d'un son de période 2,25 ms.

.....

Deux représentations possibles: à x fixé ou à t fixé (photographie). Voir annexe

Périodicité spatiale: longueur d'onde d'une onde progressive périodique

La **longueur d'onde** peut être définie deux manières:

- distance qui sépare deux points en phase consécutifs (qui se suivent)
- distance sur laquelle se propage une perturbation pendant une durée correspondant à une période.

Comme pour les ondes électromagnétiques la longueur d'onde se note avec la lettre grecque λ (lambda) et peut être calculée avec les relations suivantes:

$$\lambda = c \cdot T \text{ ou } \lambda = \frac{c}{f}$$

λ en mètre (m), c notée parfois v (célérité de l'onde) en mètre par seconde (m . s⁻¹), T en seconde (s) et f en hertz (Hz).

Une onde se propage dans l'eau . À partir de sa fréquence ($f = 50$ Hz) et de sa célérité (1500 m . s⁻¹) , déterminer sa longueur d'onde.

.....

Périodicité temporelle: période ou fréquence d'une onde progressive périodique

La période T d'un phénomène périodique est la durée au bout de laquelle le phénomène se répète identique à lui-même.

La fréquence f d'un phénomène périodique représente le nombre de phénomènes effectués par seconde.

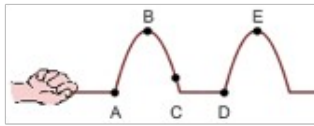
Exemples d'ondes progressives périodiques

- Le son. Il est caractérisé par sa hauteur: sa fréquence (une fréquence élevée correspond à un son aigu tandis qu'une fréquence faible correspond à un son grave) et son timbre qui dépend de la source qui émet.

- Si l'extrémité d'une corde est levée puis abaissée à un rythme régulier alors les perturbations qui s'y propagent forment une onde progressive périodique.

Points en phase d'une onde progressive

Si deux points de l'espace subissent des perturbations qui ont même valeur et varient dans le même sens alors on dit qu'ils sont en phase. Exemple: dans le cas d'une onde périodique à une dimension qui se propage le long d'une corde on dit que deux points sont en phase si l'élongation de la corde est la même avec une variation dans le même sens (les deux s'abaissent ou ils s'élèvent)



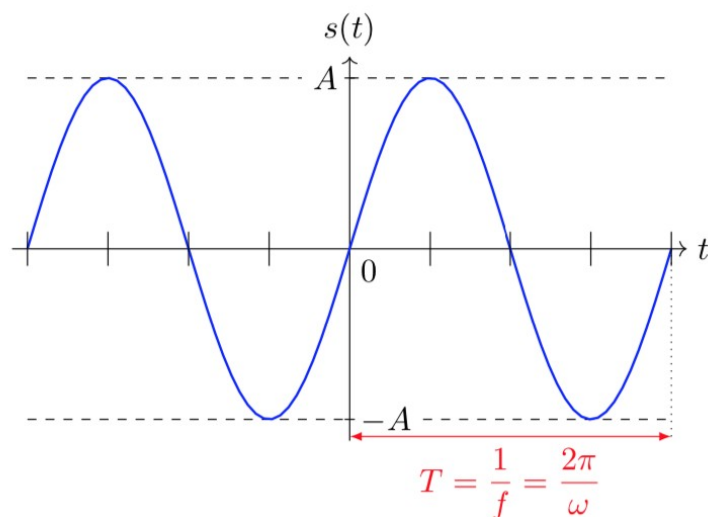
Placer le point F.

- Sur la corde ci-contre:
 - Les points A et D sont en phase
 - Les points B et E sont en phase
 - Les points C et F sont en phase

3 L'ONDE PROGRESSIVE SINUSOÏDALE

3.1. Le signal sinusoïdal

On observe à l'oscilloscope du son d'un diapason enregistré avec un microphone. Le signal mesuré est sinusoïdal.

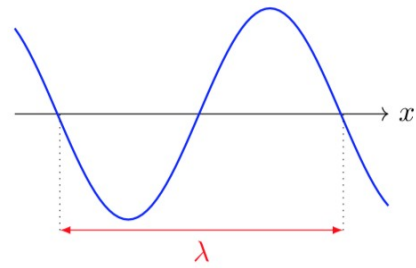
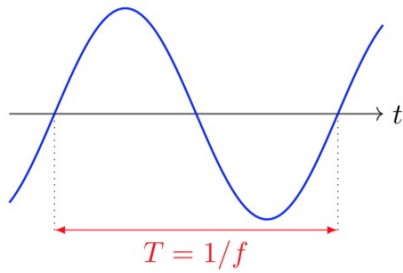


La durée entre deux phénomènes identiques consécutifs est la **période** T , son unité est la seconde. Le nombre de périodes par seconde est la **fréquence** f , son unité est le hertz (Hz).

On définit la pulsation par $\omega = 2\pi/T$.

Un diapason est un instrument qui émet une note pure, c'est-à-dire que le signal sonore émis est sinusoïdal de fréquence f donnée. Le signal émis est donc de la forme $s(t) = A \sin(2\pi ft) = A \sin(\omega t)$. Chaque note de musique a une fréquence donnée. Par exemple, le La 3 vaut 440 Hz, le La 4 vaut 880 Hz et le Do 2 vaut 130.81 Hz. A désigne l'amplitude du signal.

3.2. Caractéristiques



Une onde sinusoïdale qui se propage est appelée onde progressive sinusoïdale. Une onde progressive sinusoïdale présente donc une double périodicité ; l'une dans sa représentation spatiale et l'autre dans sa représentation temporelle. La longueur d'onde est l'équivalent spatial de la période T.

3.3. Spectre d'un signal

Le diapason produit des notes pures, mais ce n'est pas le cas de tous les instruments, et encore moins de tous les sons. Dans le cas général, un son est la superposition de notes.

Pour connaître les caractéristiques d'un son, on le décompose afin de voir quelles sont les fréquences qui le forment. On obtient son spectre.

Théorème de Fourier

Tout signal physique périodique peut s'écrire comme une somme de signaux sinusoïdaux.

Ainsi, si l'on sait travailler sur un signal sinusoïdal, on sait étudier quasiment tous les signaux car, à l'aide de ce théorème, on peut décomposer n'importe quel signal en sommes de signaux que l'on peut traiter indépendamment les uns des autres.

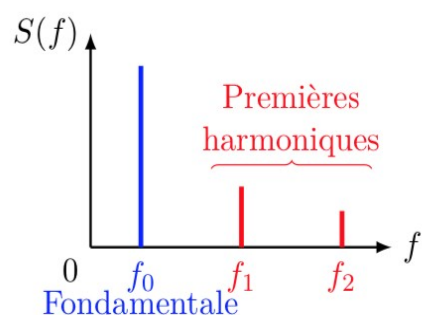
Définition. Pour un signal physique donné, l'ensemble des composantes sinusoïdales d'un signal ainsi que leur amplitude constituent son spectre en fréquences. On le représente généralement graphiquement. Pour un signal périodique, la première fréquence s'appelle la fréquence fondamentale et les suivantes sont les harmoniques. Les fréquences des harmoniques sont des multiples de la fréquence fondamentale.

La fondamentale est la plus petite fréquence (hauteur du son).

Les harmoniques sont les autres fréquences composant le son (timbre).

Les fréquences des harmoniques sont des multiples de la fréquence fondamentale.

Un son pur est composé d'une seule fréquence (sa représentation temporelle est une sinusoïde) alors qu'un son complexe est composé de plusieurs fréquences (sa représentation temporelle est le résultat de la somme de plusieurs sinusoïdes).



4 TRANSMISSION D'UN SIGNAL PHYSIQUE PAR UNE ONDE

Les signaux acoustiques

Les signaux acoustiques se propagent par une modification locale de la pression et de la vitesse locale du milieu. Ils se propagent dans l'air (≈ 340 m/s à 20 °C sous 1 bar) et dans les solides ou les liquides. Les fréquences audibles sont situées entre 20 Hz (grave) et 20 kHz (aigu) mais ces valeurs varient selon les individus.

Les signaux électromagnétiques

Les signaux électromagnétiques se propagent par une modification locale du champ électromagnétique (\vec{E}, \vec{B}) . Ils se propagent dans le vide ($c \approx 3 \times 10^8$ m/s) et dans certains milieux transparents pour certaines fréquences, par exemple dans l'eau à environ 2.25×10^8 m/s et dans les verres entre 1.66×10^8 m/s et 2.20×10^8 m/s.

Les signaux électriques

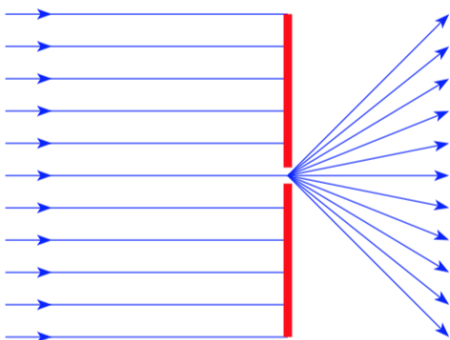
Ils se propagent dans les conducteurs électriques (métaux notamment) et correspondent à une modification locale du courant I et de la tension U .

5 DIFFRACTION A L'INFINI

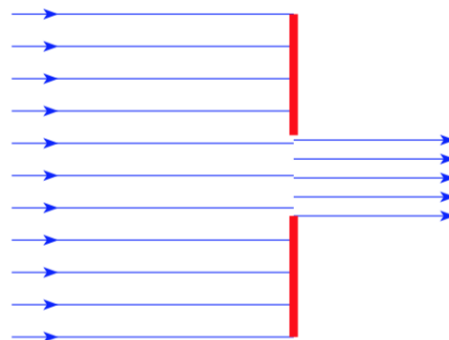
5.1. Le phénomène de diffraction

Définition: On appelle **diffraction**, le phénomène au cours duquel une onde qui traverse une petite ouverture ou rencontre un petit objet change de direction sans modification de fréquence ou de longueur d'onde. Le phénomène est d'autant plus important que la taille de l'obstacle ou de l'ouverture est faible.

Pour que le phénomène de diffraction apparaisse, il faut que la taille de l'obstacle ou de l'ouverture soit du **même ordre de grandeur que la longueur d'onde** de l'onde.



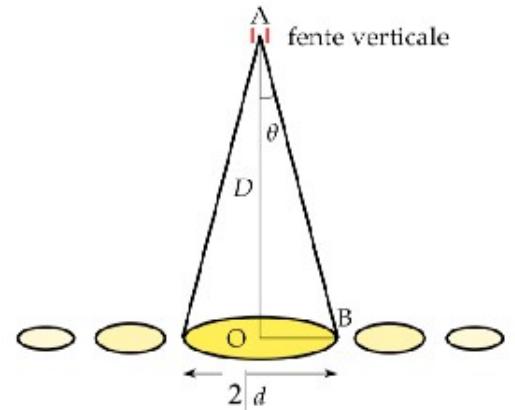
Petite ouverture = diffraction



Grande ouverture = pas de diffraction

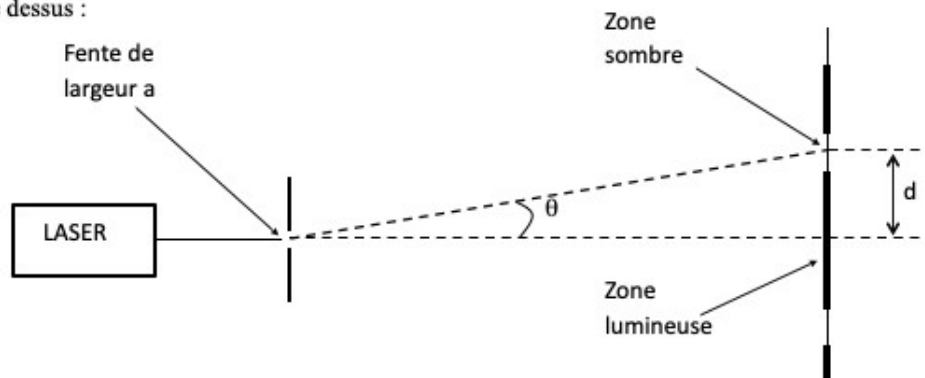
5.2. Diffraction d'une onde lumineuse

Soit une diffraction causée par un faisceau laser étroit dans une fente verticale de dimension du même ordre de grandeur que sa longueur d'onde. Le faisceau se diffracte en formant des tâches lumineuse séparées par des régions sombres qu'on appelle extinctions. La tâche centrale possède une taille plus grande et une intensité plus importante que les autres, dont la taille et l'intensité diminue en partant du centre vers la périphérie



Relation entre l'ouverture angulaire θ du faisceau, la largeur de la fente a et la longueur d'onde λ :

Schéma vu de dessus :



Lorsque $D \gg d$:

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

θ : ouverture angulaire du faisceau diffracté (rad)

a : la largeur de la fente (m)

λ : la longueur d'onde (m)

d : demi largeur de la tache centrale sur l'écran (m)

D : distance de la fente à l'écran (m)

Démonstration:

Dans le triangle rectangle d'angle au sommet θ , on a : $\tan\theta = \frac{d}{D}$

et comme θ est petit, $\tan\theta = \theta$ d'où $\theta = \frac{d}{D}$.

Largeur de la frange centrale: $2d = 2 \theta D = 2\lambda D/a$.

Ce dispositif permet de mesurer la taille a de très petits objets. L'objet joue le rôle de la fente. Comme l'on connaît λ et que l'on peut mesurer θ , d et D , on en déduit alors a .

6 INTERFERENCES

Interférence entre deux ondes

Deux sources d'ondes qui vibrent à la même fréquence et en phase sont dites **cohérentes**.

- C'est le cas, par exemple, de deux vibreurs d'une cuve à onde alimentés par le même générateur.
- C'est le cas aussi de deux sources lumineuses obtenues à partir d'une source unique dont on divise la lumière émise en deux faisceaux.

Le phénomène d'interférences peut se produire dans un espace où deux ondes progressives périodiques produites par deux sources cohérentes sont présentes. Nous considérons le cas le plus simple de superposition d'ondes, l'addition de deux ondes progressives sinusoïdales. On considérera les deux ondes de même pulsation, dont le déphasage en un point donné est le même à tout instant.

Interférences constructives et destructives

Lorsque deux ondes, émises par deux sources S_1 et S_2 interfèrent en un point M , on considère deux situations particulières:

Si à chaque instant les deux ondes, provenant des deux sources, sont en phase quand elles arrivent au point M , l'interférence entre les deux ondes est **constructive**.

Si à chaque instant les deux ondes sont en opposition de phase au point en M , l'interférence entre les deux ondes est **destructive**.

On appelle **différence de marche** entre les deux ondes qui interfèrent en M , la différence entre la distance S_1M et la distance S_2M :

$$\delta = |S_1M - S_2M|.$$

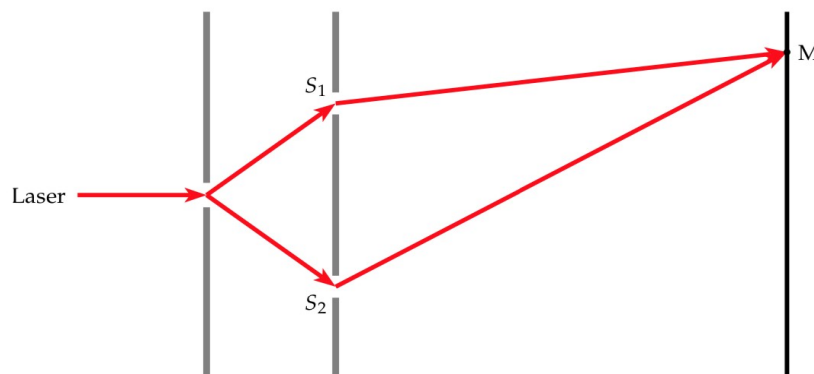
Condition d'interférence constructive:

Les deux ondes doivent être en phase en M ce qui signifie que la différence de marche est un multiple entier de la longueur d'onde: $\delta = k\lambda$.

Condition d'interférence destructive :

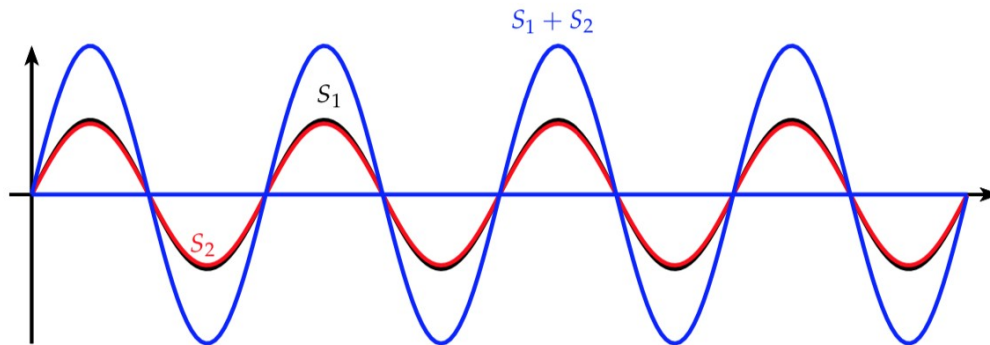
Les deux ondes doivent être en opposition de phase en M ce qui signifie que la différence de marche est un multiple entier de la longueur d'onde, additionné d'une demi longueur d'onde:

$$\delta = k\lambda + \lambda/2.$$

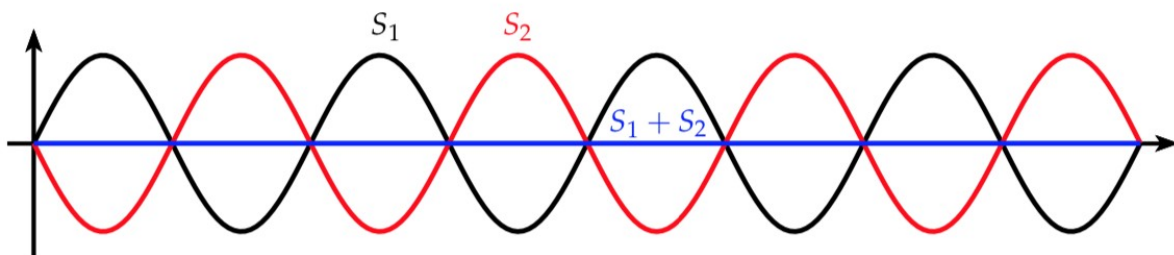


La lumière monochromatique, émise par un laser, est une onde périodique sinusoïdale. Les ondes progressives obéissent au principe de superposition.

Soit un rayon laser monochromatique passant par une petite fente. Après cette première diffraction, on obtient **deux sources de lumière monochromatique** S_1 et S_2 . Ces rayons passent par deux autres petites fentes. Sur un écran, on observe alors une **succession de franges brillantes et de franges sombres** : c'est le phénomène d'interférence. Ce phénomène est dû à la différence de distances S_2M et S_1M appelée **différence de marche**: δ .



Si $\delta = k \lambda$ avec k entier relatif, on a une interférence **constructive** : « lumière + lumière = lumière ». Il y a superposition. Les ondes arrivant en phase au point M ajoutent leurs effets ; la frange est une frange brillante.



Si $\delta = (k + 1/2) \lambda$ on a une interférence **destructive** : « lumière + lumière = obscurité ». Il y a annulation.

Exemple de la cuve à onde : <https://youtu.be/R3Mu1vG1t2c>

En un point M du champ d'interférences, on a la somme de deux signaux de même pulsation ω : $S_1(t) = S_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$ et $S_2(t) = S_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$.

La somme des deux signaux précédents est un signal de pulsation ω identique à la pulsation de départ : $S(t) = S_1(t) + S_2(t) = S \cos(\omega t + \varphi)$.

La somme a une amplitude maximum $S_1 + S_2$ et une amplitude minimum $S_1 - S_2$. On obtient un maximum pour $\varphi_2 - \varphi_1 = 2k \pi$ et un minimum pour $\varphi_2 - \varphi_1 = (2k+1) \pi$ avec k entier relatif.

On aura des interférences constructives si $\varphi_2 - \varphi_1 = 2k \pi$, c'est-à-dire si $r_2 - r_1 = k\lambda$.

On aura des interférences destructives si $\varphi_2 - \varphi_1 = (2k+1) \pi$, c'est-à-dire si $r_2 - r_1 = k\lambda + \lambda/2$.

7 EFFET DOPPLER

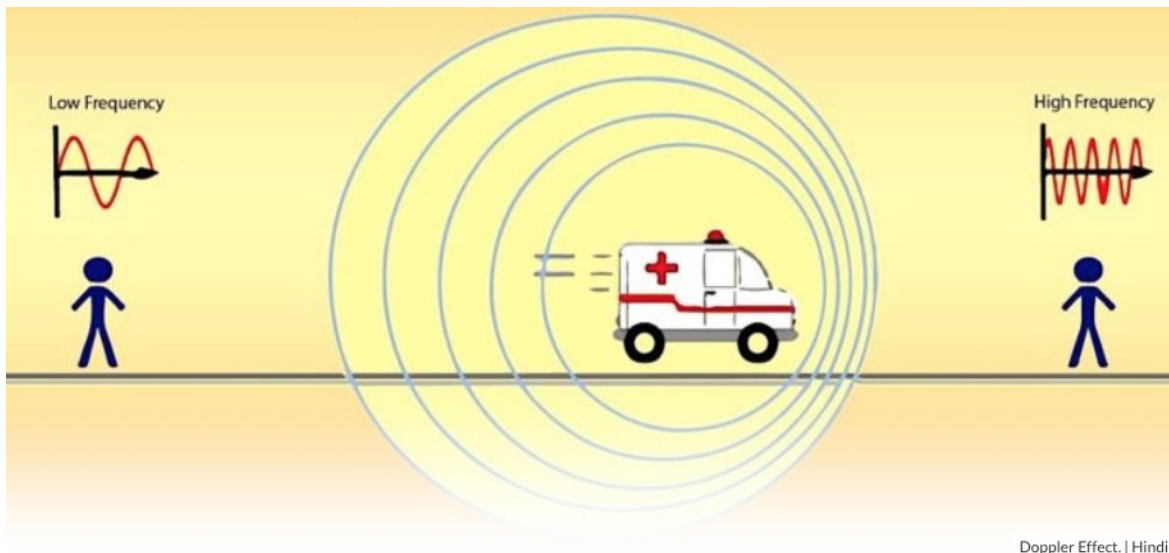
Tout le monde à fait l'expérience qui consiste à entendre une voiture s'approcher puis s'éloigner d'un observateur au bord d'une route. Le son devient plus aigu lorsque la voiture s'approche puis plus grave au fur et à mesure qu'elle s'éloigne. Il s'agit de l'effet Doppler.

Lorsque l'émetteur émet un son de fréquence f_e et qu'il est en mouvement à la vitesse v par rapport au récepteur, on peut démontrer les expressions suivantes de la fréquence perçue par le récepteur :

- si l'émetteur se rapproche : $f_r = f_e \times \left(\frac{c}{c-v}\right)$

- si l'émetteur s'éloigne : $f_r = f_e \times \left(\frac{c}{c+v}\right)$ (pour information)

Si la source s'approche du récepteur, l'observateur entend un son plus aigu et vice-versa.



PLAN

1 ONDES ET SIGNAL

1.1. Les ondes

1.2. Le signal

2 DESCRIPTION D'UNE ONDE PROGRESSIVE DANS LE CAS UNIDIMENSIONNEL

2.1. Définitions

2.2. Célérité et retard

2.3. Représentation spatiale d'une onde progressive

2.4. Onde progressive périodique. Périodicité spatiale et temporelle d'une onde périodique.

3 L'ONDE PROGRESSIVE SINUSOÏDALE

3.1. Le signal sinusoïdal

3.2. Caractéristiques

3.3. Spectre d'un signal

4 TRANSMISSION D'UN SIGNAL PHYSIQUE PAR UNE ONDE

5 DIFFRACTION A L'INFINI

5.1. Le phénomène de diffraction

5.2. Diffraction d'une onde lumineuse

6 INTERFERENCES

7 EFFET DOPPLER

Annexe

Caractérisation mathématique d'une onde progressive à une dimension

a) Analyse

On considère la propagation d'une onde à la vitesse c , le long de l'axe x , dans le sens des x croissants.

Deux approches sont possibles : soit on suit le signal au cours du temps (en prenant des "photographies" successives), soit on place des capteurs en des points donnés et on y enregistre le signal temporel.

On constate que pour décrire correctement le signal, nous devons utiliser deux variables x et t . On introduit donc la fonction à deux variables $s(x, t)$

$s(x_0, t)$ correspond à un enregistrement du signal en fonction du temps, en un point d'abscisse x_0 donné

$s(x, t_0)$ correspond à une "photographie" du signal, à un instant t_0 donné.

b) Expression en fonction du retard.

Supposons connu le signal en $x = 0$: $s(0, t) = f(t)$.

On se place désormais au point M d'abscisse $x > 0$. Quel signal enregistrera-t-on en ce point ?

Pour se propager de 0 vers M le signal va mettre un temps Δt tel que $x = c \Delta t$.

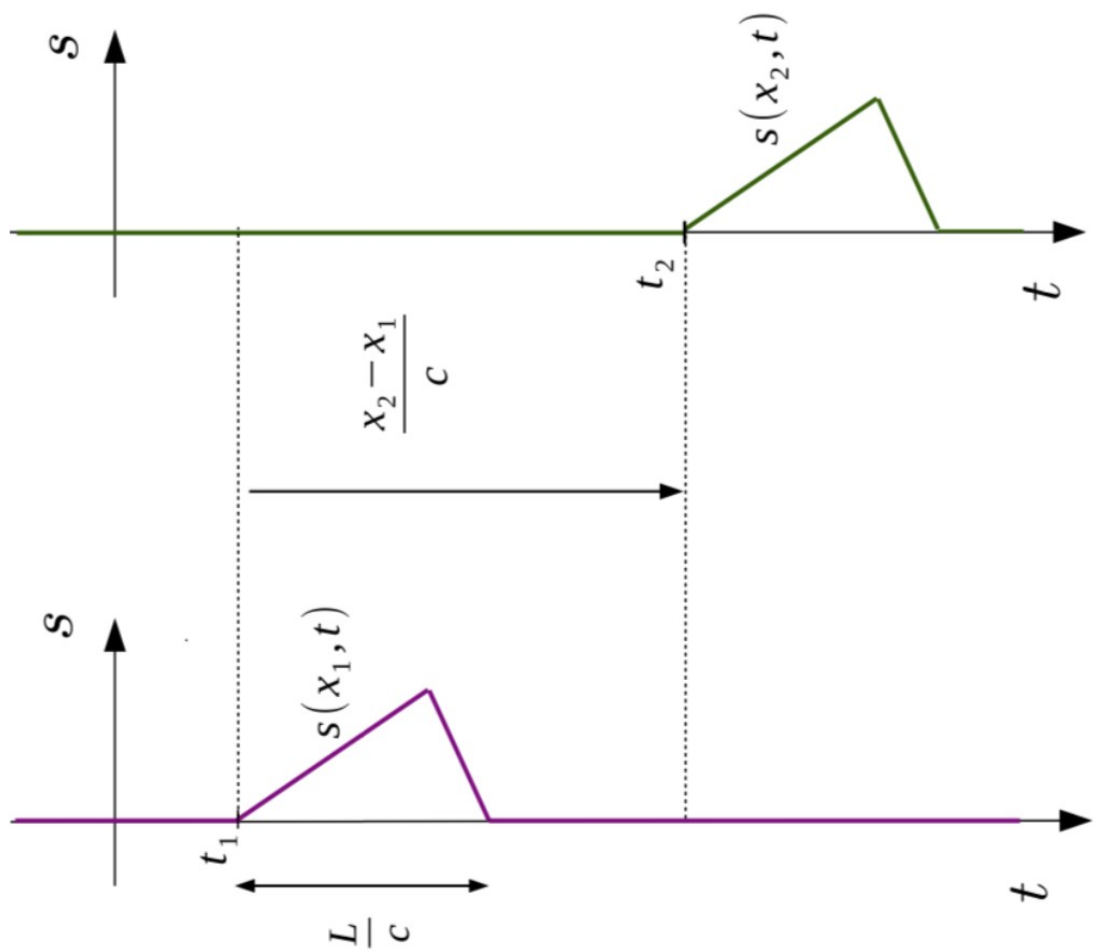
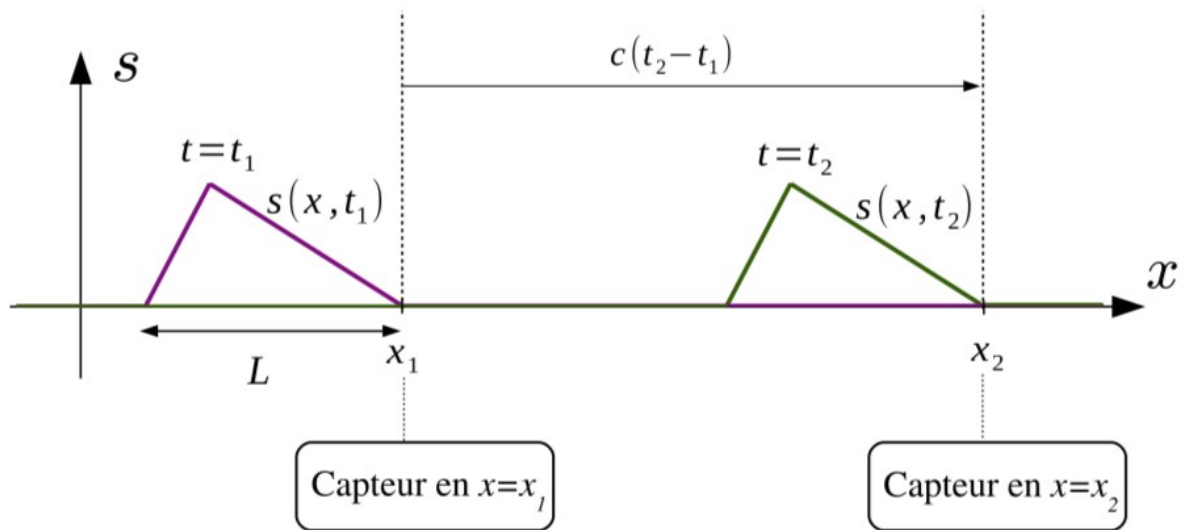
$\Delta t = x/c$ représente donc le retard du signal en M par rapport à celui en O .

Remarque : cette notion de retard lié à la vitesse finie de propagation de l'onde peut être illustrée lors de l'observation des astres : lorsqu'on dit qu'alpha du Centaure est située à 4 AL (Année Lumière) de la Terre, cela signifie qu'elle se situe à une distance parcourue en quatre années par la lumière. Si cette étoile venait à exploser nous ne pourrions en être informés que quatre années plus tard. À ce titre, le soleil est situé à environ 8 min lumière de la Terre...

Le signal reçu en M à l'instant t est le même que le signal émis en 0 à l'instant $t - \Delta t$. L'expression de ce signal sera donc $s(x, t) = s(0, t - \Delta t) = s(0, t - x/c) = f(t - x/c)$

Toute onde progressive se propageant à la vitesse c dans le sens des x croissants peut s'écrire sous la forme : $s(x, t) = f(t - x/c)$

Inversement, pour une onde se propageant dans le sens des x décroissants, on obtient, en changeant c en $-c$ une expression de la forme : $s(x, t) = g(t + x/c)$



Les deux représentations : l'amplitude du signal S en fonction du déplacement x et l'amplitude du signal S en fonction du temps

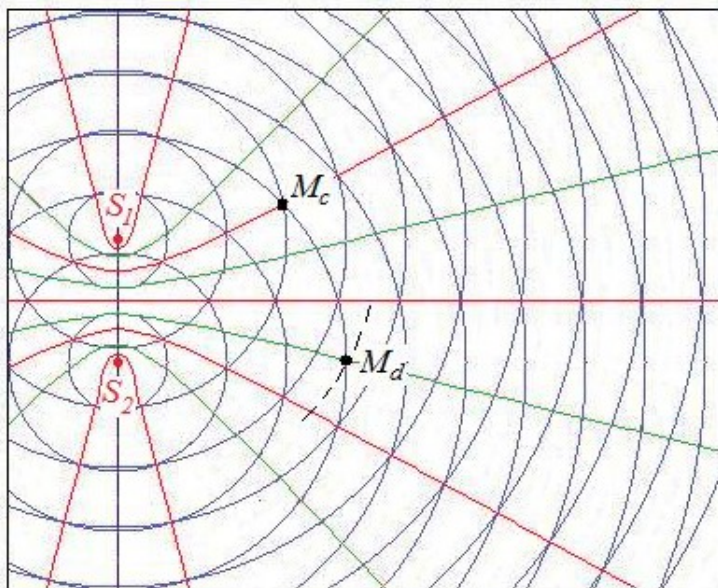
stroboscope : dispositif qui délivre des flash lumineux périodiques

générateur d'ondes

plan d'eau

miroir

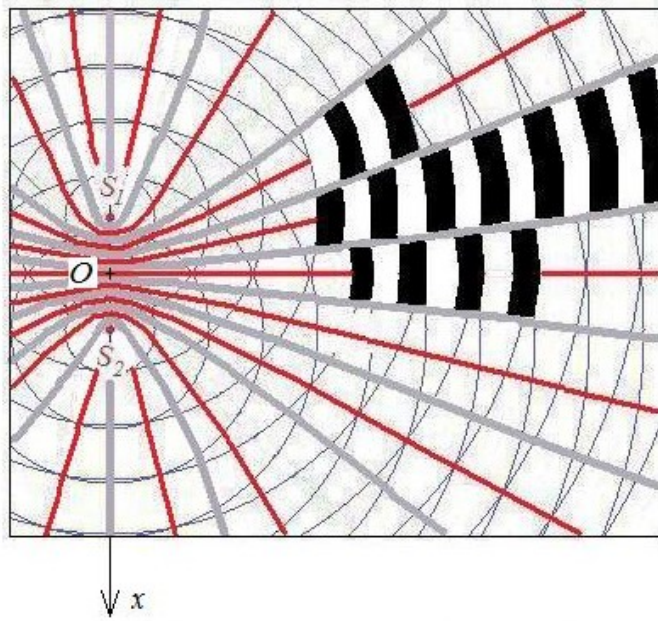
visualisation sur un écran des ondes générées sur le plan d'eau



en rouge
interférences constructives
(lignes d'amplitude maximale)

les points de ces lignes apparaissent alternativement clairs ou sombres suivant que la surface y est une crête ou un creux (non représenté sur schéma) ; en éclairage stroboscopique les zones claires et sombres sont alternées sur chaque ligne

en vert
interférences destructives
(lignes d'amplitude minimale)
les points de ces lignes apparaissent d'un gris quasi-uniforme



*Vue de la surface de
la cuve à ondes en
éclairage stroboscopique*

zones sombres en noir

zones claires en blanc

*seules quelques rides ont été
représentées avec leur contraste
de façon à ne pas surcharger
le schéma*

En gris les lignes d'interférences destructives (lumière peu intense sans contraste)

*En rouge les lignes d'interférences constructives (lumière très contrastée, alternance
de zones sombres et claires, les zones sombres correspondant à des creux et les zones
claires à des crêtes - d'amplitudes maximales pour les lignes d'interférences constructives)*