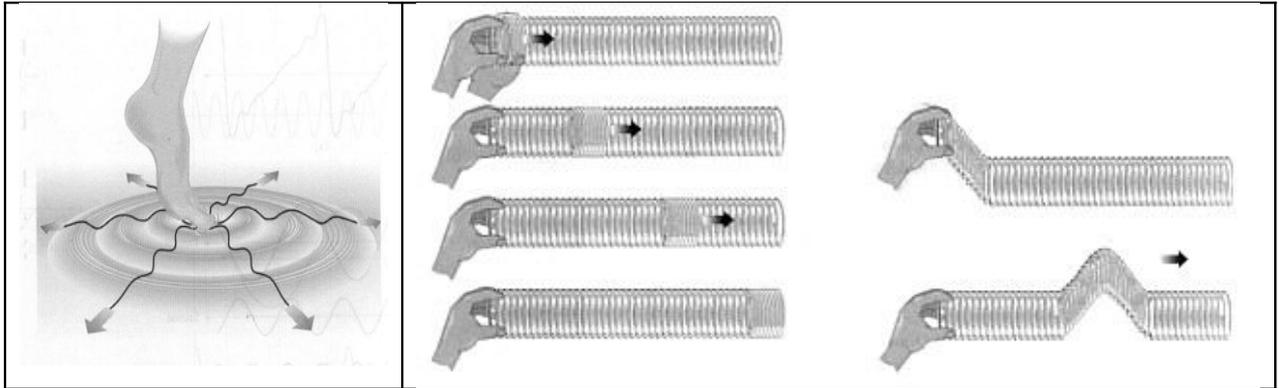


Les ondes

Introduction



Un caillou ou une goutte tombant à la surface de l'eau produit une déformation à l'endroit de l'impact et on observe la formation d'une ride circulaire qui se propage à la surface de l'eau autour de ce point.

Un cri ou une explosion produit de minuscules déplacements des particules d'air accompagnés de faibles modifications de pression (onde acoustique).

A l'extrémité d'un ressort, on peut provoquer une perturbation (à l'aide de la main) qui se propage le long de celui-ci.

2. Définition d'une onde

Pour chaque exemple cité, une propriété physique (la position, la pression,...) du milieu a été modifiée localement et temporairement. La perturbation se propage de proche en proche à travers un milieu élastique capable de se déformer. Chaque point va reproduire la perturbation émise à l'origine.

Tous ces exemples montrent que lors de la formation d'une onde, il y a transfert d'énergie de proche en proche dans un milieu sans qu'il y ait transport de matière. Le milieu s'agite momentanément mais ne se déplace pas.

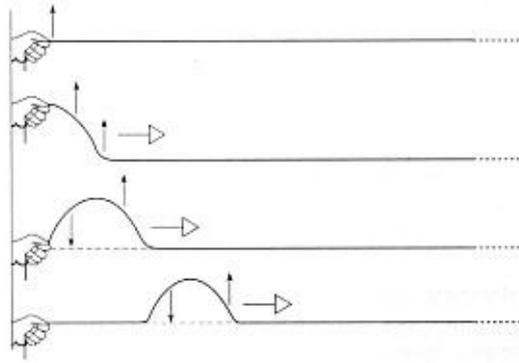
On appelle ***onde progressive, un transfert d'énergie sans transport de matière grâce à la propagation de proche en proche d'un signal (aussi appelé perturbation) à travers un milieu élastique.***

2.1 ONDE TRANSVERSALE

L'onde est dite *transversale* lorsque la déformation est \perp à la direction de propagation de l'onde.

Exemples :

- onde produite par un objet à la surface de l'eau
- onde produite sur une corde

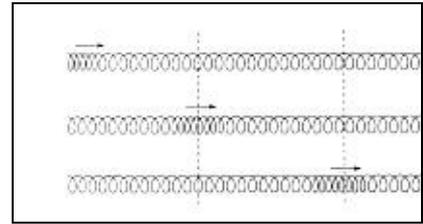
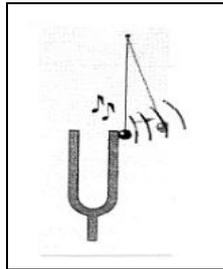


2.2 ONDE LONGITUDINALE

L'onde est dite *longitudinale* lorsque la déformation est // à la direction de propagation de l'onde.

Exemples :

- onde produite sur un ressort
- ondes sonores



3. Vitesse d'une onde

L'expérience montre que la vitesse V avec laquelle la perturbation se propage a **une valeur finie**. Cette vitesse :

- **dépend des caractéristiques du milieu**

Exemples

La vitesse des ondes sonores

331 m/s à 0°C dans l'air

340 m/s à 15°C dans l'air

1500 m/s à 15°C dans l'eau

3570 m/s dans la fonte

- **dépend de la nature du signal**

Exemples

👉 les ondes acoustiques dans l'air 340 m/s

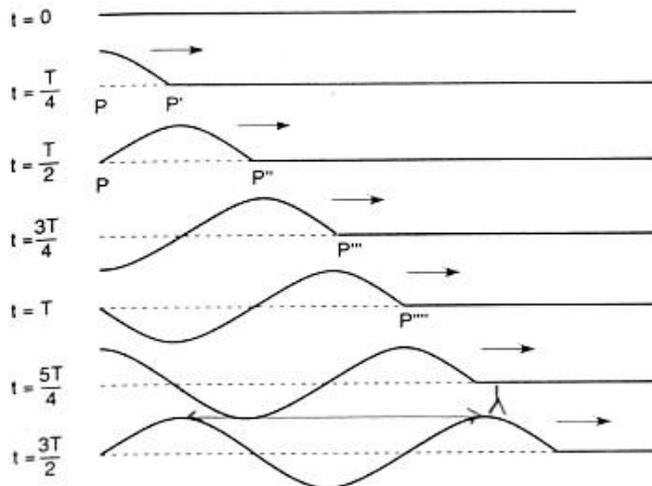
👉 les ondes radio et lumineuses dans l'air $3 \cdot 10^8$ m/s

- **ne dépend pas de l'amplitude du signal initial**

4. Longueur d'onde

Dans tout ce qui suit, nous supposons que la perturbation initiale est du type sinusoïdal. Nous pouvons imaginer des photographies de la corde aux instants : $t=0$, $T/4$, $T/2$, $3T/4$, T où T est la période de la perturbation (ou de l'oscillateur de la source)

Appelons V , la vitesse de la perturbation dans la corde



A l'instant $t = 0$, la corde est immobile et le point P commence à osciller
 A l'instant $t = \frac{T}{4}$, le point P est à son élongation maximale et la perturbation produite en P se trouve à cet instant en P'. La perturbation a parcouru une distance $d_1 = \frac{v T}{4}$

A l'instant $t = \frac{T}{2}$, l'élongation du point P est nulle, la perturbation produite initialement en P se trouve en P'' et elle a parcouru une distance $d_2 = \frac{v T}{2}$

A l'instant $t = \frac{3T}{4}$, l'élongation du point P est minimale, la perturbation initiale se trouve en P''' et la distance parcourue par la perturbation est $d_3 = \frac{3 v T}{4}$

A l'instant $t = T$, l'élongation du point est à nouveau nulle, la perturbation initiale a parcouru une distance $d = vT$

et ainsi de suite pour d'autres instants $t = \frac{5T}{4}, \frac{3T}{2}, \dots$

On appelle longueur d'onde λ (se dit lambda) d'une onde, la distance parcourue par l'onde pendant une période T .

$$\lambda = V \cdot T = \frac{V}{f} \quad \begin{array}{l} \lambda \text{ dépend de la source par la fréquence } f \text{ d'oscillation de celle-ci} \\ \lambda \text{ dépend du milieu par la vitesse } V \text{ de propagation} \end{array}$$

La longueur d'onde se mesure en mètre, V en m/s et f en Hz

Exercices

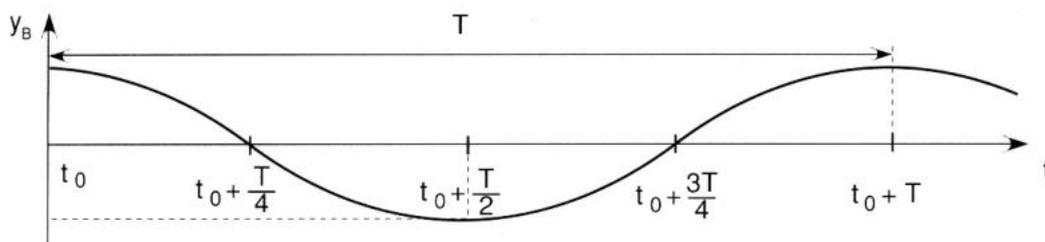
1. Une onde se propage à la vitesse de 40 m/s. Sa fréquence est de 50 Hz. Quelle est sa longueur d'onde ? (rép : 0,8m)
2. Une onde a une longueur d'onde de 1,2m et sa vitesse de propagation est de 96 m/s. Quelle est sa fréquence ? (rép : 80 Hz)
3. Des oscillations transversales partent d'un point O et se propagent avec une vitesse de 3 m/s.
L'amplitude des ondes est de 10 cm et la période est de $\frac{1}{4}$ s. Déterminer la longueur d'onde.
Après combien de temps un point situé à 120 cm de la source commence-t-il son oscillation (rép : 0,75m / 0,4s)
4. La fréquence de l'onde sonore associée à la voix humaine est de l'ordre de 500 Hz. Pour cette fréquence déterminer la longueur d'onde de l'onde sonore dans l'air.
Comparer cette longueur d'onde à celle d'une onde émise par une radio locale dont on connaît la fréquence d'émission (Radio 21 : 90.8 MHz)
(rép : 0,68m / 3,3m)

5. Double périodicité

5.1 PÉRIODICITÉ DANS LE TEMPS

Si on regarde l'évolution des points d'une corde soumise à une perturbation transversale d'une main, on se rend compte qu'un point de la corde monte et descend au même rythme que la main. Ce rythme est donné par la période T du mouvement.

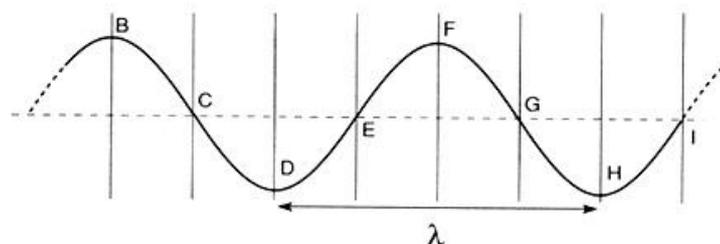
Chaque point oscille et revient dans le même état vibratoire après un temps égal à une période T



5.2 PÉRIODICITÉ DANS L'ESPACE.

Si on fait une photographie de la corde, on s'aperçoit que certains points sont dans le même état vibratoire (les creux , les sommets, ...). Le point 2.4 nous montre que ces points sont séparés par une longueur d'onde.

La longueur d'onde d'une onde représente la distance minimale séparant 2 points qui sont dans



le même état vibratoire. Donc 2 sommets ou 2 creux d'une onde sont séparés par λ . On dit que ces points sont en phases ou en concordance de phase.

6. Equation de propagation

6.1 Introduction.

Considérons une onde unidimensionnelle, qui ne change pas de forme en se propageant le long de l'axe des x . Il peut s'agir d'une impulsion ondulatoire, d'un train d'ondes ou d'une onde périodique sans fin.

La pratique habituelle est de représenter mathématiquement une onde par une **fonction d'onde** (symbolisé généralement par la lettre grec psi : ψ), qui est une *certaine* fonction de l'espace et du temps : $\psi(x,t)$.

Pour l'instant, ne nous occupons pas de cette fonction, elle est juste quelque chose qui dépend à la fois de l'espace et du temps.

Par exemple, la figure suivante représente une impulsion particulière, à l'instant $t = 0$.

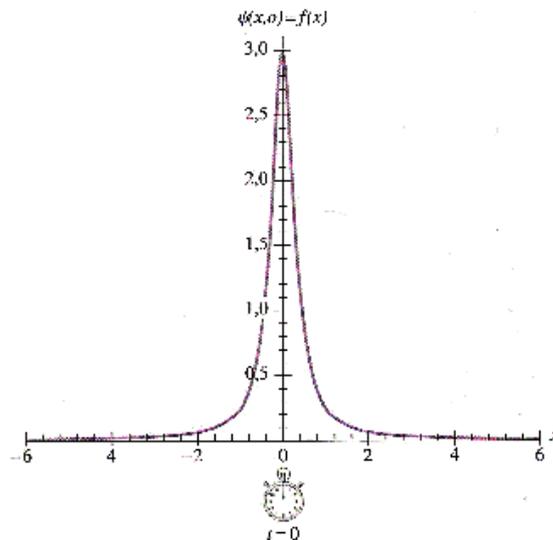


Figure 12.33 Profil d'une impulsion ondulatoire donnée par la fonction $f(x) = 3/(10x^2 + 1)$.

On a donc ici : $\psi(x,0) = f(x) = \frac{3}{10x^2 + 1}$

La fonction $f(x)$ peut être **n'importe qu'elle fonction régulière pour autant quelle soit deux fois différentiables.**

Maintenant, transformons $f(x)$ en $\psi(x,t)$, c'est-à-dire en une fonction décrivant une onde qui se déplace dans la sens des x positifs à la vitesse v . Il suffit de remarquer que pendant le temps t l'onde s'est déplacée d'une longueur vt .

Puisque que nous avons supposé que l'onde ne se déforme pas en se propageant, la forme de l'onde est la même à l'instant $t = 0$ et à l'instant $t = t$. Par conséquent, il suffit de remplacer dans la fonction, x par $(x - vt)$, et donc :

$$\boxed{\psi(x,t) = f(x - vt)}$$

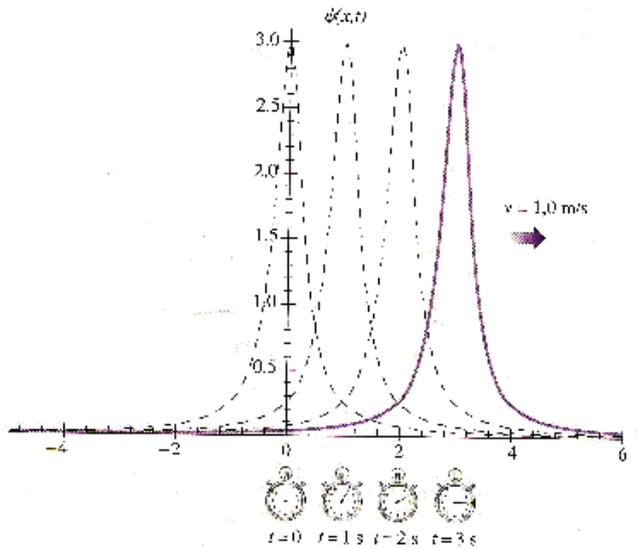


Figure 12.34 Le profil de la Fig. 12.33 se déplace vers la droite comme une onde. Il a une vitesse de 1 m/s et se propage le long de l'axe des x .

Ce qu'on appelle précisément **vitesse de l'onde** (v), c'est la vitesse avec laquelle on progresse, et on a :

$$v = f\lambda = \frac{\lambda}{T}$$

La figure 14-12 donne un autre exemple d'onde progressant le long de l'axe des x

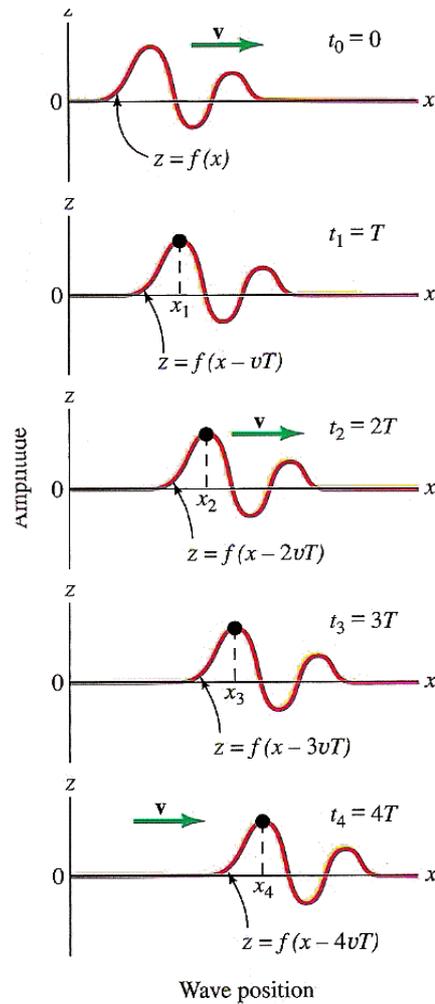


FIGURE 14-12 The curve is some function f of the variable $x - vt$. As time goes on ($t_2 > t_1$), the curve moves to the right with speed v .

Exemple

Un jeune garçon contemple, d'un bateau, les vagues sur un lac ; elles semblent être une succession sans fin de crêtes identiques qui passent l'une après l'autre à une demi-seconde d'intervalle. Si elles mettent 1.5 s pour parcourir sa coque de longueur 4.5 m, déterminez la fréquence, la période et la longueur d'onde de ces vagues.

Solution :

Le temps séparant deux crêtes successives est la période, donc : $T = 0.5 \text{ s}$

La fréquence est donc : $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.5} = 2,0 \text{ Hz}$

La vitesse est : $v = \frac{L}{t} = \frac{4.5 \text{ m}}{1.5 \text{ s}} = 3.0 \text{ m/s}$

On en déduit la longueur d'onde : $\lambda = \frac{v}{f} = 1.5 \text{ m}$

6.2 Les ondes sinusoïdales progressives.

Supposons que la fonction $f(x)$ ne soit pas n'importe quelle fonction mais une fonction sinusoïdale $y = A \sin kx$

Pour transformer cette fonction y en une fonction d'onde progressive ψ , nous avons vu qu'il suffit de faire le changement de variable $x \rightarrow x - vt$. Nous obtenons :

$$y = A \sin k(x - vt) = A \sin(kx - kv t)$$

Cependant, nous savons qu'une fonction sinusoïdale est une fonction périodique semblable à elle-même tous les 2π . Autrement dit chaque fois que :

$$kv t = 2\pi \rightarrow t = \frac{2\pi}{kv}$$

Et ce temps t est précisément la période du mouvement. Nous pouvons donc écrire

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{kv} \quad \text{mais} \quad \omega = 2\pi f \rightarrow \omega = kv$$

Ce qui donne les relations importantes suivantes :

$$v = \lambda f = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k}$$

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ s'appelle le **nombre d'onde** (à ne pas confondre avec le k de la loi de Hooke)

L'équation de l'onde sinusoïdale progressive, dite aussi **onde harmonique progressive**, peut se représenter par les équations suivantes.

$$\begin{aligned} y &= A \sin k(x - vt) \\ y &= A \sin \frac{2\pi}{\lambda}(x - vt) \\ y &= A \sin(kx - \omega t) \end{aligned}$$

Ces trois écritures sont équivalentes.

Commentaires

- Tous les points distants de la source S d'une distance d , ont la même équation.
Donc tous ces points vibrent de la même manière. Ils constituent **une surface d'onde**.
Si les surfaces d'onde sont des sphères → onde sphérique
Si les surfaces d'onde sont des plans → onde plane
- Dans une même direction de propagation tous les points distants
 - d'une longueur d'onde vibrent de la même manière : on dit qu'ils sont **en phase**.
 - d'une demi-longueur d'onde vibrent en **opposition de phase**.
- Ces équations représentent une onde progressive qui se déplace dans le sens des x positifs

Exemple

Un homme se tient debout à l'entrée d'un port et voit des vagues d'eau entrer dans le port. Il assimile ces vagues à des mouvements sinusoïdaux. Il compte 50 crêtes en 1,0 min et il estime que la distance entre deux crêtes est de 3,0 m. Ecrire une expression de la forme de la hauteur des vagues à l'endroit où l'homme se tient. Quels sont la longueur d'onde, le nombre d'onde, la fréquence, la pulsation, la vitesse des vagues et l'équation des vagues ?

Solution

Soit x pris dans la direction de l'entrée du port, et h la hauteur des vagues au dessus du niveau moyen de l'eau.

Une expression pour h est : $h(x, t) = h_0 \sin(kx - \omega t)$

L'amplitude, ou hauteur maximale h_0 n'est pas spécifiée, mais nous pouvons déterminer les autres grandeurs.

Le nombre d'onde : $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{3,0} = 2,1 \text{ m}^{-1}$

La fréquence est de 50 crêtes par minutes : $f = \frac{50}{60} = 0,83 \text{ s}^{-1}$

La pulsation est donc : $\omega = 2\pi f = 2\pi \times 0,83 = 5,2 \text{ rad/s}$

La vitesse est donnée par : $v = \lambda f = 3,0 \times 0,83 = 2,5 \text{ m/s}$

L'équation des vagues est finalement : $h(x, t) = h_0 \sin(2,1x - 5,2t)$

IMPORTANT : Les équations ci-dessus, supposent que $y = 0$ en $x = 0$ et à $t = 0$. Ce ne sera pas le cas en général. Il faudra alors introduire une constante de phase ϕ . On obtient

$y = A \sin k(x \pm vt + \phi)$ $y = A \sin \frac{2\pi}{\lambda}(x \pm vt + \phi)$ $y = A \sin(kx \pm \omega t + \phi)$	avec	Signe - si déplacement vers le sens des $x > 0$ Signe + si déplacement vers le sens des $x < 0$
---	------	--

Exemple

Soit une onde d'équation : $y(x, t) = 0,05 \sin\left[\frac{\pi}{2}(10x - 40t) - \frac{\pi}{4}\right]$ où x et y sont en mètres et t en secondes. Trouver : a) la longueur d'onde, la fréquence et la vitesse de propagation de l'onde ;

b) la vitesse et l'accélération d'une particule située sur le chemin de l'onde à $x = 0.5 \text{ m}$ et $t = 0.0 \text{ s}$

Solution

a) L'équation peut s'écrire : $y(x, t) = 0.05 \sin\left(5\pi x - 20\pi t - \frac{\pi}{4}\right)$. En comparant avec la forme

canonique de l'équation, on déduit $k = \frac{2\pi}{\lambda} = 5\pi \rightarrow \lambda = 0.4 \text{ m}$. La fréquence angulaire est

$\omega = 2\pi f = 20\pi \rightarrow f = 10 \text{ Hz}$. La vitesse de propagation de l'onde est $v = f\lambda = \frac{\omega}{k} = 4 \text{ m/s}$ dans

le sens des x positif.

b) Pour obtenir la vitesse et l'accélération de la particule, nous allons dériver par rapport au temps (c'est-à-dire que l'on considère x comme constant) :

$$v = y'(x = cst, t) = -20\pi \times 0.05 \times \cos\left(\frac{5\pi}{2} - \pi - \frac{\pi}{4}\right) = 2.22 \text{ m/s}$$

$$a = y''(x = cst, t) = -(20\pi^2) \times 0.05 \times \sin\left(\frac{5\pi}{2} - \pi - \frac{\pi}{4}\right) = 140 / \text{s}^2$$

6.3 L'équation d'onde – (Complément pour information)

Reprenons l'équation des ondes harmoniques et prenons deux fois les dérivées partielles par rapport à x et y

Pour rappel, une dérivée partielle implique que toutes les autres variables sont considérées comme des constantes. Nous utiliserons la notation traditionnelle :

$\frac{\partial f}{\partial x}$: est la dérivée partielle de la fonction f par rapport à x . Les autres variables

étant des constantes

$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}$: est la dérivée partielle seconde = la dérivée de la dérivée.

Nous écrivons

$$y = A \sin(kx - \omega t)$$

Par rapport à x

$$\frac{\partial y}{\partial x} = Ak \cos(kx - \omega t)$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = -Ak^2 \sin(kx - \omega t) = -k^2 y$$

Par rapport à t

$$\frac{\partial y}{\partial t} = -A\omega \cos(kx - \omega t)$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -A\omega^2 \sin(kx - \omega t) = -\omega^2 y$$

Autrement dit :

$$-y = \frac{1}{k^2} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{\omega^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \rightarrow \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{k^2}{\omega^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

Et comme $\frac{k}{\omega} = \frac{1}{v}$

$$\boxed{\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}}$$

Cette équation est l'**équation d'onde**. C'est une des équations **les plus importantes de la physique**. Si on parvient à décrire un phénomène par cette équation, on peut alors énoncer que le phénomène est décrit par une onde progressive.

Par exemple, Maxwell en partant des seules considérations des lois d'Ampère, de Coulomb, et de Faraday, arrive à la conclusion qu'une onde électromagnétique progressant dans la direction des x peut être décrite par les équations :

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2}$$

E_y composante selon y du champ électrique

ϵ_0 permittivité du vide = $8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$

μ_0 perméabilité du vide = $4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$

Ce qui démontre que les ondes électromagnétiques sont des **ondes sinusoïdales progressives** qui se déplacent à la vitesse

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 2.99 \times 10^8 \text{ m/s} = \text{la vitesse de la lumière}$$

A titre d'exercice, le lecteur vérifiera que $\frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$ a bien les dimensions d'une vitesse.

Exercices

1. Un mouvement ondulatoire fait 6m en 20s.

Sachant que 2 sommets de l'onde sont séparés de 40 cm, calculer la fréquence de l'onde.

Ecrire l'équation d'un point M situé à 1,8m de la source.

(rép : 0,3m/s, $\lambda = 0.4 \text{ m}$, $y = A \sin 5\pi (1.8 - 0.3t)$)

2. Un MVS d'amplitude 9cm se propage à la vitesse de 4m/s et a une longueur d'onde de 50cm.

En $t = 0$, le mouvement est en $y = 0$

- Calculer f et T
- Exprimer l'élongation d'un point situé à une distance d de la source
- Calculer l'élongation d'un point M situé à 5m de la source après 6s et 6,2s.
- Calculer en radians la différence de phase entre les points M et M' situé à 4,7m de la source.

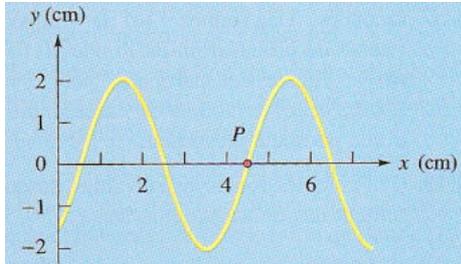
(rép : 8hz / 125ms / 0cm / 5,29cm / $1,2\pi$)

3. Un vibreur produit des ondes de 2 cm d'amplitude de 50 Hz de fréquence. Elles se propagent à la vitesse de 250cm/s.

- Ecrire l'équation de propagation de la source si la phase à l'origine est nulle
- Calculer la longueur d'onde
- Calculer l'élongation à l'instant $t = 1,5\text{s}$ d'un point situé à 25cm de la source

- Calculer la différence de phase entre 2 points distants de 12,5cm.
(rép : $y = -0,02\sin(100\pi t)$ / $\lambda = 0,05\text{m}$ / $0 / \pi$)

Exercice résolu



Soit l'onde transversale décrite à la figure ci-contre. Sa vitesse de propagation est de 40 cm/s vers la droite. Déterminez : a) la fréquence ; b) la différence de phase en radians entre des points distants de 2.5 cm ; c) le temps nécessaire pour que la phase en un point donné varie de 60° ; d) la vitesse d'une particule au point P à l'instant représenté

Solution

L'onde transversale, de forme sinusoïdale, se propage à $v = 40$ cm/s vers la droite. L'analyse de la figure permet d'obtenir les autres données nécessaires.

a) Comme $\lambda = 4$ cm, on obtient $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{0.4}{0.04} = 10$ Hz

b) La phase à **une position quelconque** de l'onde est fixée par $2\pi \frac{x}{\lambda}$. Si la distance est deux points est $\Delta x = 2.5$ cm, la variation de phase entre ces deux points est donnée par :

$$\Delta \phi = 2\pi \frac{\Delta x}{\lambda} = 2\pi \times \frac{2.5 \times 10^{-2}}{4 \times 10^{-2}} = 3.93 \text{ rad}$$

c) La phase à **un instant quelconque** est fixé par $2\pi \frac{t}{T}$ et la période de l'onde est

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10} = 0.1 \text{ s}. \text{ En un point donné, si la variation de phase est de}$$

$$\Delta \phi = 60^\circ \times \frac{2\pi \text{ rad}}{360} = 1.047 \text{ rad}, \text{ le temps écoulé est}$$

$$\Delta \phi = 2\pi \frac{\Delta t}{T} \rightarrow \Delta t = \frac{T \Delta \phi}{2\pi} = \frac{0.10 \times 1.047}{2\pi} = 0.0167 \text{ s}$$

d) Chaque particule de la corde subit un mouvement harmonique simple. Nous savons que, lorsque la position d'une particule est nulle, la vitesse est maximale et vaut $v = \pm \omega \cdot A$. (Il suffit de dériver y en fonction de t , x étant constant. On obtient un cosinus dont les extrémums valent +/-1). Comme l'onde se déplace vers la droite, P se déplace vers le bas à l'instant représenté,

et, la vitesse est donc négative. Donc : $v = -\omega A = -\frac{2\pi}{T} A = -\frac{2\pi}{0.10} \times 2 \times 10^{-2} = -1.26 \text{ m/s}$

7. Les ondes mécaniques

7.1 DÉFINITION

*Lorsqu'une onde se propage, il y a transport d'énergie sans transport de matière.
Lorsque l'onde a besoin d'un milieu matériel pour se propager, on parle d'onde mécanique.
Ce type d'onde ne peut donc pas se propager dans le vide*

Exemple

Onde sur une corde, onde sismique, onde acoustique, onde à la surface de l'eau,...

7.2 LES ONDES ACOUSTIQUES

7.2.1 Production des ondes sonores

7.2.1.1 Les émetteurs sonores

La voix (cordes vocales), cordes de guitare, violon,..
Membrane d'un haut-parleur, tambour
Cloche, verre de cristal
Instrument à vent,...

7.2.1.2 Expériences

Diapason + billes de frigolite avec et sans son
HP en fonctionnement + billes de frigolite avec et sans son
Latte tendue au bord d'une table
Flûte de musicien

7.2.1.3 Conclusions

*Le son est produit par des objets qui vibrent.
Pour se propager, les vibrations sonores initiales ont besoin d'un milieu matériel : solide, liquide ou gaz. Le son ne se propage pas dans le vide (comme l'espace).*

7.2.2 Caractéristiques d'un son

7.2.2.1 Intensité

*Elle distingue un son fort d'un son faible.
Elle dépend de la source mais aussi de la distance entre la source et l'auditeur.
L'expérience montre que plus l'amplitude de la vibration est grande plus le son est fort.
(Rappel : amplitude = écart maximum par rapport à la position d'équilibre).*

L'intervalle d'intensité des sons audibles, étant très grand, il est pratique d'utiliser une échelle logarithmique appelée échelle décibel. Le **décibel**, du nom de Graham Bell, l'inventeur du

téléphone, est l'unité de **niveau sonore**. La relation entre niveau d'intensité (β) et intensité de l'onde sonore est la suivante :

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Où I est l'intensité de l'onde sonore et I_0 est 10^{-12} W/m², intensité de référence arbitraire

Exemple 1 : Si $I = 10^{-5}$ W/m² : $\beta = 10 \log \frac{10^{-5}}{10^{-12}} = 70$ dB

Exemple 2 : Supposons que l'intensité de l'onde sonore soit 10 fois plus grande : $\beta = 10 \log \frac{10^{-4}}{10^{-12}} = 80$ dB . Donc

lorsque l'onde sonore est dix fois plus grande, le niveau d'intensité sonore augmente de 10 dB.

Exemple 3 : Supposons que l'intensité de l'onde sonore soit multipliée par deux : $\beta = 10 \log \frac{2 \times 10^{-5}}{10^{-12}} = 73$ dB

Conclusion

Si on multiplie la source par 2, on augmente l'intensité de 3 dB

Si on multiplie la source par 10, on augmente l'intensité de 10 dB

Echelle des décibels (Voir Tableau)

7.2.2.4 Hauteur d'un son

Elle distingue un son aigu d'un son grave.

Elle est liée à la fréquence de la vibration.

[Grave = basse fréquence et Aigu = haute fréquence]

(rappel ; fréquence = nombre de vibrations par seconde. (1 vib / s = 1 hertz = 1 Hz)

L'oreille humaine est sensible aux sons compris entre 16 Hz et 20.000 Hz. (gamme des sons audibles)

Au dessus de 20.000Hz, on trouve les ultrasons auxquels les chiens, les dauphins et les chauves-souris sont sensibles et en dessous de 20 Hz, on trouve les infrasons

TABLEAU 13.3 Rapport des intensités et niveau des intensités

Rapport des intensités	Niveau des intensités (dB)
100 000 000 000 : 1	110
1 000 000 : 1	60
10 000 : 1	40
100 : 1	20
10 : 1	10
4 : 1	6
2 : 1	3
1 : 1	0
$\frac{1}{2}$: 1	-3
$\frac{1}{4}$: 1	-6
$\frac{1}{10}$: 1	-10
$\frac{1}{100}$: 1	-20
$\frac{1}{1000}$: 1	-30

TABLEAU : 13.4 Niveaux d'intensité approximatifs en dB

Source sonore	Niveau d'intensité (dB)
Fusée puissante	≈ 180
Avion à réaction	140 (intolérable)
Avion lors du décollage (à 30 m-60 m)	≈ 125 (douloureux)
Concert de rock (1,0 W/m ²)	≈ 120
Hurllement à 20 cm de l'oreille	120 (nuisible immédiatement)
Marteau-piqueur	110
Méto (10 ⁻² W/m ²)	100 (nuisible au bout de 2 h)
Voiture sans pot d'échappement	100
Cri (à 1,5 m)	100 (très fort)
Klaxon de voiture (très sonore)	95
Poids lourd (à 15 m)	90
Rue de ville	80 (nuisible au bout de 8 h)
Sèche-cheveux	80
Musique très sonore	80
Circulation sur une autoroute	75 (bruyant)
Intérieur d'une voiture	≈ 70
Chasse d'eau (de WC)	≈ 67
Magasin bruyant (10 ⁻⁶ W/m ²)	60
Conversation normale (à 1 m)	60 (modéré)
Bureau	50
Salle de séjour (en ville)	40
Chambre à coucher (10 ⁻⁹ W/m ²)	30 (calme)
Bibliothèque	30
Studio de radiodiffusion (10 ⁻¹⁰ W/m ²)	20 (très calme)
Chuchotement	20
Ronronnement d'un chat	15 (à peine audible)
Frôlements des feuilles d'arbres	≈ 10
Seuil d'audibilité (10 ⁻¹² W/m ²)	0

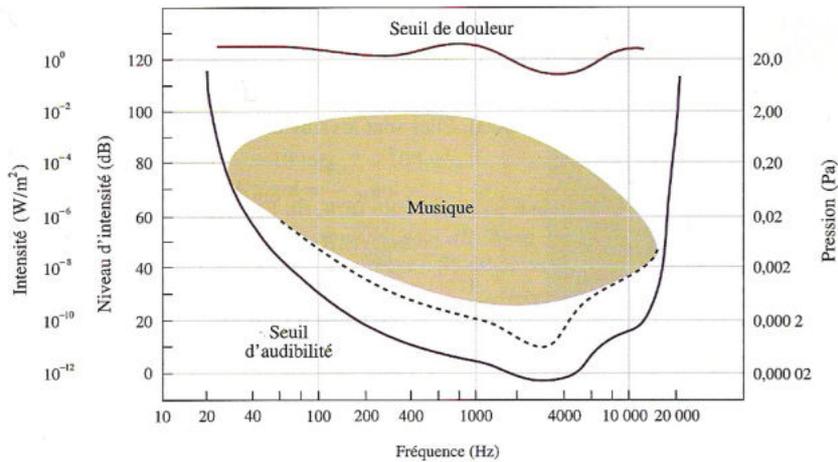


Figure 13.18 Environ 1 % des gens sont capables d'entendre un son de niveau d'intensité au-dessous de la courbe inférieure. Peut-être 50 % peuvent entendre un niveau au-dessous de la courbe en pointillé. La région ombragée correspond au niveau courant de la musique, du pianissimo au fortissimo.

7.2.2.5 Timbre

Deux sons de même fréquence émis par deux instruments de musiques différents nous paraissent complètement différents à l'audition.

Ainsi le « la » de fréquence $f = 442$ Hz joué par une flûte n'est pas identique au « la » joué par une clarinette.

La note de musique est un ensemble de sons de fréquence différente.

La première fréquence = fréquence **fondamentale** = 442 Hz

Elle est accompagnée par une ou plusieurs **harmoniques** qui sont des sons de fréquence multiple de la fondamentale ($H_1 = 2f = 884$ / $2H = 3f = 1326$ / $3h = 4f = 1768$...)

Ainsi la flûte possède 12 harmoniques alors que la clarinette en émet 30 ce qui fait que les sons émis par ces 2 instruments ne sont pas les mêmes.

La figure 2.13 montre le même son émis respectivement par un cor, un trombone ténor et une clarinette

Figure 2.13.a

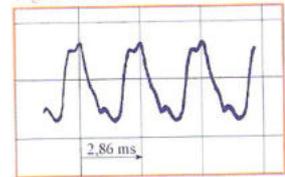


Figure 2.13.b

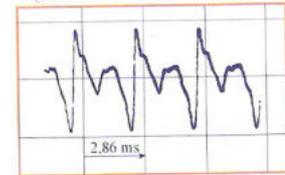
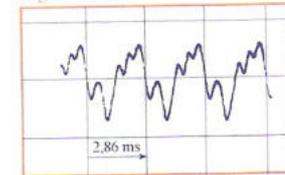


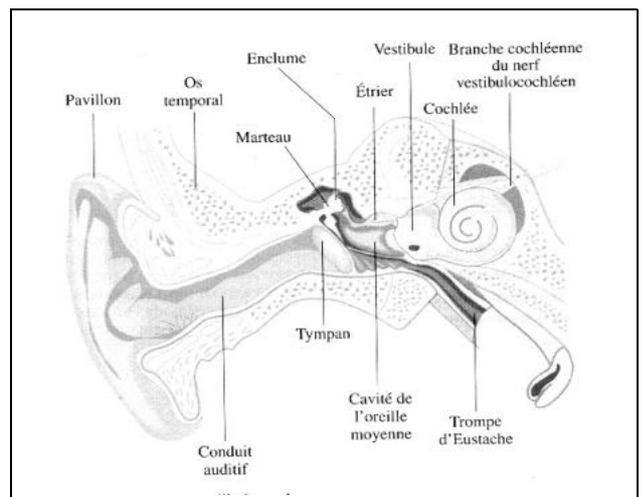
Figure 2.13.c



7.2.3 Perception des sons : l'oreille

7.2.3.1 l'oreille

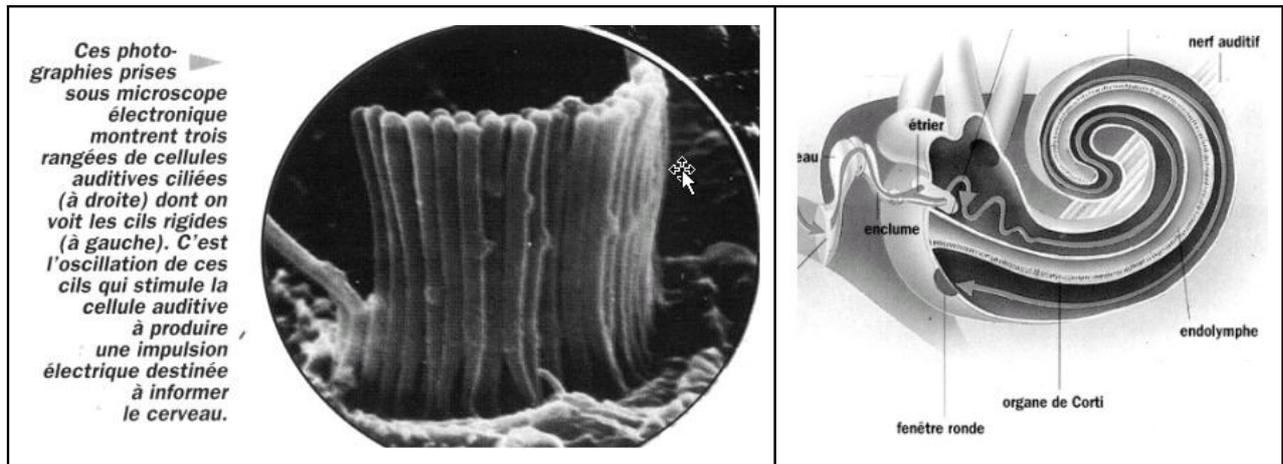
Le pavillon capte les sons et les dirige vers le conduit auditif externe jusqu'au tympan qui se met à vibrer. Pour amplifier ces vibrations, 3 os (l'étrier, le marteau et l'enclume) oscillent avec le tympan. Ils communiquent avec la cochlée dans laquelle l'énergie sonore est convertie en signaux électriques qui sont envoyés au cerveau via le nerf auditif.



7.2.3.2 Les dangers

La cochlée est formée de capteurs sensibles aux vibrations : ce sont les cils qui trempent dans le liquide cochléen. Les cils du début sont sensibles aux sons aigus et les cils de fond sont sensibles aux sons graves.

Suite au bruit trop intense (oreillette trop près du tympan, discothèque,...) certains cils peuvent se casser et l'information envoyée au cerveau est erronée. C'est le début d'une certaine surdité.



Exercices

1) Vrai ou faux

La longueur d'onde d'un son est d'autant plus petite que

- le son est aigu
- L'intensité est faible
- La fréquence est basse
- La période est grande
- La vitesse de l'onde est faible

2) Quel son a la plus grande longueur d'onde ?

- Un son aigu dans l'air
- Un son grave dans l'eau
- Un son aigu dans l'eau

3) Vrai ou faux

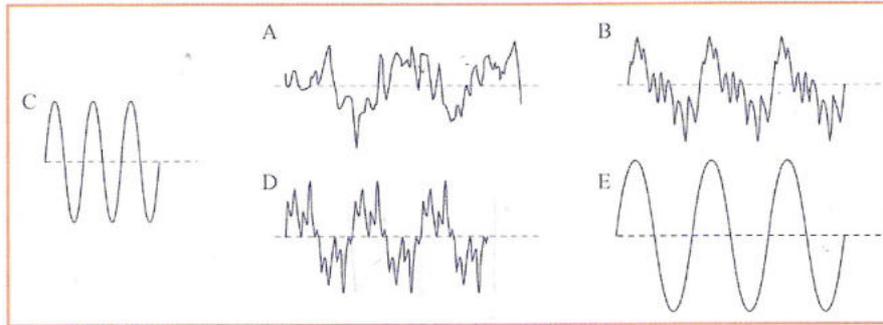
- Si la hauteur d'un son augmente, sa longueur d'onde diminue.
- La vitesse de propagation des ultrasons est plus élevée que celle des sons audibles.
- La fréquence des ultrasons est plus élevée que celle des sons audibles.
- Un son de 60 dB est 20 fois plus intense qu'un son de 40 dB.

4) Evaluer le retard entre les sons perçus par les deux oreilles.

- Lorsque la source sonore est située en face des oreilles.
- Lorsqu'elle se trouve au loin dans une direction à 45°.

(C'est parce que ce retard dépend de la direction d'où vient le son que nous pouvons estimer cette direction).

5) Voici 5 oscillogrammes. Lesquels correspondent à un bruit, un son simple, un son complexe.

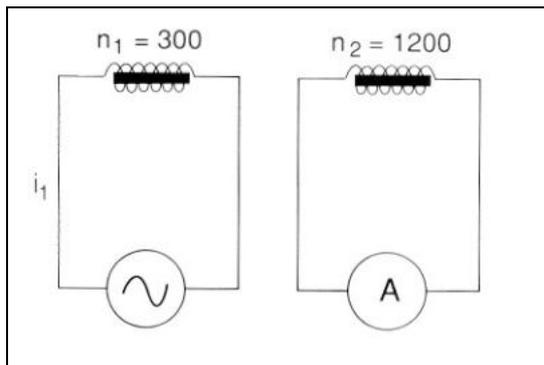


8. Les ondes électromagnétiques

Les ondes électromagnétiques sont d'une nature très différente des ondes matérielles.

8.1 EXPÉRIENCES

8.1.1 Emetteur - récepteur



On alimente une bobine (qui joue le rôle d'émetteur) en courant alternatif. Une seconde bobine placée au voisinage de la première est alors parcourue par un courant décelé grâce à un ampèremètre.

De l'énergie se propage donc de l'émetteur vers le récepteur.

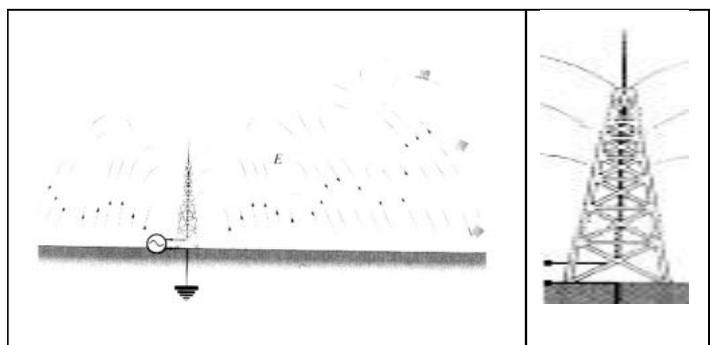
C'est une onde transportant de l'énergie appelée onde électromagnétique.

8.1.2 Antennes (émetteur-récepteur) : création des ondes EM

Création d'une onde EM

Lorsque des électrons oscillent dans un circuit (= antenne émettrice), une partie de leur énergie est transformée en radiation électromagnétique capable de se propager hors de l'antenne, dans l'espace qui l'entoure.

Une des caractéristiques de ces radiations est la fréquence f (nombre d'oscillations par seconde) exprimée en hertz.



Une fois ces ondes formées, elles se déplacent dans l'espace et même dans le vide avec la même vitesse = 300.000 km / s

Quand une onde de ce type rencontre une antenne métallique, une partie de son énergie est transférée aux électrons du métal qui se mettent à vibrer à la fréquence de l'onde ce qui crée un courant alternatif de même fréquence.

Ces ondes EM transportent de l'énergie.

D'une manière simple notons que cette énergie est fonction de la fréquence de l'onde. Plus la fréquence est élevée, plus l'onde est énergétique.

Suivant la fréquence et donc l'énergie de ces ondes, les scientifiques ont classé les ondes EM : on appelle ce classement : **le spectre des ondes électromagnétiques**.

Chaque type d'onde EM a un domaine d'applications privilégié (voir vidéo,...)

Dans l'ordre croissant d'énergie : citons

- les ondes hertziennes ou ondes radio
- les ondes TV
- les ondes radar
- les micro-ondes
- l'infrarouge
- la lumière visible (rouge au violet)
- l'ultraviolet
- les rayons X
- les rayons γ (gamma)

ENERGIE

8.2 APPLICATIONS DES ONDES EM

8.2.1 Les ondes hertziennes ou ondes radio

Ces ondes sont utilisées pour la transmission radiophonique

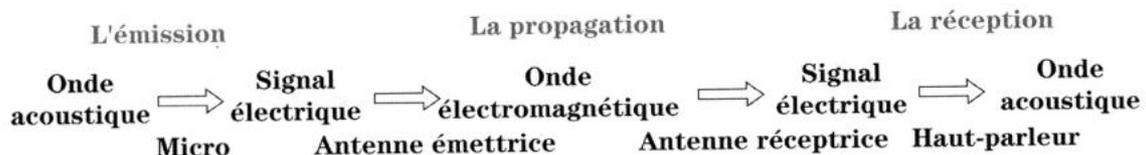
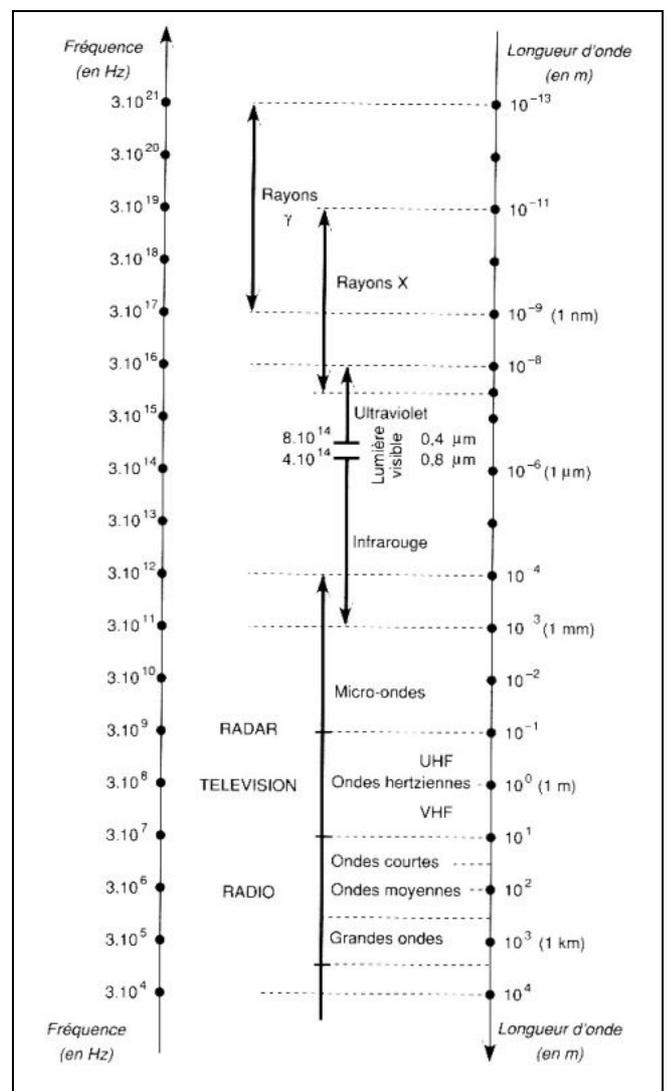
On distingue :

les grandes ondes ($600\text{m} < \lambda < 3000\text{m}$)

les ondes moyennes ($50\text{m} < \lambda < 600\text{m}$)

les ondes courtes ($10\text{m} < \lambda < 50\text{m}$)

La transmission radio peut être schématisée comme suit :

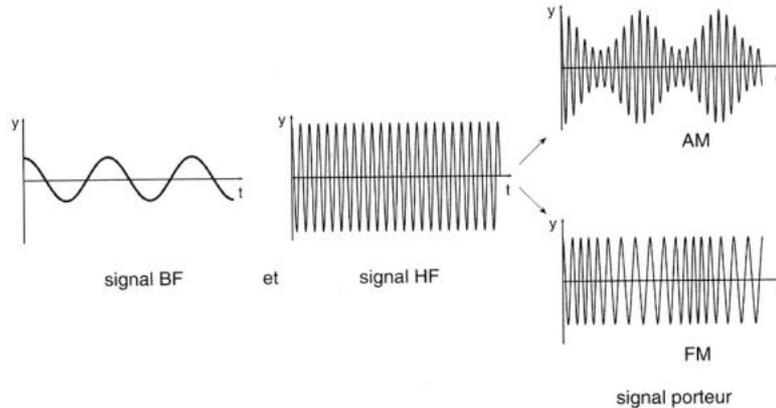


Le signal acoustique qu'on veut transmettre (parole, musique) produit au départ des différentes stations émettrices doit d'abord être transformé en signal électrique par l'intermédiaire d'un micro.

Pour distinguer les différents émetteurs, un signal haute fréquence appelé **signal porteur** est modulé par le signal à envoyer (signal basse fréquence).

Chaque émetteur se distingue par sa fréquence d'émission (ex : 621 kHz pour la première chaîne radio de la RTBF).

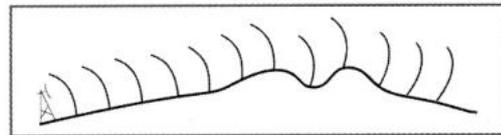
La modulation consiste à modifier un paramètre du signal porteur, par exemple l'amplitude ou la fréquence.



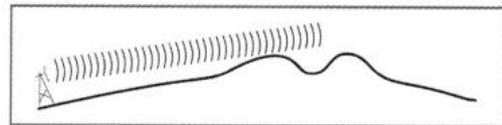
En modulation d'amplitude ou AM c'est l'amplitude du signal porteur qui varie.

En modulation de fréquence ou FM, c'est la fréquence du signal qui varie.

La propagation des ondes électromagnétiques dépend de leur longueur d'onde (voir : diffraction des ondes). Les grandes ondes (*France Inter, Europe 1, RTL, ...*) sont facilement diffractées par le relief des immeubles. Elles suivent la courbure de la terre et sont reçues à grande distance. Elles peuvent être reçues au fond d'une vallée car leur longueur d'onde est bien supérieure aux obstacles.

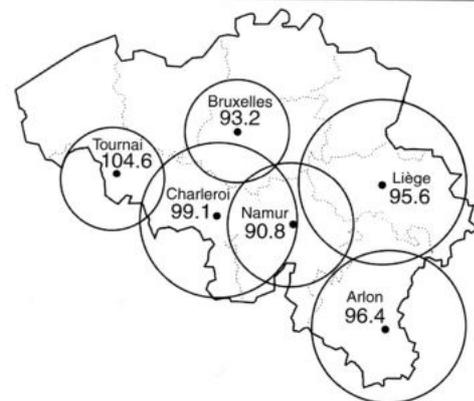


Par contre, les ondes courtes (ex : bande FM de 88 MHz à 108 MHz) se propagent en ligne droite. Ces ondes ne suivent pas la courbure de la terre et leur portée est limitée. Elles sont difficilement reçues au fond des vallées (fig. 5.47) puisque des obstacles, comme des collines de 100 m de haut, sont beaucoup plus grands que leur longueur d'onde. Il n'y a alors pas de diffraction mais la propagation reste rectiligne.



Afin de pouvoir entendre une même station émettrice, il faudra donc un réseau d'antennes qui amplifient et qui réémettent le signal de départ à des fréquences différentes afin d'éviter des interférences.

La carte mentionne la portée des émetteurs et la fréquence en mégahertz



8.2.2 Les ondes TV

Sûrement observées lors de la sélection des stations TV sur le téléviseur, on a :

VHF (Very high frequencies)

UHF (ultra high frequencies)

Le principe est le même que pour les ondes radio mais en plus ici il faut transporter les informations relatives à l'image (10 millions d'informations par seconde) et la fréquence des ondes sera plus élevée.

8.2.3 Les ondes radar

Ces ondes se propagent en ligne droite et se réfléchissent bien sur les objets.

Elles sont dès lors utilisées pour la détection et le repérage.

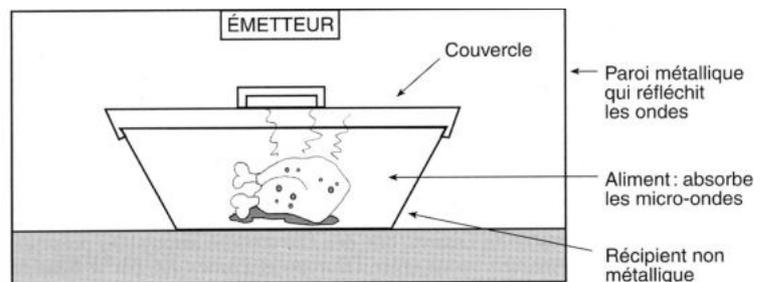
Lorsque l'objet est plus grand que la longueur d'onde utilisée, il y a peu de diffraction et les ondes sont presque entièrement réfléchies.

8.2.4 Les micro-ondes

Des ondes de cette fréquence ($f = 2,45\text{GHz}$) possèdent la propriété de provoquer la rotation et la vibration des molécules d'eau.

Dans un four à micro ondes, ces vibrations vont provoquer l'échauffement et donc une augmentation de la température des aliments contenant de l'eau.

Ces ondes sont aussi utilisées pour la transmission téléphonique (GSM)



8.2.5 L'infrarouge

Ce sont des ondes émises essentiellement par les corps chauds c'est à dire les corps dont les molécules sont en agitation thermique. (radiateur, plaque de cuisson, le corps humain, Soleil...) Ces rayons sont capables d'impressionner des plaques photographiques spéciales permettant ainsi de faire des photos ou des films dans l'obscurité.

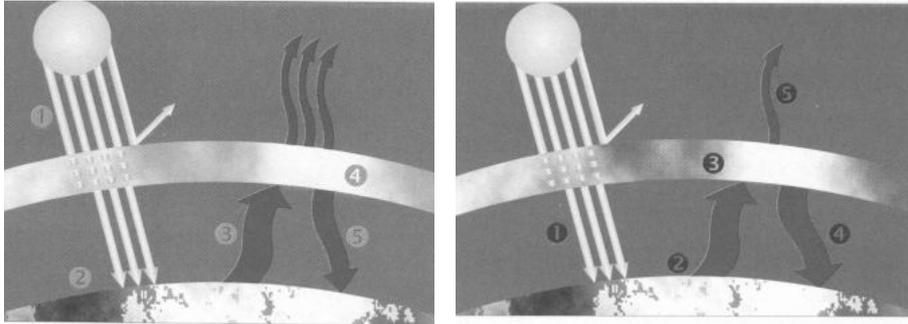
Les corps qui absorbent les IR voit leur température augmenter.

On les utilise pour le chauffage, la cuisson, séchage de peinture mais aussi pour le réchauffement d'un muscle (thermothérapie).

Les IR sont utilisés aussi dans des prospections géologiques, l'étude des déperditions calorifiques, les télécommandes

8.2.5.1 L'effet de serre

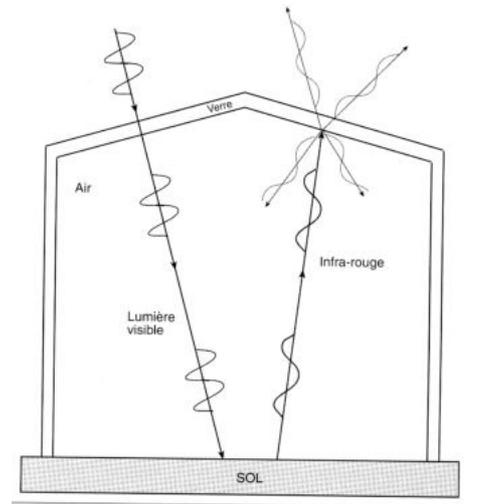
Lorsque la lumière solaire atteint le sol, elle y est absorbée partiellement ce qui provoque un échauffement. Comme tout objet chaud, le sol devient ainsi émetteur de rayonnement infrarouge. Cette émission IR tend à limiter l'élévation de la température du sol et, la nuit, cette même émission IR fera perdre au sol une grande partie de la chaleur causant parfois de célèbres gelées au ras du sol.



Importance des gaz à effet de serre se trouvant dans l'atmosphère.

Dans le deuxième cas, les gaz sont plus importants que dans le premier. Conséquence, les infrarouges provenant du sol sont plus efficacement renvoyés vers la terre et ceci réduit l'émission de chaleur vers l'espace.

Les serres de jardin exploitent le fait que le verre des vitres est transparent à la lumière visible mais absorbe les rayons IR. De la sorte, *les rayons IR émis par le sol* sont captés par les vitres. Le verre les absorbe et les réémet dans toutes les directions. Une partie de cette émission par le verre est dirigée vers le bas et contribue à maintenir chaud le sol de la serre. Ceci s'appelle l'effet de serre.



8.2.6 La lumière visible (rouge au violet)

Voir « La dispersion de la lumière »

8.2.7 L'ultraviolet UV

Ils sont produits naturellement par le Soleil

Ces rayons manifestent des propriétés spécifiques suivant leur fréquence.

Suivant leur énergie, on distingue les UVA, UVB, UVC

Les UVC (comme les X et les γ) sont arrêtés par la couche d'ozone située à une trentaine de kilomètres d'altitude. Ces rayons sont extrêmement dangereux.

Les UVA et B exercent une action physiologique sur l'épiderme car ils produisent au contact de la peau de la vitamines D. Mais ils ont aussi un effet néfaste sur le corps.

Les UVA traversent le derme et accélèrent le vieillissement de la peau en provoquant des rides. Ils sont responsables des cancers de la peau

Les UVB atteignent l'épiderme et sont responsables du bronzage et des coups de Soleil.

En effet, à la base de l'épiderme, on a des cellules, « les mélanocytes » dont le rôle est de produire des grains : « la mélanine ». Celle-ci est produite en grande quantité sous l'action du Soleil. Ils migrent alors vers la surface de la peau pour la protéger en absorbant les UVB et de ce fait il colore la peau.

En fait, la mélanine contient des grains noirs et rouges.

Une peau mate contient plus de noirs que de rouges. Les noirs migrent vers la surface de la peau pour la protéger et la colorer.

Une peau claire contient plus de rouges que de noirs. Les rouges ne remontent pas en surface, protègent moins bien et colorent donc moins la peau.

Attention, toutes les peaux doivent être protégées car si la mélanine absorbe les UVB, ils laissent passer les UVA d'où l'emploi de crèmes solaires pour s'en protéger.

Il faut aussi savoir que les 80 % de UV traversent les nuages mais ils pénètrent aussi dans l'eau (à 1mètre de profondeur).

Par contre le verre absorbe une grande partie des UV. On perd donc son temps à essayer de bronzer derrière une fenêtre.

La quantité d'UV reçue sur la Terre n'est pas la même partout.

En montagne (moins d'atmosphère), on en reçoit plus. De même à l'équateur (Soleil est toujours à la verticale)

Certains UV ont une action germicide c'est à dire qu'ils peuvent tuer les micro-organismes. Cette propriété est utilisée dans la stérilisation.

Ils participent à la photosynthèse

8.2.8 Les rayons X

Découverts par Röntgen en 1895.

Les X peuvent traverser des substances et impressionner des plaques photo (radiographie)

L'absorption des X par une matière est d'autant plus grande que l'épaisseur traversée est grande mais l'absorption dépend aussi de la nature du milieu traversé. Ainsi les X sont arrêtés par du plomb (tablier en plomb utilisé en médecine nucléaire)

Ainsi les os humain sont plus absorbant que les tissus qui les entourent. Donc il en résulte sur une plaque photo, une image des os à l'intérieur du corps



Un scanner est un appareil à rayons X mais dont l'image est construite en faisant tourner le source de rayons X d'un angle de 360° autour de l'organe à étudier.

En radiothérapie, les X sont utilisés en médecine pour détruire les cellules cancéreuses.

Dans les expertises, l'analyse des produits utilisés dans la peinture permet de déceler les faux.

Les X sont très utilisés pour l'analyse des tableaux car ils révèlent tout ce qu'une toile renferme entre autre, le style et la technique d'un artiste ainsi que toutes les modifications apportées à l'œuvre originale

8.2.9 Les rayons γ (gamma)

Ces rayons extrêmement énergétiques et donc dangereux seront analysés dans la partie « Nucléaire » ; Ils sont produits par la désintégration de certains éléments radioactifs.