

L'apport de la physique au diagnostic médical

L'application des découvertes de la physique à l'exploration du corps humain fournit aux médecins des informations essentielles pour leurs diagnostics. Ils peuvent analyser les enregistrements de signaux électriques périodiques émis par le cœur ou le cerveau. Ils disposent également des images fournies par les divers appareils de l'imagerie médicale, qui exploitent les propriétés des ondes ultrasonores et électromagnétique.

1) Les phénomènes périodiques

1) Définition

Un phénomène est **périodique** si la grandeur physique qui le décrit (appelé signal) reprend la **même valeur** avec le **même sens de variation** à **intervalles de temps égaux**. Ex : **Les battements du cœur au repos**.

2) Période et fréquence

La **période** T est la durée qui sépare deux instants successifs où la grandeur reprend la même valeur, avec le même sens de variation. Son unité est la seconde (s).

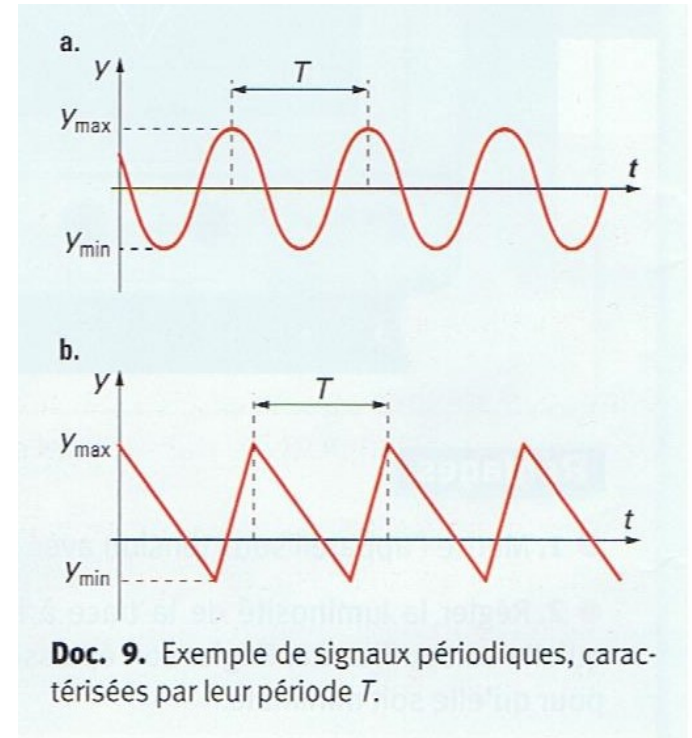
La **fréquence** f d'un phénomène périodique est l'inverse de la période, elle est égale au **nombre de fois où le motif élémentaire** (= une période) **se reproduit à l'identique pendant une seconde**. Son unité est le hertz (Hz).

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

Avec T en s et f en Hz

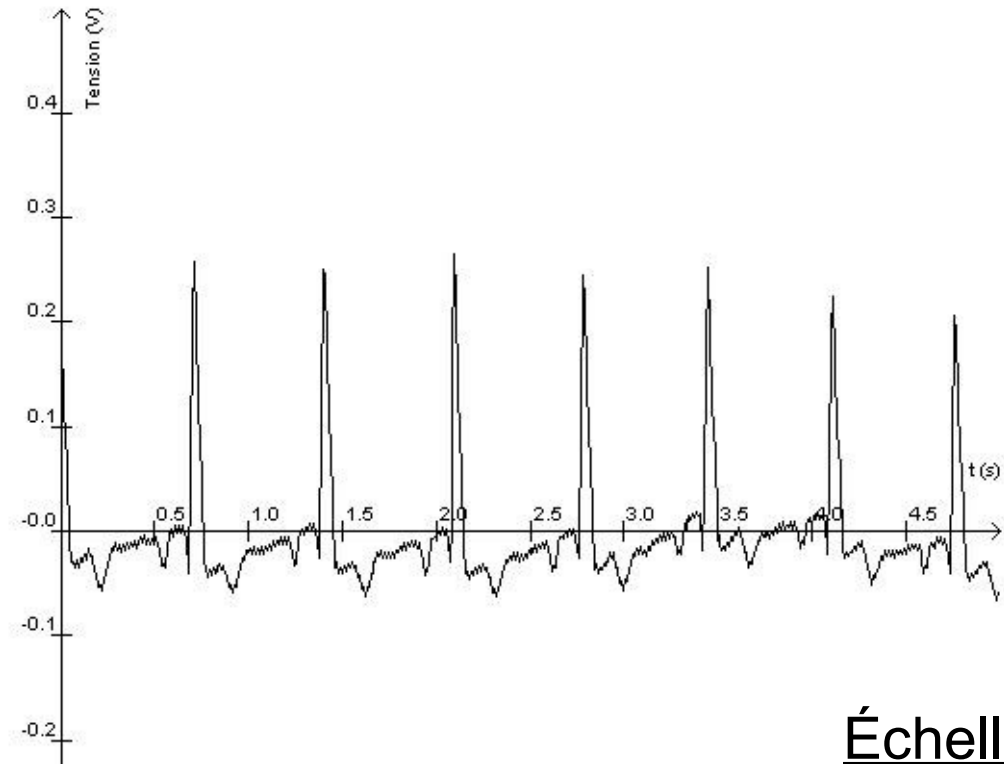
3) Amplitude

Un signal période a une valeur maximale y_{\max} et minimale y_{\min} . L'amplitude d'un signal est la différence entre y_{\max} et y_{\min} soit $A = y_{\max} - y_{\min}$.



4) Exemple : un électrocardiogramme

Un électrocardiogramme est une représentation graphique de l'activité électrique du cœur. Il permet de mettre en évidence diverses anomalies cardiaques et a une place importante dans les examens diagnostiques en cardiologie. Un pic représente un battement de cœur.



Échelle :

Décrire cet électrocardiogramme :

Il se répète au cours du tps donc c'est un signal périodique :

$$7T = 4,0 \text{ s donc } T = 4,0/7 = \mathbf{0,6 \text{ s}}$$

$$f = 1/T = 1/0,6 = \mathbf{1,7 \text{ Hz}}$$

$$A = y_{\max} - y_{\min} = 0,3 - (-0,1) = \mathbf{0,4 \text{ V}}$$

$$1,7 * 60 = \mathbf{102 \text{ bmp}}$$

Cette personne à un rythme cardiaque régulier de 102 bpm.

$$1,0 \text{ s} \leftrightarrow 3,0 \text{ cm}$$
$$4,0 \text{ s} \leftrightarrow 12,1 \text{ cm}$$

$$0,1 \text{ V} \leftrightarrow 1,75 \text{ cm}$$
$$0,3 \text{ V} \leftrightarrow 4,4 \text{ cm}$$
$$-0,1 \text{ V} \leftrightarrow -1,1 \text{ cm}$$

Conclusion :

Un phénomène périodique se répète au cours du temps à l'identique, il a une période T qui est la durée minimale au bout de laquelle la grandeur reprend la même valeur, en variant dans le même sens ; et une fréquence f qui est l'inverse de T : $f = 1/T$.

Les signaux périodiques sont utilisés en médecine pour mesurer l'activité cardiaque à l'aide d'un électrocardiogramme.



2) Ondes sonores et ultrasonores

1) Nature des ondes sonores

Les ondes sonores sont produites par une paroi vibrante, qui transmet les vibrations au milieu matériel dans lequel elle se trouve.

Les ondes sonores sont de nature **mécanique**. Elles se propagent en **ligne droite** dans un **milieu matériel homogène**, en faisant vibrer les particules de ce milieu parallèlement à leur direction de propagation. Une onde sonore **ne se propage pas** dans le **vide**.

2) Fréquence des ondes sonores

L'oreille humaine est sensible aux ondes sonores de fréquences comprises entre 20 Hz et 20 kHz. Au-delà de 20 kHz, ce sont des ondes ultrasonores. Plus la fréquence est basse et plus le son est grave.

3) Vitesse de propagation dans l'air

Dans l'air, la vitesse v des ondes sonores et ultrasonores est voisine de 340 m/s. La distance d parcourue par l'onde pendant une durée Δt est :

$$d = v\Delta t \text{ avec } v \text{ en m/s et } \Delta t \text{ en s}$$

La vitesse des ondes sonores dépend du milieu où elles se propagent, plus le milieu est dense et plus leur vitesse est rapide ex : **1500 m/s dans l'eau et 4000 m/s dans les solide comme les os.**

4) Exemple : l'échographie

Lorsqu'une onde ultrasonore arrive à la surface séparant deux milieux de propagation différents, une partie de cette onde est réfléchiée et l'autre est transmise. L'analyse de l'ensemble des ondes réfléchies permet de calculer les distances parcourues lors d'un aller-retour et donc de reconstituer les éléments traversés par l'onde ultrasonore : c'est le principe de l'échographie.

3) Les ondes électromagnétiques

Les ondes lumineuses peuvent être décrites comme des vibrations de nature **électromagnétique**.

1) Propagation rectiligne de la lumière

Dans un milieu transparent, la lumière se propage de façon **rectiligne**. A la différence des ondes sonores, la lumière n'a pas besoin de milieu matériel pour se propager : elle se propage dans les **matériaux transparents** comme le verre, l'eau mais aussi dans le **vide**.

Les ondes sonores sont de nature **mécanique**. Elles se propagent en **ligne droite** dans un **milieu matériel homogène**, en faisant vibrer les particules de ce milieu parallèlement à leur direction de propagation. Une onde sonore **ne se propage pas** dans le **vide**.

2) Fréquence des ondes sonores

L'oreille humaine est sensible aux ondes sonores de fréquences comprises entre 20 Hz et 20 kHz. Au-delà de 20 kHz, ce sont des ondes ultrasonores. Plus la fréquence est basse et plus le son est grave.

3) Vitesse de propagation dans l'air

Dans l'air, la vitesse v des ondes sonores et ultrasonores est voisine de 340 m/s. La distance d parcourue par l'onde pendant une durée Δt est :

$$d = v\Delta t \text{ avec } v \text{ en m/s et } \Delta t \text{ en s}$$

La vitesse des ondes sonores dépend du milieu où elles se propagent, plus le milieu est dense et plus leur vitesse est rapide ex : **1500 m/s dans l'eau et 4000 m/s dans les solide comme les os.**

2) Vitesse de la lumière

La vitesse de la lumière c dans le vide (et dans l'air) est :

$$c = 3,00 * 10^8 \text{ m/s} \text{ (300 000 km/s)}$$

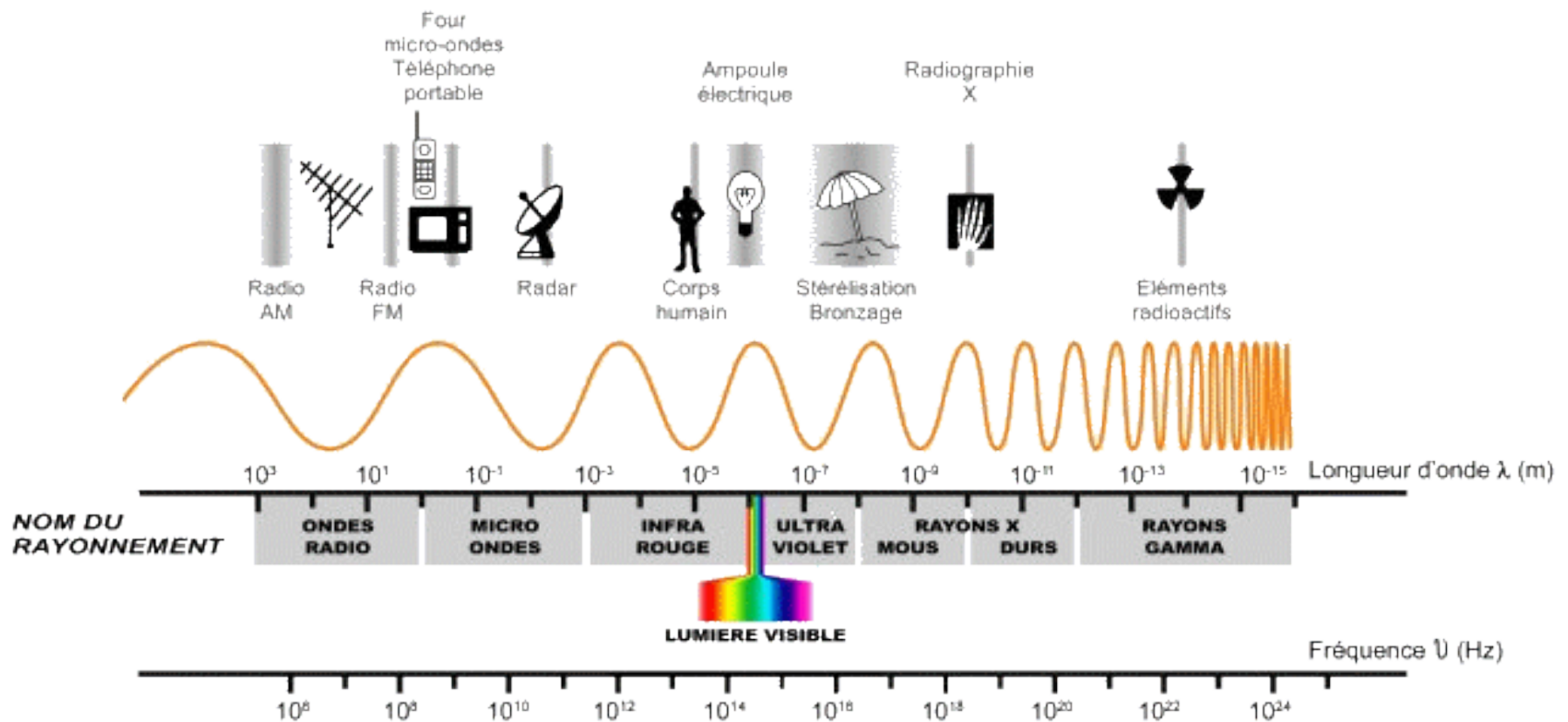
La distance d parcourue par la lumière pdt une durée Δt est :

$$d = c\Delta t$$

Comme pour les ondes sonores, la vitesse de la lumière dépend du milieu de propagation, **plus le milieu est dense et plus la vitesse de la lumière est faible**. Ex : elle est de $2,0 * 10^8$ m/s dans du verre de qualité standard.

3) Fréquences des ondes électromagnétiques

Les fréquences des ondes électromagnétiques sont très variables, exprimés en Hz. Elles sont regroupées en différents domaines de fréquence.



■ L'exemple des rayons X

Lors d'une radiographie, les rayons X sont produits en un point et se propagent en ligne droite à partir de ce point, traversant le corps humain. Sur un film sensible aux rayons X apparaîtra l'ombre projetée des tissus et des organes traversés. Comme ces derniers atténuent plus ou moins les rayons X, ils seront donc plus ou moins foncés sur le film et formeront un cliché exploitable par le médecin [doc. 14].

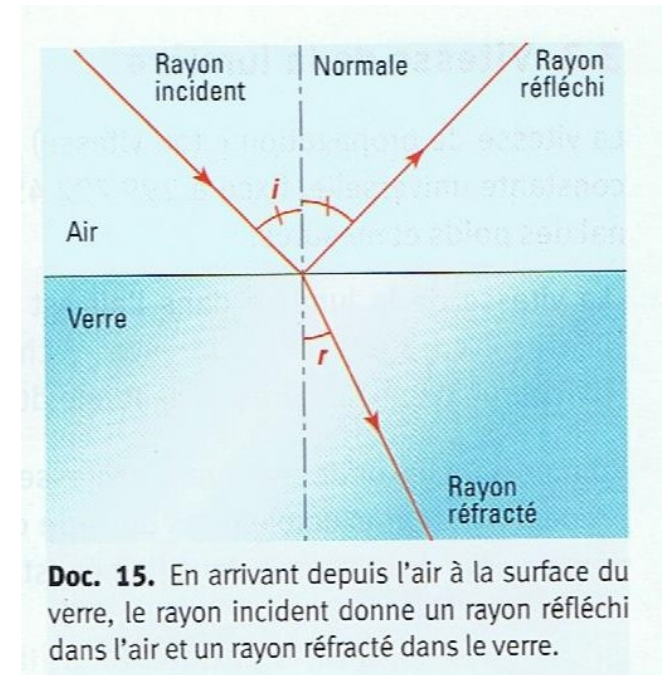
4) Réfraction et réflexion totale de la lumière

1) Réfraction et réflexion

Lorsqu'un rayon lumineux arrive à la surface séparant deux milieux transparents comme l'air et le verre, un **rayon réfléchi** apparaît. Sous certaines conditions, il peut exister un rayon transmis, appelé **rayon réfracté**.

La réfraction d'un rayon lumineux incident se manifeste par son changement de direction à la traversée de la surface séparant deux milieux transparents. Elle est toujours associée à une réflexion du rayon sur la surface.

L'angle d'incidence i est l'angle entre le rayon incident et la perpendiculaire à la surface, appelée **normale**. L'angle de réfraction r est l'angle entre le rayon réfracté et la normale.



Le rayon réfléchi est le symétrique du rayon incident par rapport à la normale : angle de réflexion = angle d'incidence

L'angle de réfraction r est différent de l'angle d'incidence i sauf lorsque $i = 0$

2) Réflexion totale

* Cas d'une interface air/verre :

Lorsque le rayon lumineux va de l'air vers le verre, l'angle de réfraction r est inférieur à l'angle d'incidence i : $r < i$. Le rayon réfracté existe alors quelle que soit la valeur de i .

* Cas d'une interface verre/air :

En revanche, lorsque le rayon lumineux va du verre vers l'air, l'angle de réfraction r est supérieur à l'angle d'incidence i : $r > i$.

Il existe dès lors une valeur i_R pour laquelle $r = 90^\circ$. Lorsque $i > i_R$, il n'y a plus de rayon réfracté et toute la lumière est réfléchi : c'est le phénomène de réflexion totale.

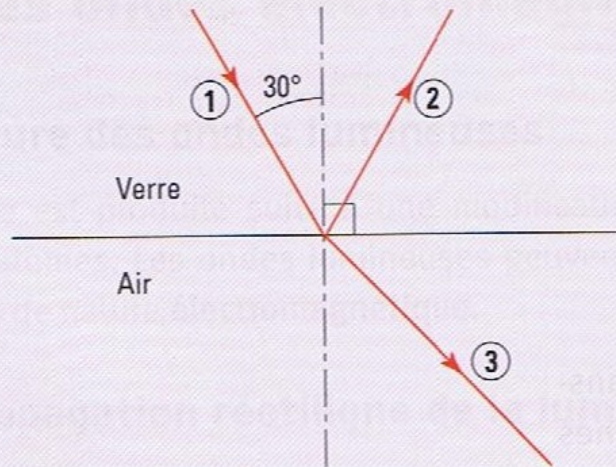
Exemple Dans un fibroscope médical, l'image est transportée pixel par pixel grâce à des milliers de fibres optiques. Le diamètre de ces fibres est de l'ordre de $10 \mu\text{m}$. À l'intérieur des fibres, la lumière est guidée par réflexion totale : elle se réfléchit totalement sur la surface cylindrique du verre et peut ainsi parcourir toute la longueur de la fibre avec un minimum de pertes.

Conclusion :

Lorsque l'angle d'incidence i d'un rayon arrivant à la surface verre/air est supérieur à une valeur i_R , il y a réflexion totale de la lumière incidente.

Application

Un rayon lumineux arrive à la surface verre/air avec un angle d'incidence $i = 30^\circ$. Pour cette valeur de i , il n'y a pas réflexion totale.



1. Identifier sur le schéma : le rayon incident, le rayon réfléchi et le rayon réfracté.
2. Quelle est la valeur de l'angle entre le rayon réfléchi et la normale à la surface verre/air ?
3. Pour observer la réflexion totale du rayon incident, faut-il augmenter ou diminuer la valeur de l'angle d'incidence i ?

Solution

1. ① est le rayon incident car la flèche sur le rayon ① indique un sens de propagation de la lumière vers la surface verre/air.
② est le rayon réfléchi. Il se trouve dans le même milieu que le rayon incident, c'est-à-dire le verre.
③ est le rayon réfracté. Il se trouve de l'autre côté de la surface par rapport au rayon incident.
2. Le rayon réfléchi est symétrique du rayon incident par rapport à la normale, qui est la perpendiculaire à la surface verre/air. La valeur de l'angle entre ce rayon et la normale est donc de 30° .
3. Pour observer le phénomène de réflexion totale, il est nécessaire d'augmenter la valeur de l'angle d'incidence i jusqu'à ce que l'angle de réfraction vaille 90° .

Bilan :

La physique est aujourd'hui d'une grande aide pour la médecine :

- les phénomènes périodiques comme les battements du cœur permettent de construire des électrocardiogrammes indispensables.
- la maîtrise des ondes ultrasonores permet de faire des échographies
- la maîtrise des ondes électromagnétiques de faire des radiographies, mais aussi des four à micro-ondes, des téléphones ...
- la découverte du phénomène de réflexion totale a permis le développement de la fibre optique.