

Chapitre 2 : Les ondes au service du diagnostic médical (Physique SANTÉ)

Objectifs :

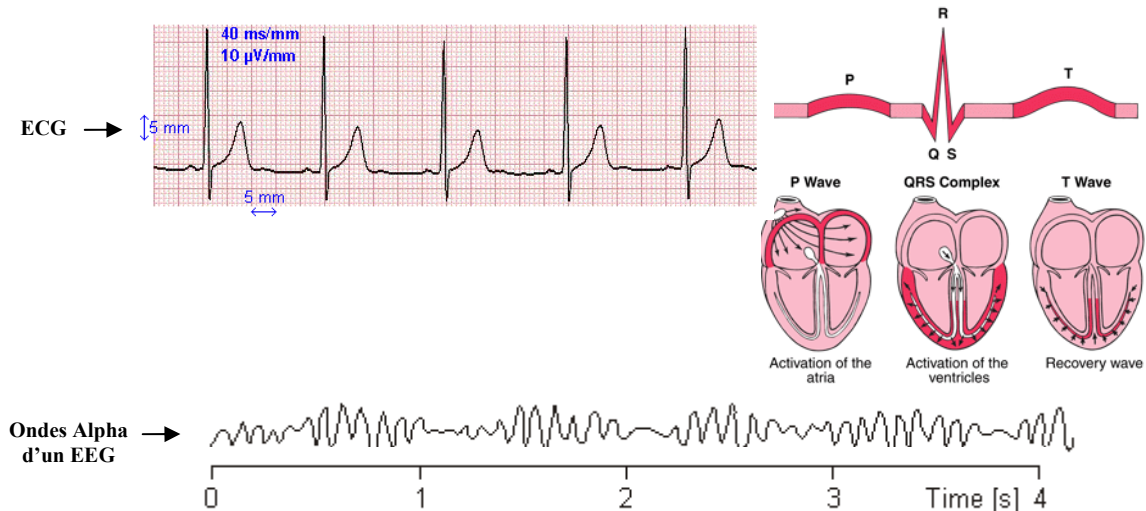
- Connaître et utiliser les définitions de période et de fréquence d'un signal périodique ;
- Extraire et exploiter des informations concernant la nature des ondes et leurs fréquences en fonction de l'application médicale ;
- Connaître une valeur approchée de la vitesse du son dans l'air ;
- Connaître la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide ou dans l'air ;
- Notion de longueur d'onde, d'indice de réfraction, de réflexion et de réflexion totale.

I. Comment caractériser un phénomène périodique ?

I.1. Phénomène périodique

Un phénomène périodique est un **phénomène qui se reproduit identique à lui-même à intervalles de temps égaux**.

Ex : enregistrement d'un électrocardiogramme (ECG), un électroencéphalogramme (EEG)
(les ondes alpha caractérisent un état de repos sensoriel et mental total)



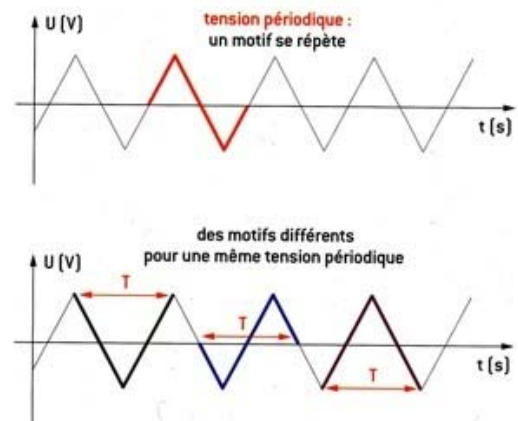
I.2. Période et fréquence

La **période** d'un signal périodique est la **durée la plus petite au bout de laquelle le signal se reproduit identique à lui-même**.
On la note **T** et elle s'exprime en **secondes (s)**.

La **fréquence** d'un signal périodique correspond au **nombre de périodes observées en une seconde**.
On la note **f** et elle s'exprime en **Hertz (Hz)**.

Le lien entre fréquence **f** et période **T** est :

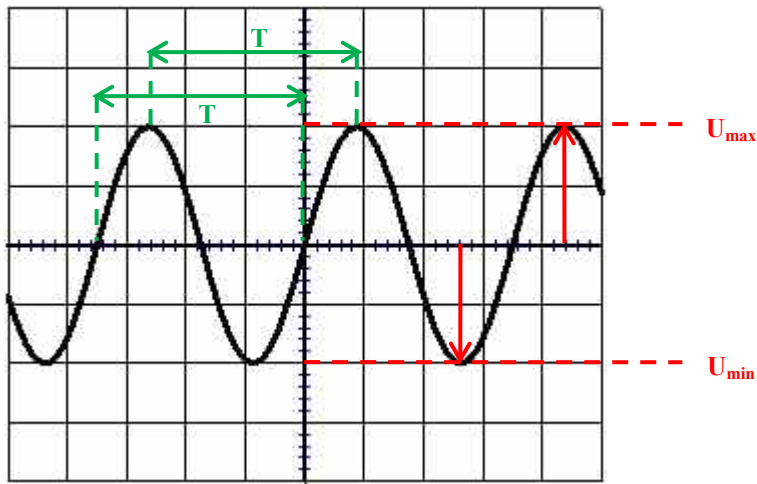
$f = \frac{1}{T}$	T , en s , période du signal f , en Hz , fréquence du signal
-------------------	---



I.3. Tension minimale et tension maximale

La **tension minimale** d'un signal périodique correspond à sa **valeur la plus faible**, on la note **U_{min}**.

La **tension maximale** d'un signal périodique correspond à sa **valeur la plus élevée**, on la note **U_{max}**.



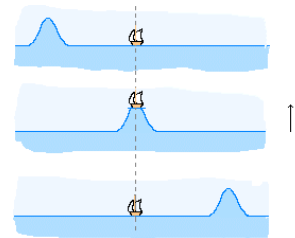
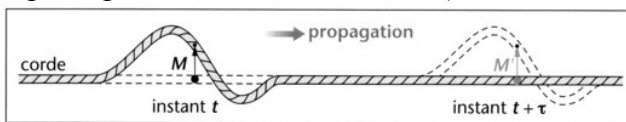
Sensibilité Verticale : 0,5 V / div
Sensibilité Horizontale : 10 ms / div

- $U_{\max} = 2 \times 0,5 = 1,0 \text{ V}$
- $U_{\min} = 2 \times (-0,5) = -1,0 \text{ V}$
- $T = 3,5 \times 10 \cdot 10^{-3} = 35 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 35 \text{ ms}$
- $f = \frac{1}{35 \cdot 10^{-3}} = 28,6 \text{ Hz}$

II. Qu'est-ce qui différencie les ondes sonores des ondes électromagnétiques ?

II.1. Onde

Une **onde** est une **perturbation qui se propage sans transport de matière** (le bateau ne se déplace pas de manière horizontale).



Si la perturbation est périodique on parle d'onde périodique.

Les **ondes périodiques** sont caractérisées par leur fréquence f ou leur période T .

Ex : Ondes à la surface de l'eau

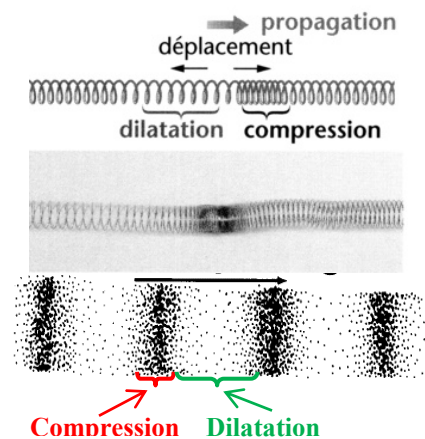


II.2. Ondes sonores et ultrasonores

Les **ondes sonores et ultrasonores** sont des ondes mécaniques qui **nécessitent un milieu matériel** pour se propager comme l'air, l'eau ou les solides.

Elles ne peuvent pas se propager dans le vide (si on met une horloge qui sonne dans une cloche où on a fait le vide on ne l'entend pas !).

Elles correspondent à une succession de compression – dilatation des molécules d'air (comme dans un ressort comprimé)



Les **ondes sonores audibles** par l'homme sont des **ondes périodiques** dont la **gamme de fréquence** est

$$20 \text{ Hz} < f_{\text{audible}} < 20\,000 \text{ Hz (20 kHz)}$$

- Si $f > 20 \text{ kHz}$, on est dans le domaine des **ultrasons** (sons émis par les chauves-souris)
- Si $f < 20 \text{ Hz}$, on est dans le domaine des **infrasons** (sons émis par les éléphants)

La **vitesse de propagation des ondes sonores et ultrasonores dans l'air** aux températures usuelles est $v = 340 \text{ m/s}$ (ou $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

La distance **d** parcourue par l'onde sonore ou ultrasonore de vitesse **v** pendant une durée **Δt** est :

$d = v \times \Delta t$ ou $v = \frac{d}{\Delta t}$	v , en m/s ou $m \cdot s^{-1}$, vitesse de l'onde d , en m , distance parcourue par l'onde Δt , en s , durée de parcours de l'onde
---	--

Ex : En combien de temps une onde sonore parcourt une distance **d = 10,0 cm** ?
La vitesse des ondes sonores est **v = 340 m/s**.

On convertit la distance **d** en **m** soit : **d = 10,0 × 10⁻² m = 1,00 × 10⁻¹ m**

On sait également que **d = v × Δt** donc **Δt = $\frac{d}{v}$** .

A.N. : $\Delta t = \frac{1,00 \times 10^{-1}}{340} = 2,94 \times 10^{-4} s$

II.3. Ondes électromagnétiques et la lumière visible

Les **ondes électromagnétiques** ne sont pas des ondes mécaniques car elles **peuvent se propager dans les milieux solides, liquides et gazeux mais également dans le vide**.

Ce sont des ondes périodiques caractérisées par des fréquences **f** comprises entre 10⁶ Hz (1 MHz) et 10²⁰ Hz.

La **lumière visible par l'Homme fait partie des ondes électromagnétiques** dont la gamme de fréquence est comprise entre 400 THz (Téra = 10¹²) pour le rouge et 800 THz pour le violet.

À chaque **fréquence du visible** on associe une **longueur d'onde dans le vide** notée **λ** exprimée en **m** (ou dans ses sous-multiples comme le **nm** ou le **μm**).

Pour chaque valeur de λ on associe une **couleur**.

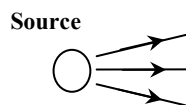
Ainsi l'ensemble des longueurs d'onde du visible est :

$$400 \text{ nm (violet)} < \lambda < 800 \text{ nm (rouge)}$$

Si **λ < 400 nm** on est dans le domaine des **UltraViolets (UV)**

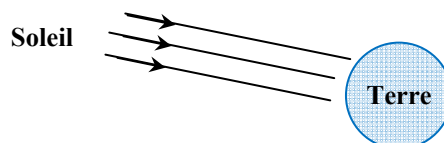
Si **λ > 800 nm** on est dans le domaine des **InfraRouges (IR)**

Dans les milieux transparents et homogènes (l'air, le verre, l'eau...) la lumière se propage en ligne droite : on parle de **propagation rectiligne de la lumière**.



Le modèle du rayon lumineux, on **représente la lumière par des segments de droite orientés de la source vers l'extérieur**.

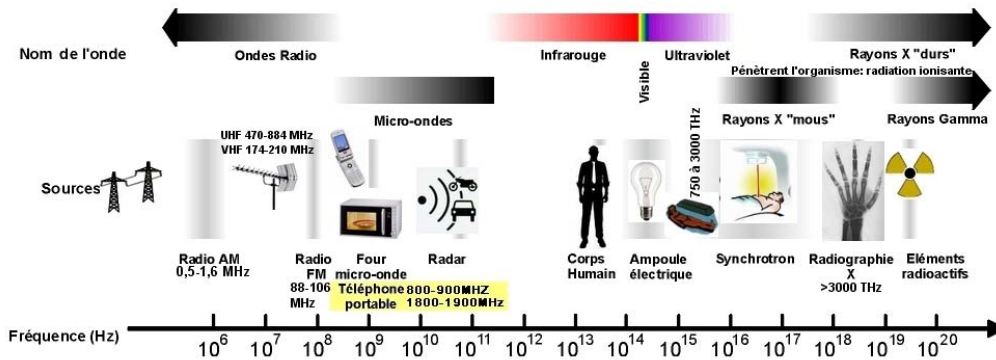
Lorsque la **source** lumineuse est suffisamment **éloignée de l'objet** qu'elle éclaire, **les rayons lumineux sont parallèles entre eux**. (Cas de la lumière émise par les étoiles et reçue pour un observateur sur Terre)



La **vitesse de la lumière dans le vide (= célérité)** ou dans l'air vaut : **c = 3,00 · 10⁸ m/s** (ou **m · s⁻¹**)

C'est une **vitesse limite**, aucun objet ne peut atteindre cette vitesse.

La vitesse des ondes électromagnétiques dans le vide est également de **3,00 · 10⁸ m · s⁻¹**.



III. Que sont la réfraction et la réflexion des ondes ?

III.1. La réflexion des ondes ultrasonores

Selon la nature du milieu rencontré par les ondes sonores ou ultrasonores, celles-ci peuvent :

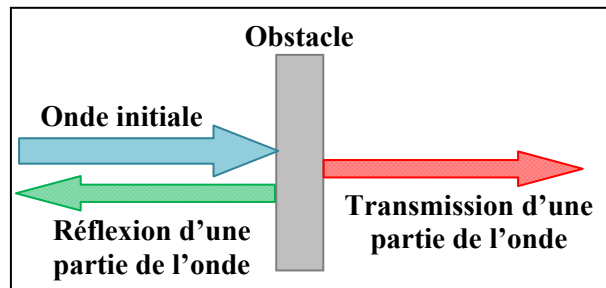
- se réfléchir complètement ou partiellement et revenir en arrière vers l'émetteur

ou

- continuer leur propagation.

Si l'onde ne traverse pas l'obstacle et revient en arrière on parle de **réflexion de l'onde**.

Si l'onde traverse l'obstacle et continue sa propagation on parle de **transmission de l'onde**.



L'onde ultrasonore parcourt **un aller et un retour** lors de sa réflexion sur l'obstacle.

Si l'onde se propage à la vitesse v et se réfléchit sur un obstacle qui se trouve à une distance d de l'émetteur de l'onde en une durée Δt alors on a la relation suivante :

$2 \times d = v \times \Delta t$ ou $d = \frac{v \times \Delta t}{2}$	v , en m/s ou $m \cdot s^{-1}$, vitesse de l'onde d , en m , distance entre émetteur et obstacle Δt , en s , durée de parcours de l'onde
--	---

Ex :

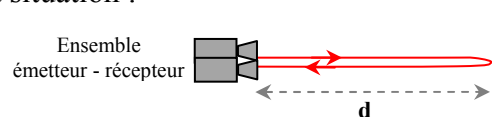
On envoie des ultrasons sur un objet réfléchissant se trouvant à une distance d de l'ensemble émetteur –récepteur. La durée que met l'onde ultrasonore entre son émission et sa réception est

$\Delta t = 100 \mu s$. La vitesse des ondes ultrasonores est $v = 340 m/s$.

Déterminer la distance d qui sépare l'ensemble émetteur – récepteur de l'objet réfléchissant.

On convertit la durée Δt en s soit : $\Delta t = 100 \times 10^{-6} s$

On fait un schéma simplifié de la situation :



L'onde a parcouru un aller et un retour entre son émission et sa réception, soit : $d = \frac{v \times \Delta t}{2}$

A.N. : $d = \frac{v \times \Delta t}{2} = \frac{340 \times 100 \times 10^{-6}}{2} = 0,017 m = 1,7 cm$

III.2. Réflexion et réfraction des ondes lumineuses

- La **réfraction** correspond au **changement de direction de la propagation d'une onde lorsqu'elle traverse la surface de séparation de deux milieux différents**.

- La **normale** en un point I de la surface de séparation correspond à la **droite perpendiculaire à la surface** passant par ce point.

- Le rayon qui arrive sur le point I s'appelle **rayon incident**.

L'angle **i** entre la normale et le rayon incident s'appelle **angle d'incidence**.

- Le rayon qui traverse la surface de séparation s'appelle **rayon réfracté**.

L'angle **r** entre la normale et le rayon réfracté s'appelle **angle de réfraction**.

- Le rayon qui ne traverse pas la surface de séparation et qui est renvoyé dans son milieu d'origine est appelé **rayon réfléchi**.

L'angle **i'** entre la normale et le rayon réfléchi s'appelle **angle réfléchi**.

- Le **point I** où arrive le rayon incident s'appelle **point d'incidence**.

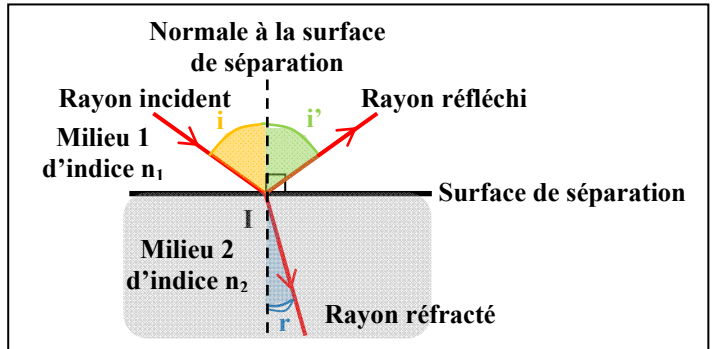
Le plan contenant les rayons incident, réfléchi et réfracté s'appelle **plan d'incidence**.

- On a toujours la relation : **$i = i'$** : le rayon réfléchi est symétrique au rayon incident par rapport à la normale à la surface de séparation.

- Si **$i = 0^\circ$** alors **$r = 0^\circ$** : le rayon traverse la surface de séparation sans être dévié.

- Chaque milieu transparent et homogène sont caractérisés par un **indice de réfraction** noté **n**.

- On a : **$n_{\text{vide}} = n_{\text{air}} = 1,0$** et pour les autres milieux (eau, plexiglas...) **$n > 1,0$** .

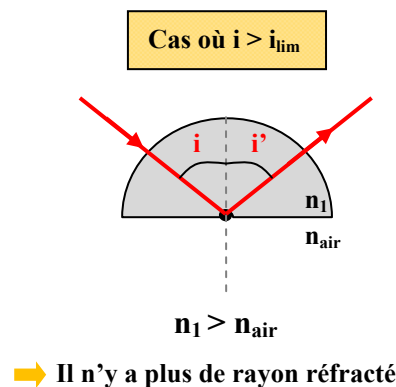
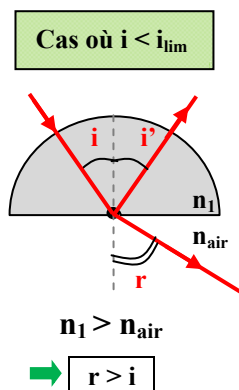


III.3. La réflexion totale de la lumière

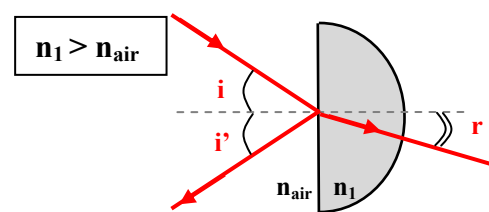
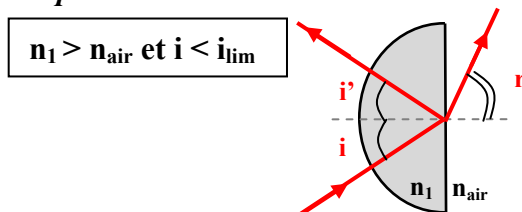
Si la lumière **passe d'un milieu 1 d'indice de réfraction n_1 vers un milieu 2 d'indice n_2** tel que **$n_1 > n_2$** alors on aura toujours **$r > i$** . (Le milieu 1 est dit plus réfringent que le milieu 2).

Il existe un **angle d'incidence limite** noté **i_{lim}** pour lequel il n'y a plus de réfraction mais uniquement de la réflexion : c'est le phénomène de **réflexion totale**.

Si **$i > i_{\text{lim}}$** on a de la **réflexion totale de la lumière** et il n'existe plus de rayon réfracté.



Ex : Compléter les schémas suivants :



IV. Quels types d'ondes sont utilisés en médecine ?

IV.1. La radiographie

Les ondes utilisées pour réaliser une radiographie sont les rayons X ($10^{17} \text{ Hz} < f < 10^{19} \text{ Hz}$)

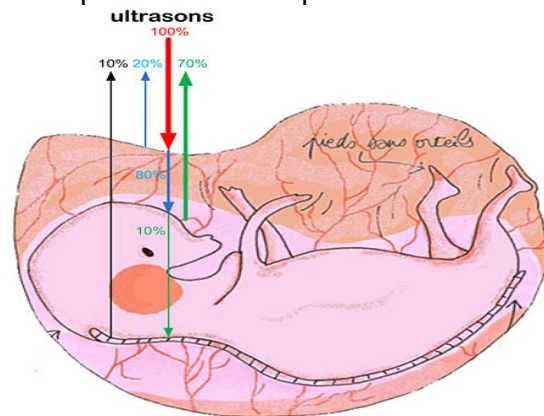
La radiographie est un phénomène basé sur l'absorption des rayons X : atténuation de l'onde selon la nature du milieu rencontré (les zones claires sont les zones de forte absorption).



IV.2. L'échographie

L'échographie utilise des ondes ultrasonores.

C'est une technique d'imagerie médicale basée sur les phénomènes de réflexion et de réfraction : selon la nature du milieu rencontré par les ondes la réflexion est plus ou moins importante.



IV.3. La fibroscopie et l'endoscopie

La fibroscopie et l'endoscopie sont des techniques d'exploration médicale basée sur le principe de la réflexion totale de la lumière à travers les fibres optiques.

