

## 4 Ondes et signaux

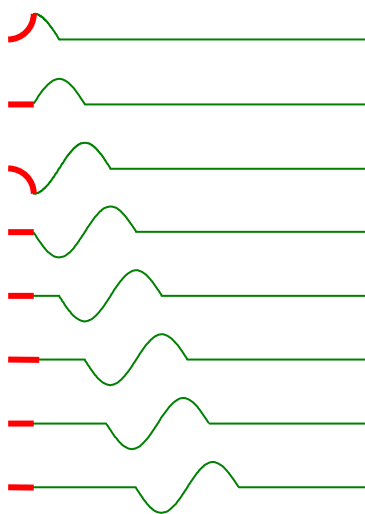
### 4.1 Ondes mécaniques

#### 4.1.1 Onde mécanique progressive

On appelle onde mécanique le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu matériel.

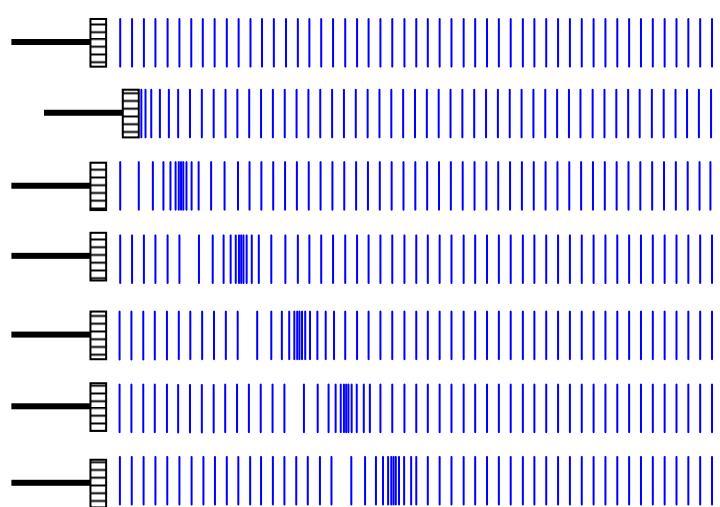
#### Exemples

lame vibrante



onde transversale

piston

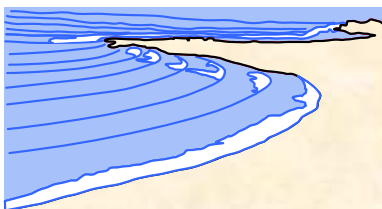


finer tranches d'air

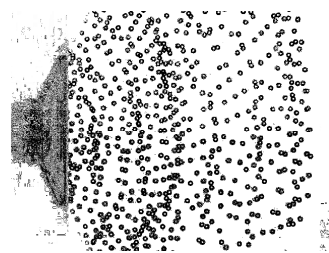
onde longitudinale

Une onde électromagnétique peut se propager dans le vide mais une onde mécanique a besoin d'un milieu matériel pour se propager.

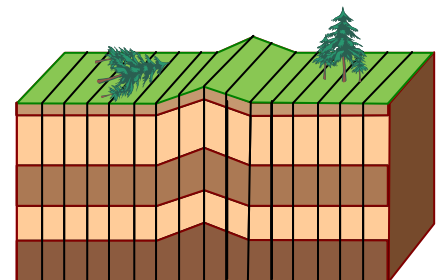
#### Exemples



La houle se propage à la surface de l'eau



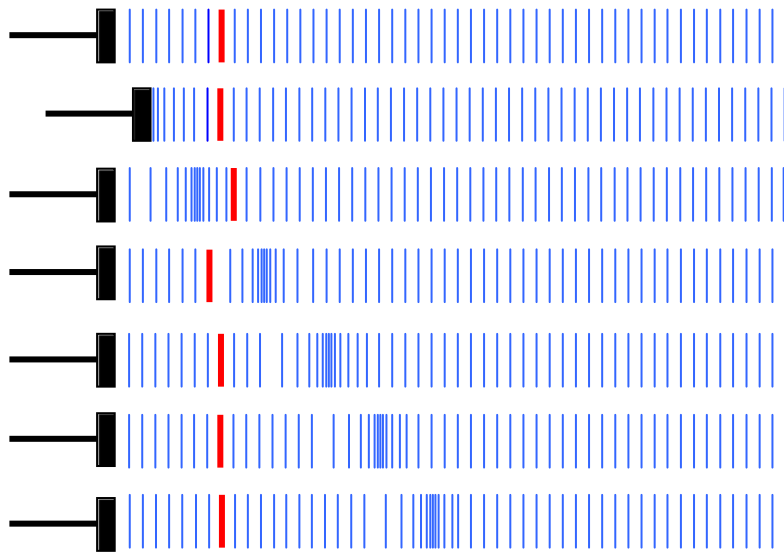
l'onde sonore se propage dans l'air



l'onde sismique se propage dans le sol

Au passage de la perturbation la matière se déplace puis revient à sa position initiale : il n'y a pas de transport de matière.

### Exemple



L'onde transporte de l'énergie.

### Exemples

L'énergie de la houle peut détruire des digues

Les ondes sismiques peuvent dévaster de vastes zones géographiques

L'onde qui se propage depuis sa source est progressive. Après réflexion sur un obstacle, cette onde peut se propager dans le sens inverse (l'onde est régressive).

La **célérité** est la vitesse avec laquelle l'onde se propage. Elle dépend du milieu de propagation.

### Exemples

La célérité du son dans l'air est d'environ  $340 \text{ m.s}^{-1}$

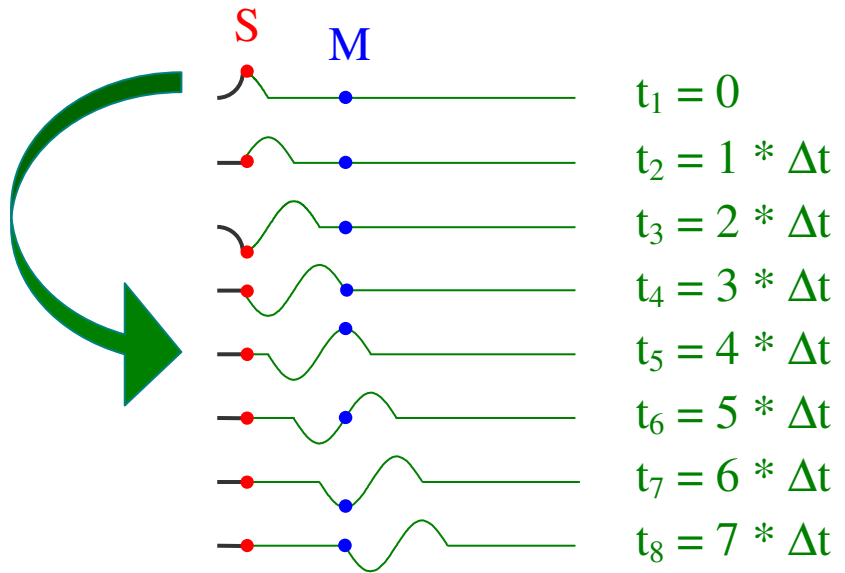
La célérité du son dans l'eau est d'environ  $1\,500 \text{ m.s}^{-1}$

La célérité des ondes sismiques est d'environ  $10 \text{ km.s}^{-1}$

La perturbation reproduit l'état de la source avec un **retard**  $\tau$ .

## Exemple

le point M reproduit les mouvements du point S avec un retard égal à  $4 * \Delta t$

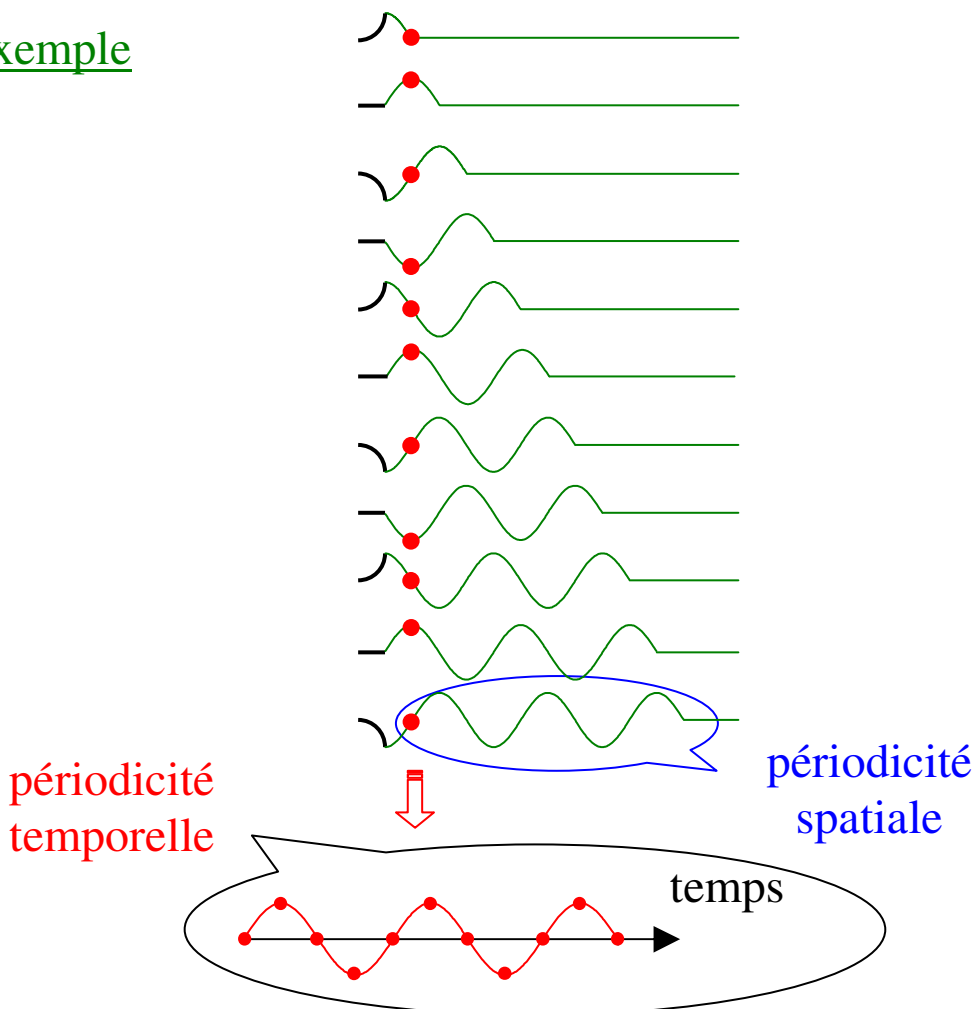


Le point M reproduit l'état de la source S avec un retard :  $\tau = SM / c$  (pour les milieux non dispersifs).

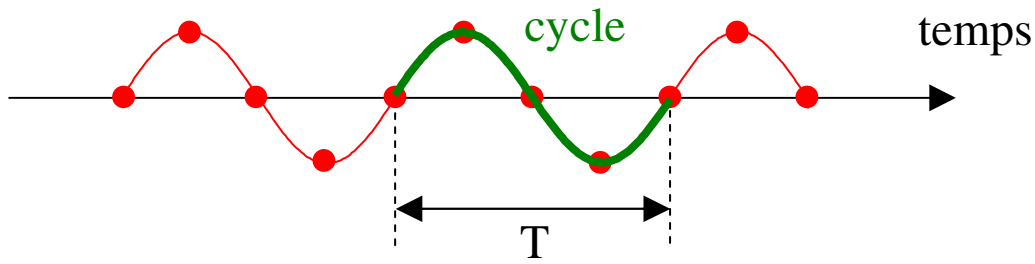
### 4.1.2 Ondes mécaniques périodiques

Si la perturbation est produite à des intervalles de temps réguliers, l'onde est périodique.

## Exemple



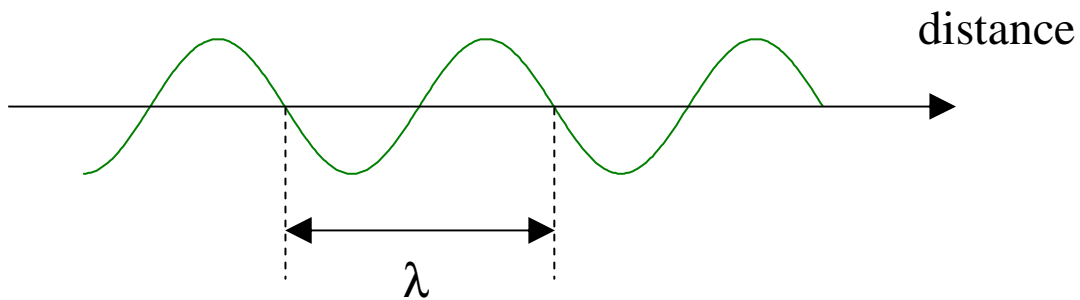
## La périodicité temporelle



Un cycle est le plus petit motif qui se répète dans une représentation temporelle.

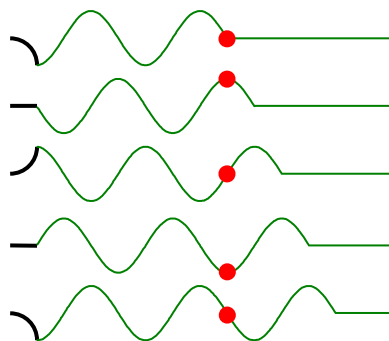
La durée d'un cycle est appelée la **période** notée  $T$ .

## La périodicité spatiale



Durant une période, l'onde se propage d'une distance appelée la **longueur d'onde**  $\lambda$  (prononcer lambda).

## Exemple



On sait que  $v = d / \Delta t$ , donc :  $c = \frac{\lambda}{T}$

$c$  : célérité de l'onde ; en  $\text{m.s}^{-1}$

$\lambda$  : longueur d'onde ; en m

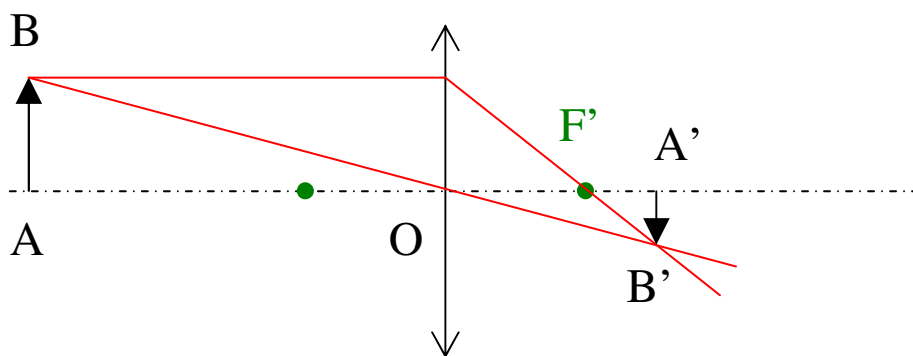
T : période ; en s

## 4.2 La lumière

### 4.2.1 Lentille mince convergente

Relation de conjugaison d'une lentille mince convergente :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$$



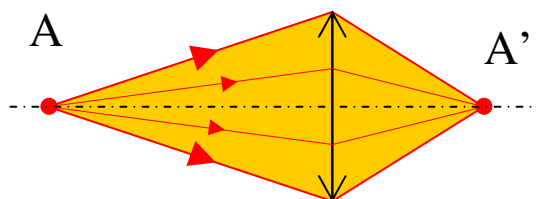
Relation de grandissement d'une lentille mince convergente :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

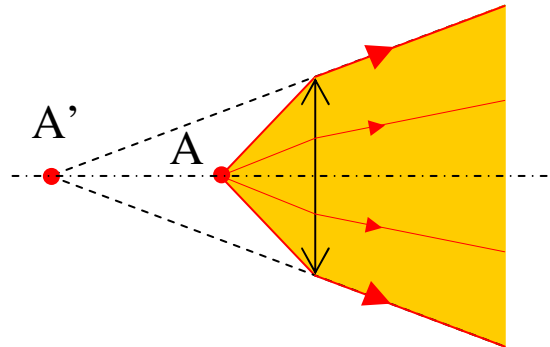
L'image réelle A'B' est renversée par rapport à l'objet AB ( $\gamma < 0$ ).

### 4.2.2 Images réelle et virtuelle

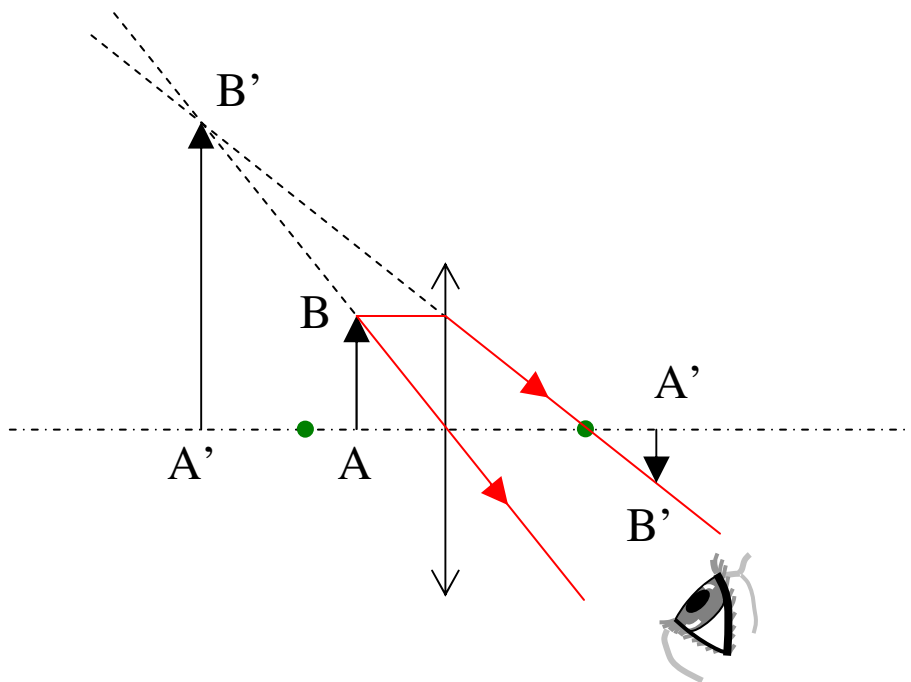
A est un point lumineux ponctuel.



Le point image  $A'$  est réel car tous les rayons qui émergent de la lentille passent par ce point. Une image réelle peut être observée sur un écran.

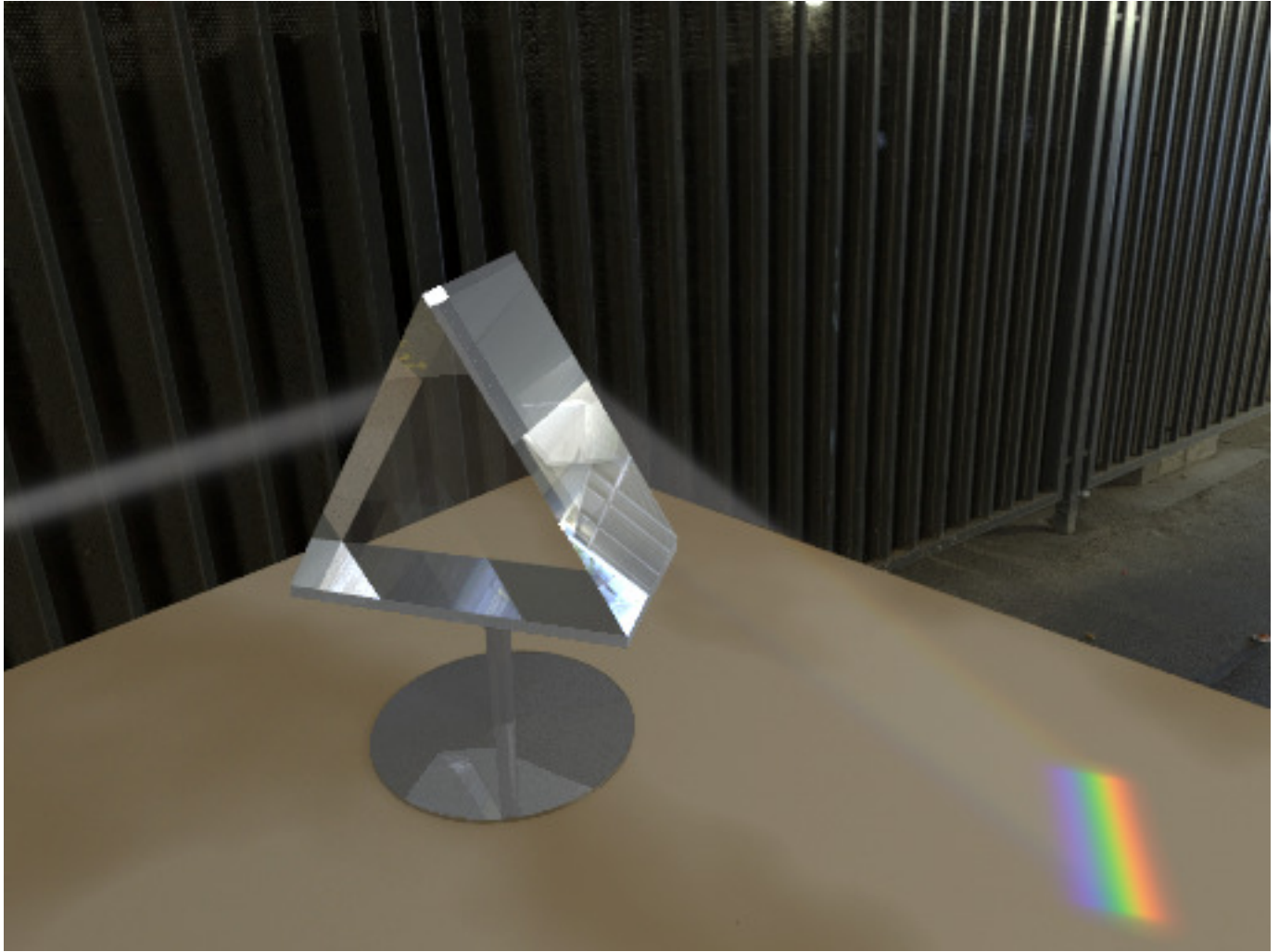


Le point image  $A'$  est virtuel car il est sur le prolongement des rayons qui émergent de la lentille. L'observation d'une image virtuelle n'est possible que si un œil se place sur le trajet du faisceau émergent.



L'image virtuelle  $A'B'$  est droite, c'est à dire du même sens que l'objet  $AB$ .

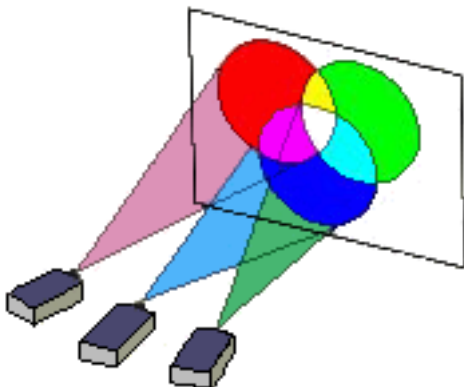
### 4.2.3 Lumière blanche, lumière colorée



L'expérience montre que la lumière blanche est composée de lumières colorées.

### 4.2.4 Couleur des objets

La synthèse additive consiste à combiner la lumière colorée de plusieurs sources afin d'obtenir une nouvelle couleur.



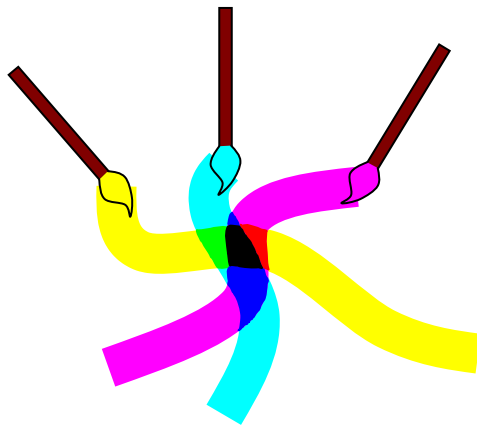
#### Rappels

cyan = bleu + vert

jaune = rouge + vert

magenta = rouge + bleu

La synthèse soustractive consiste à combiner l'effet d'absorption de plusieurs couleurs afin d'en obtenir une nouvelle.

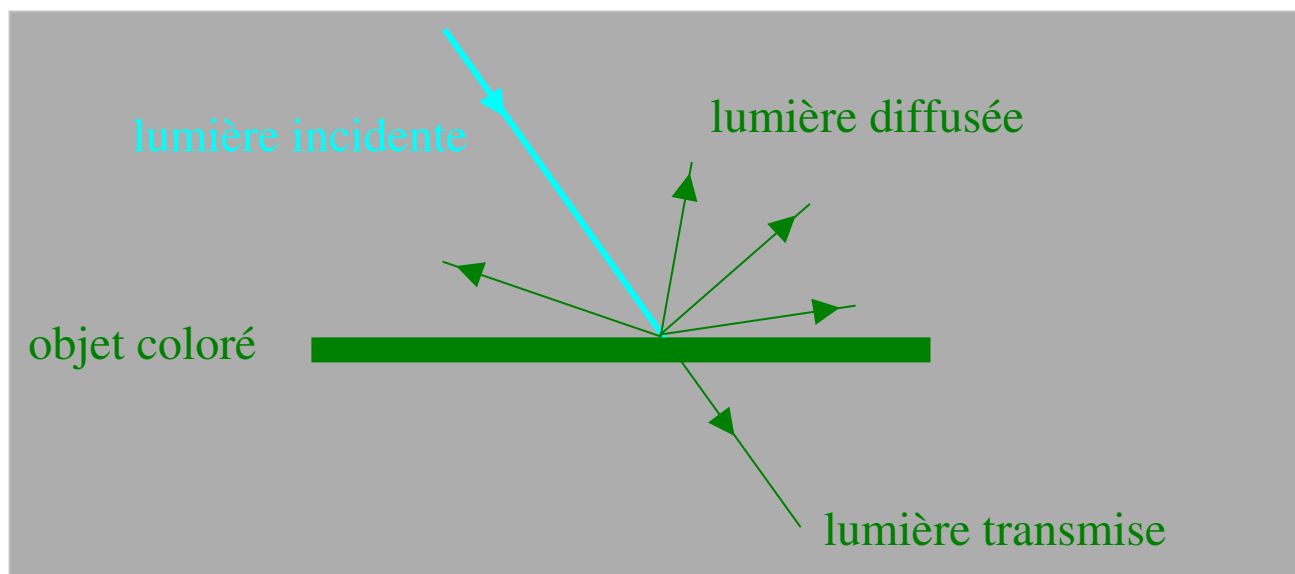


#### Remarque

les couleurs primaires en synthèse additive sont les couleurs secondaires en synthèse soustractive, et réciproquement.

#### **4.2.5 Absorption, diffusion, transmission**

Un objet diffuse ou transmet la lumière qu'il n'absorbe pas. L'objet apparaît ainsi coloré mais sa couleur dépend de la lumière incidente.



#### Remarque

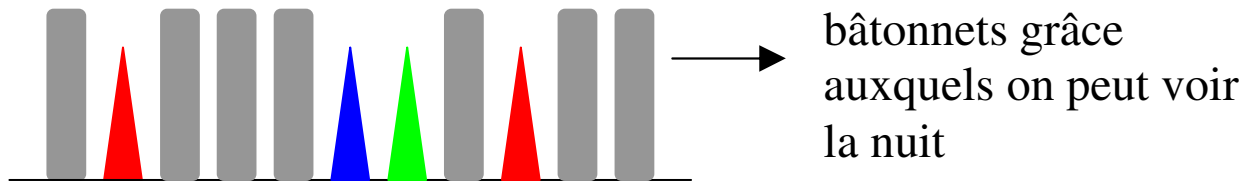
deux couleurs sont complémentaires si leur mélange est caractérisé par une absence de chromaticité (c'est à dire blanc en synthèse additive et noir en synthèse soustractive)

#### **4.2.6 Vision des couleurs et trichromie**



Au centre de la rétine, se trouve un grand nombre de cônes qui permettent la perception des couleurs.

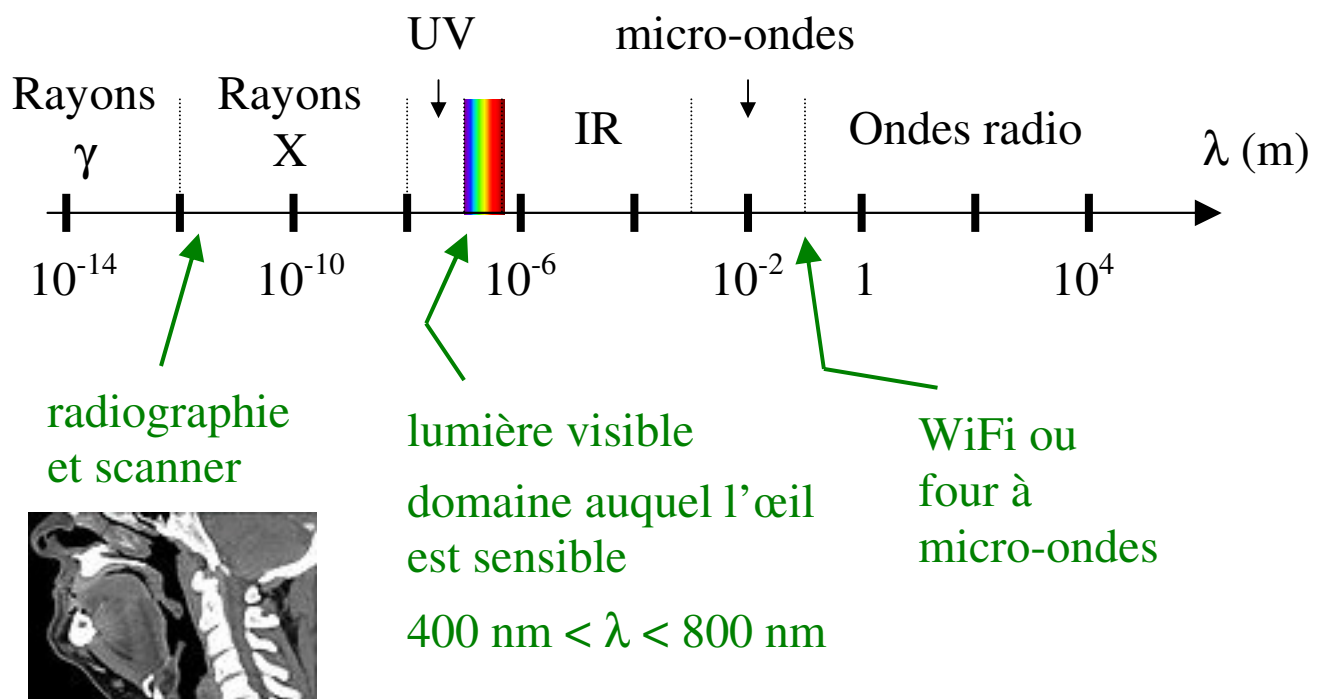
Il y a 3 types de cônes : un pour chaque couleur rouge, verte et bleue.



Chaque couleur est traduite en un signal électrique qui est transmis par le nerf optique jusqu'au cerveau qui crée la sensation de nuances de couleur par synthèse additive.

#### 4.2.7 Domaines des ondes électromagnétiques

Le spectre électromagnétique ci-dessous classe les rayonnements électromagnétiques par longueur d'onde.



En associant les relations  $c = \lambda / T$  et  $v = 1 / T$  déjà vues sur les ondes, on obtient :

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

- $\lambda$  : longueur d'onde ; en m  
 $\nu$  : fréquence de l'onde ; en Hz (ou  $s^{-1}$ )  
 $c$  : célérité de l'onde ; en  $m.s^{-1}$

#### 4.2.8 Modèle corpusculaire de la lumière : le photon

En 1900, Max Planck a émis l'hypothèse que l'énergie soit transportée par la lumière comme des grains et non comme un liquide.

En 1905, Einstein proposa que l'onde électromagnétique elle-même était sous forme de grains (les photons). Chaque photon est porteur d'une quantité d'énergie :

$$E = h * \nu$$

- $E$  : énergie de l'onde ; en J  
 $h$  : constante de Planck ;  $h = 6,62.10^{-34} \text{ kg.m}^2.s^{-1}$   
 $\nu$  : fréquence de l'onde électromagnétique ; en Hz (ou  $s^{-1}$ )

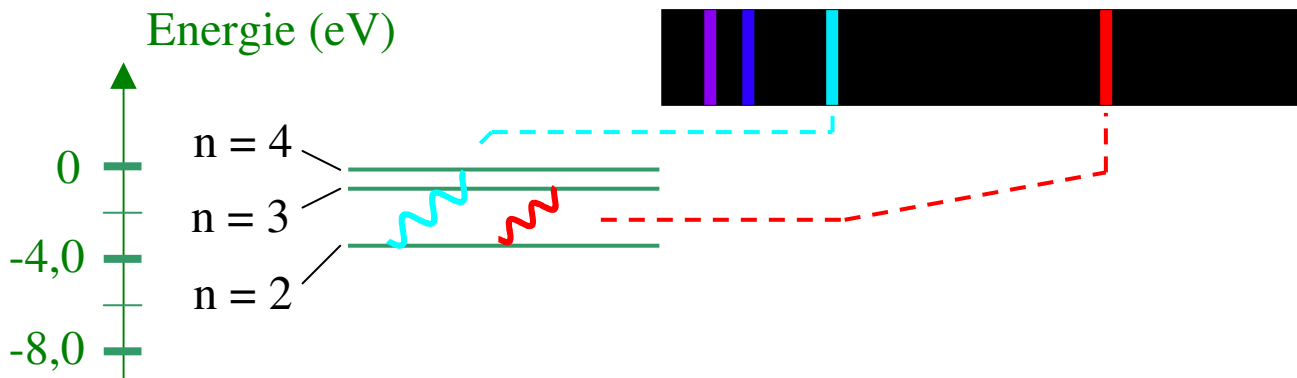
#### 4.2.9 Interaction lumière-matière



En tentant de relier mathématiquement les nombres qui apparaissent dans le spectre de l'hydrogène, Johann Balmer en 1885 produisit la formule :

$$1/\lambda = R (1/2^2 - 1/n^2)$$

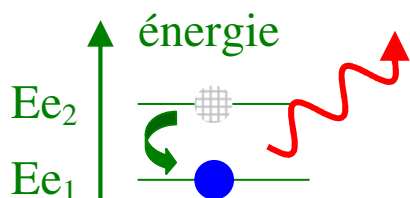
En 1913, Niels Bohr voit dans cette formule un lien avec les couches d'énergie des électrons :



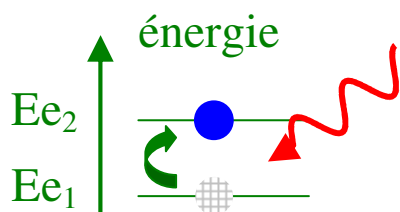
Un électron peut changer de couche et passer à un niveau d'énergie supérieure. Il faut pour cela fournir de l'énergie à l'électron sous forme électrique, thermique ou radiative. L'électron se trouve alors dans un état excité.

L'électron excité est instable. Il évolue, plus ou moins rapidement, vers un état plus stable. C'est à dire un état de plus faible énergie. Il restitue sous forme d'un photon cette différence d'énergie.

### Exemples



**émission** d'un photon de fréquence  $\nu$  et d'énergie  $E_p = E_{e_2} - E_{e_1}$



**absorption** d'un photon de fréquence  $\nu$  et d'énergie  $E_p = E_{e_2} - E_{e_1}$

Remarque si l'électron reçoit un photon d'énergie inférieure ou supérieure à  $(E_{e_2} - E_{e_1})$ , la transition n'a pas lieu