

Historique de l'évolution des idées en optique : la nature de la lumière



Empedocles (490-430 avant J.C.), était un, philosophe, mathématicien grecque de Sicile (Vème siècle av J. -C).

Lois de réflexion et réfraction



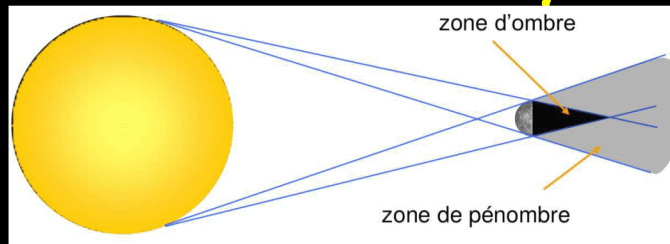
0... 1000... 1500 1600 1700 1800 1900 2000



Dans l'Antiquité, l'étude de l'optique a davantage concerné le phénomène de la **vision** que celui de la nature de la lumière.



Ptolémée, **Euclide** ont composé les traités d'optique ; et ont introduit la notion du **rayon lumineux**.



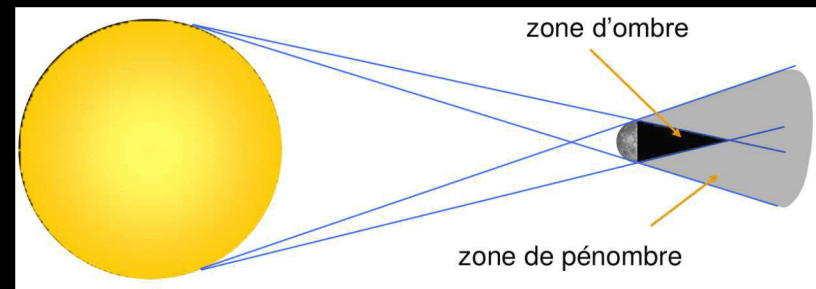
0... 1000... 1500 1600 1700 1800 1900 2000

Euclide grand mathématicien grec a schématisé la lumière par des minces filets rectilignes appelés des rayons lumineux.

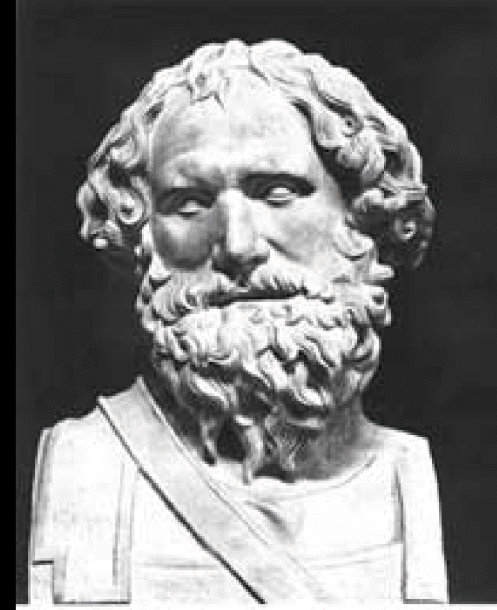
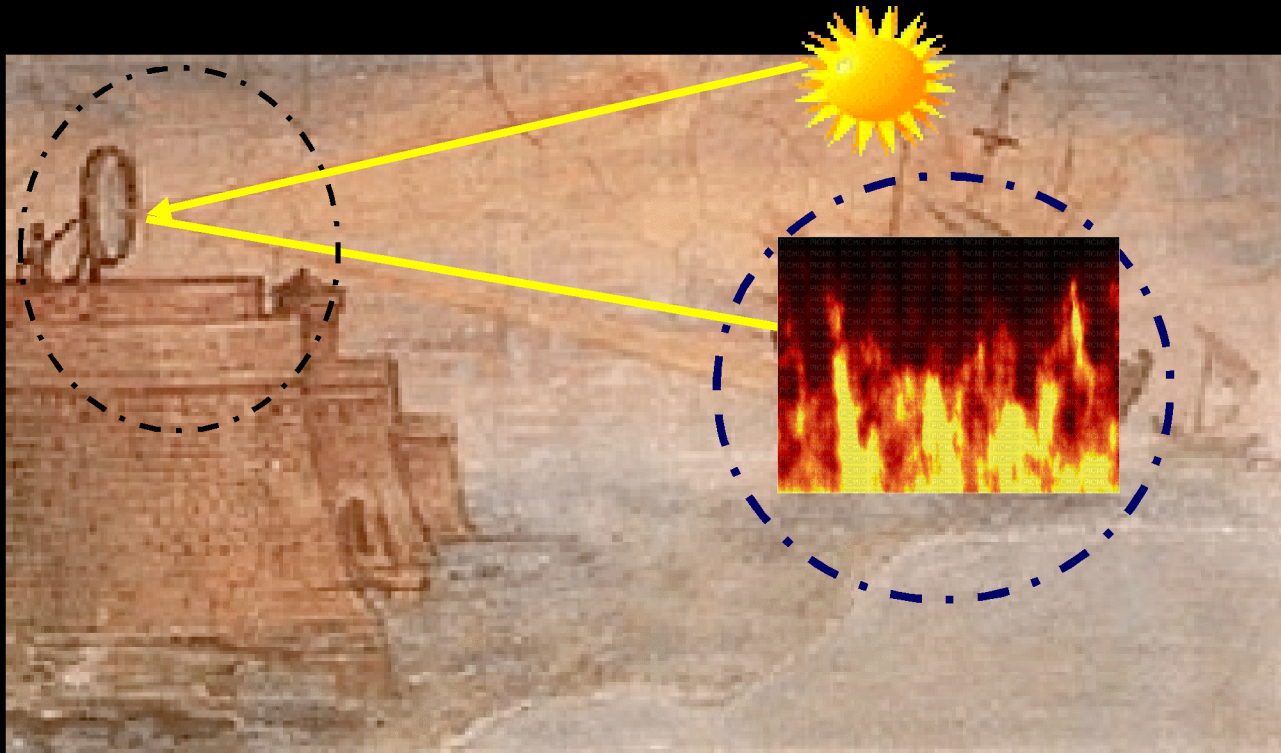
Euclide 300 av J.C.



Les Grègues : Lumière est étroitement liée à la vision



0... 1000... 1500 1600 1700 1800 1900 2000



Archimède :



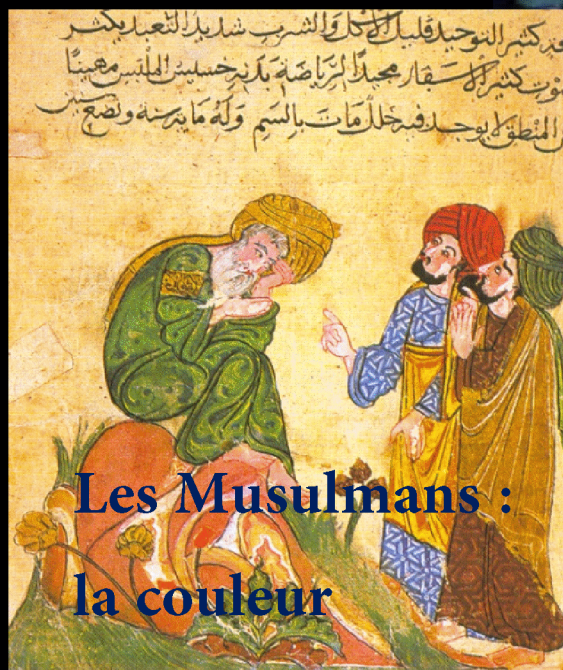
Miroir d'Archimède incendie la
flotte Romaine attaquant
Syracuse : Réflexion



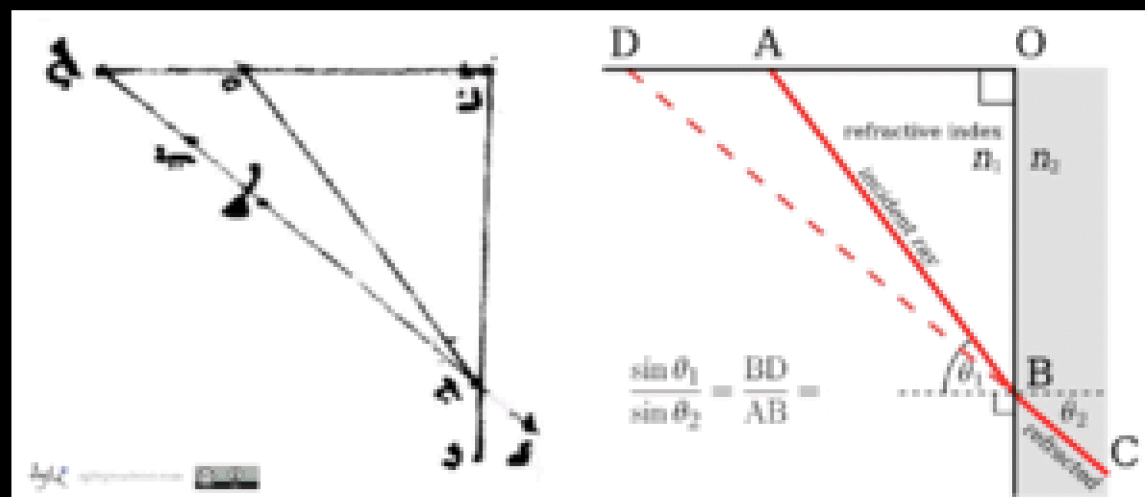
0... 1000... 1500 1600 1700 1800 1900 2000



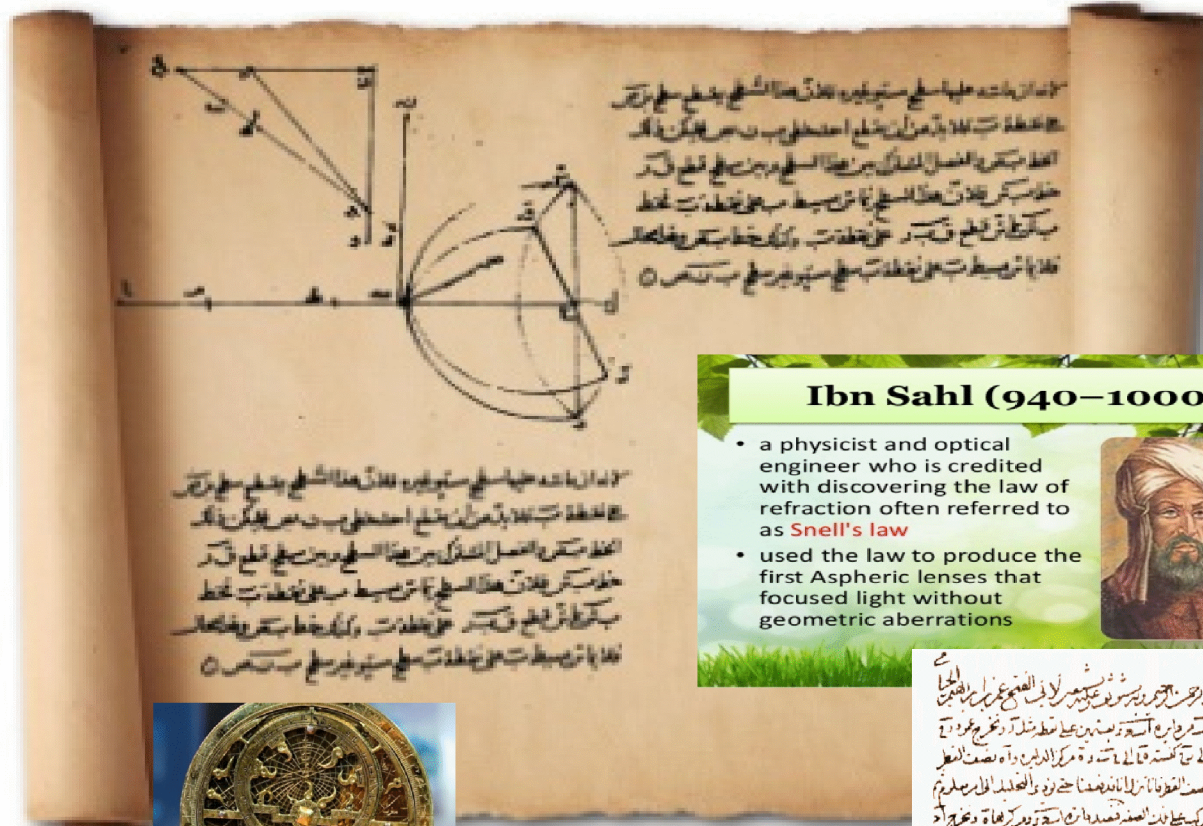
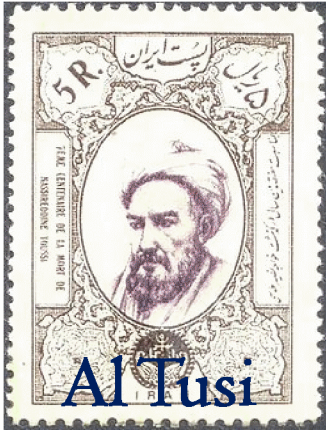
Les musulmans & les sciences



Les Musulmans : la couleur



Les Arabes : optique & vision



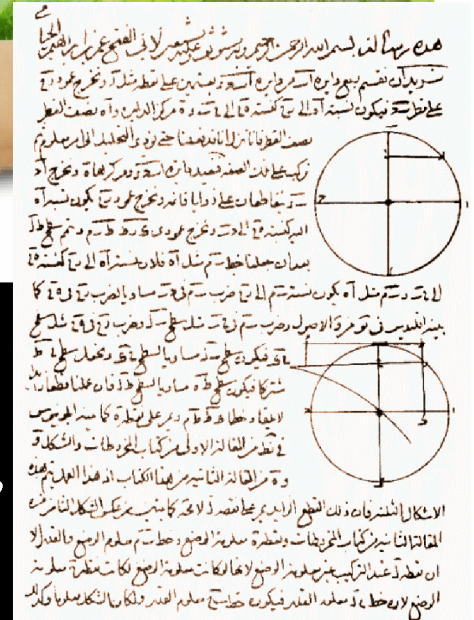
Ibn Sahl (940–1000)

- a physicist and optical engineer who is credited with discovering the law of refraction often referred to as **Snell's law**
- used the law to produce the first Aspheric lenses that focused light without geometric aberrations



كمال الدين ابو الحسن محمد فارسي (1267-1320)

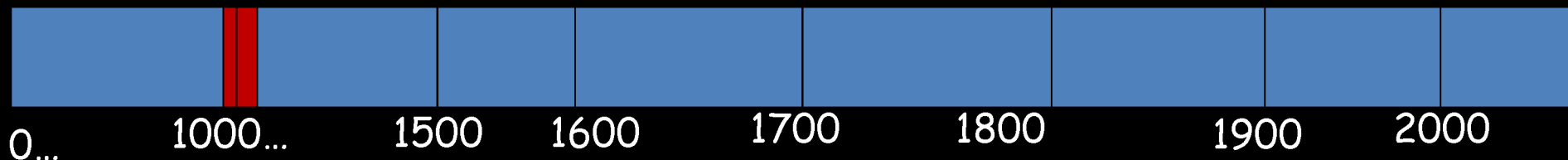
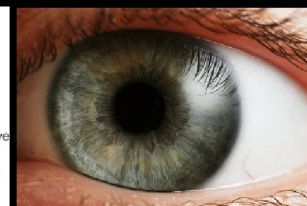
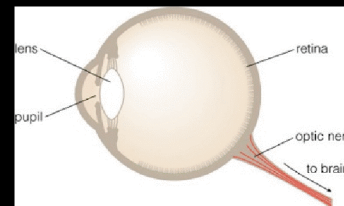
$$\frac{\sin(i_1)}{\sin(i_2)} = Cste$$



Ibn Al Haitham grand savant arabe : il comprend le fonctionnement de l'œil, il confirme que la lumière (rayons lumineux), contrairement à Euclide, nous provient des objets nous permet ainsi de voir ces objets.

En s'appuyant sur dénombrable d'expériences : il ébauche des relations de réflexion et de réfraction de la lumière.

Ibn Al Haitham (dit Al Hazen) [965,1039]

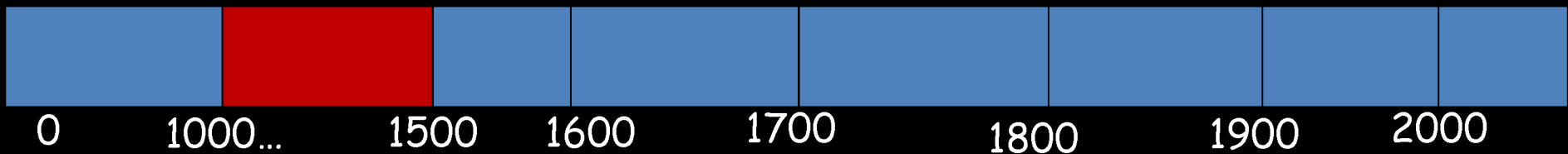


Ibn Al Haïtham grand savant arabe symbolise une **science nouvelle arabe** a son **apogée au moyen âge** : l'astronomie (observation, expérimentation et la mesure,...).



Ibn Al Haïtham a écrit des ouvrages scientifiques.

Ses travaux sont traduits en latin et circulent en Europe, dans les Universités les plus célèbres.





René Descartes
1596-1650

Persuadé comme la majeure partie des savants depuis l'antiquité, la lumière se propage instantanément, donc **c'est inutile d'essayer de mesurer sa célérité.**

Il établit en 1637 la **loi de la réfraction.**

$$\frac{\sin(i_1)}{\sin(i_2)} = Cste = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

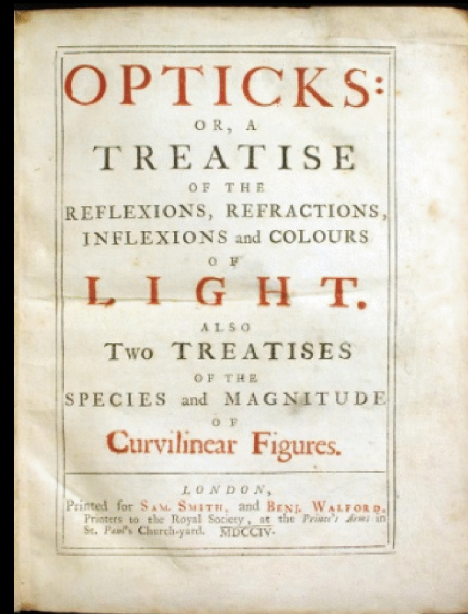
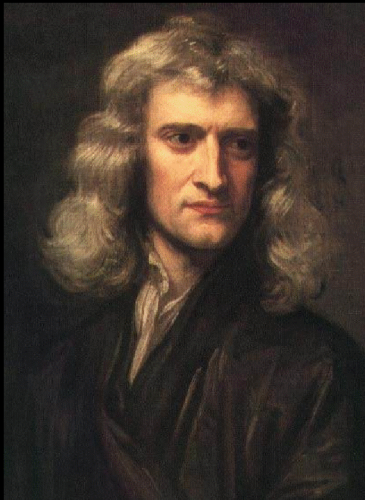
$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$$

En dépassant les problèmes d'optique géométrique, René Descartes **a le mérite de poser la question sur la nature de la lumière.** Il lance alors **un débat qui a duré 3 siècles.**

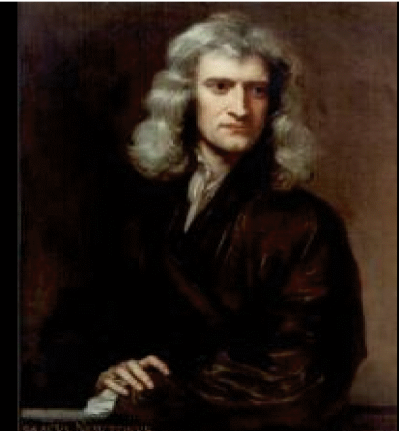
C'est le plus long débat dans l'histoire de la physique : 1600-1900 : 3 siècles.



En 1675, dans son ouvrage *Opticks* (publié en 1704), **Newton** expose ses travaux sur la lumière et prouve qu'elle est constituée d'un spectre de plusieurs couleurs, à l'aide de son prisme. Il complète ses travaux en exposant sa théorie corpusculaire.

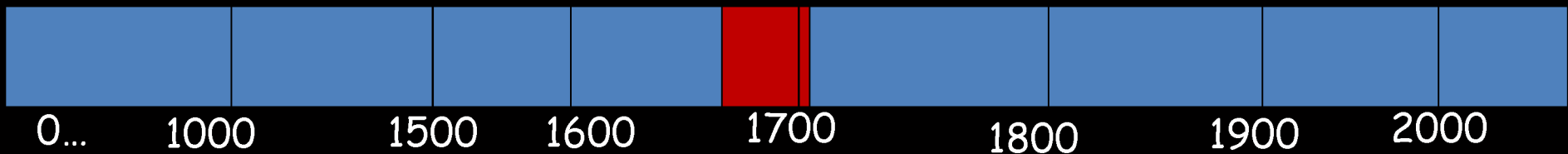
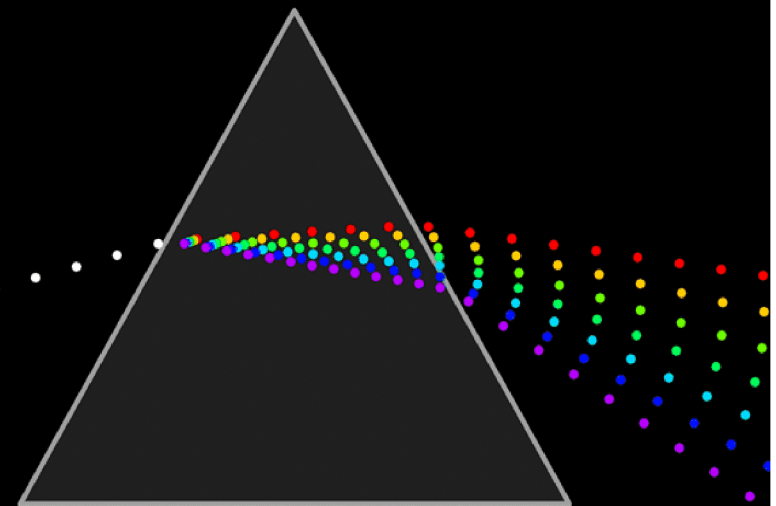


Isaac Newton (25 décembre 1642 – 20 mars 1727) est un mathématicien, physicien, philosophe, astronome. **Figure emblématique des sciences**, il est surtout reconnu pour avoir fondé la mécanique classique, pour sa théorie de la gravitation universelle, et le calcul infinitésimal.



En 1672 **Newton** a publié ses résultats relatifs à la **décomposition** de la lumière blanche par le **prisme**.

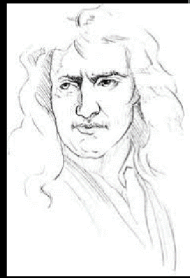
En 1704, il a publié un ouvrage où il a adopté la **conception corpusculaire** de la lumière.



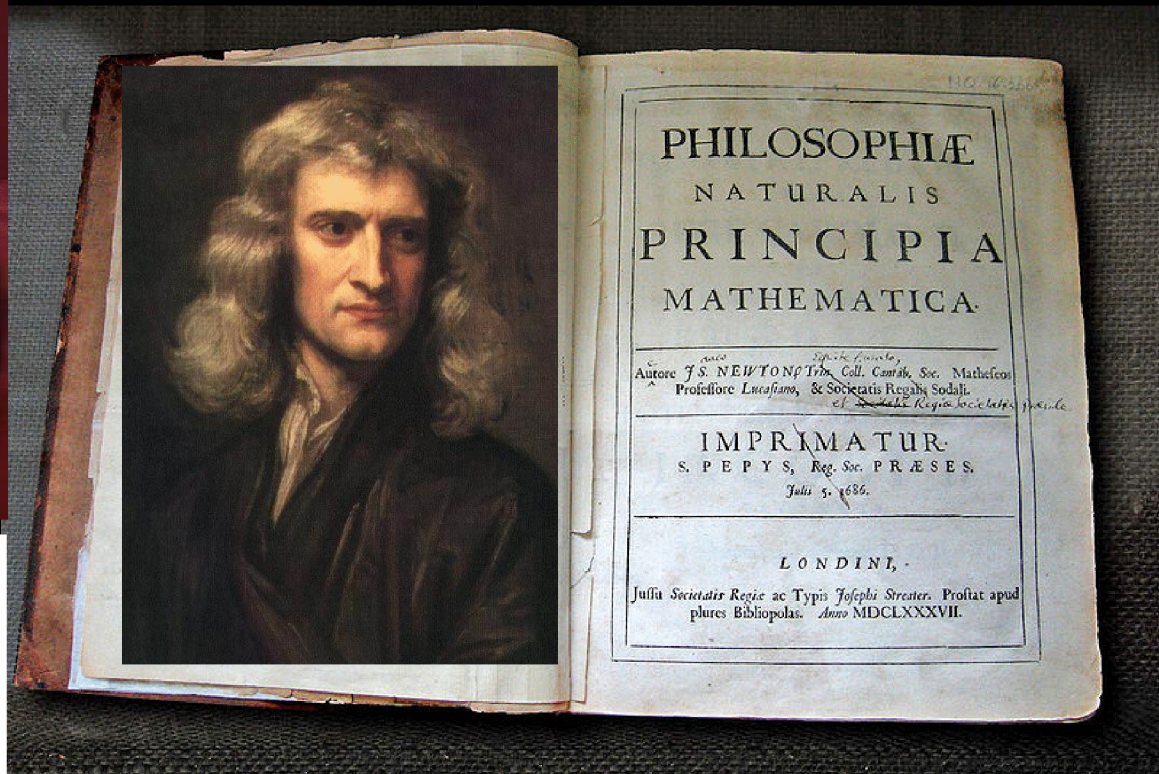
Télescope de Newton



Télescope à réflexion



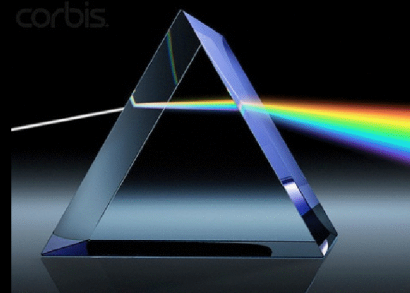
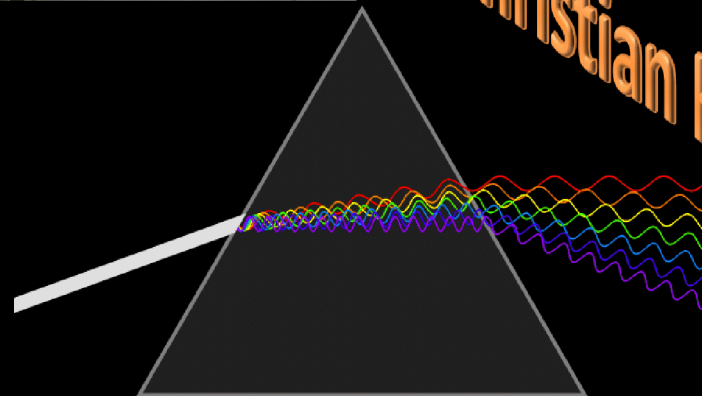
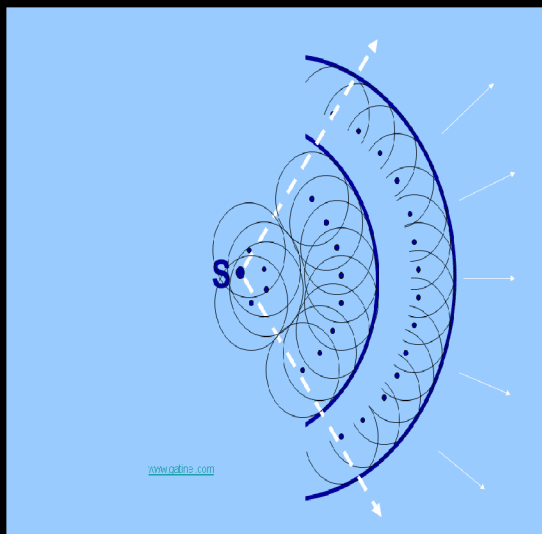
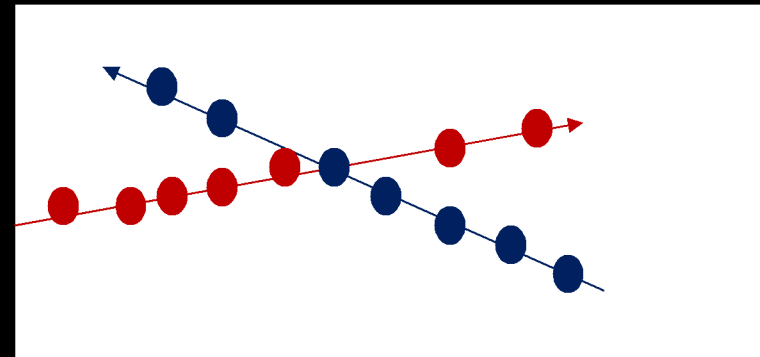
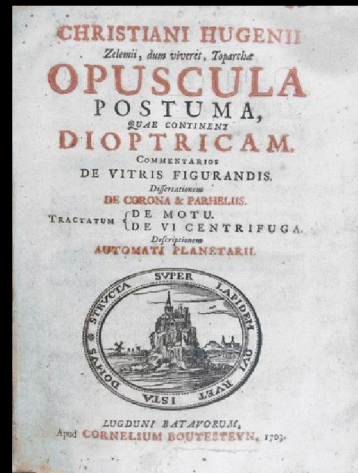
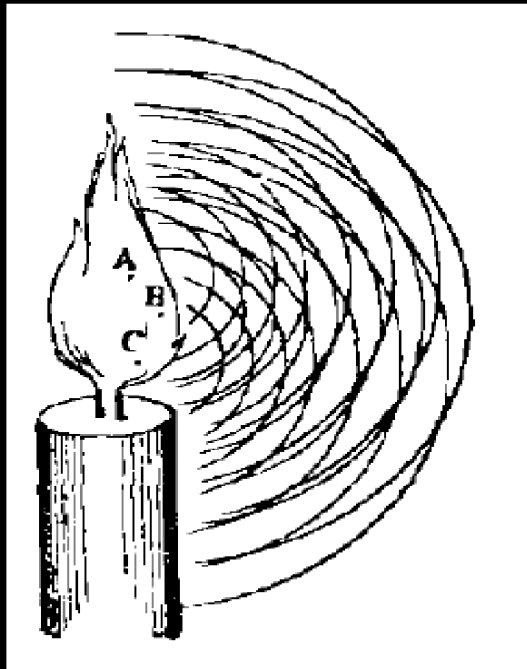
La science au 17^{ème} siècle



En 1687, Newton publie donc son œuvre majeure : *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, (*Principes mathématiques de la philosophie naturelle*).

Cette œuvre marque le début de la mathématisation de la physique.

En effet, Newton y expose le principe d'inertie, la proportionnalité des forces et des accélérations, l'égalité de l'action et de la réaction, etc. Mais il expose aussi et surtout sa théorie de l'attraction universelle.



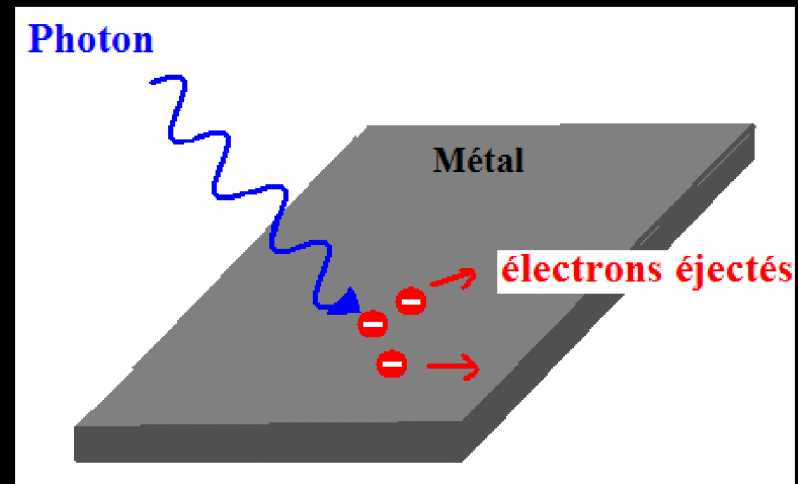
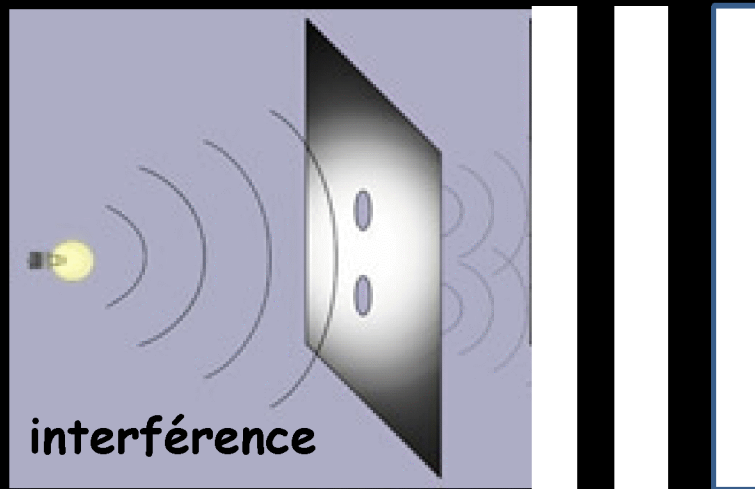
Christian Huygens (1629-1695)



17^{ème} siècle

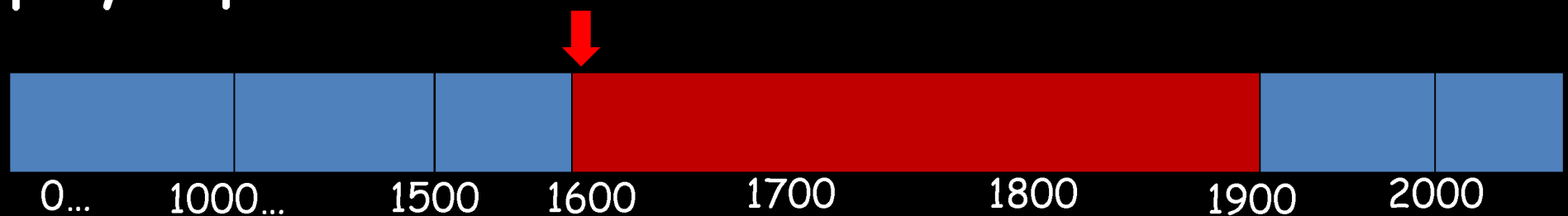
Théorie d'Huygens et la nature ondulatoire de la lumière

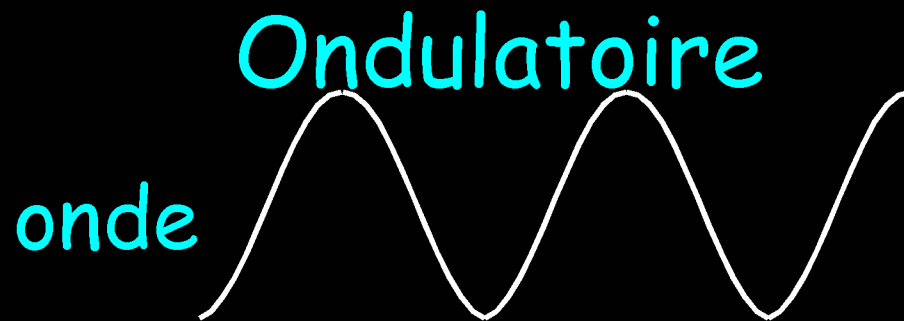
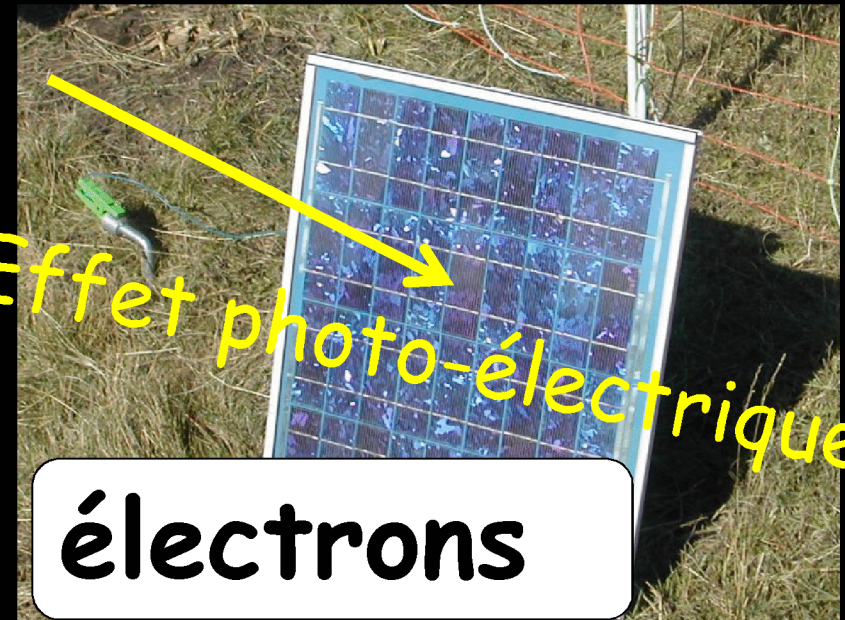
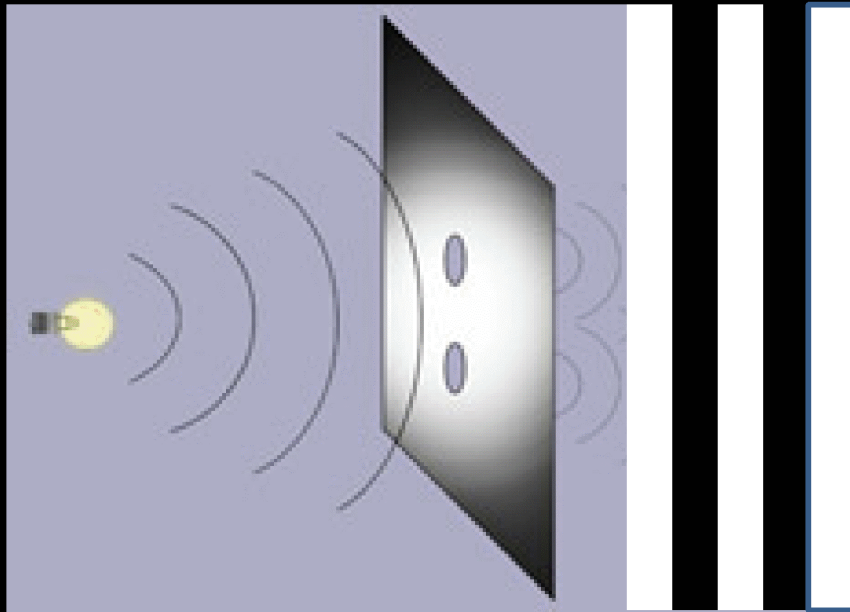
Quelle est la nature de la lumière ?



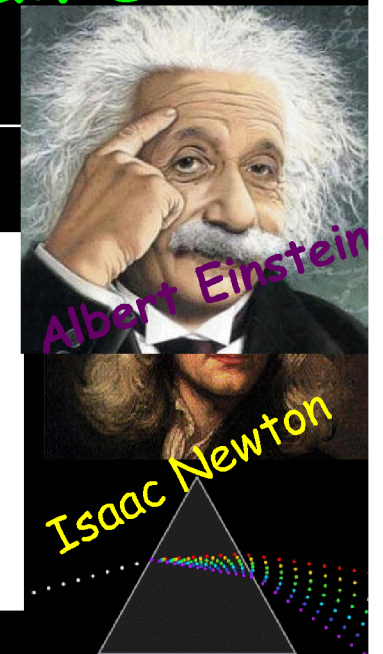
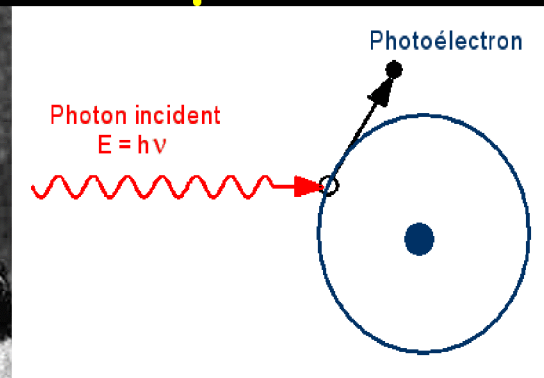
La lumière est-elle **ondulatoire** ou **corpusculaire** ?

C'est le plus long débat de l'histoire de la physique **1600-1900** : 3 siècles.

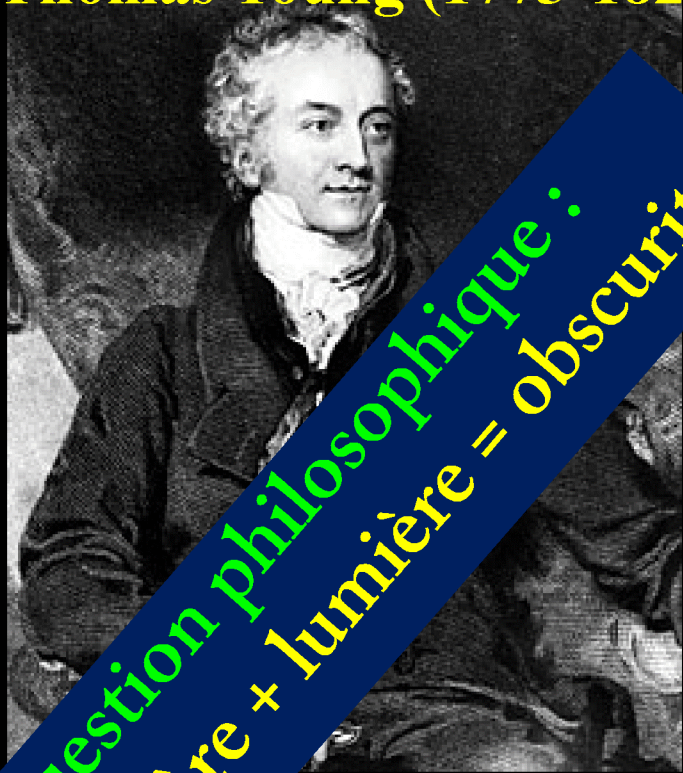




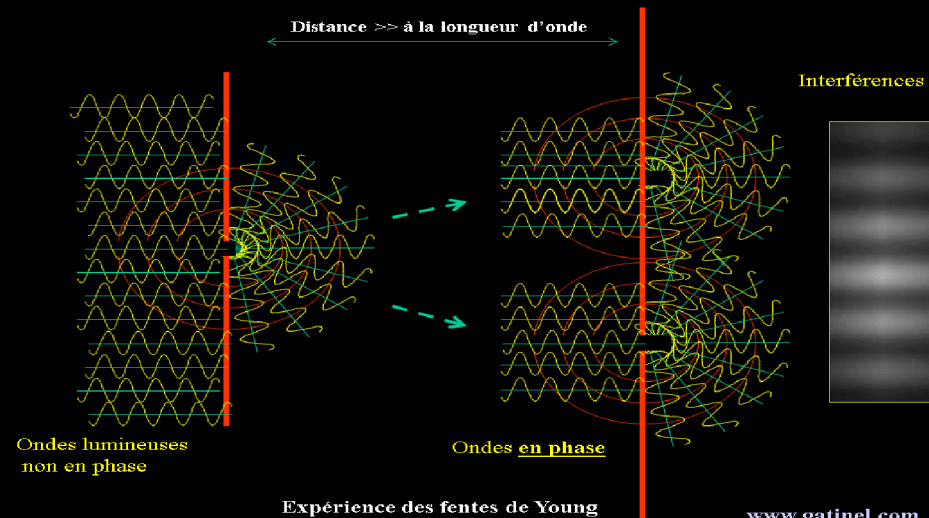
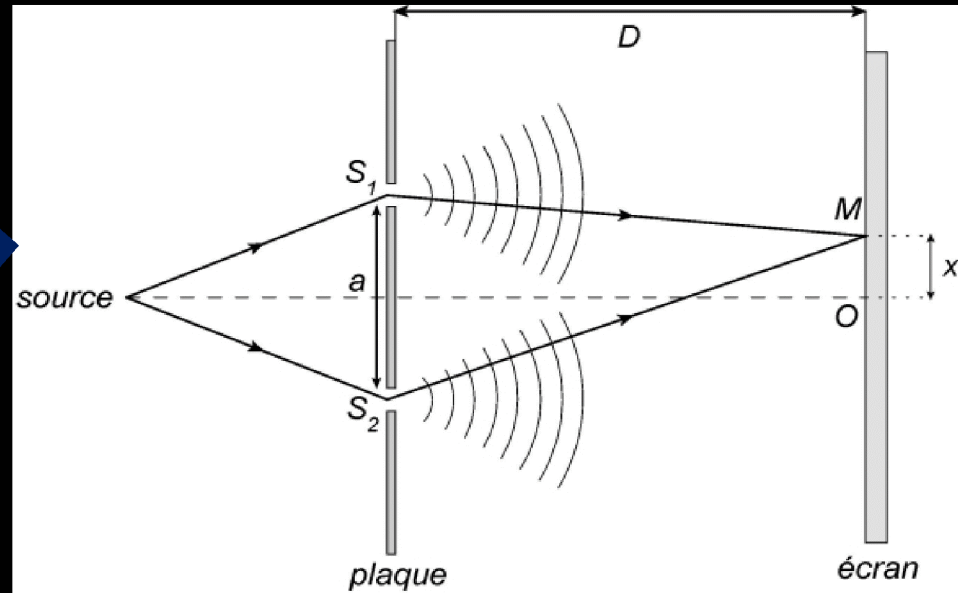
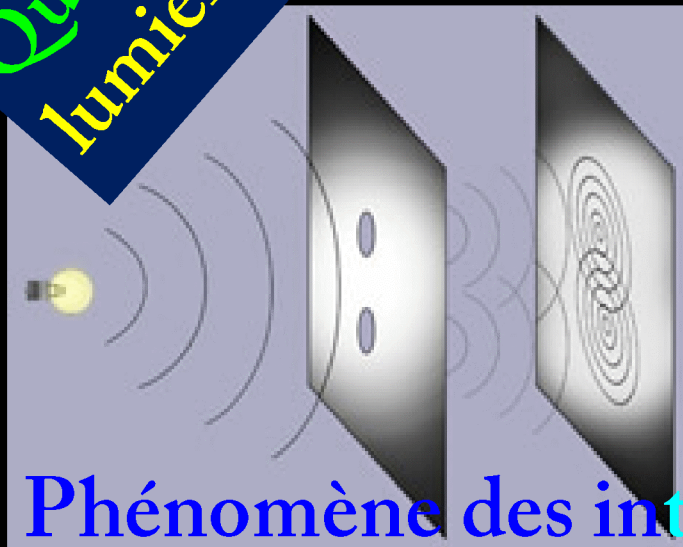
Corpusculaire



Thomas Young (1773-1829)



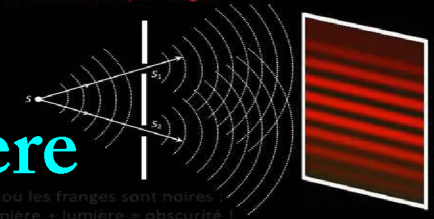
Question philosophique :
lumière + lumière = obscurité



Expérience des fentes de Young

www.gatinel.com

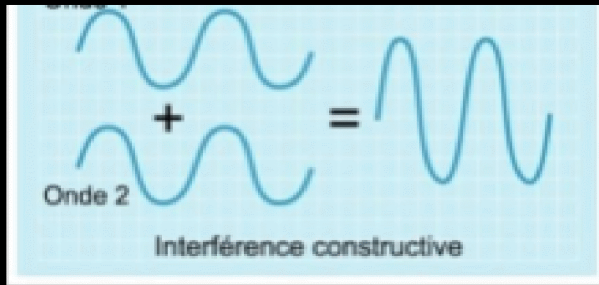
Exemple d'observation sur un écran, en lumière monochromatique rouge :



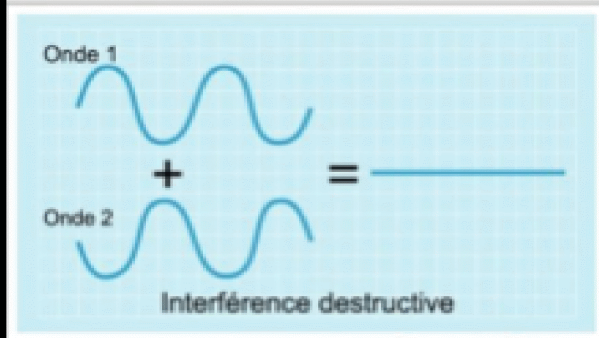
La où les franges sont noires :
lumière + lumière = obscurité

19^{ème} siècle

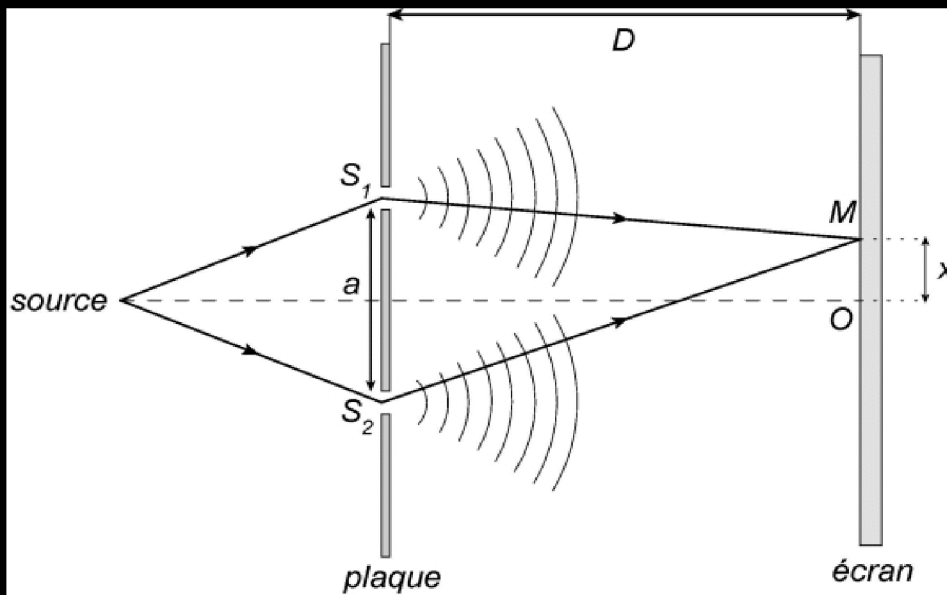
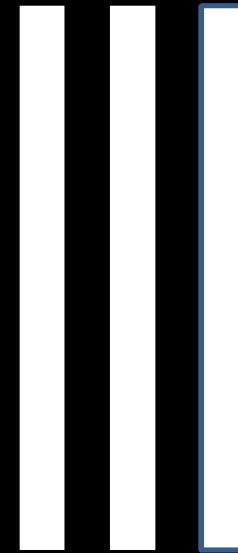
Phénomène des interférences de la lumière



**Interférences
constructives**

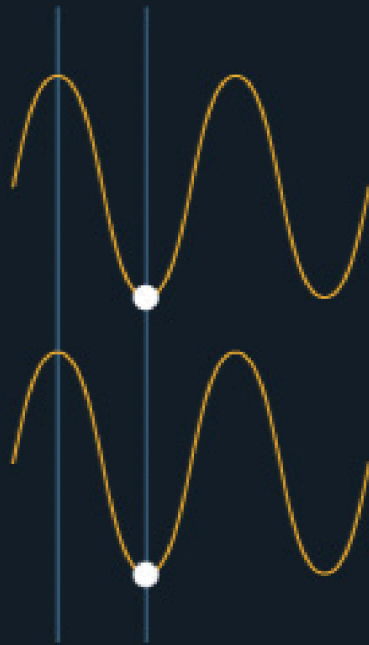
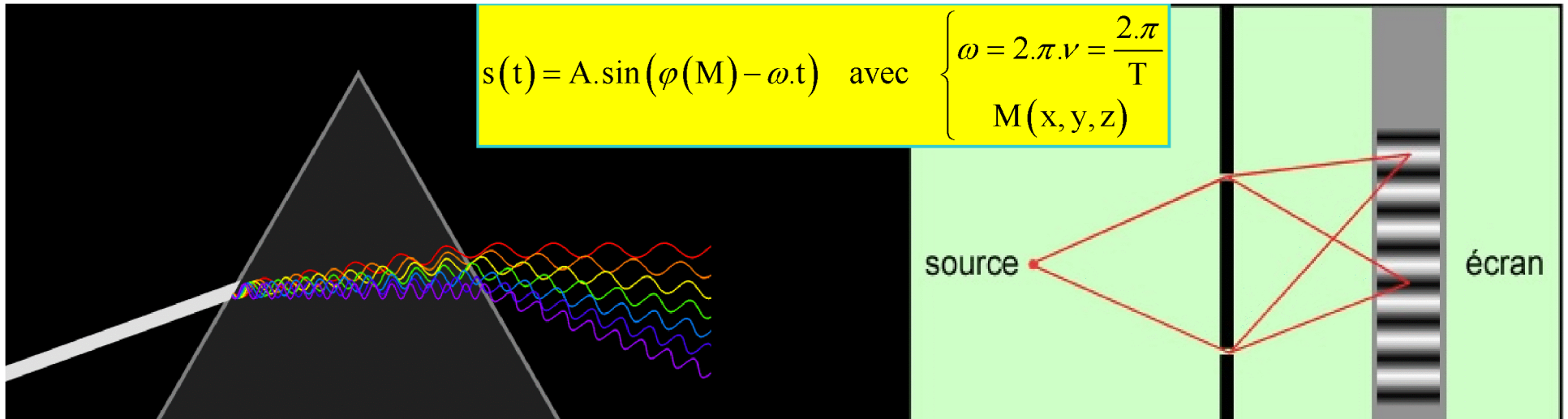


**Interférences
destructives**

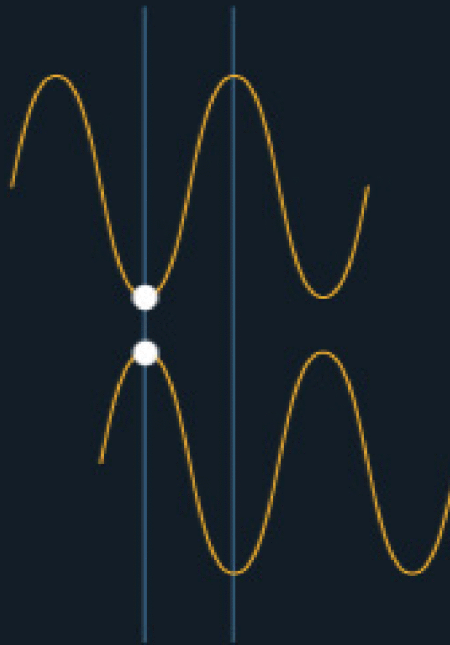


Question philosophique :
lumière + lumière = obscurité

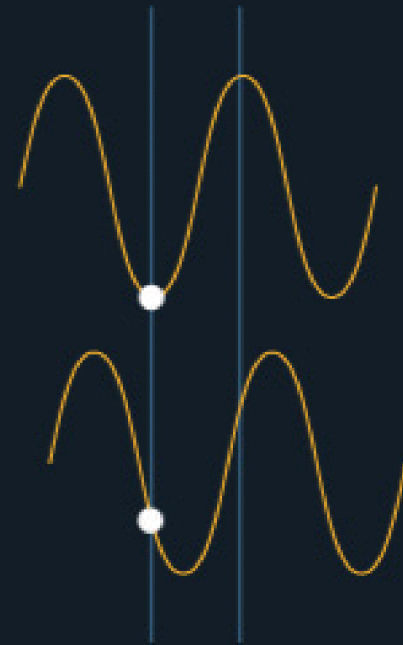
$$s(t) = A \cdot \sin(\varphi(M) - \omega \cdot t) \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \omega = 2\pi \nu = \frac{2\pi}{T} \\ M(x, y, z) \end{cases}$$



Waves in Phase

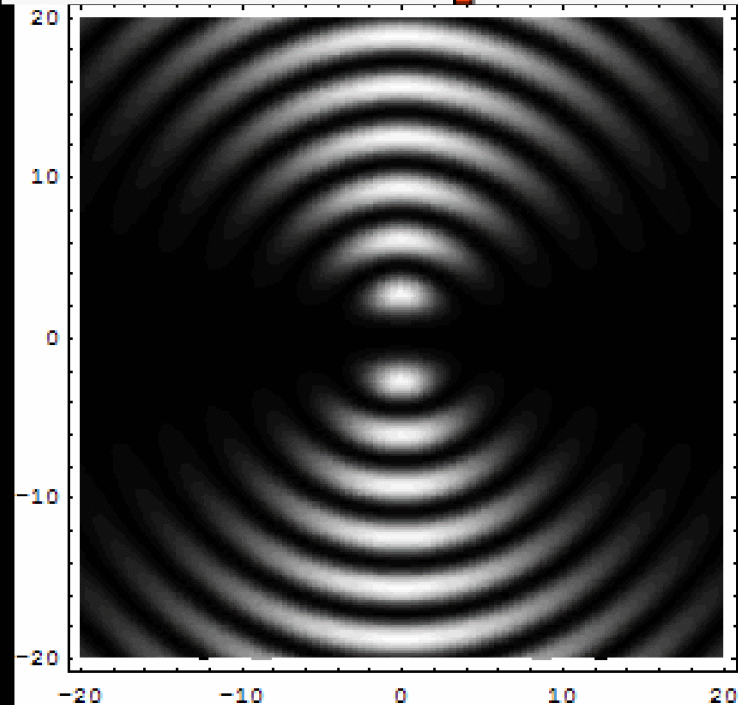
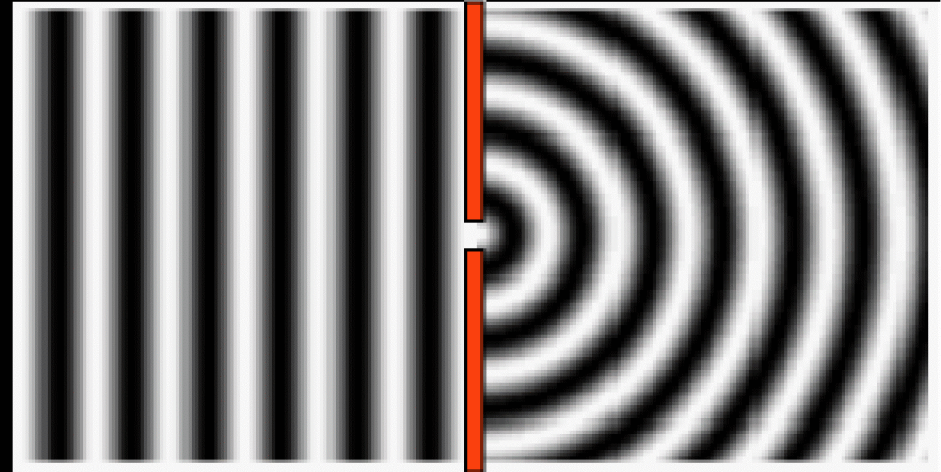
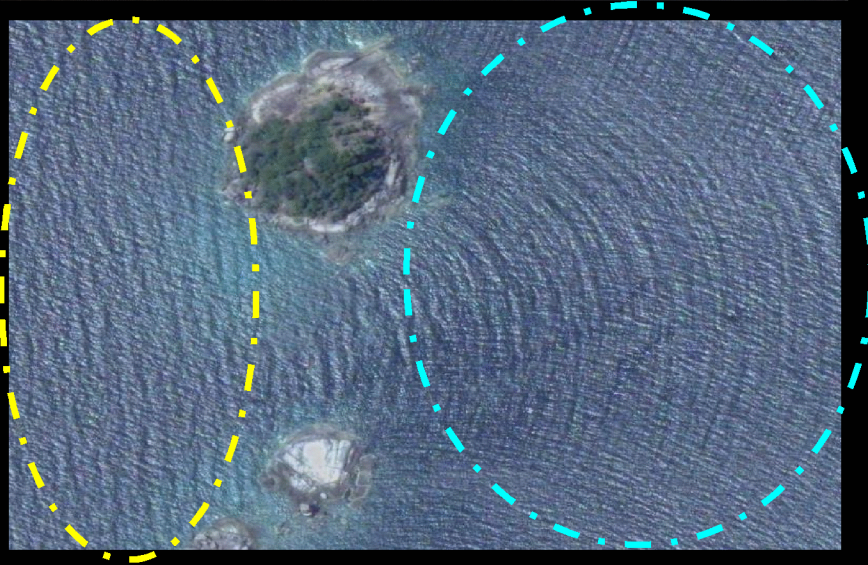


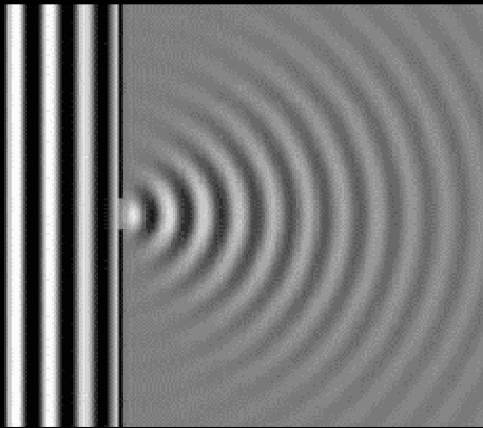
180° Out of Phase



40° Out of Phase

Grimaldi [1618-1663] avait découvert le phénomène de **la diffraction**





Deux fentes

19^{ème} siècle

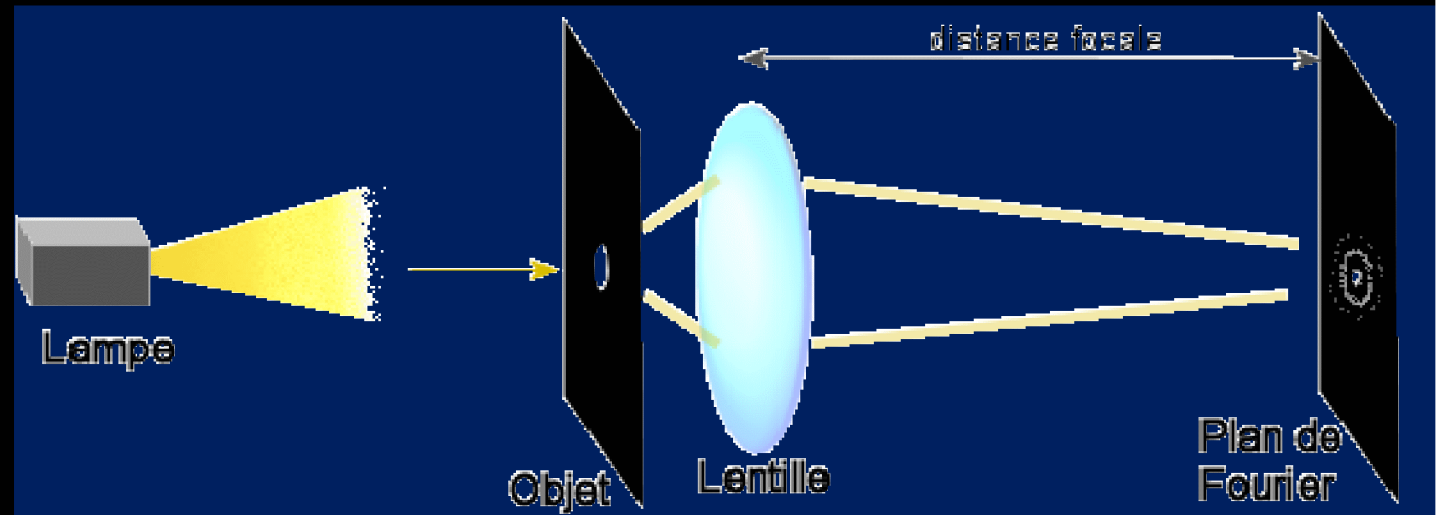
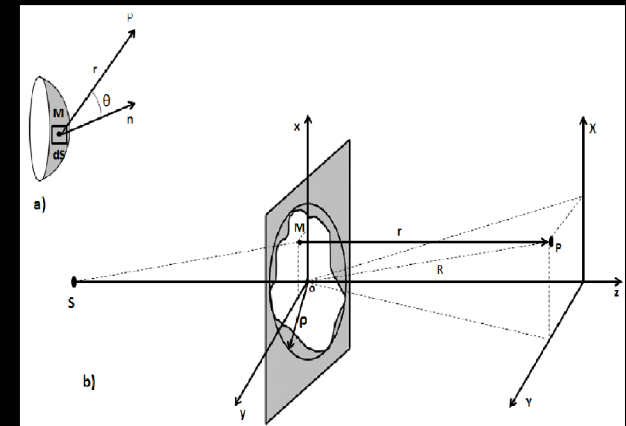


Diffraction de la lumière

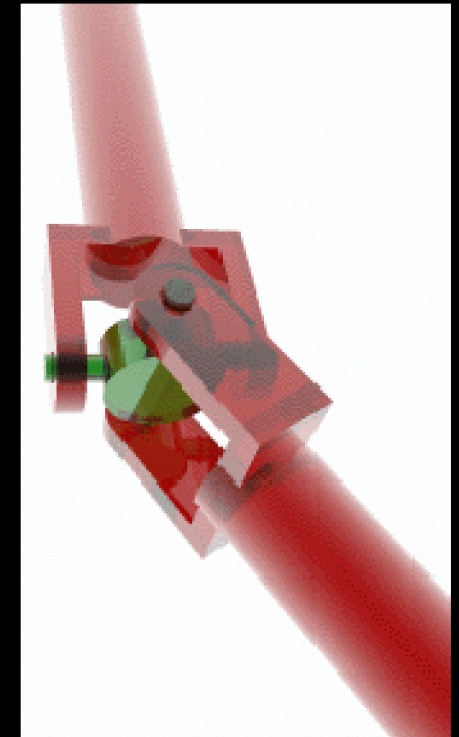
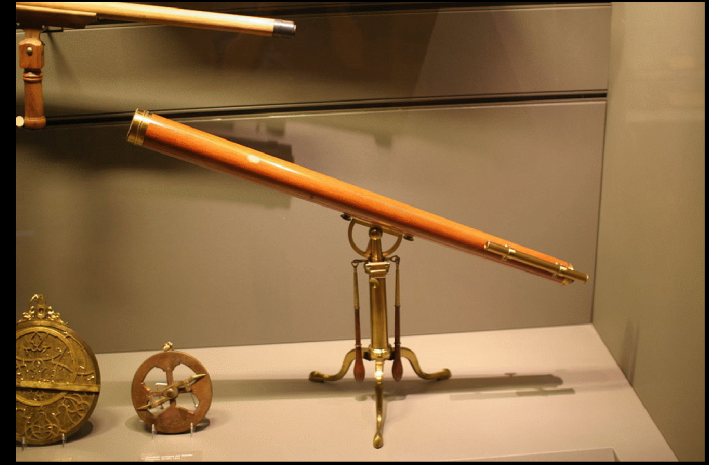
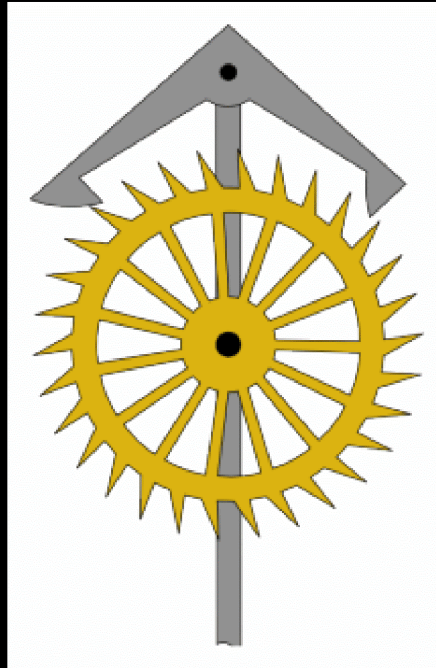
Ouverture
circulaire

Tâche d'Airy

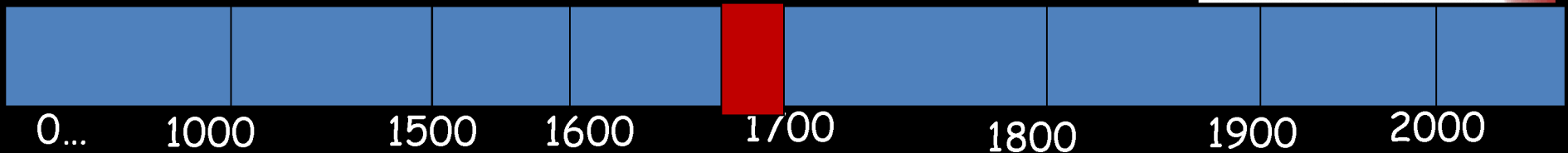
Ouverture
rectangulaire



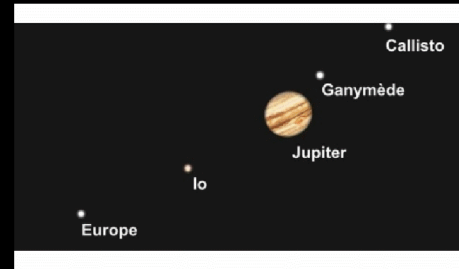
Un opposant féroce de Newton



Robert Hooke, (1635 -1703) est l'un des plus **grands scientifiques expérimentateurs** du XVII^e siècle. Il a défendu l'aspect ondulatoire de la Lumière.



En 1676 l'astronome
Danois Römer a réalisé
une expérience relative
à l'observation des
éclipses des satellites
de Jupiter, à
l'observatoire de Paris.



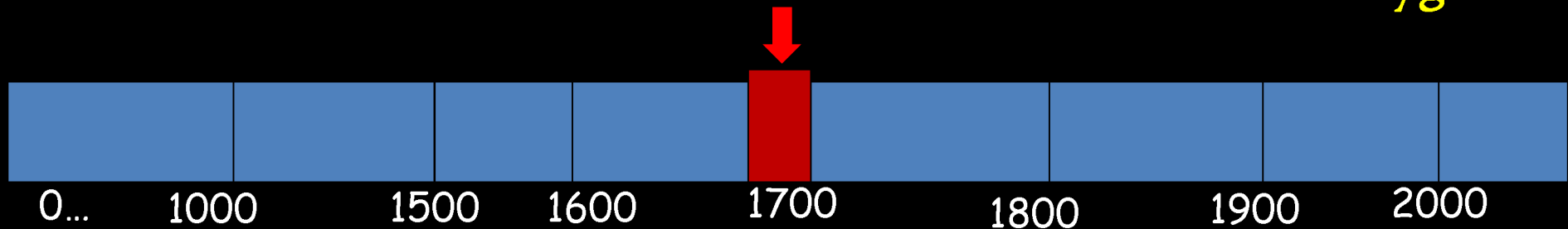
Römer (1644-1710)

Mesure de la célérité de la lumière c dans l'air 220 000km/s.

En 1690, le physicien Hollandais
Huygens a publié un grand ouvrage
intitulé «Traité de la lumière», où
il a exposé la théorie ondulatoire
de la lumière.



Huygens



En Angleterre, **Young** [1773-1829] a
remit à jour en 1803 **la théorie
vibratoire de la lumière** en étudiant
les interférences, et mesura les
longueurs d'onde λ des radiations
visibles.

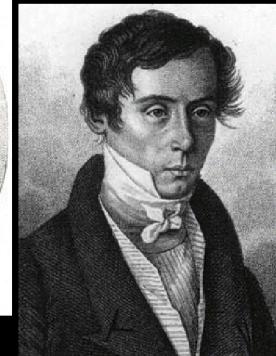


Young

Au début du XIX siècle,
Malus, **Arago** et **Fresnel**
étudièrent la polarisation
de la lumière, et
interprétant le phénomène
de la diffraction.



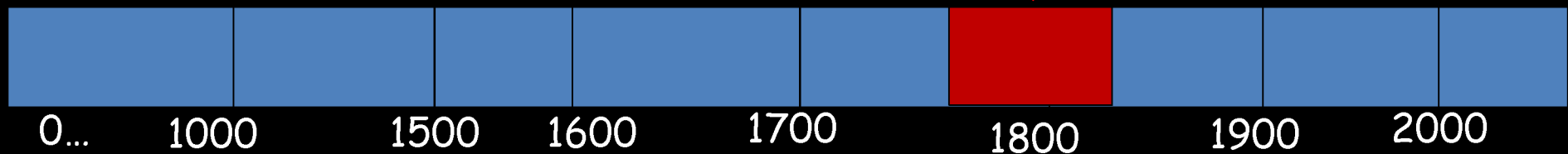
Malus



Fresnel

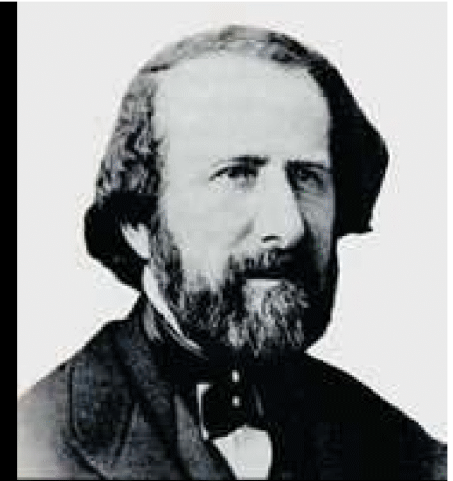


Arago

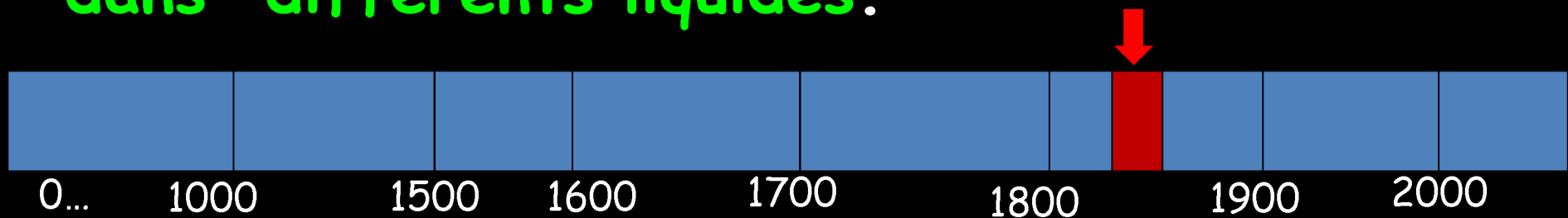
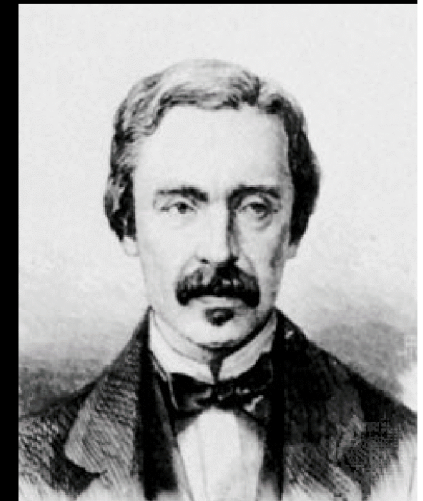


En 1849 le physicien français **Fizeau** détermina directement la **célérité de la lumière dans l'air** ; en utilisant la roue dentée.

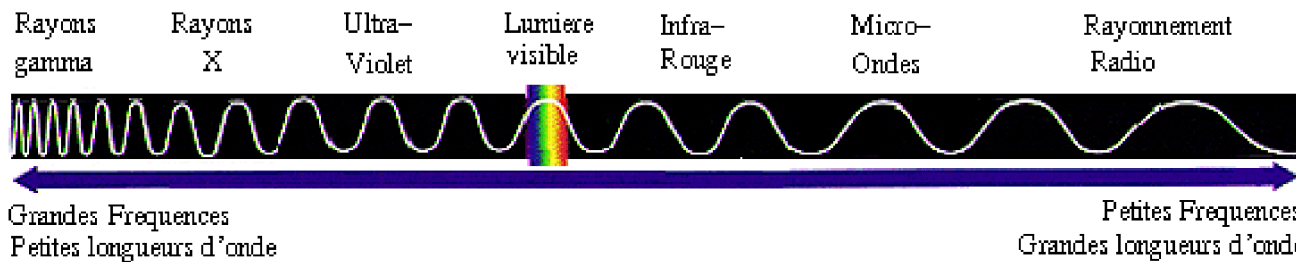
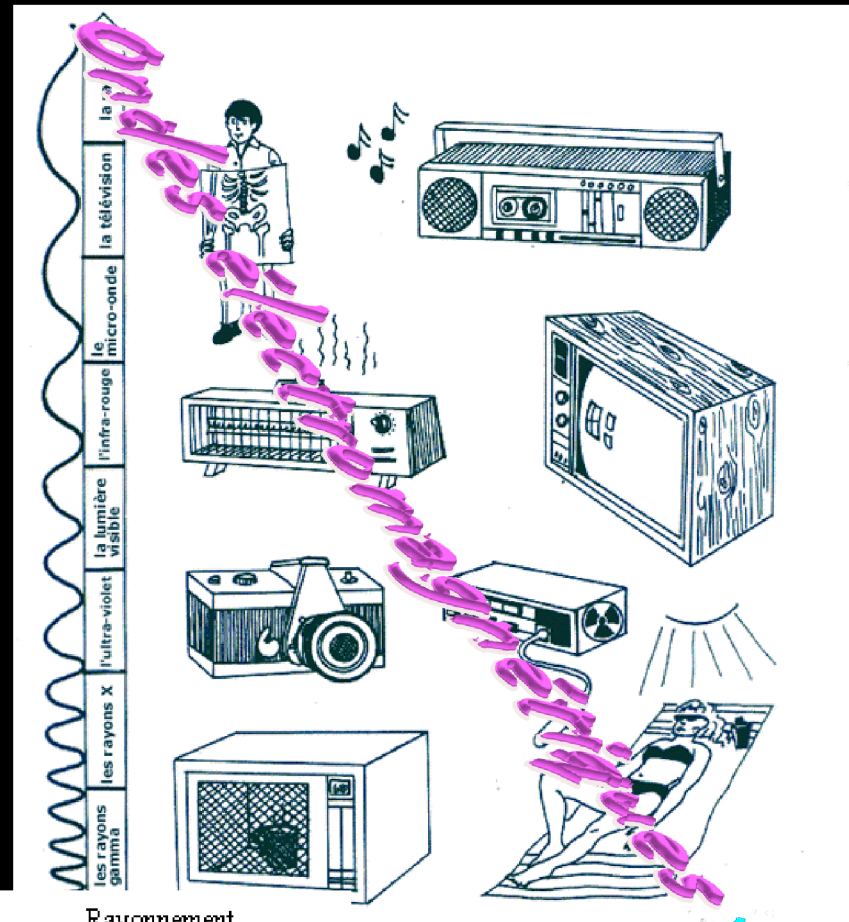
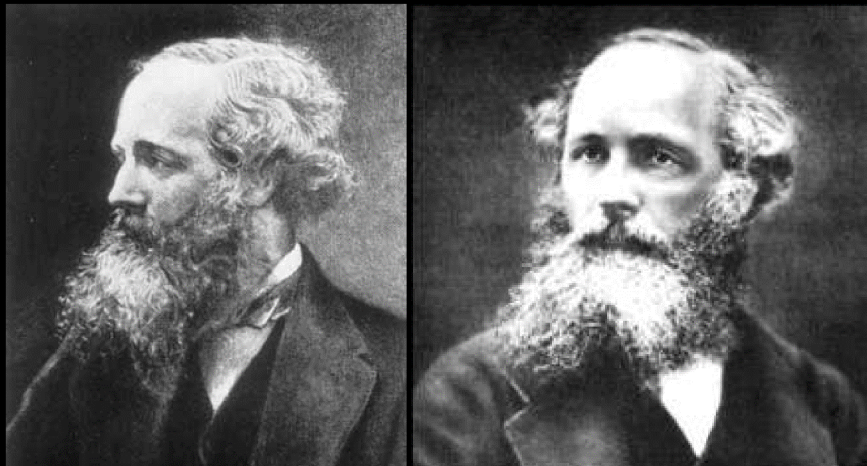
$$c = 299792,7 \pm 0,3 \text{ kms}^{-1}$$



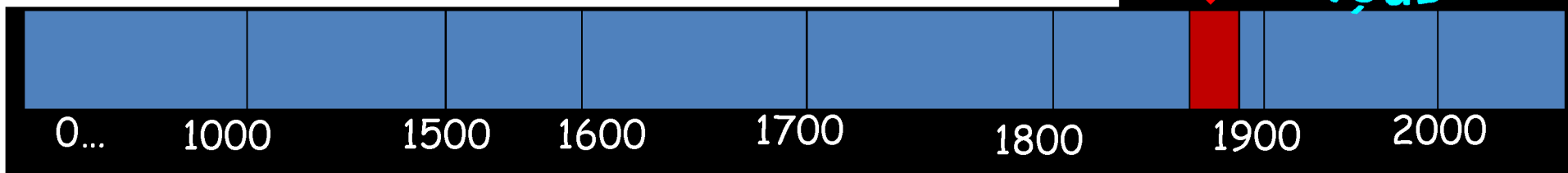
En 1850 **Foucault** a réalisé un autre montage basé sur un miroir tournant où les distances étaient réduites à quelques mètres, contrairement au montage de **Fizeau**, ce qui a permis de mesurer la **célérité de la lumière dans différents liquides**.

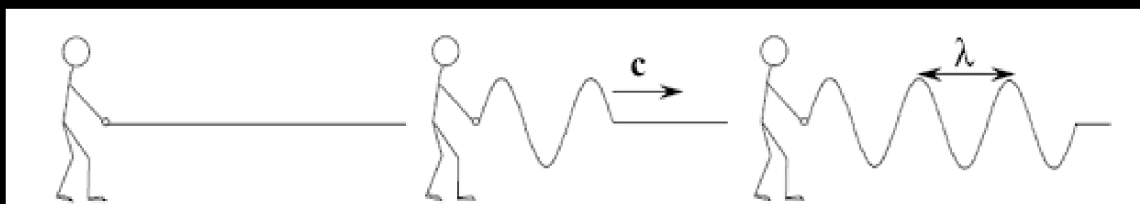
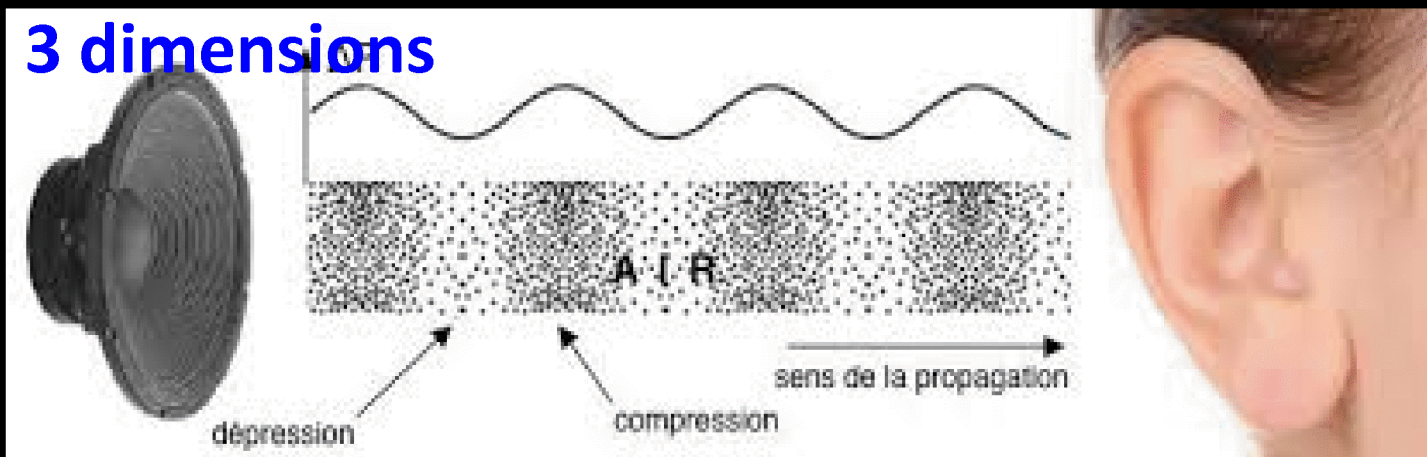


En 1876, **Maxwell** a créé un pont entre les **phénomènes lumineux** et **l'électromagnétisme**.



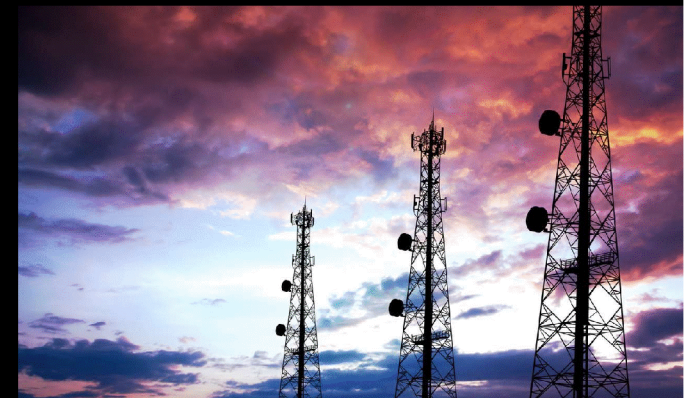
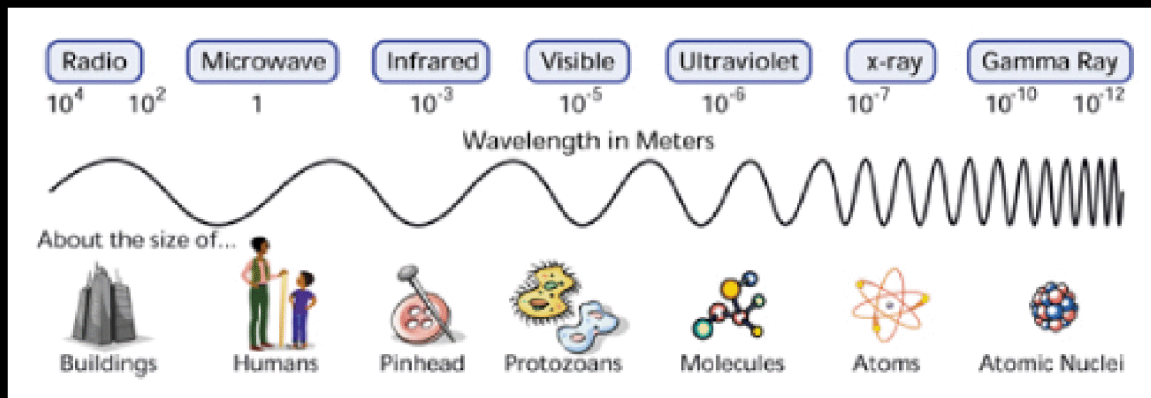
Ondes électromagnétiques



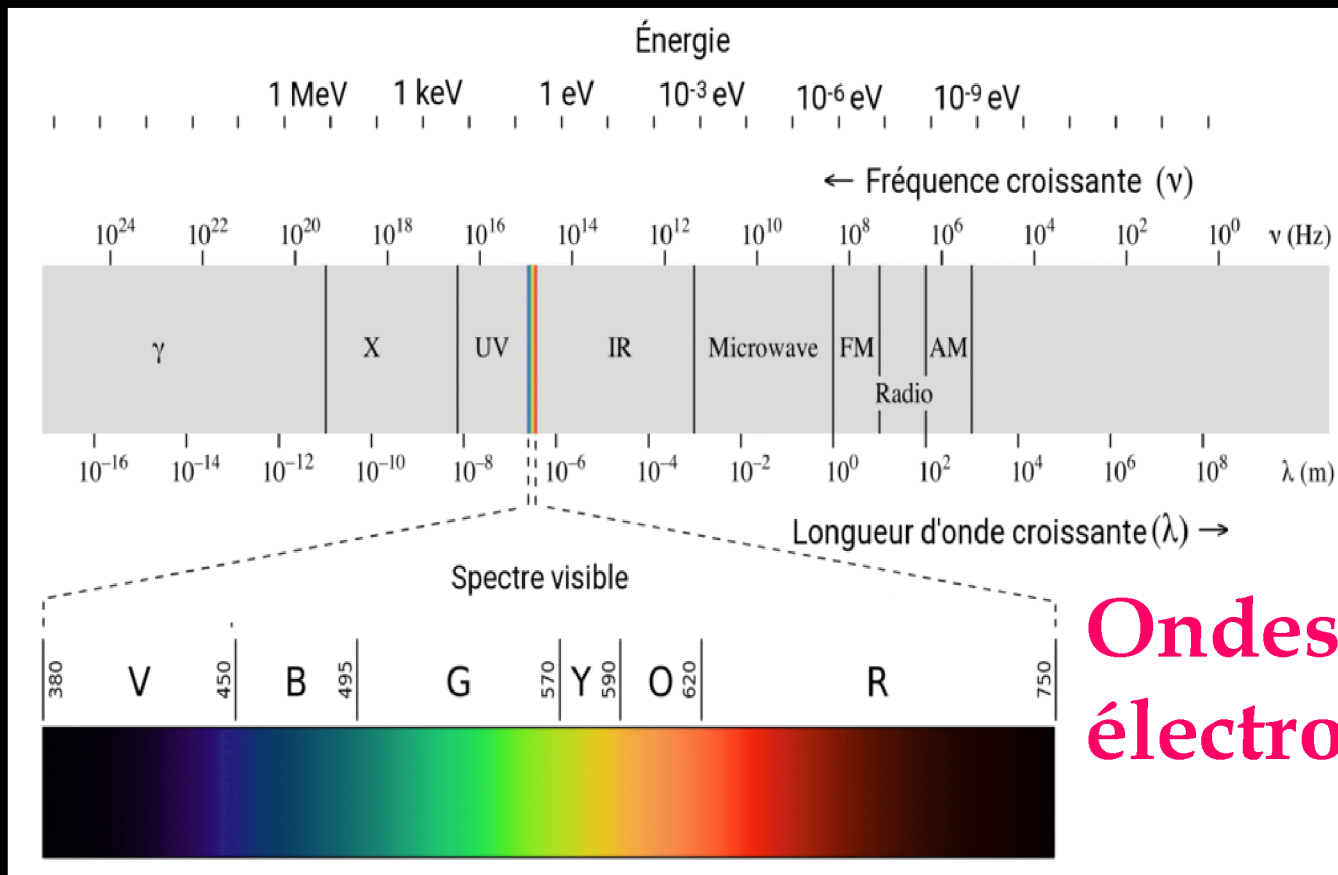


1 dimension

Exemples d'objet ondulatoire

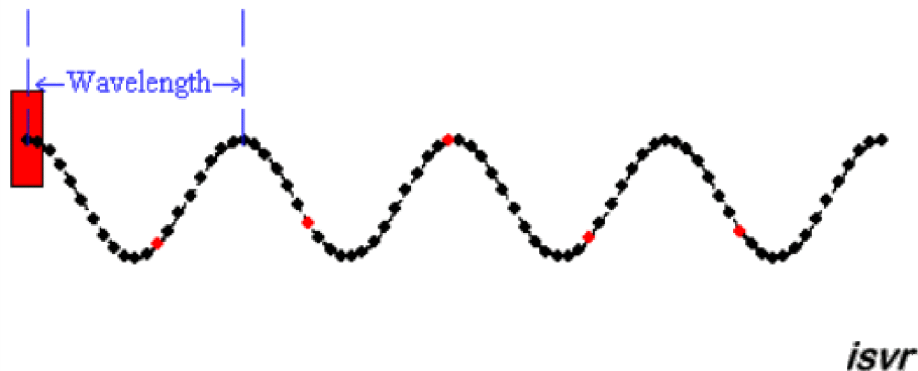


GSM

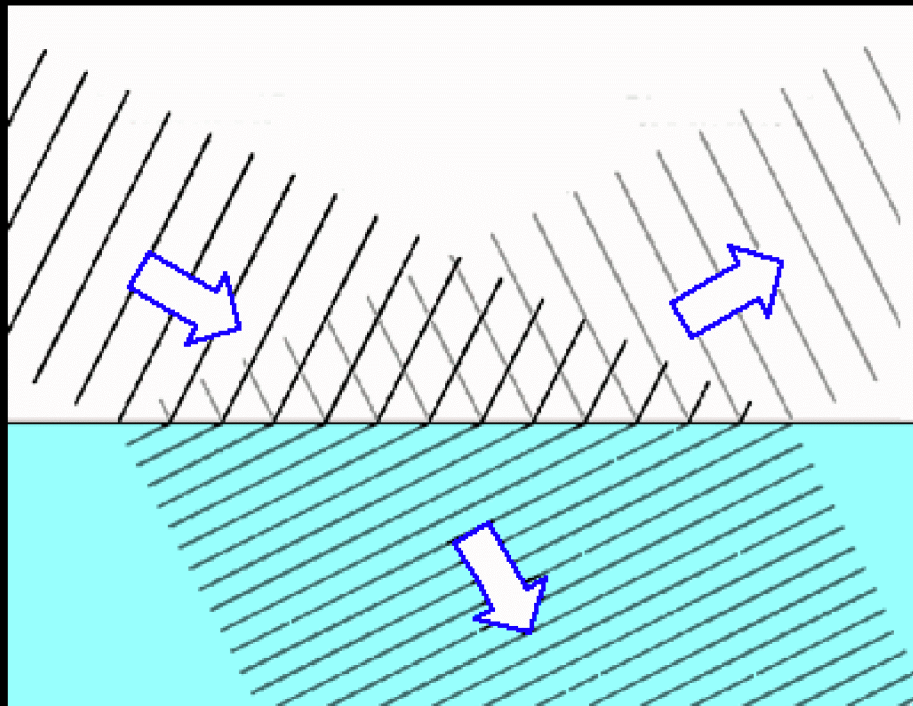
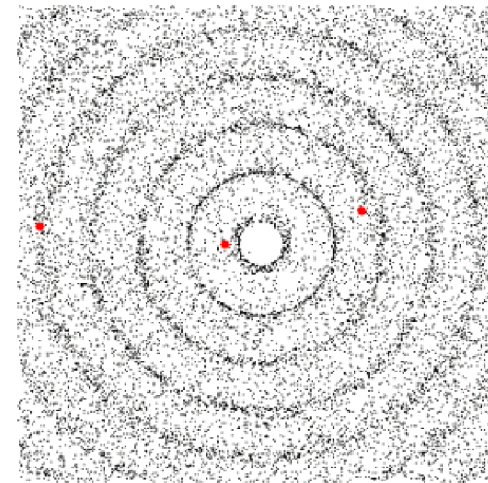


Ondes électromagnétiques

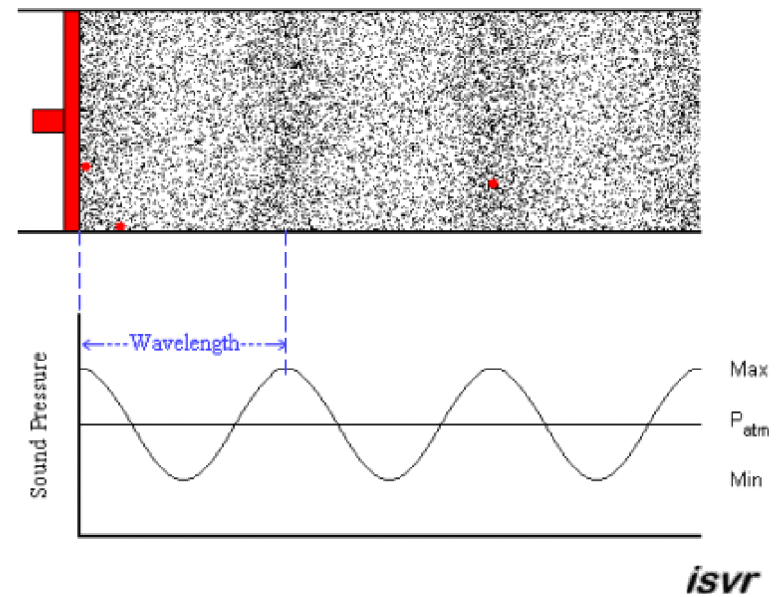
Transverse Wave



Acoustic Monopole



Acoustic Longitudinal Wave



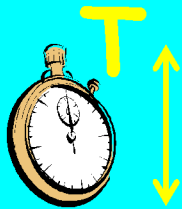
1. La lumière comme une onde

Source de l'onde

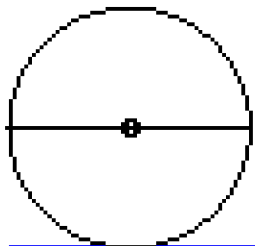
Période spatiale λ

Période temporelle T

$$\lambda = v \cdot T$$



Milieu de propagation



λ

Une onde électromagnétique est caractérisée par sa fréquence ν (nu) notée parfois (f) ou par sa période temporelle T tel que :

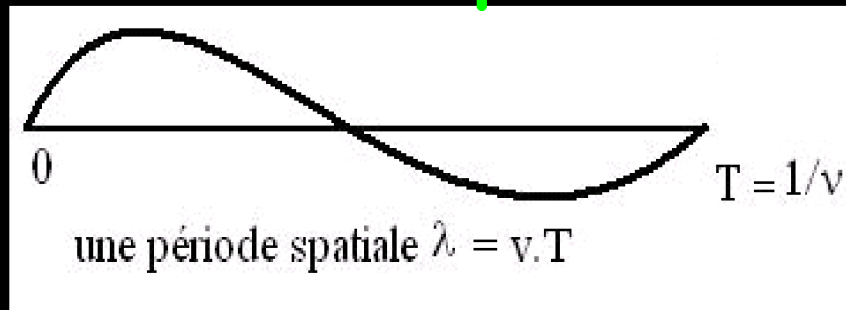
$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{f}$$

La fréquence ν (f) désigne le nombre d'oscillations par seconde

Ces 2 paramètres T et ν (f) sont indépendants du milieu traversé.

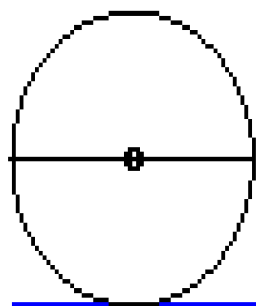
En revanche, sa célérité de propagation v dépend du milieu traversé, et sa longueur d'onde λ définie par :

Période spatiale λ



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

Période temporelle T



Période T période temporelle

Fréquence f ✓

Fixés, à la création de l'onde et ne dépendent pas du milieu de propagation

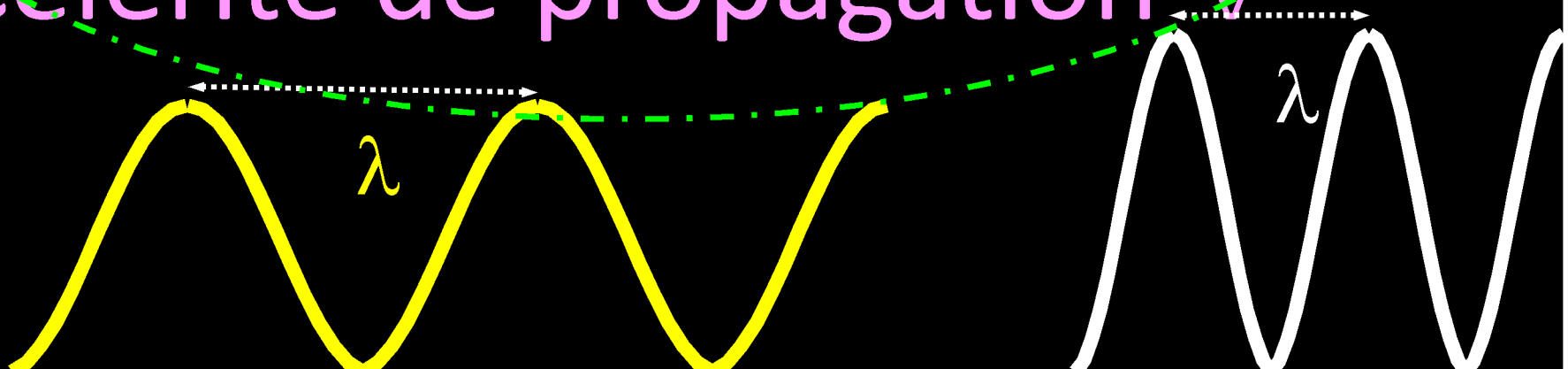
Longueur d'onde λ

période spatiale

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

Dépend du milieu de propagation

célérité de propagation v



Lumière ondulatoire

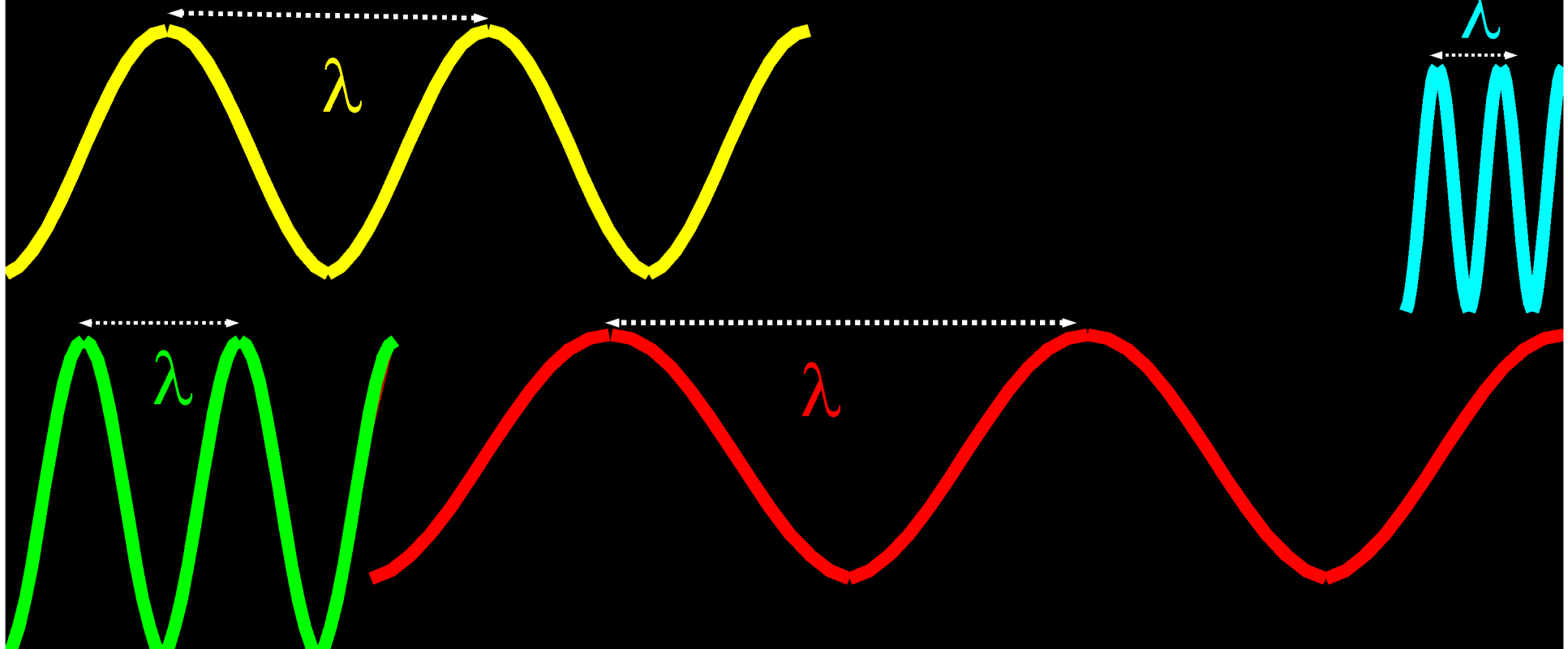
800 nm

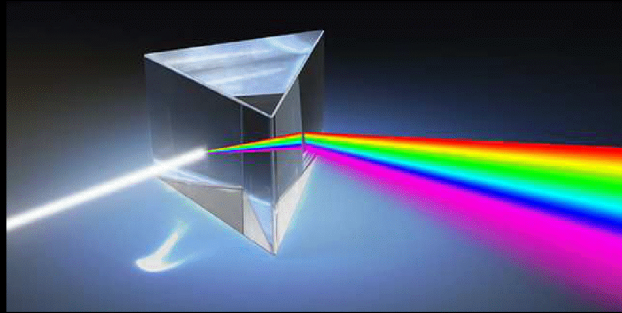


Dans le **vide** / l'**air**

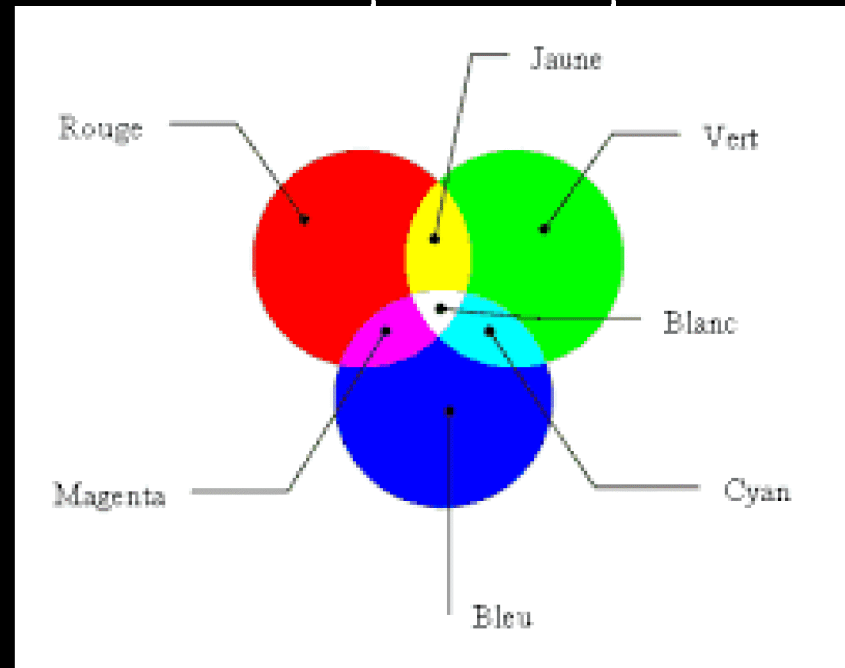
400 nm

$$\lambda_{\text{bleu}} < \lambda_{\text{vert}} < \lambda_{\text{jaune}} < \lambda_{\text{rouge}}$$

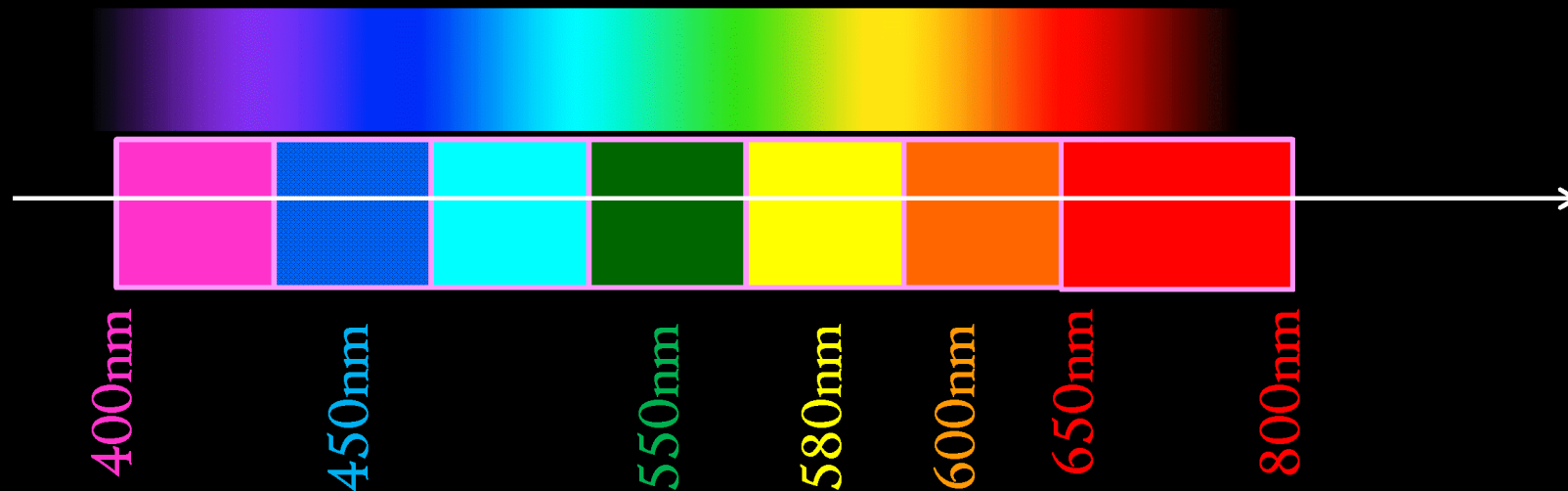




3 couleurs principales **RVB**



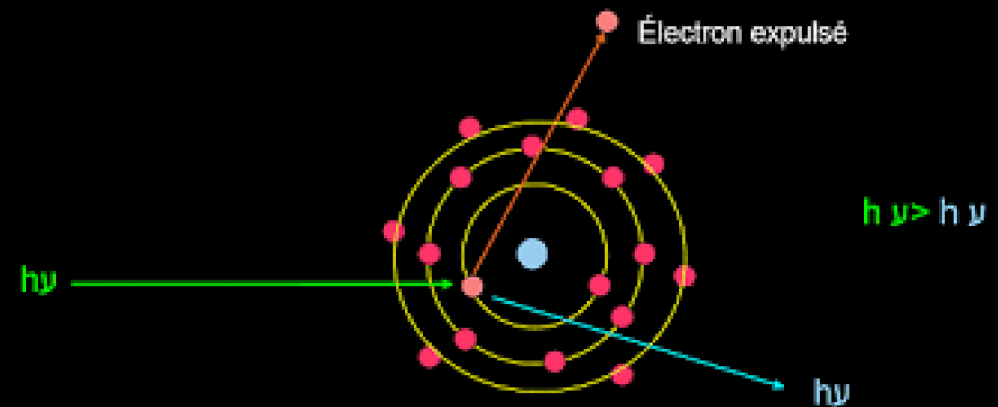
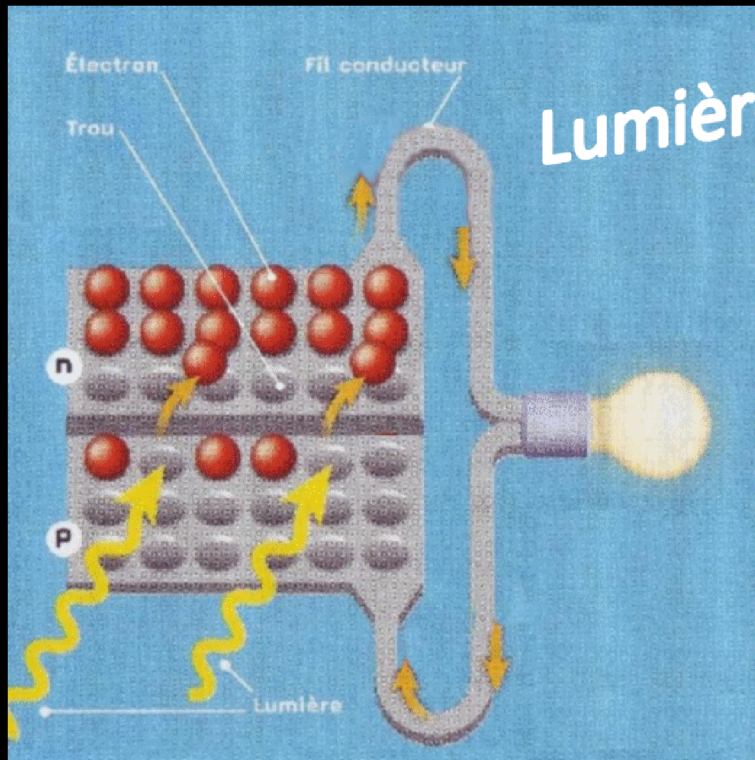
Mélange des couleurs



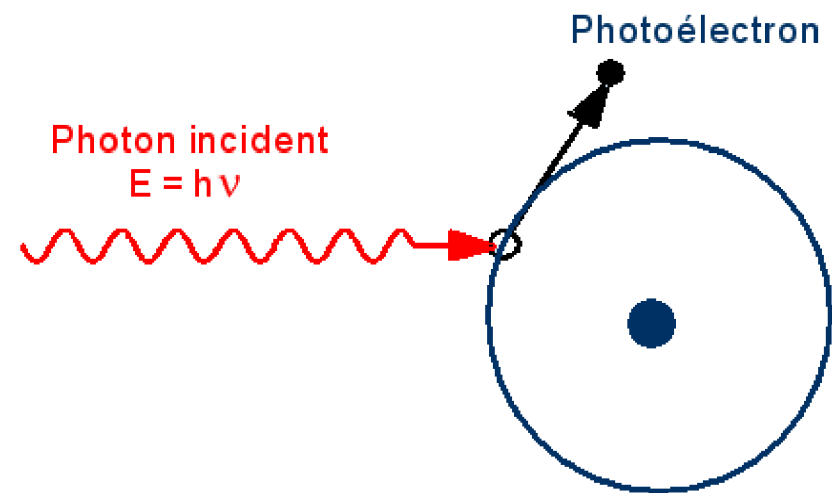
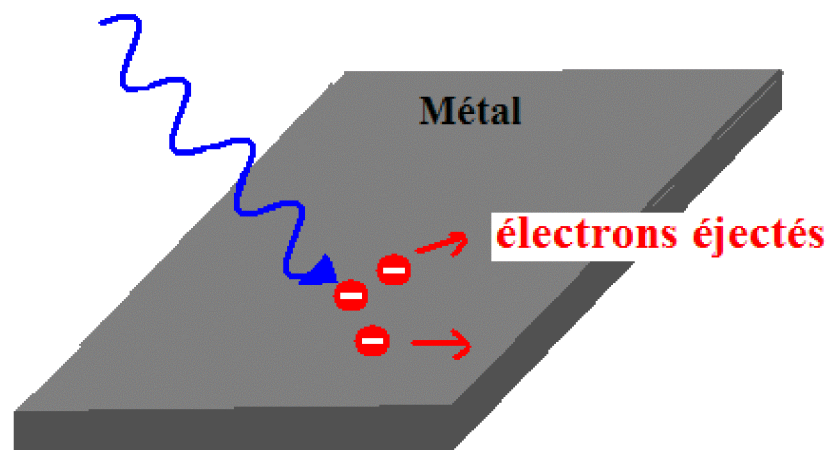
λ

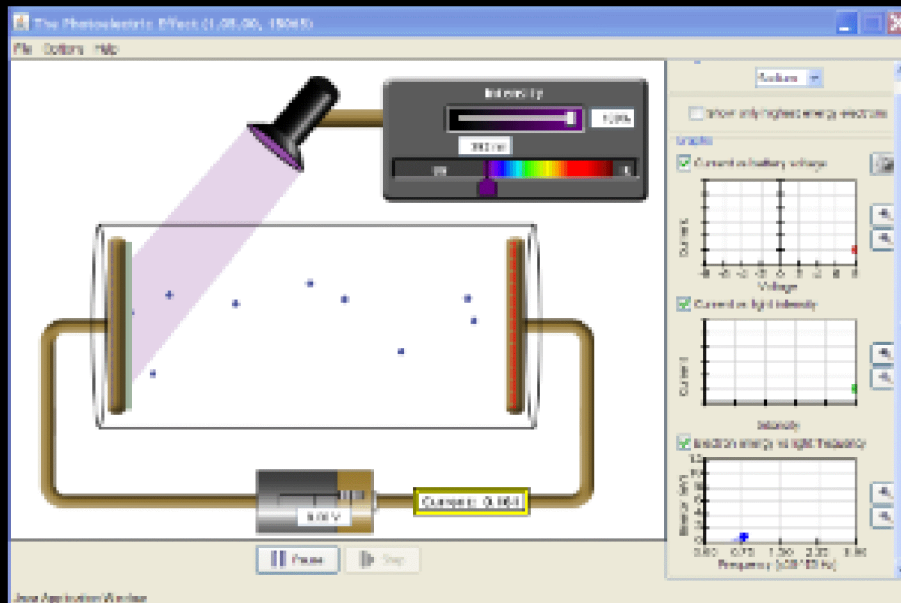
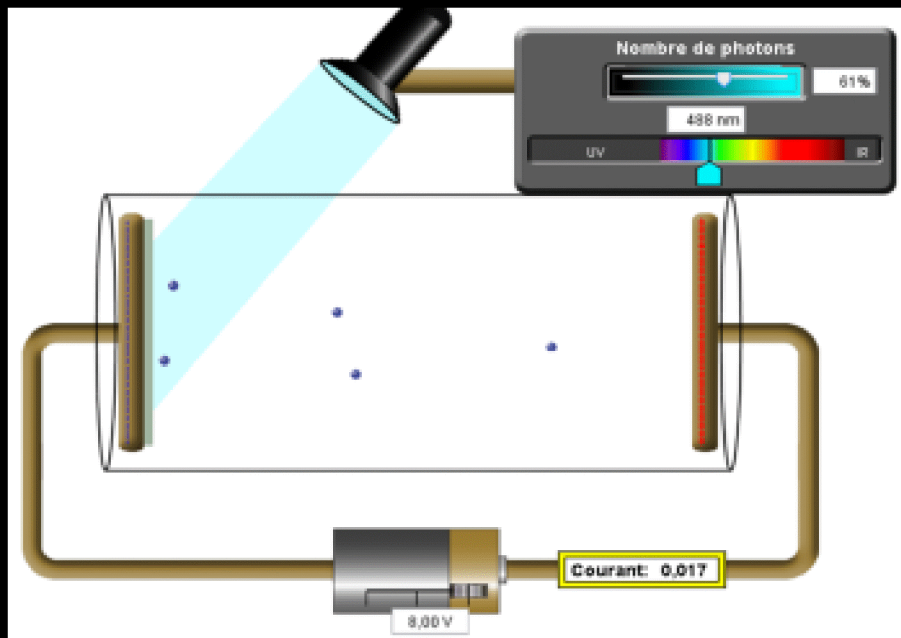
Synthèse additive des couleurs

Lumière comme corpusculaire

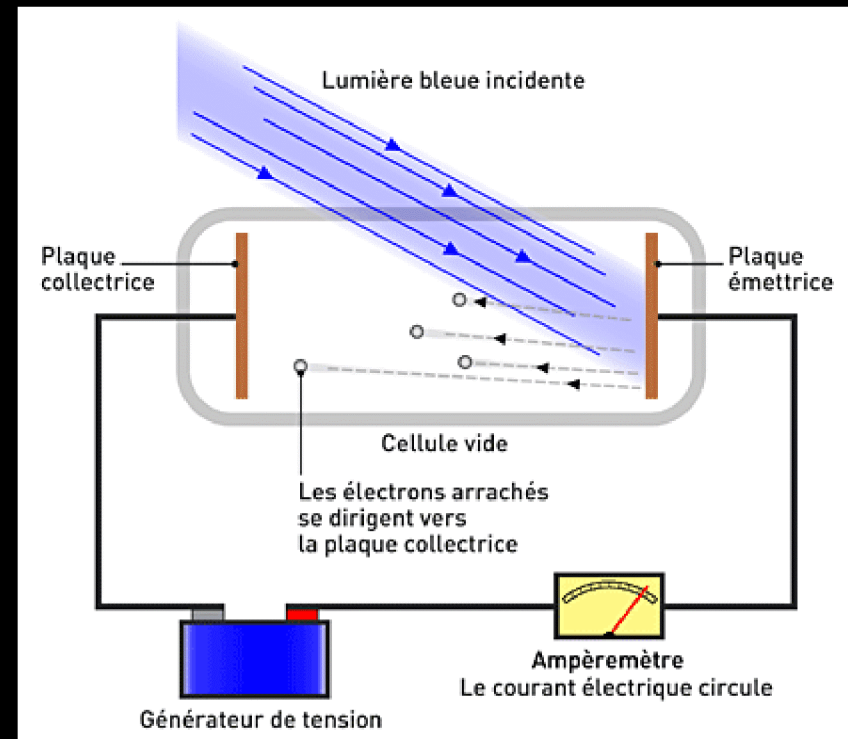


Photon





$$f_{\text{violet}} > f_{\text{bleu}} > f_{\text{vert}} > f_{\text{jaune}} > f_{\text{rouge}}$$



$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Heinrich Hertz (1857-1894) Lenard Philipp (1862-1947)

En 1905, Einstein a prouvé la nécessité d'introduire la notion de «grain de lumière» ou photons pour expliquer l'effet photoélectrique.

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

h : constante de Planck
($h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$)

Hilf : Désespoir

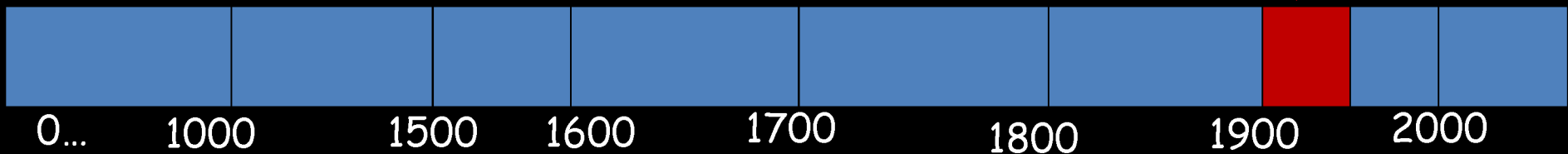
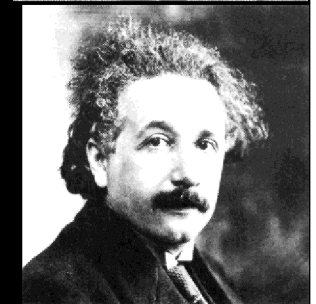
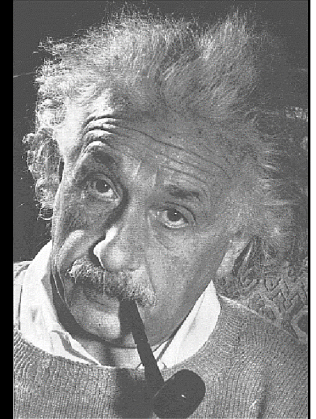
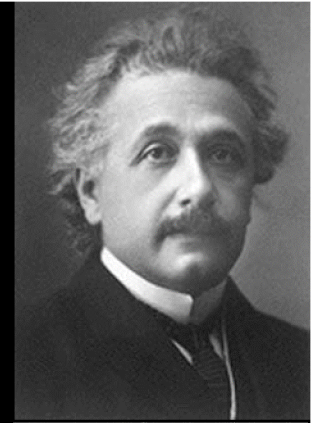
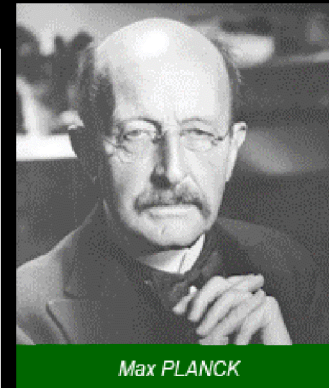
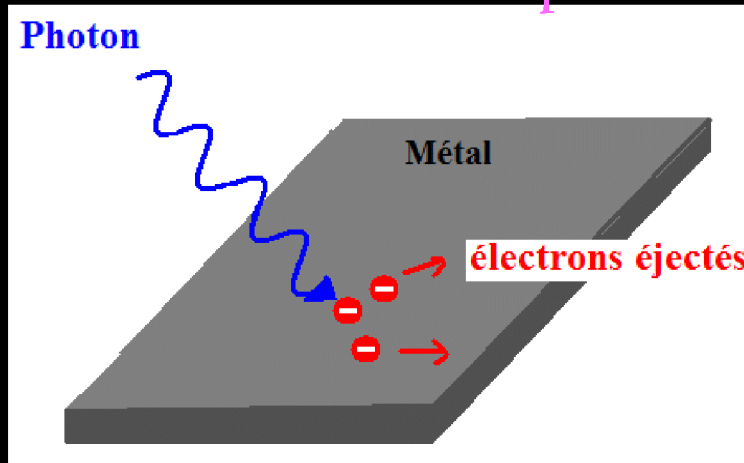
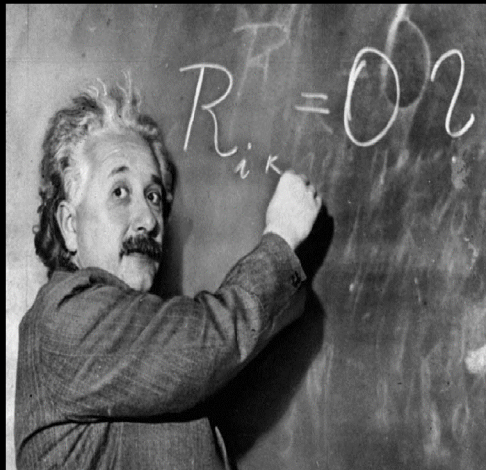
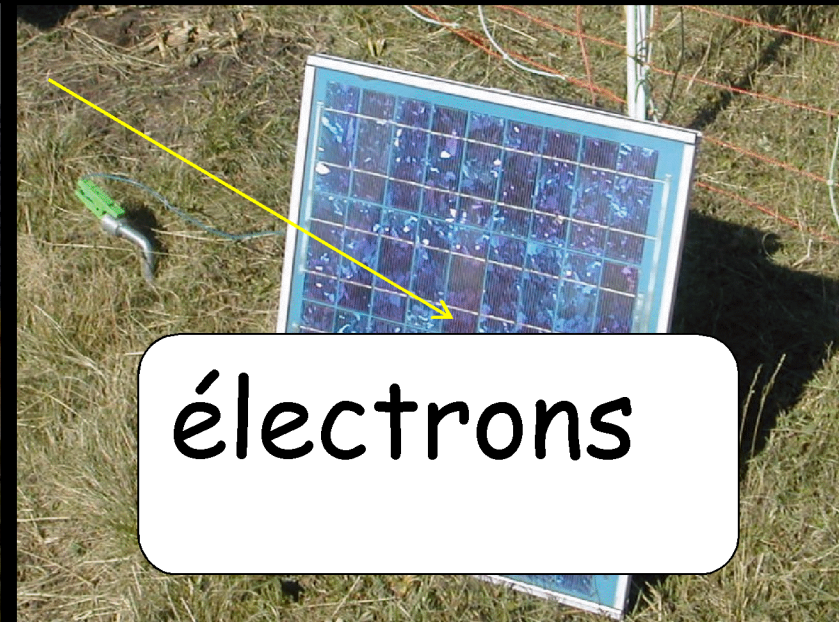


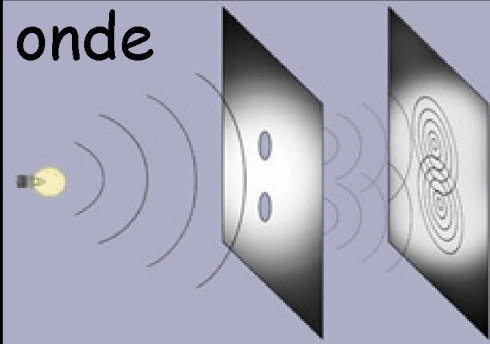
Photo d'une plaque photoélectrique



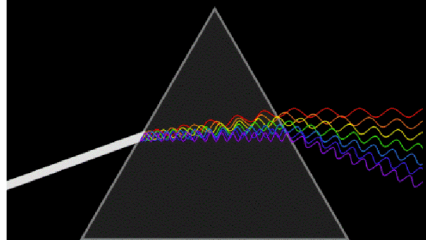
Des photons d'énergie
 $E = h.f = h.v$
($h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$
constante de Planck)

Les deux théories s'opposaient : **La lumière**
est-elle **ondulatoire** ou **corpusculaire** ?
C'est le plus long débat de l'histoire de la
physique **1600** **1900** **3 siècles**

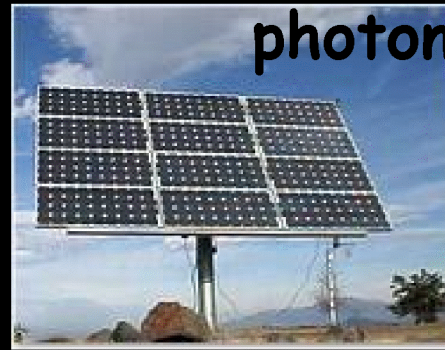
Huygens



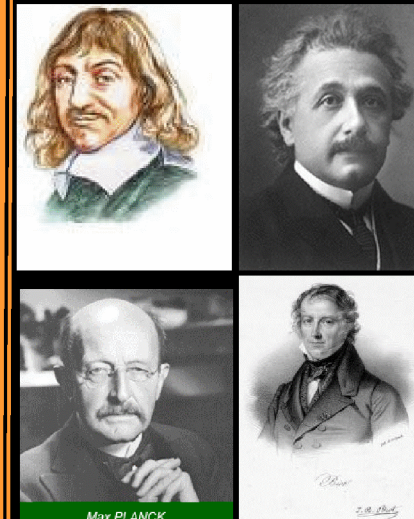
ondulatoire



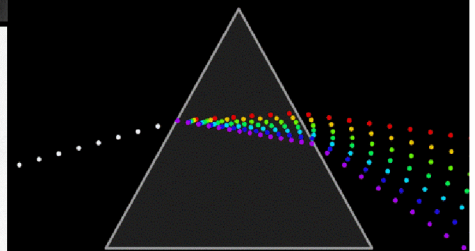
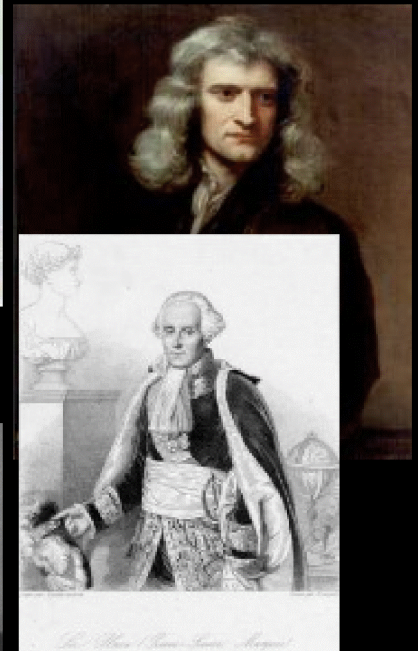
photon

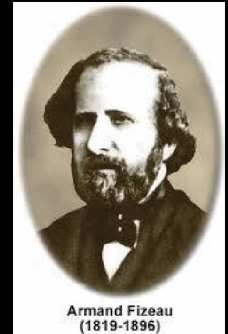
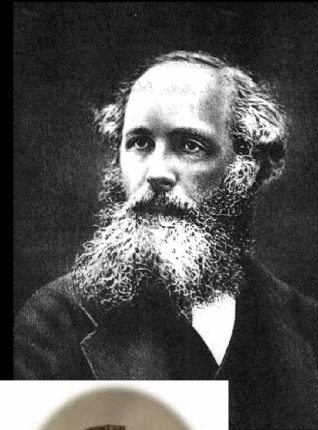


corpusculaire



Newton



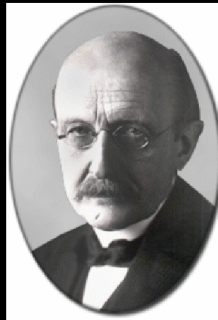
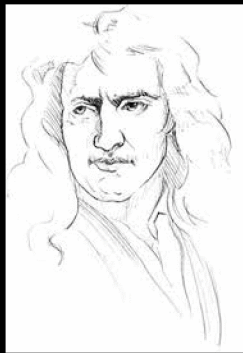


Armand Fizeau
(1819-1896)

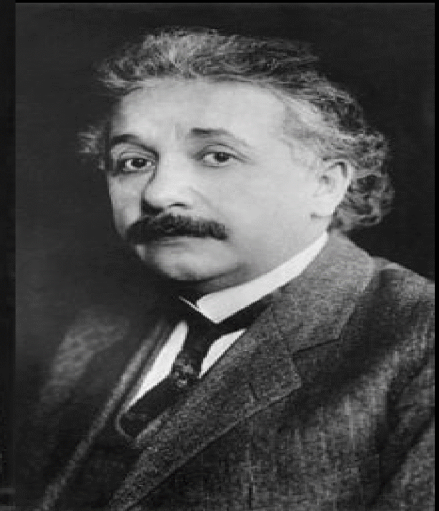
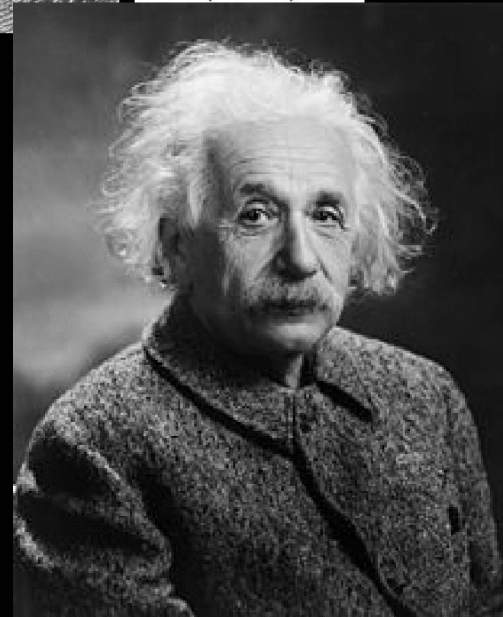


Thomas Young
(1773-1829)

Lumière ondulatoire



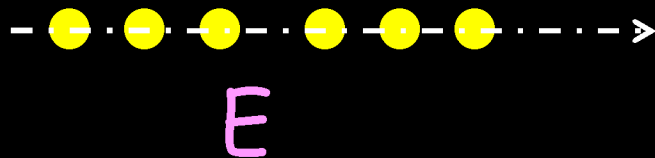
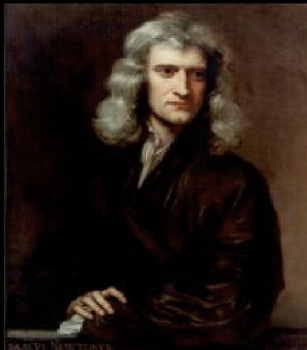
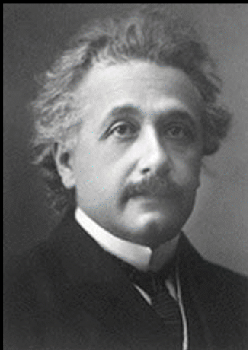
Lumière corpusculaire



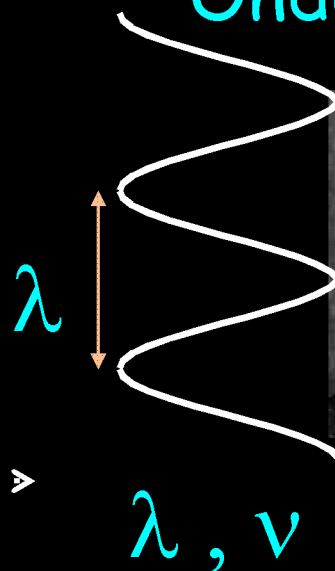
XX^{ème} siècle (1924) : approche
quantique résout le problème
de la dualité onde-corpuscule
de Broglie

Louis de Broglie

Photon



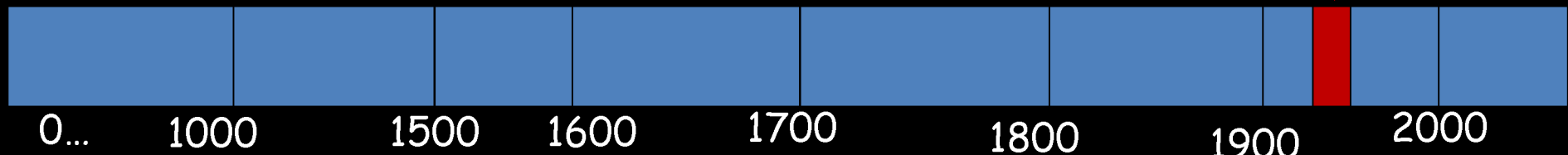
Onde



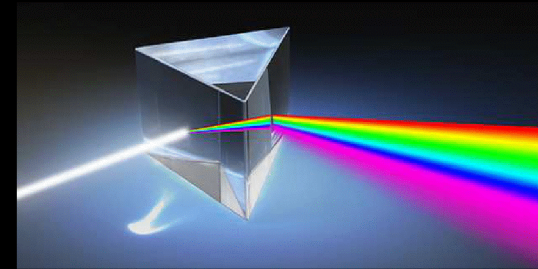
Huygens



$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$



dispersion



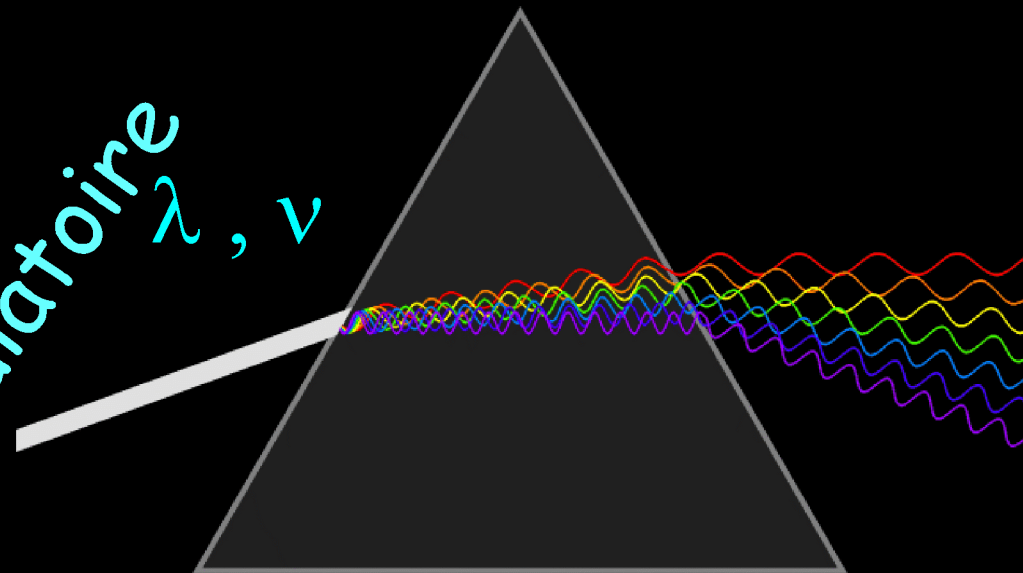
corpusculaire

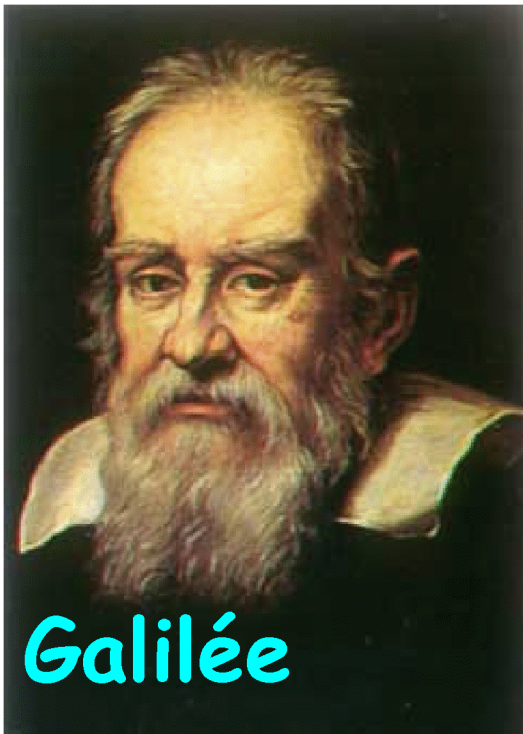
E

$$E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

ondulatoire
 λ, ν

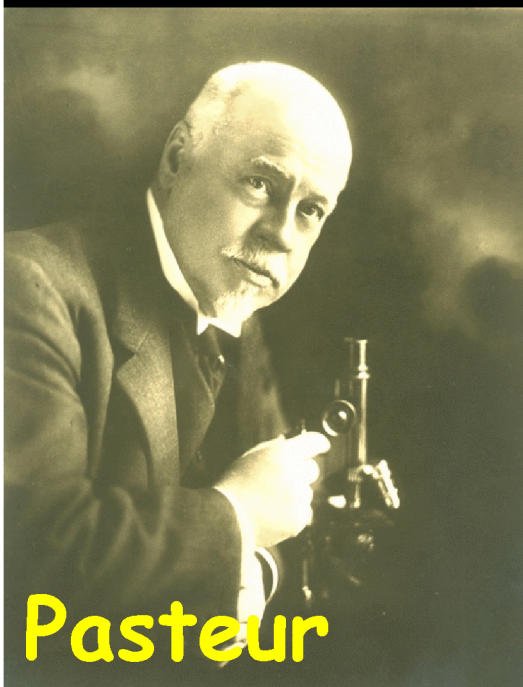




Galilée



Lunette



Pasteur



Microscope

En 1609, Galilé a fabriqué la première lunette astronomique

En 1709, on construit les premiers microscopes.

Au XIX^{ème} siècle, perfectionnement des **instruments d'optique**.

Au milieu du XIX^{ème} siècle, le problème de la **formation d'image** a été repris pour tenir en considération, de façon systématique, de **la nature ondulatoire de la lumière**.

