



I. QU'EST-CE QUE LA LUMIÈRE ?

1. La nature de la lumière

La nature de la lumière a fait l'objet de controverses scientifiques du XVII^{ème} au XIX^{ème} siècles entre les partisans de deux théories (a priori opposées) :

- La théorie (initiée par Huygens au XVII^{ème} s) selon laquelle la lumière est caractérisée par une onde.
→ cette nature est mise en évidence par les phénomènes de **diffraction** et d'**interférences** (Young et Fresnel).
→ À la fin du XIX^{ème} siècle, on admet que la lumière est une onde qui se propage dans **les milieux matériels transparents** ou dans le vide avec une **vitesse dépendant du milieu de propagation**.
- La théorie selon laquelle la lumière est caractérisée par des corpuscules (plus tard appelés **photons**)
→ **Cette théorie a été défendue dès la fin du XVII^{ème} siècle par Newton**, puis mise à mal au XIX^{ème} siècle suite aux expériences d'interférences d'Young et aux théories sur les ondes de Fresnel, la théorie ondulatoire s'impose alors.
Finalement, les découvertes du XX^{ème} siècle permettent de valider le fait que la lumière a une nature **corpusculaire** (Cf. chapitre de mécanique quantique)

→ La lumière présente à la fois un comportement ondulatoire et corpusculaire : on parle de **dualité**

2. La lumière, une onde électromagnétique

a. Quelle est la grandeur qui se propage ?

La lumière fait partie d'un vaste ensemble d'ondes appelées **ondes électromagnétiques** (OEM) :

→ Propagation dans l'espace des variations périodiques au cours du temps des champs
..... dans un milieu matériel ou dans le vide.

b. À quelle vitesse l'onde lumineuse se propage-t-elle ? Indice optique

- Dans le vide

Les ondes électromagnétiques se propagent dans le vide avec une célérité (vitesse de propagation) fixée depuis 1983 à $c = 299792458 \text{ m.s}^{-1}$.

(En 1 s la lumière fait plusieurs fois le tour de la Terre)

→ On retiendra que **la lumière se propage dans le vide avec une célérité : $c = 3,00.10^8 \text{ m.s}^{-1}$**

- Dans un milieu matériel transparent

Les OEM se propagent dans un milieu matériel transparent avec une célérité v telle que :



où n est l'**indice de réfraction** ($n \geq 1$) caractéristique du milieu et **dépendant de la fréquence** (et donc de la longueur d'onde)

→ On retiendra que **l'indice optique d'un milieu, noté n , est tel que $v_n = \frac{c}{n}$** avec c la célérité de la lumière dans le vide (en m.s^{-1}) et v_n la célérité de la lumière dans ce milieu (en m.s^{-1}).

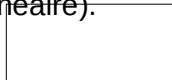
Ordres de grandeurs pour n (pour $f = 5,09.10^{14} \text{ Hz}$) :

milieu	vide	Air (CNTP)	eau	plexiglas	verre	diamant
n	1	$1,000273 \approx 1$		1,5	$1,5 \leq n \leq 1,8$	

c. Fréquence

La fréquence f (en..... ou en) est déterminée par la source qui émet la lumière (indépendante du milieu de propagation dans un milieu linéaire).

La période temporelle T est telle que



d. Longueur d'onde

- La longueur d'onde (période spatiale) λ_0 dans le vide est reliée à la fréquence f par :



La longueur d'onde λ_n dans un milieu matériel d'indice n est reliée à la fréquence f par :



Attention : La vitesse v_n de la lumière dépend du milieu de propagation donc λ_n **dépend du milieu de propagation, alors que** f ne dépend pas du milieu de propagation.

- On en déduit que λ_n et λ_0 **sont reliées par** :



→



♥ À retenir

Pour une fréquence donnée, un changement de milieu entraîne un changement de n et donc de λ . Plus n est grand plus λ est petit.

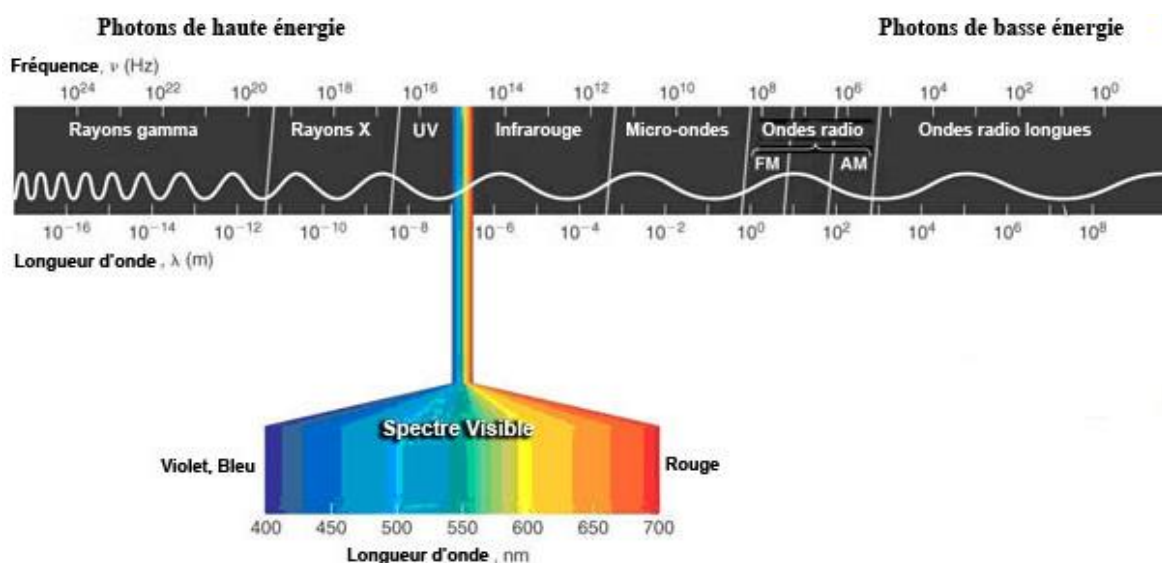
Dans un milieu donné, plus la fréquence de la vibration est grande (plus sa longueur d'onde est petite), plus l'indice du milieu est grand (Cf loi de Cauchy en Rq 2).

✍ Application

Une source de lumière émet une radiation lumineuse de fréquence $f = 4,73 \cdot 10^{14}$ Hz.

1. Comment appelle-t-on ce type de source lumineuse ?
2. Quelle est la longueur d'onde dans le vide de cette radiation ?
3. On considère maintenant que cette radiation se propage dans un milieu d'indice $n = 1,66$. Quelle est la vitesse de propagation de la lumière dans ce milieu ? Quelle est alors la longueur d'onde de la radiation du laser ? Quelle est sa couleur ?

Ordre de grandeur des fréquences et longueurs d'onde de la lumière dans le vide λ_0



♥ **À retenir**

La lumière (visible) a un spectre dont les longueurs d'onde dans le vide et les fréquences sont telles que :

couleur	bleu	vert	jaune	orange	rouge

Remarque 1 : milieux dispersifs

Un milieu est dit dispersif pour un certain type d'ondes si la célérité dépend de la fréquence de l'onde.

Le vide et les milieux matériels sont-ils dispersifs pour les ODM ?

L'air est-il un milieu dispersif pour les ondes sonores ?

Remarque 2 : Loi de Cauchy

La loi de Cauchy donne l'évolution de l'indice d'un verre en fonction de la longueur d'onde dans le vide d'une radiation (domaine visible) :

$$n(\lambda_0) = A + \frac{B}{\lambda_0^2}$$

 Application

Quels sont les ordres de grandeurs de A et de B, sachant que l'indice varie peu avec la longueur d'onde (variation de l'ordre de 1×10^{-2}) ?

II. SOURCES LUMINEUSES ET SPECTRES

Les différentes sources sont caractérisées par leur **spectre d'émission** (puissance lumineuse émise en fonction de la longueur d'onde)

1. Les sources thermiques → spectre continu

Tout corps de température non nulle émet **un rayonnement thermique**.

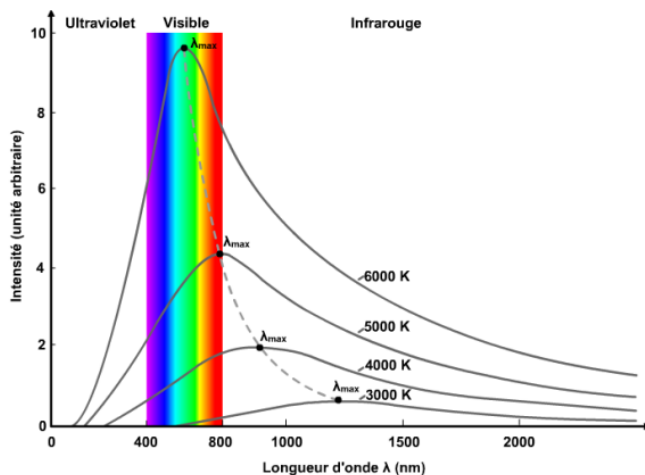
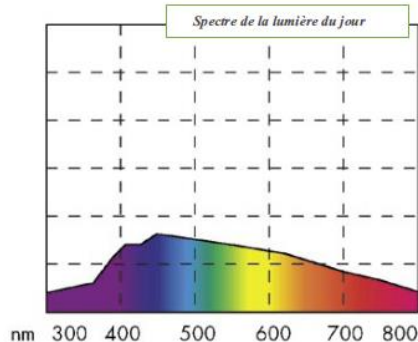


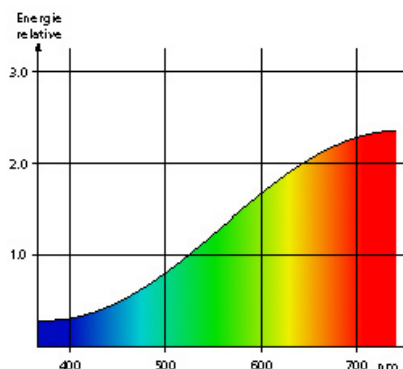
Figure : Intensité lumineuse d'un corps chauffé à différentes températures en fonction de la longueur d'onde

Remarque :

- Pour le corps humain de température environ, le maximum d'émission se situe à environ 10 μm (donc dans l'IR, invisible par l'humain)
- Pour le soleil de température externe, le maximum se situe dans le visible.

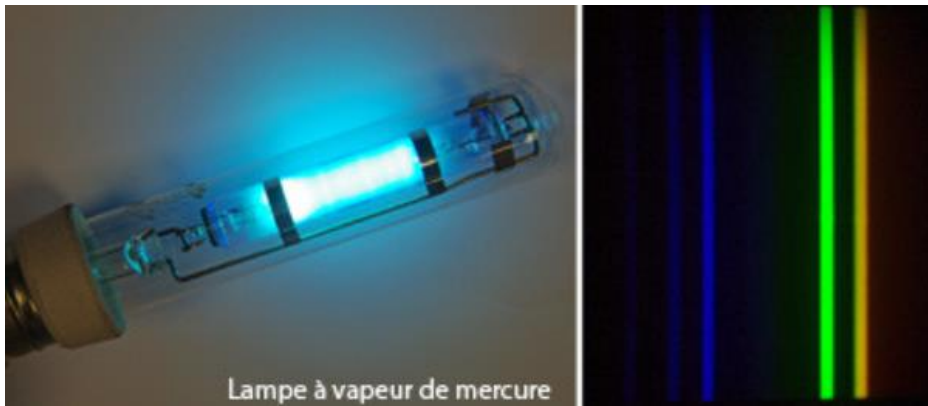


- Pour une lampe à incandescence (filament de tungstène porté à de fortes températures), une grande partie de l'énergie rayonnée se situe dans l'IR → d'où leur remplacement par des LED.



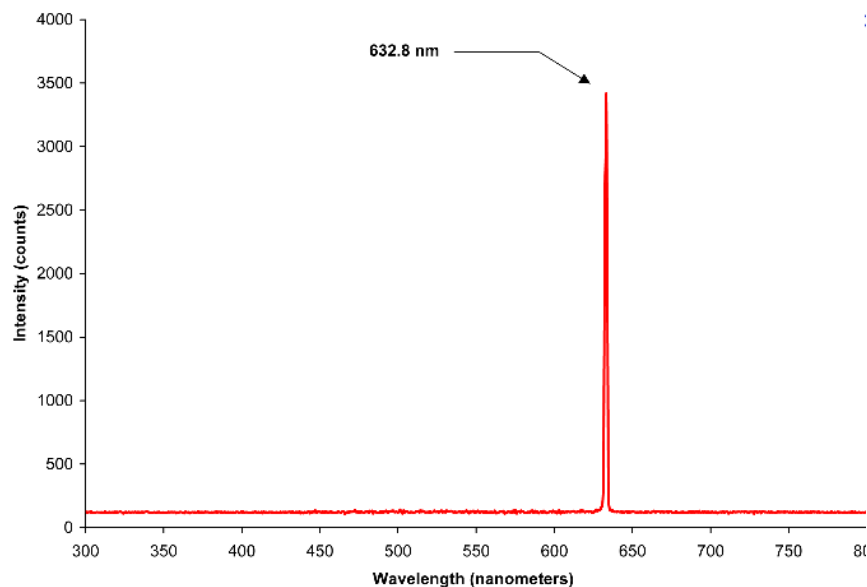
On retiendra qu'un corps de plus de 1000 K émet des radiations dans le domaine visible. Le spectre est continu et d'autant plus riche en bleu-violet que la température est grande.

2. Les lampes spectrales → spectre de raie



On retiendra **qu'une lampe spectrale émet un rayonnement** constitué de plusieurs "pics" (raies spectrales) de fréquences caractéristiques de l'élément qu'elle contient. Le spectre est donc

3. Les sources laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)



On retiendra **qu'un faisceau laser présente une unique raie spectrale très fine.**

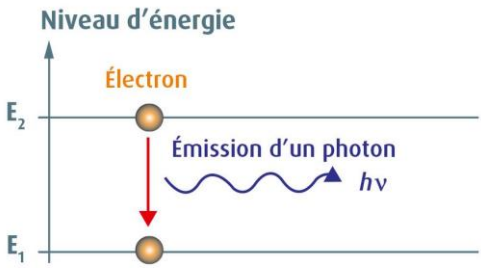
On dit que c'est une source lumineuse

Les plus courants sont **les lasers Hélium-Néon** et les diodes laser à semi-conducteur. Les lasers hélium-Néon les plus répandus émettent une radiation rouge de **longueur d'onde 633 nm**.

Comme nous le verrons en TD l'éclairement est extrêmement élevé ce qui fait qu'il **est dangereux de le recevoir dans l'œil** (la puissance n'est pas très élevée : 1 mW, mais le faisceau est très focalisé : 1 mm², l'éclairement est donc grand).

4. Pourquoi les spectres sont-ils différents ? Processus d'émission

Lorsqu'un électron perd de l'énergie, il émet un photon (et donc de la lumière).

 Le diagramme illustre la transition d'un électron entre deux niveaux d'énergie, E_2 et E_1. L'électron est représenté par une orange sphère. Une flèche rouge descendante indique la perte d'énergie. Une onde bleue avec la notation $h\nu$ représente le photon émis. Le titre 'Niveau d'énergie' est en haut à gauche.	Si l'électron passe d'un niveau d'énergie E_2 à E_1, le photon émis a une fréquence ν telle que : avec h la constante de Planck : $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s.
---	--

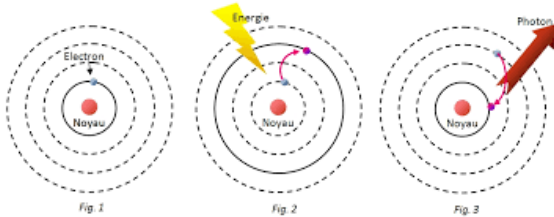
Cas 1 : sources thermiques

→ les électrons sont libres, leur énergie est de l'énergie cinétique qui varie avec les chocs, les frottements...

- Toutes les valeurs d'énergie sont possibles, toutes les transitions énergétiques sont possibles.
- Le spectre est continu

Cas 2 : lampes spectrales

→ les électrons d'un atome sont liés, ils ne peuvent prendre que certaines valeurs d'énergie (on dit que l'énergie d'un électron est quantifiée) (Cf mécanique quantique)



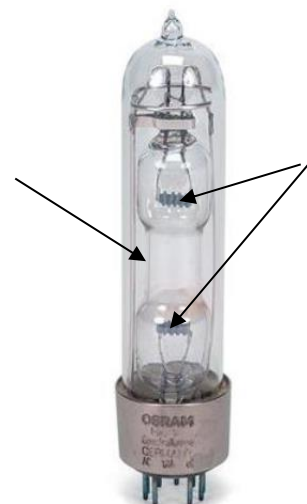
- Le spectre est discret (discontinu), on parle de spectre de raie

Comment fonctionne une lampe spectrale ?

L'élément central d'une **lampe spectrale** est une **ampoule** contenant un **élément sous forme de vapeur** (exemple : sodium) dans laquelle on provoque une décharge électrique entre **deux électrodes**.

Lorsque la lampe est mise sous tension, des **électrons circulent** entre les électrodes, accélérés par le champ électrique qui règne et **entrent en collision avec les atomes** de la vapeur.

Ces atomes sont ainsi portés dans un état excité et se désexcitent en émettant des photons, dont l'énergie est égale à la différence d'énergie entre deux niveaux d'énergie de l'atome.



Cas 3 : Sources monochromatiques

→ Seuls 2 niveaux d'énergie sont possibles E_1 et E_2 (forcé) (c'est le principe du laser)

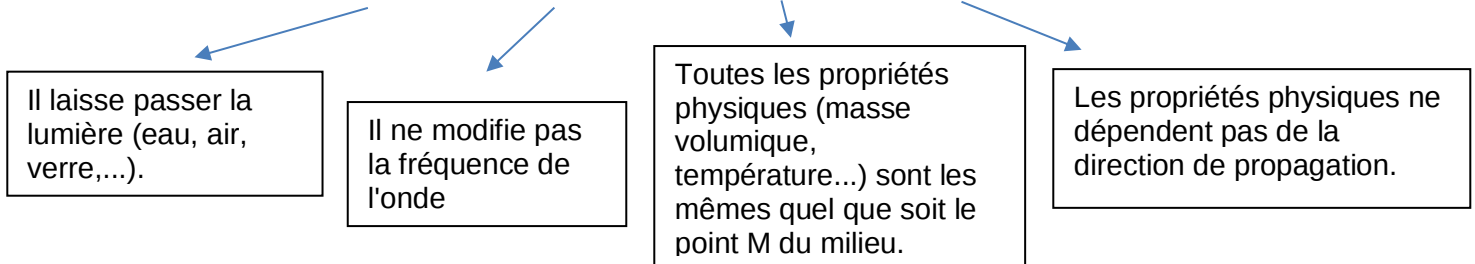
- Une seule transition énergétique possible
- Le spectre ne comporte qu'une raie fine de fréquence de fréquence

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

III. MODÈLE DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

1. Milieux transparents homogènes et isotropes

Un milieu est dit transparent (T), linéaire (L), homogène (H) et isotrope (I) si :



2. Modèle de l'optique géométrique et limites du modèle

♥ À retenir

L'énergie lumineuse se propage suivant des trajectoires perpendiculaires en tout point aux surfaces d'onde (*points correspondant à la même durée de propagation depuis la source*), chaque trajectoire est appelée **rayon lumineux**.

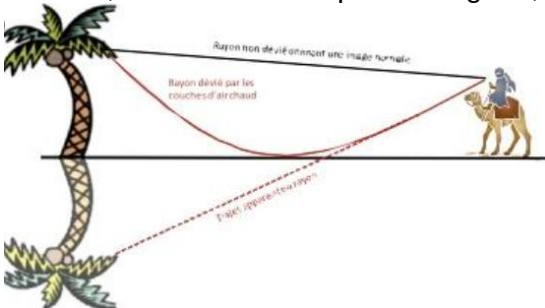
(Surface d'onde : elle est constituée par l'ensemble des points correspondant à la même durée de propagation de l'onde depuis la source)

La géométrie nous permettra donc de construire le trajet de la lumière d'où le nom **d'optique géométrique**.

Mais pour cela, 2 conditions sont nécessaires :

- il faut que les rayons lumineux soient rectilignes et donc que le milieu soit homogène :

Attention, si le milieu n'est pas homogène, les rayons seront courbés.



Dans la BD de Tintin, l'air n'est pas homogène (différentiel de température), d'où le mirage

- il ne faut pas d'objet diffractant dans l'espace de propagation (limite au modèle) :

Phénomènes de diffraction : Si un faisceau laser de longueur d'onde λ traverse un obstacle (exemple : un trou de diamètre a tel que $\lambda \approx a$), on observe un étalement de la direction de propagation des rayons lumineux (phénomène de diffraction).

Le demi-angle de diffraction θ_0 est tel que :

	loi de la diffraction :
--	--

♥ **À retenir**

La condition pour pouvoir faire de **l'optique géométrique dans un milieu TLHI est que le phénomène de diffraction puisse être négligé**, cela est le cas si $a > 1000 \lambda$ avec a la dimension caractéristique de l'obstacle et λ la longueur d'onde.

Conséquence : On ne peut pas isoler un rayon lumineux en utilisant une petite ouverture (outil géométrique).

Application : Quelle dimension minimale peuvent avoir les instruments d'optique lors d'une expérience sur un banc d'optique pour pouvoir faire de l'optique géométrique ? On utilise une source de lumière de longueur d'onde de l'ordre de 600 nm.

Règles de propagation :

- Dans un milieu TLHI, un rayon lumineux se propage **en ligne droite**.
- Le chemin emprunté par la lumière pour aller d'un point A à un point B est le même que celui emprunté par la lumière pour aller de B vers A (**loi du retour inverse de la lumière**).

IV. RÉFLEXION ET RÉFRACTION – LOIS DE SNELL-DESCARTES

La réflexion et la réfraction sont régies par les lois de Snell-Descartes qui sont les lois fondamentales de l'optique géométrique.

René Descartes , né le 31 mars 1596 à La Haye, et mort le 11 février 1650 à Stockholm, est un mathématicien, physicien et philosophe français .	Willebrord Snell van Royen , né le 13 juin 1580 à Leyde, mort le 30 octobre 1626, est un humaniste, mathématicien et physicien néerlandais .
	
<i>L'énoncé de la loi des sinus est attribuée à Snell dans le monde entier sauf en France ; une polémique porte encore aujourd'hui sur la question de savoir si Descartes a lui-même découvert cette loi ou simplement eu connaissance de celle établie auparavant par Snell, ce dernier étant décédé sans l'avoir publiée.</i>	

1. Réflexion et réfraction de la lumière lors d'un changement de milieu

Soit un faisceau lumineux passant brutalement d'un milieu d'indice n_1 (exemple : air) à un milieu d'indice n_2 (exemple : eau), matérialisé par un rayon appelé rayon incident.

→ On observe deux faisceaux (dont la direction de propagation est matérialisée par des rayons) :

- un rayon (se propageant)
- un rayon (se propageant)

Cf : http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/dioptres/Descartes.php

	- La surface de séparation entre les deux milieux d'indices différents s'appelle un - le point de contact I entre le rayon incident et le dioptré est appelé ... - la normale au dioptré en I et le rayon incident forment le - les angles i_1, r et i_2 sont respectivement appelés les angles ... Les angles sont algébriques et orientés à partir de la normale. Il faut donc choisir un sens positif pour les angles.
--	--

2. Énoncé des lois de Snell-Descartes

Lorsqu'un rayon lumineux arrive sur un dioptré séparant deux milieux d'indices différents n_1 et n_2 :

- Les rayons lumineux **réfracté et réfléchi appartiennent au plan d'incidence** (plan contenant le rayon incident et la normale au dioptré au point d'incidence I).
- Le rayon réfléchi r est tel que : $r = -i_1$
- Le rayon réfracté i_2 est tel que : $n_2 \sin i_2 = n_1 \sin i_1$

3. Réfraction et phénomène de réflexion totale