

# La lumière en astronomie

## I - C'est quoi ?

Des ondes ? Des particules ?      **Ça dépend !**

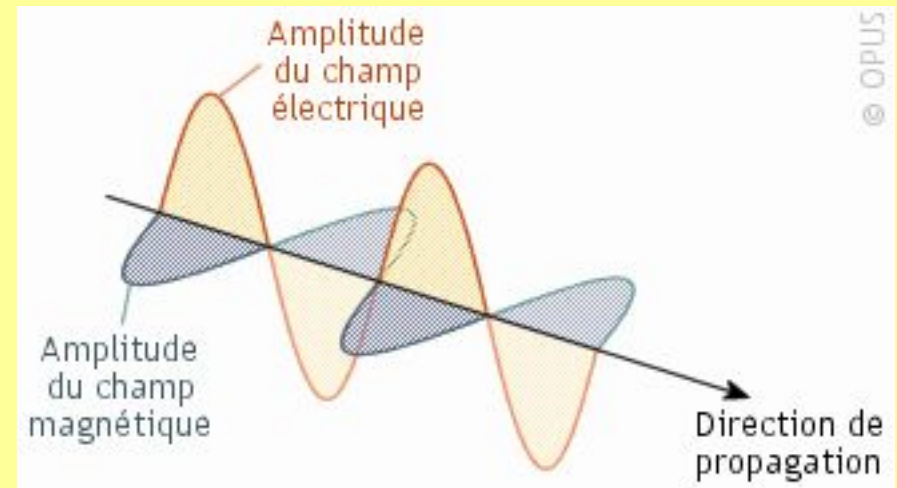
### À l'échelle microscopique :

Comportement comme celui d'une particule : on peut compter des photons.  
(théorie corpusculaire lancée par *Max **Planck*** puis *Albert **Einstein***, début XX<sup>ème</sup> siècle)

### À l'échelle macroscopique :

Comportement comme celui d'une onde. C'est le cas en astronomie.  
(théorie ondulatoire lancée par *Thomas **Young*** puis *James Clerk **Maxwell***, XIX<sup>ème</sup> siècle )

**Lumière = Un rayonnement électromagnétique**



**En Physique, la lumière est une vibration du champ électromagnétique.**

La lumière :

- Elle est **émise**.
- Elle se **propage**.
- Elle **interagit avec la matière** qui se trouve sur son passage.

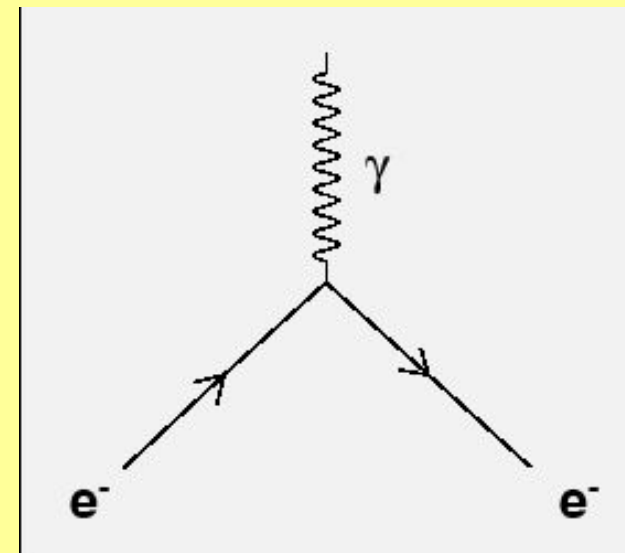
### Les caractéristiques physiques de la lumière :

<i><b>Théorie ondulatoire</b></i>	<i><b>Théorie corpusculaire</b></i>	<i><b>Effet sensible</b></i>
Amplitude de l'onde	Nombre de photons	Intensité de la lumière
Fréquence de l'onde	Énergie des photons	Couleur de la lumière

### Lumière = énergie ?

L'onde électromagnétique manifeste un échange énergétique dans le cadre d'une interaction électromagnétique, c'est-à-dire entre particules chargées électriquement.

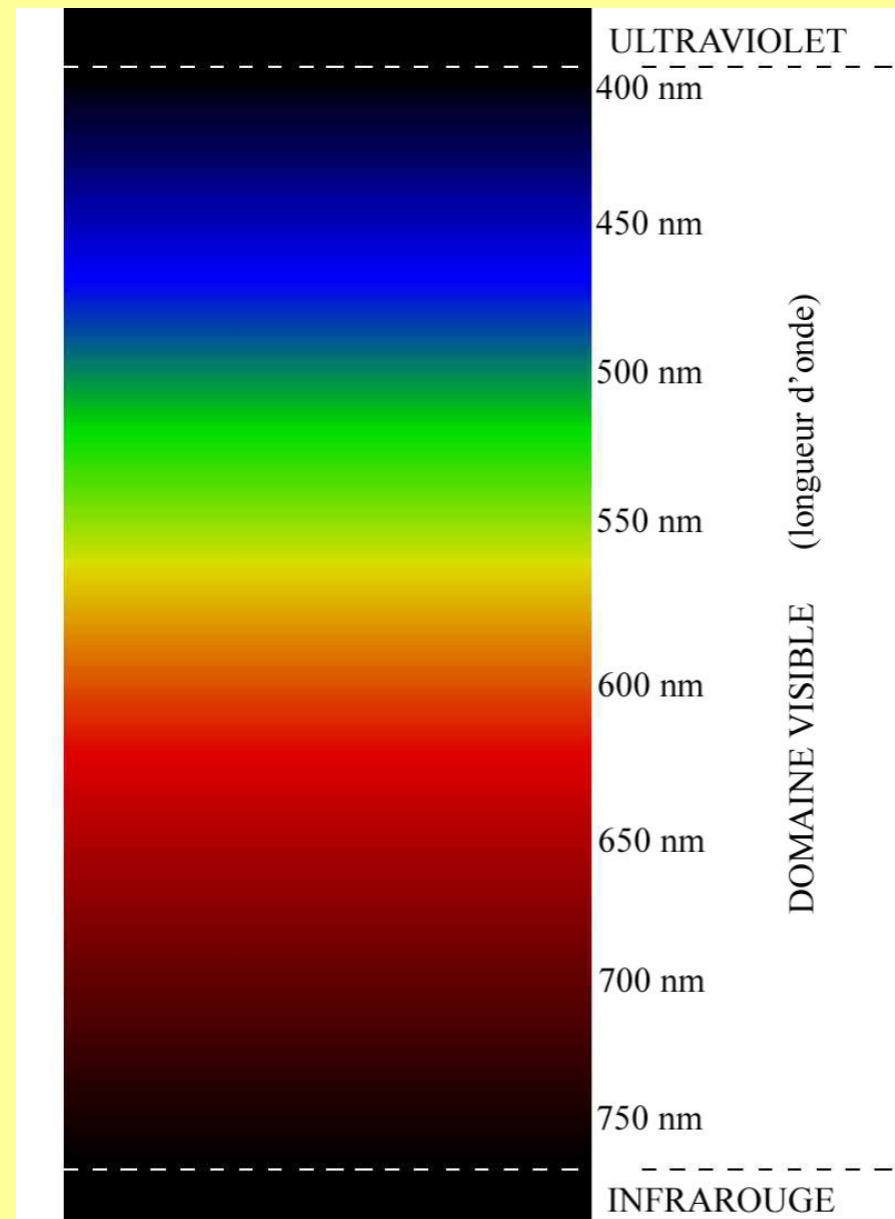
**Représentation de l'absorption d'un photon par un électron : l'électron change de trajectoire.**



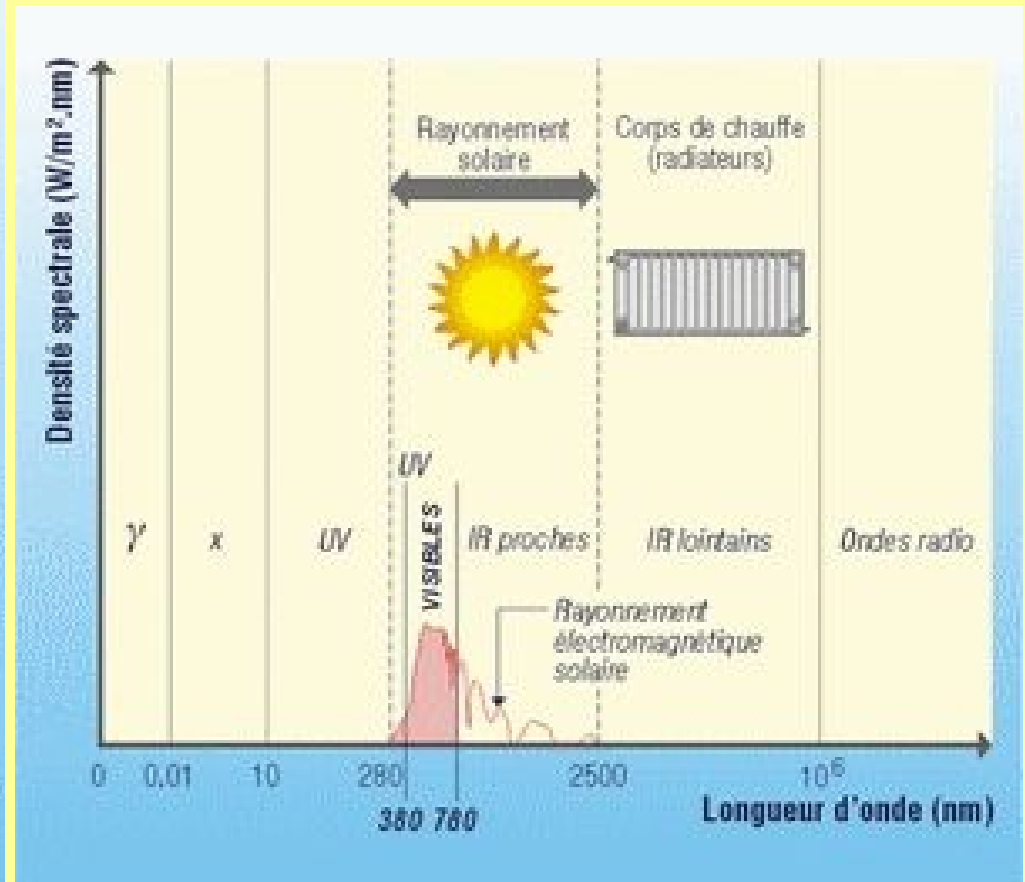
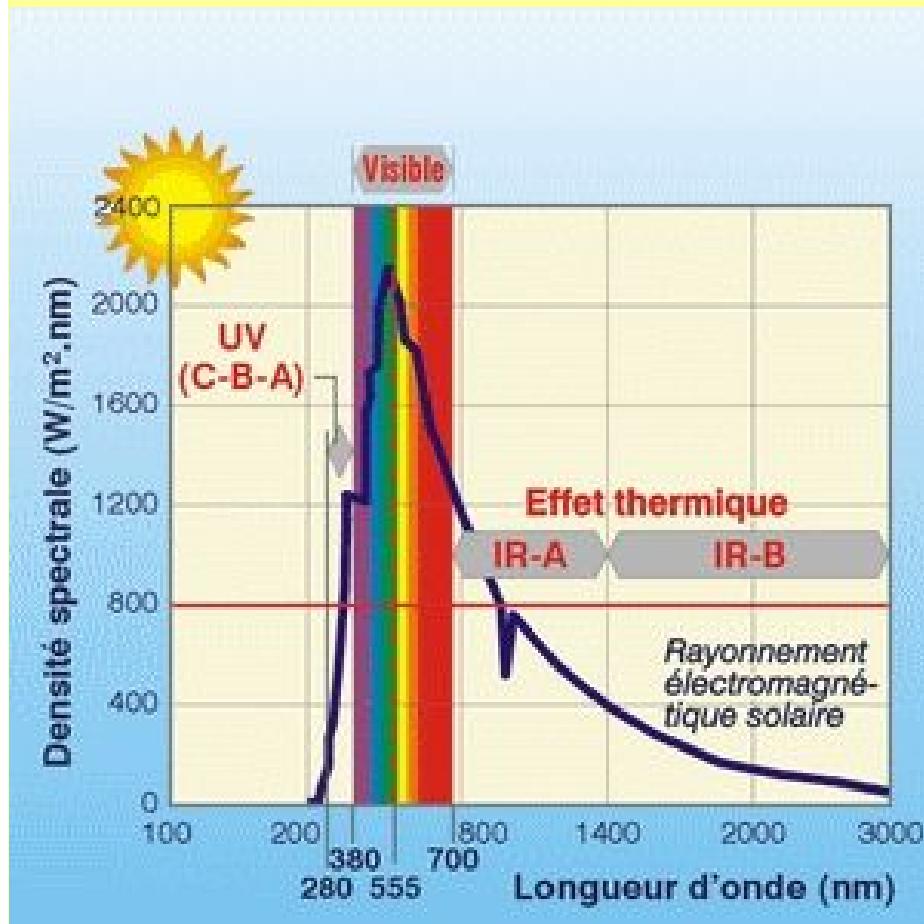
Spécificité de la lumière : Elle est « visible ».

Un rayon « lumineux » est donc une onde électromagnétique que l'oeil humain peut « détecter ».

L'oeil ne détecte qu'une infime partie des ondes électromagnétiques. La lumière correspond aux fréquences les plus présentes dans le **rayonnement solaire**.



## La lumière du soleil



Répartition spectrale du rayonnement solaire Les autres types de rayonnements électromagnétiques

## Quelques propriétés du rayonnement électromagnétique :

**Plus la longueur d'onde est faible (haute fréquence/énergie), plus le rayonnement est pénétrant, plus il interagit au niveau microscopique.**

*Exemples* : **UV** = action sur les cellules humaines, peuvent être filtrés par du verre traité  
Rayons **X** = traversent presque tous les tissus humains. Arrêtés par une plaque de plomb  
Rayons **Gamma** ( $\gamma$ ) = traversent de grandes épaisseurs de plomb

**Plus la longueur d'onde est élevée (basse fréquence/énergie), moins le rayonnement est pénétrant, plus il interagit au niveau macroscopique.**

*Exemples* : Infra-rouges = action thermique, arrêtés facilement par la matière  
Micro-ondes = action thermique sur les molécules d'eau, arrêtés par une plaque métallique trouée  
Ondes radar, radio et télé = pas d'action thermique, propagation à grande distance dans l'air mais perturbées par l'environnement (échos, réflexions)

En astronomie, on s'intéresse à **toutes les longueurs d'onde**

=> utilisation de radio-télescopes, de filtres, de capteurs infrarouges, etc.

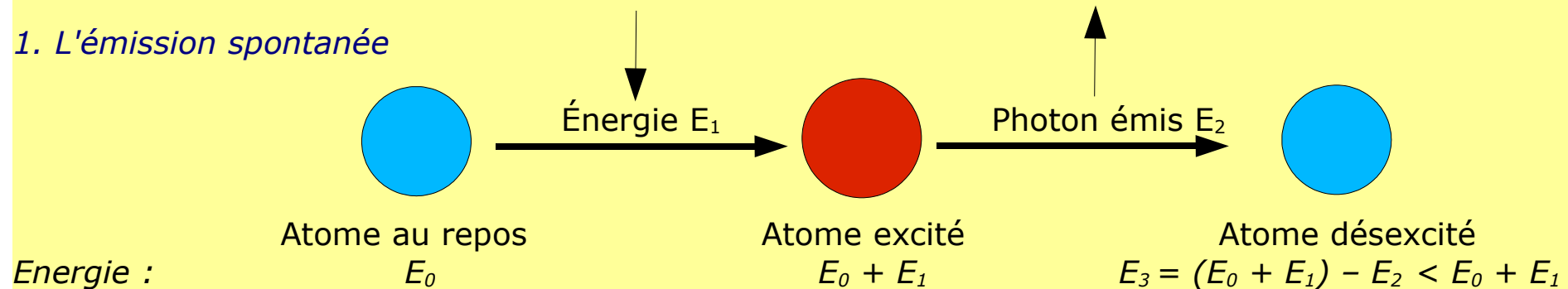
Comme les rayonnements non lumineux sont invisibles à l'oeil humain, les représentations et les photos produits par ces instruments sont toujours présentées en fausses couleurs.

## II – Vie des photons (approche microscopique)

### 1) La naissance : l'émission

Deux types d'émission :

#### 1. L'émission spontanée



#### Exemples d'émissions:

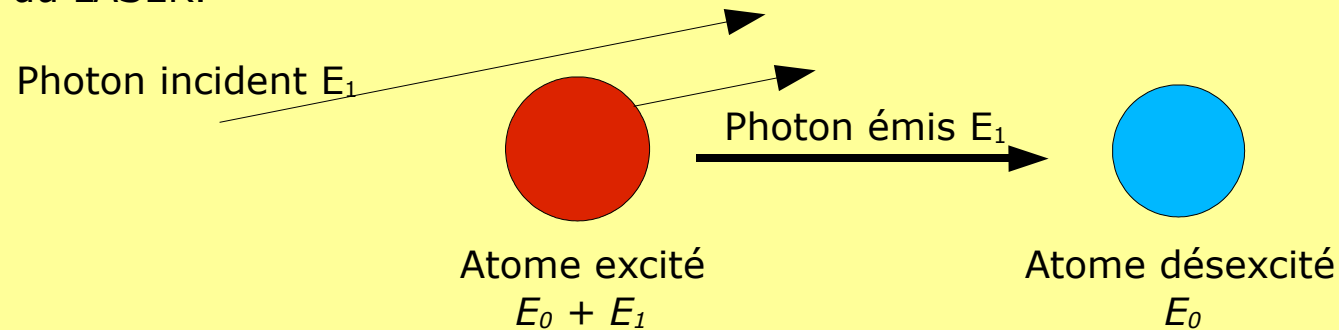
- Incandescence : le corps émet de la lumière lorsqu'il est excité et reprend son état initial dès qu'il ne reçoit plus d'énergie. *Lampe à incandescence, fer rouge, etc.*
- Combustion : Réaction chimique libérant de l'énergie, notamment sous forme lumineuse. *Allumette, bougie, feu etc.*
- Électroluminescence : émission produite par un courant électrique circulant dans certains matériaux semi-conducteurs. *Diode électroluminescente (LED)*
- Cathodoluminescence : le corps émet de la lumière lorsqu'il est bombardé d'électrons. *Écran de télévision*
- Fluorescence : émission où l'énergie du photon émis est différentes de l'énergie absorbée. *Lampes « néon », « lumière noire » (cf. photos)*
- Phosphorescence : Type de fluorescence où l'émission est retardée. Certains matériaux qui « brillent dans la nuit » et se déchargent lentement de la lumière accumulée le jour. *Aiguilles*

de montres.

- Radioluminescence : émission provenant d'une désintégration nucléaire (en général peu lumineuse car très haute énergie) *Aiguilles de montres, radium.*
- Chimiluminescence : *Lucioles et vers luisants*
- Thermoluminescence : système de datation très spécifique.

## 2. L'émission stimulée

À la base du LASER.



Energie :

## 2) La vie : le déplacement

Le photon n'a **pas de masse, pas de charge électrique** : il n'est pas soumis aux forces de gravitation, électromagnétiques et nucléaires.

Dans le vide, le photon se déplace donc « **en ligne droite** ».

En réalité, la trajectoire **peut paraître courbée** à proximité d'astre massifs (théorie de la relativité générale).

La vitesse du photon *ne dépend pas de son énergie*. Elle est fixe :  $c = 299\,792\,458 \text{ m / s}$



### 3) La mort : l'absorption

Le photon est le vecteur de l'interaction électromagnétique. Il termine donc sa vie lorsqu'il rencontre une particule chargée (électron, proton, etc). Une absorption peut être définitive ou amener à un phénomène secondaire (réémission par exemple).

## III – Vie des ondes électromagnétiques (approche macroscopique)

Cette vie est très mouvementée.

**Transmission, réflexion, absorption, réfraction, dispersion, diffusion, interférence, diffraction** en sont les principaux événements marquants.

Ils sont tous le résultat de **l'interaction des photons avec la matière**.

La science qui s'occupe de tout ça, c'est **l'optique**.

*(Tout ce qui va être dit ici est valable pour toute onde électromagnétique.)*



## 1) Notions de base

Un rayon lumineux est un **flux de photons**.

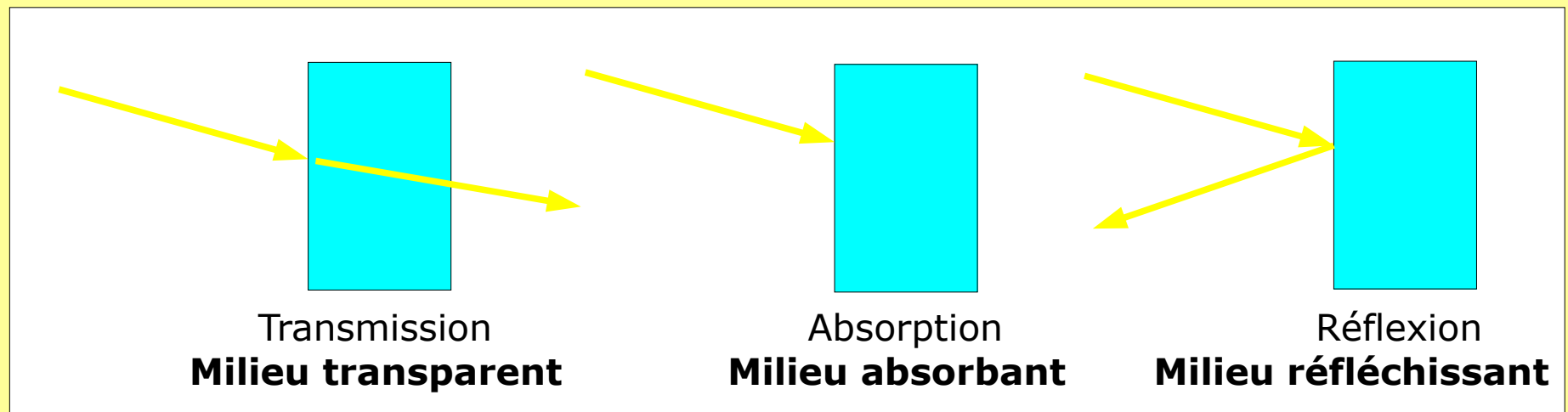
Dans le vide, ce rayon n'est pas perturbé (sauf cas de la courbure de l'espace temps...)  
Dans la matière, c'est autre chose...

Les propriétés optiques d'un milieu matériel sont nombreuses.  
Elles renvoient au comportement de la lumière qui les atteint.

**Transmission** : la lumière traverse le milieu matériel.

**Absorption** : la lumière est absorbée par le matériau. Elle ne traverse pas.

**Réflexion** : la lumière ne traverse pas le milieu matériel, elle est renvoyée par la surface.



La surface du matériau joue un rôle important. On l'appelle **dioptre**.

## 1. La transmission

Comment se déplace un rayon dans la matière ?

**Par sauts de puce !** (Diffusion de Rayleigh)

Chaque atome rencontré absorbe et ré-émet les photons sans les dévier ni modifier leur énergie.

Conséquence : Le rayon traverse la matière mais perd du temps.

La vitesse de la lumière dans la matière  $c_1$  est inférieure à sa vitesse dans le vide  $c$ .

**Indice de réfraction** d'un milieu transparent :  $n = c / c_1 > 1$

<b>Matériau</b>	<b>Indice de réfraction</b>
air	1
eau	1,33
verre	1,5
cristal	3,3

## 2. L'absorption

La transmission peut ne pas être parfaite. Dans ce cas, une partie ou toutes les rencontres entre la lumière et les atomes du matériaux se terminent en absorptions : aucun photon ne peut traverser.

*Exemples* : les **objets opaques noirs**, les filtres, les matériaux semi-transparents, etc.

### 3. La réflexion

Quand la lumière incidente ne peut traverser le dioptré, elle est réfléchiée, c'est-à-dire renvoyée par la surface du matériau.

*Exemples* : miroir, lunettes de ski, surface de l'eau mais aussi toute surface non-noire.

Ces trois propriétés de la matière (transmissivité, absorptivité, réflexivité) sont toujours présentes. Elles **dépendent de la longueur d'onde** (couleur) de la lumière.

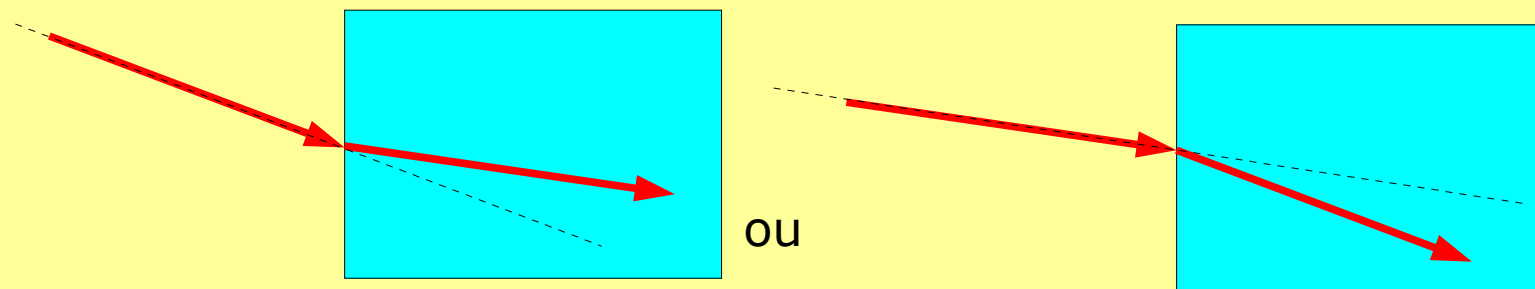
*Exemple* : un **verre teinté** réfléchit une partie de la lumière, absorbe une autre partie et laisse passer le reste.

## 2) Notions complémentaires

### 1. La réfraction

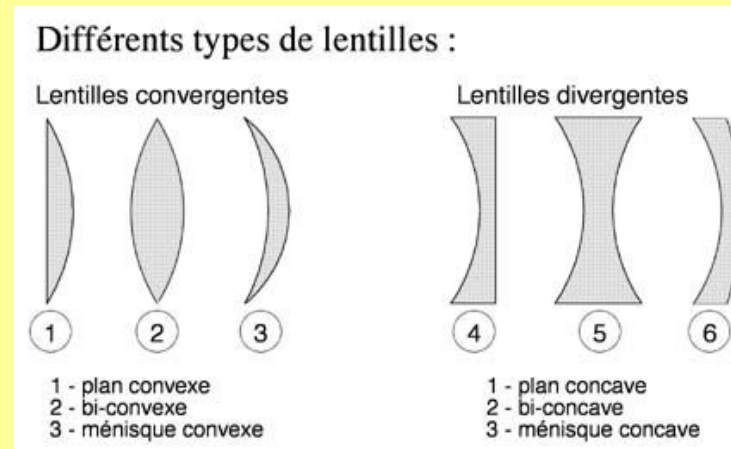
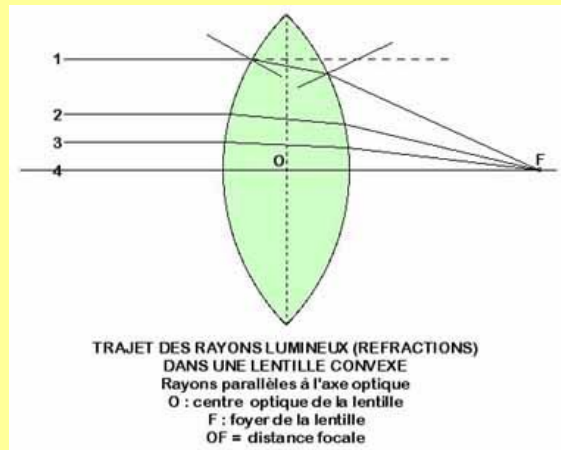
Phénomène apparaissant au passage d'un dioptré séparant deux matériaux d'indice de réfraction différents :

Le rayon incident est comme « brisé » au niveau du dioptré : la lumière est déviée.



L'angle du rayon transmis dépend de l'angle (Loi de Snell-Descartes)

C'est la réfraction qui est à l'origine des corrections optiques : lunettes, lentilles, etc.



## 2. La dispersion

Cet effet provient de la variation de l'indice de réfraction avec la fréquence de lumière. La déviation par réfraction variera donc en fonction de la couleur.

Un rayon *polychromatique* sera donc décomposé en traversant un milieu *dispersif*.

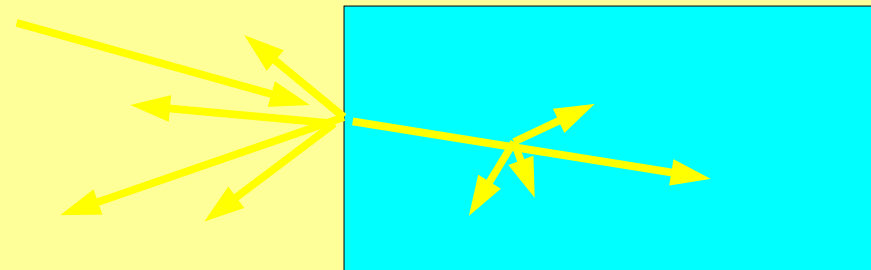
*Exemple* : le prisme, l'arc-en-ciel



### 3. La diffusion

Type de réflexion qui se fait dans de nombreuses directions à la fois (souvent toutes mais pas toujours), soit sur une seule surface, soit dans un volume.

*Exemple* :  
feuille de papier, écran  
brouillard, nuage  
bleu du ciel  
rayon de soleil qui poudroie  
Nuages de gaz interstellaires





### ***III – Analyse de la lumière***

Un rayon lumineux peut être monochromatique (une seule fréquence) ou polychromatique (plusieurs fréquences superposées).

La décomposition de la lumière selon ses fréquences par un matériau dispersif permet d'analyser composition de la lumière. On obtient ainsi le **spectre** de la lumière.

## 1) Lumière émise : spectre d'émission

Suivant la nature de l'émetteur et le processus d'émission.

*Haute énergie* : rayons gamma et X (trous noirs, étoiles, supernovae)

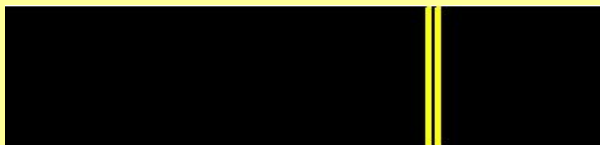
*Moyenne énergie* : UV, lumière, IR (étoiles, nébuleuses)

IR (planètes, poussières)

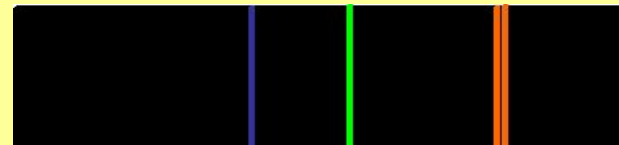
*Basse énergie* : Ondes radios etc. (pulsar ou étoile à neutrons)

Spectre d'émission d'éléments purs : **Présence de raies**

*Sodium*



*Mercure*



Analyser la lumière permet de retrouver les éléments émetteurs

**Analyser la lumière des étoiles permet de retrouver leur composants chimiques !**

Spectre d'émission des corps « noirs »

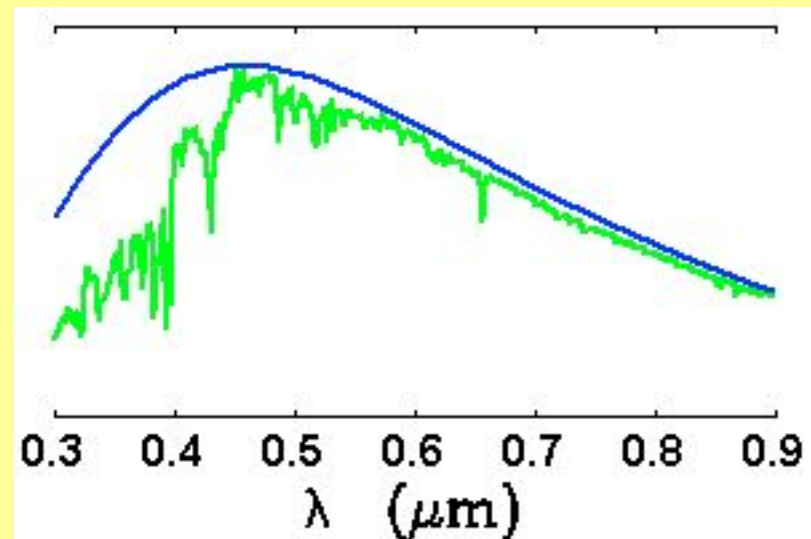
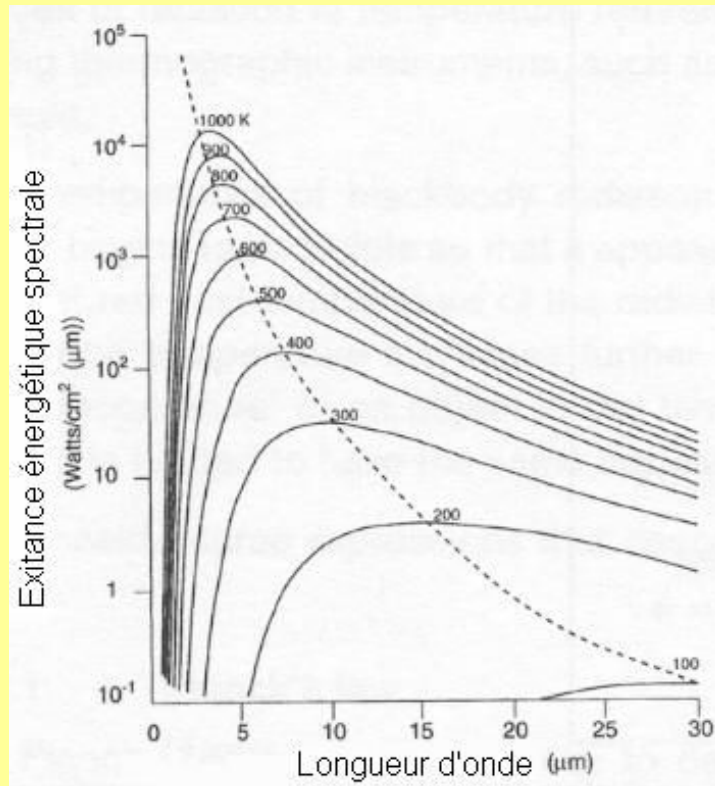
Un principe important : ***Tout objet matériel rayonne en fonction de sa température.***

Corps « noir » : objet purement absorbant (pas de réflexion ni de transmission)

*Exemple* : un four, un détecteur lumineux (chambre noire, oeil), objet incandescent

Le rayonnement des corps « noirs » à l'équilibre thermique suit la *loi de Planck*.

Le spectre est **continu**. (pas de raies)



**Spectre solaire** (bleu : corps noir, vert : réel)



La loi de Wien relie la température du corps à la longueur d'onde maximale.

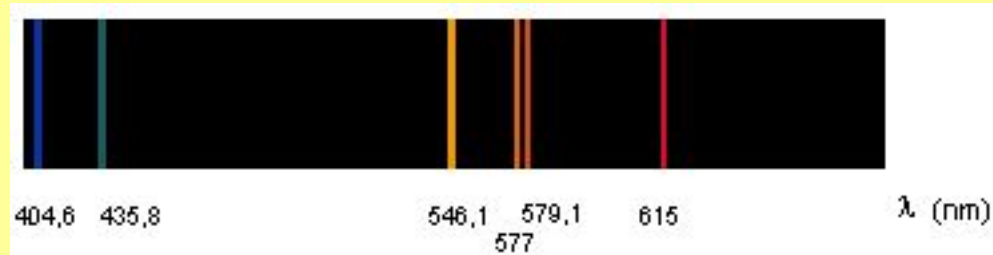
Objet ( corps noir)	Température (K)	Longueur d'onde	Domaine spectral
Étoile type O	50000	60 nm	Ultra Violet
Soleil	6000	0.5 microns	Visible
Terre	300	10 microns	Infra Rouge
Nuage moléculaire	20	0.15 mm	submm
Fond cosmologique	3	1 mm	Micro-onde

**Analyser la lumière des étoiles permet de retrouver leur température de surface !**

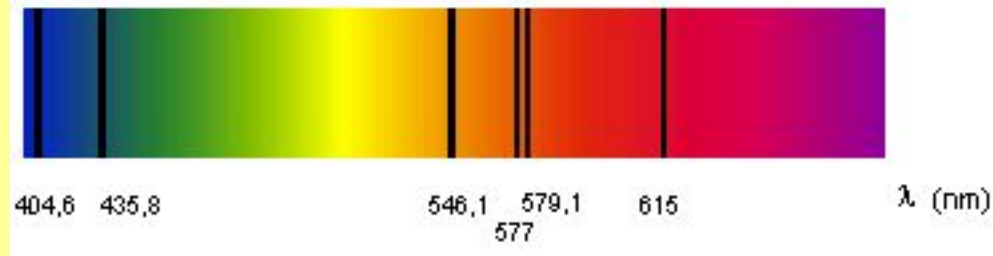
## 2) Lumière absorbée : spectre d'absorption

Émission et absorption sont liées. Les raies sont les mêmes.

*Spectre d'émission*



*Spectre d'absorption*



**Analyser la lumière des étoiles permet de déduire leur composition chimique mais aussi celle des nuages de gaz et de poussières traversés.**

Spectre solaire dessiné par Fraunhofer

