La lumière

...

Luberon sud Astro
Patrick Sogorb
14 Avril 2023 (v4)

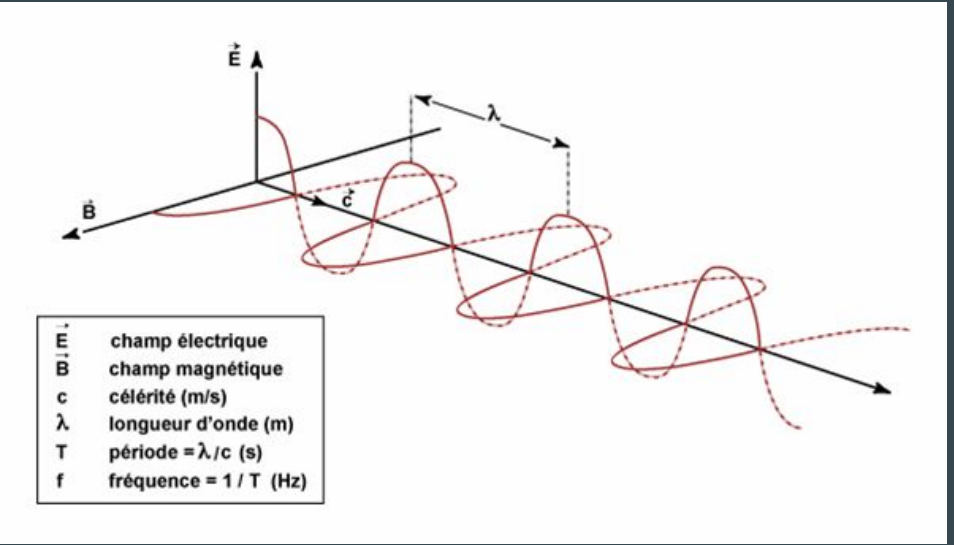
Contrairement à toutes les sciences, les astronomes ne peuvent toucher les objets de leurs études. La lumière qui nous parvient des astres est donc la seule source d'informations disponible.

Isaac Newton a été le premier à utiliser un prisme en verre pour décomposer la lumière du soleil. Il s'est aperçu que la lumière blanche était en fait un mélange de toutes les couleurs. Il découvrit aussi qu'il existe des lumières "invisibles", car un thermomètre placé à côté du spectre, du côté rouge, montrait une élévation de température.

Nature de la lumière

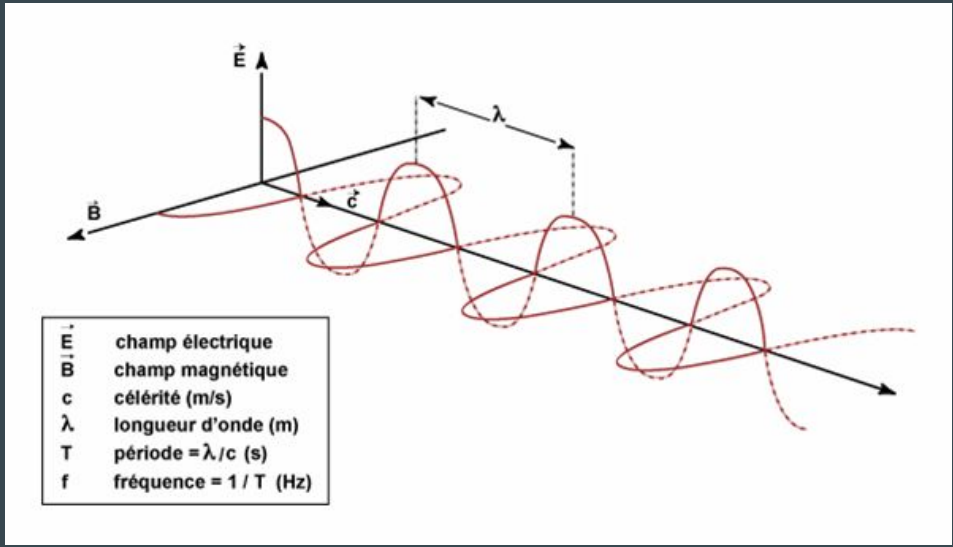
La lumière est une onde électromagnétique. Elle se déplace en ligne droite dans un milieu transparent homogène. Elle n'a pas besoin de support (contrairement au son par exemple, qui a besoin d'air) et peut donc se propager dans le vide.

Une des principale caractéristique de ce rayonnement est sa longueur d'onde, noté λ (lettre grec lambda).



Dualité onde-corpuscule

Le photon est un “grain de lumière. C’est le modèle “corpusculaire”, issu de la mécanique quantique. Il est donc considéré comme une particule de masse nulle. Son énergie transportée est directement liée à sa longueur d’onde.



Relation de Planck-Einstein

$$E = h \cdot \nu$$

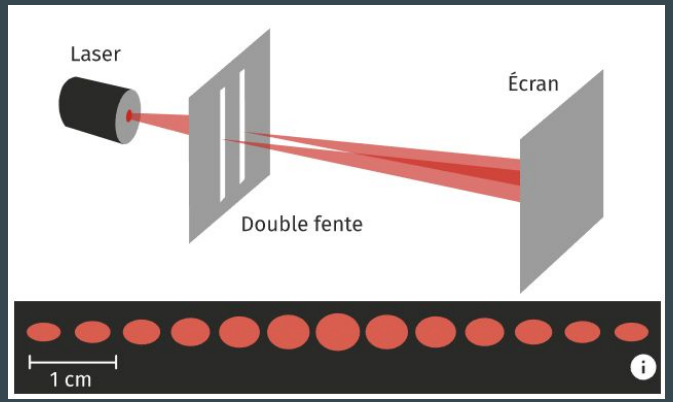
où :

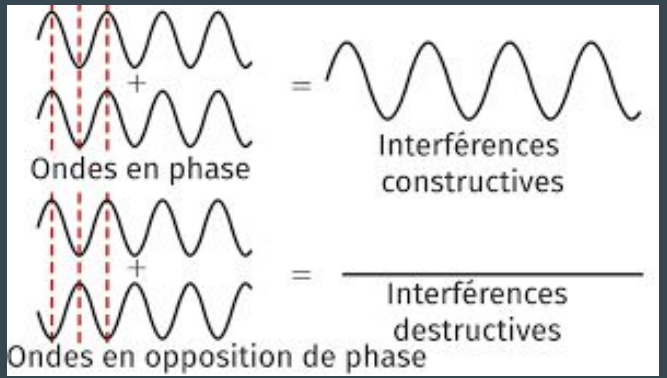
- E est l'énergie du photon (en joules) ;
- h est la constante de Planck dont une valeur approchée est : $h \approx 6{,}63 \times 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s}$;
- ν la fréquence (en hertz) de l'onde électromagnétique associée au photon considéré.

$$E = h \cdot c/\lambda$$

Dualité onde-corpuscule

L'expérience des fentes d'Young permet de faire des interférences entre deux faisceaux de lumière. Si les interférences existent c'est parce que la nature de la lumière est une ondulatoire.





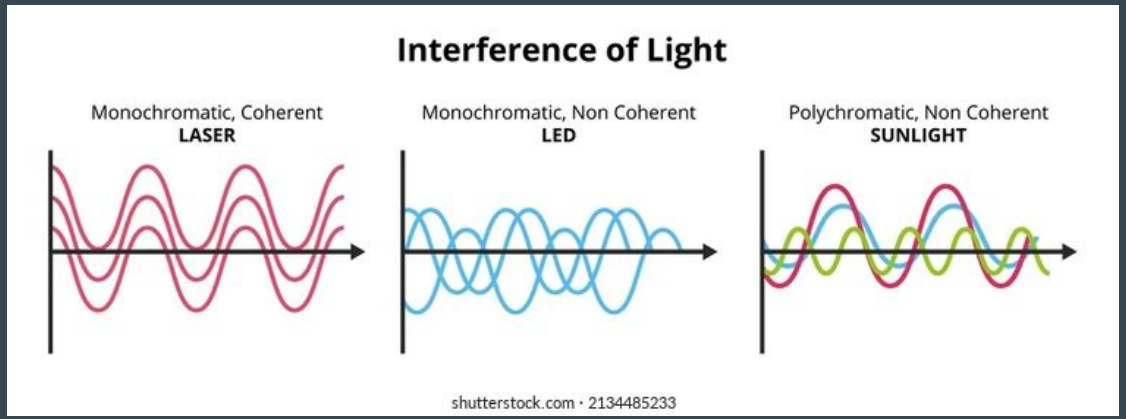
Dualité onde-corpuscule

Donc, selon les expériences que l'on réalise, on peut prouver que la lumière est corpusculaire, ou ondulatoire... Cette dualité traduit surtout le fait qu'il n'existe pas de modèle permettant de décrire correctement tous les aspects de la lumière. Nous sommes donc obligés d'utiliser deux modèles différents en fonction des points de vue.

Cohérence de la lumière

On dit qu'un faisceau lumineux est cohérent, lorsque tous les photons sont en phase. Il faut donc deux conditions pour y arriver:

- Tous les photons doivent avoir exactement la même longueur d'onde
- Ils doivent êtres émis sur la même phase (effet laser)



La vitesse de la lumière

La vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide a tout d'abord été découverte par le calcul à l'aide des "équations de Maxwell". On calcula donc cette vitesse à environ 300 000 km/s. Cette constante physique est noté "c"

Par la suite, on parvient à mesurer physiquement la vitesse de la Lumière et le résultat est identique, dernière preuve, s'il en fallait une, que la lumière visible était bien une onde électromagnétique.

A noter que la relativité d'Einstein à montré que cette vitesse est une limite que ni la lumière, ni les particules massives ne peuvent dépasser.

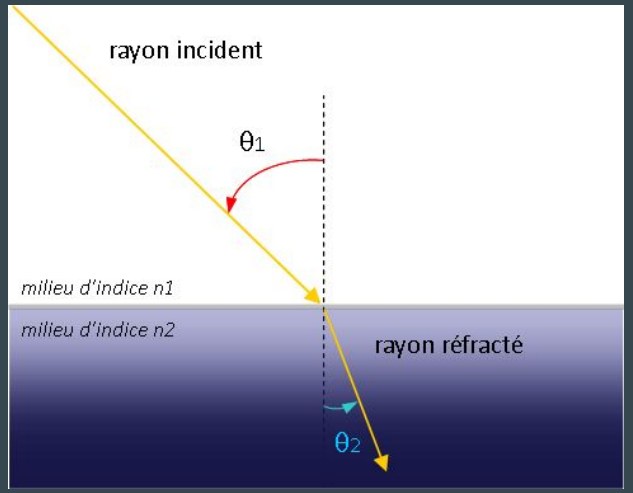
La vitesse de la lumière

Cependant, dans les milieux transparents (eau, verre, gaz, cristaux...). La vitesse de propagation est inférieure à celle de la vitesse dans le vide. Le rapport des vitesses est alors appelé “indice de réfraction du milieu”.

On peut noter que dans ces milieux où la vitesse de la lumière est inférieure à “c”, les particules massives peuvent voyager plus vite que la lumière. Cela laisse un rayonnement bleu caractéristique appelé “effet Tcherenkov”.

La vitesse de la lumière

Cet indice de réfraction se manifeste notamment par une déviation de la direction de propagation de la lumière au niveau de l'interface entre deux milieux.



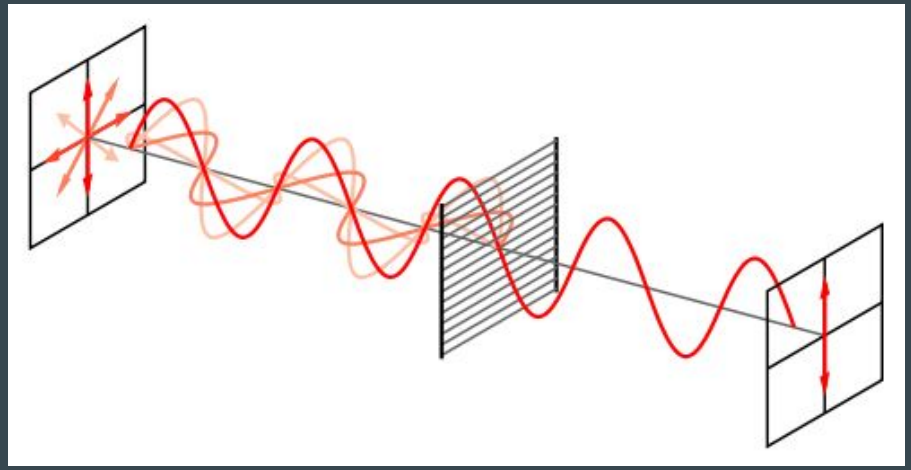
La déviations suit la lois de Descarte qui se formule ainsi:

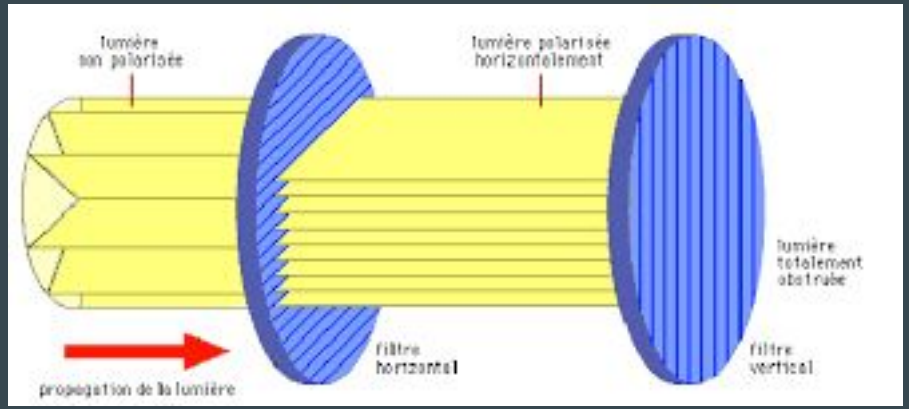
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Quelques indices de réfraction:
Vide: 1 - Air: 1,000293 - Eau: 1,33 - Verres: 1,45 à 1,8 - Cristaux: jusqu'à 2,4

La polarisation

La lumière “vibre” dans un plan perpendiculaire à son déplacement. Pour la lumière ordinaire, les plans sont aléatoires. Mais un filtre polarisant permet de ne sélectionner que les ondes ne vibrant que dans un seul sens. Deux filtres polarisants croisés parviennent donc à bloquer totalement la lumière.





La polarisation

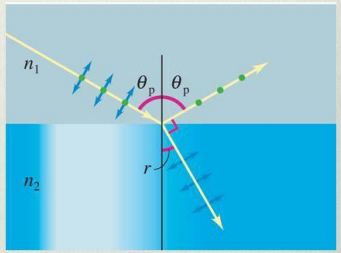
L'émission de lumière par des atomes plongés dans champ magnétique est partiellement polarisée. => étude de l'atmosphère des étoiles.

Une réflexion sur une surface vitreuse ou aqueuse (par opposition à surface métallique) polarise aussi la lumière. Cette polarisation est maximale à "l'angle de Brewster" qui dépend de l'indice de réfraction du milieu (typiquement 57° pour un verre ordinaire). En astronomie amateur, les principales applications sont l'utilisation de filtres absorbants variables pour observations lunaire ou solaire (cas des prismes de Herschel)

La loi de Brewster

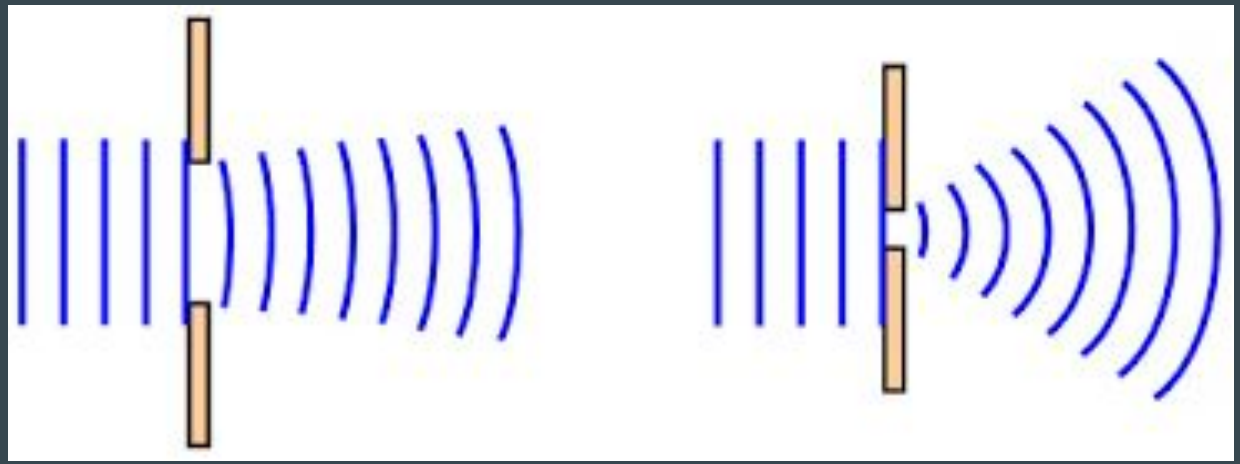
- Si l'angle d'incidence est égal à l'angle de polarisation θ_P, le rayon réfléchi et le rayon réfracté sont tous les deux polarisés.

$$\tan\theta_P = \frac{n_2}{n_1}$$



Diffraction

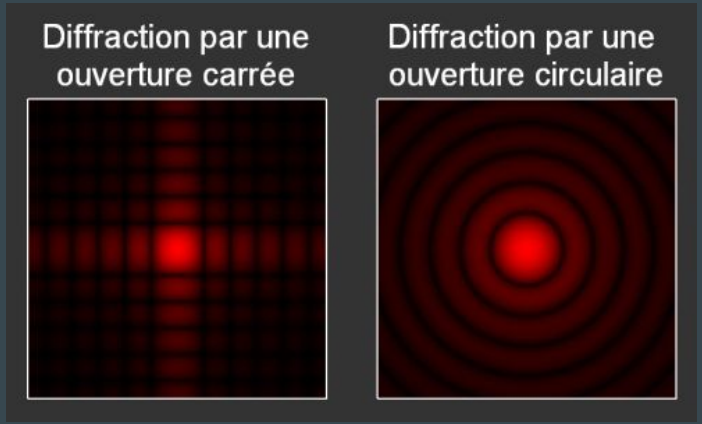
Une des caractéristiques notables de la lumière est la diffraction. Lorsque le trajet de la lumière passe par une limitation (diaphragme ou bord d'une optique), une partie de la lumière ne suit pas le trajet géométrique.

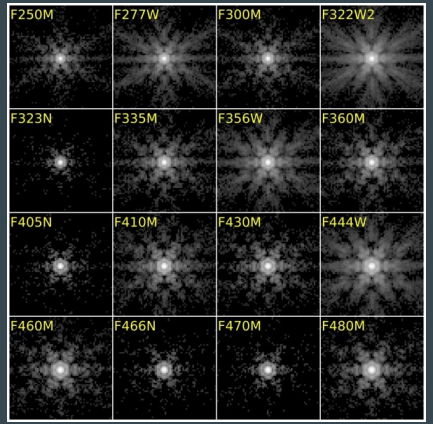


Diffraction

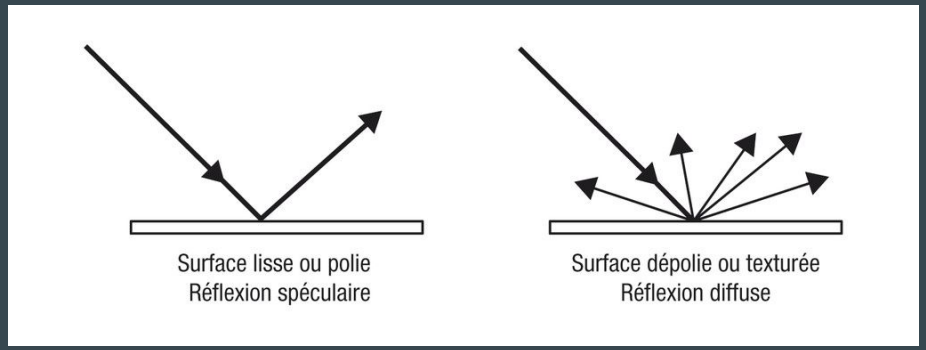
La lumière les différents faisceaux lumineux diffractés interférant ensuite, il en résulte que l'aspect d'un objet ponctuel vu avec une optique n'est pas un point infiniment petit, mais une figure d'Airy, dont la taille du spot central dépend du diamètre de l'ouverture et de la longueur d'onde.

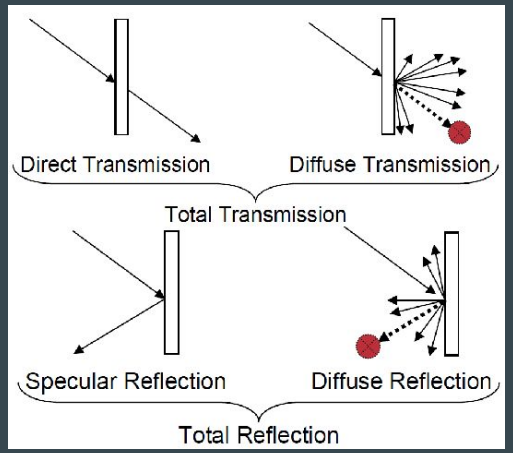
$$\theta \simeq 1{,}22\,\frac{\lambda}{d}.$$





Réflexion/transmission spéculaires et diffuses

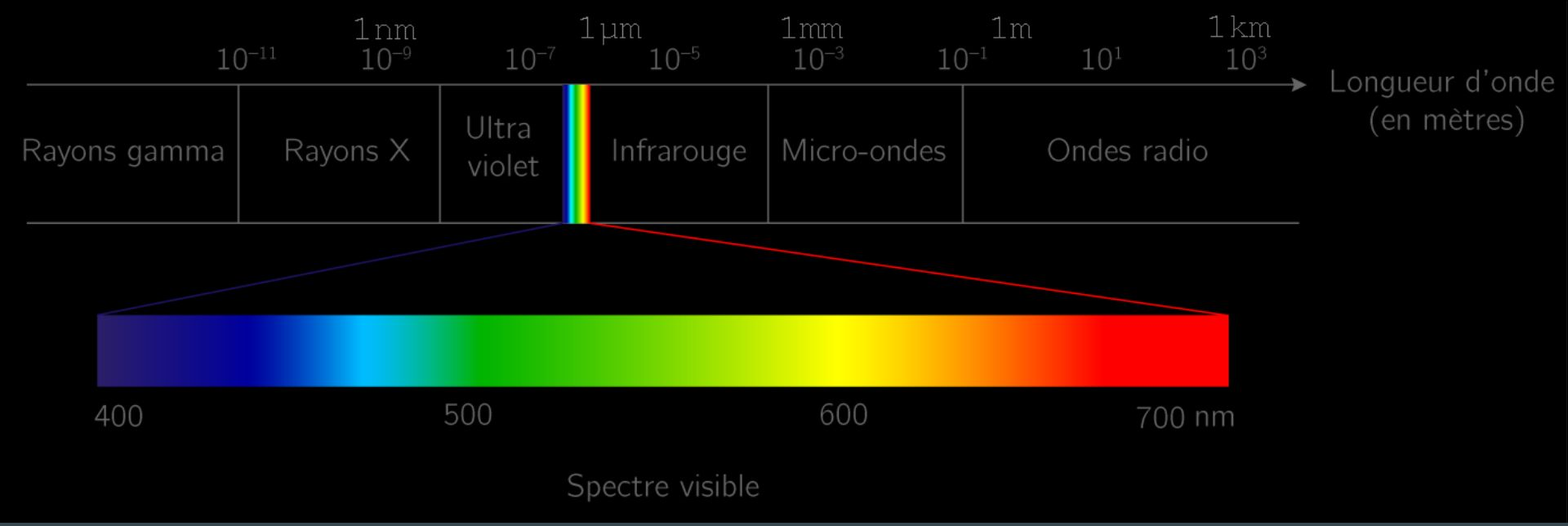




Une réflexion sur une surface peut être parfaite (cas du miroir) = réflexion spéculaire, où à l'inverse, diffuse (cas d'une surface blanche mate). De la même manière, une transmission peut être parfaite (verre), ou diffuse (papier calque).
De plus, le matériau n'est pas parfait et peut entraîner une absorption d'une partie de la lumière.

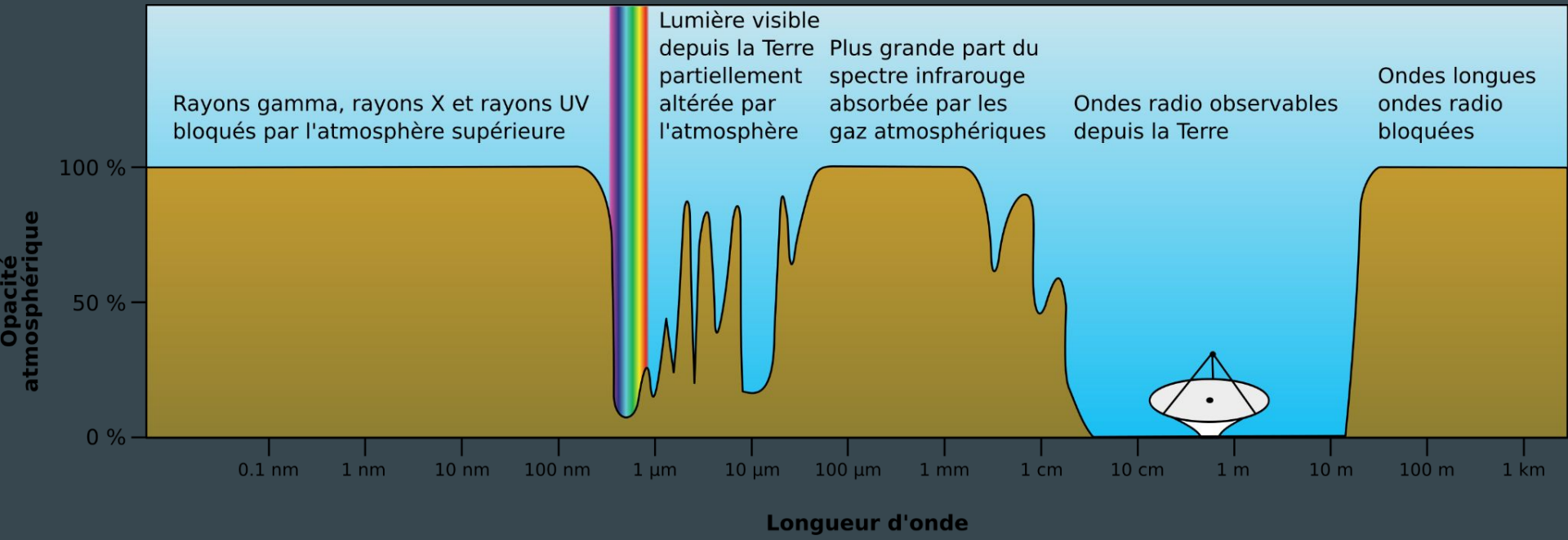
Différents modes de propagations de la lumière

Transmission
Réfraction
Réflexion
Diffusion
Diffraction
Absorption



La lumière visible ne représente qu'une toute petite partie du spectre électromagnétique.
La nature de l'œil a évolué pour se caler sur la lumière que l'on reçoit sur Terre (en raison de la lumière solaire et de l'absorption atmosphérique).

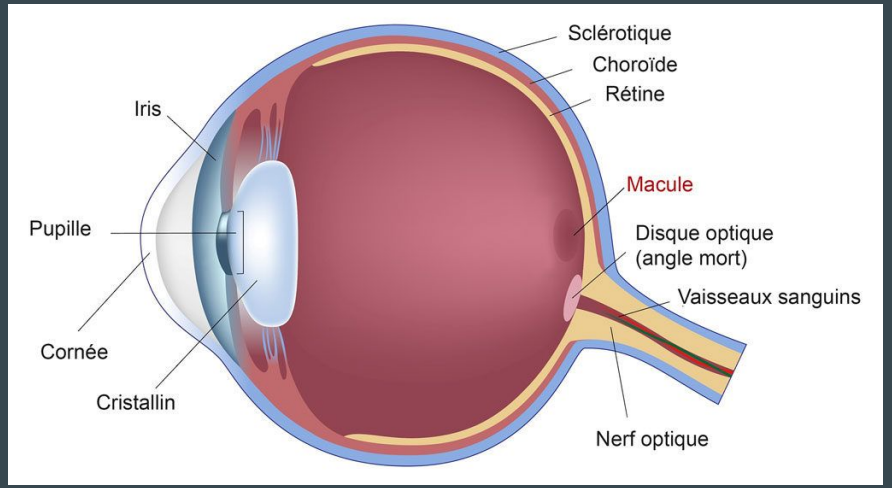
Transmission spectrale de l'atmosphère



L’oeil et la lumière

L'œil fonctionne comme un appareil photo. La cornée et le cristallin en sont l’objectif. Le diamètre utile de l’objectif est réglable en fonction de la luminosité via l’iris.

Et l’image, vient se former (à l’envers) sur le fond, la rétine. La rétine est tapissée de cellules sensibles à la lumière qui transmettent l’information au cerveau via le nerf optique.

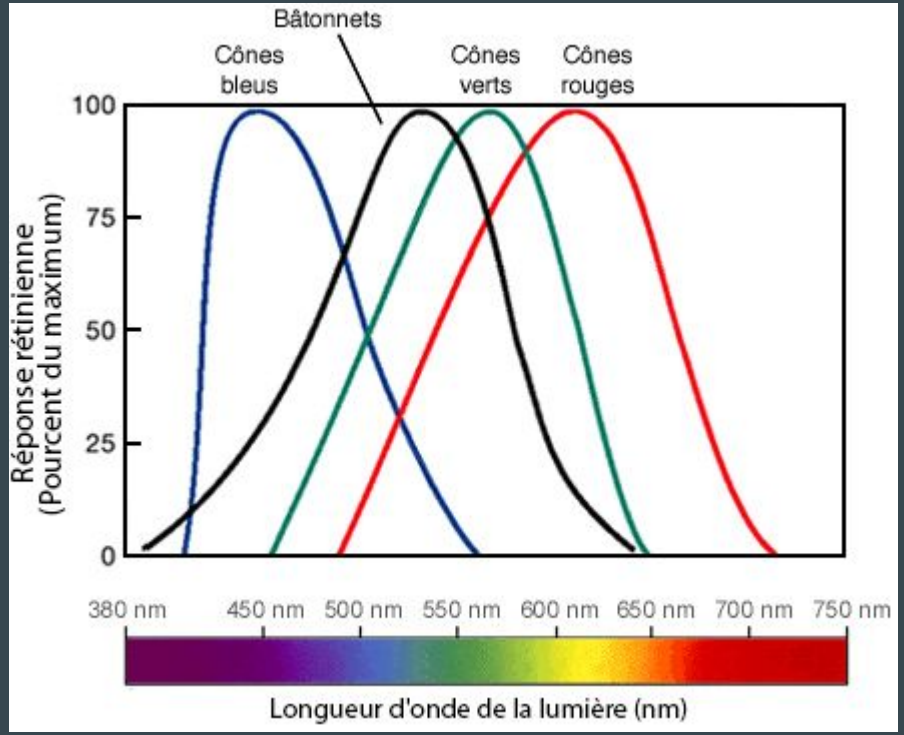


L’oeil et la lumière

La rétine de l'œil est tapissée de 4 types de récepteurs.

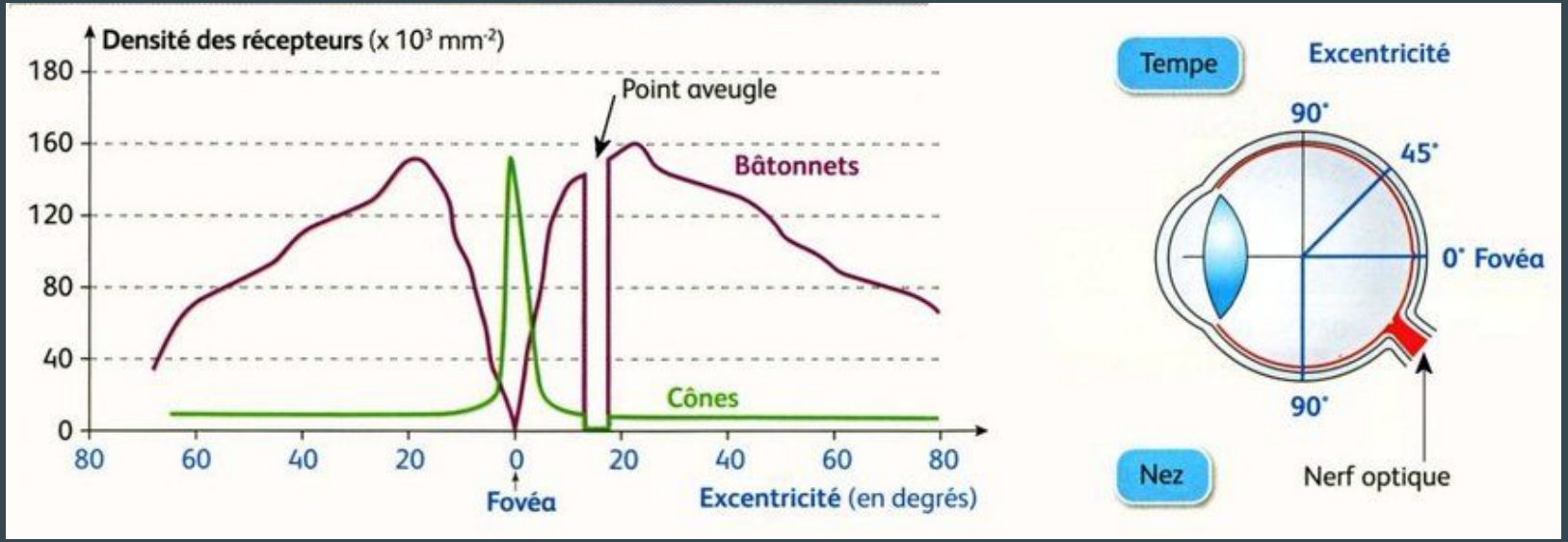
Il existe trois types de cônes, sensibles au rouge, vert et bleu, les cônes sont peu sensibles, car adaptés à la vision de jour, mais permettent une vision en couleur, avec une haute définition, au centre de la vision.

On trouve aussi les bâtonnets, beaucoup plus sensibles, impliqués dans la vision de nuit, situés plutôt à la périphérie. Ils ne permettent pas de voir en couleur, mais sont spécialisés sur la détection des mouvements et des basses lumière, avec une résolution moins bonne que celle des bâtonnets.



L’oeil et la lumière

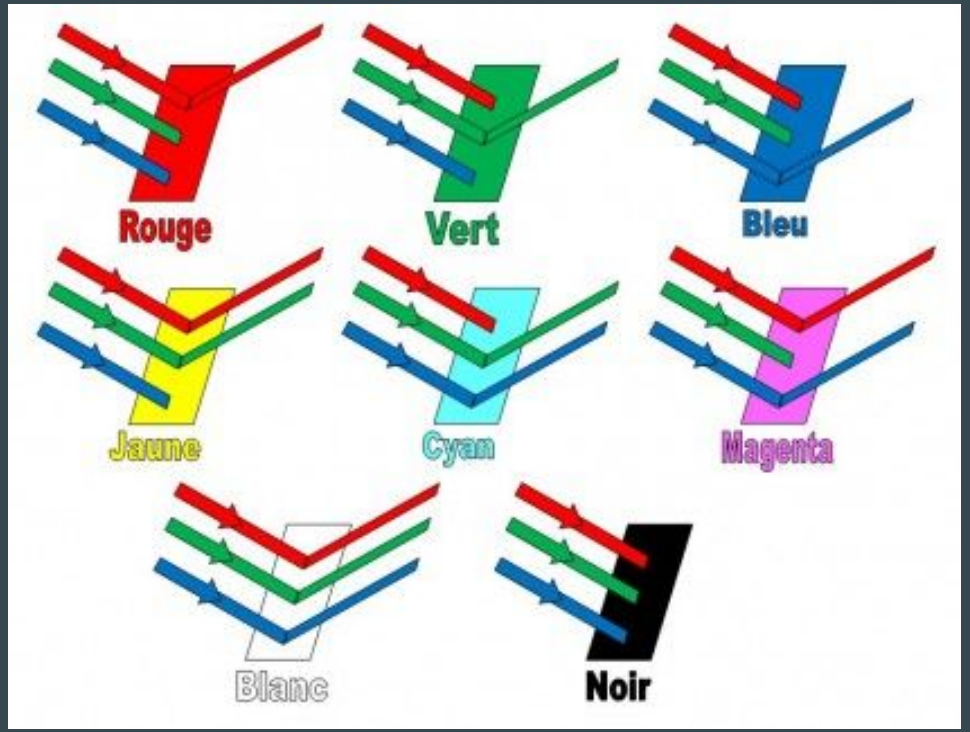
On peut constater que la densité des bâtonnets sur la rétine est maximum à environ 20° de l’axe de l'œil. C’est pourquoi, lorsque l’on observe des objets très faibles dans un télescope, on les voit mieux en regardant “à côté”.



Cas des couleurs obtenues par réflexion / absorption

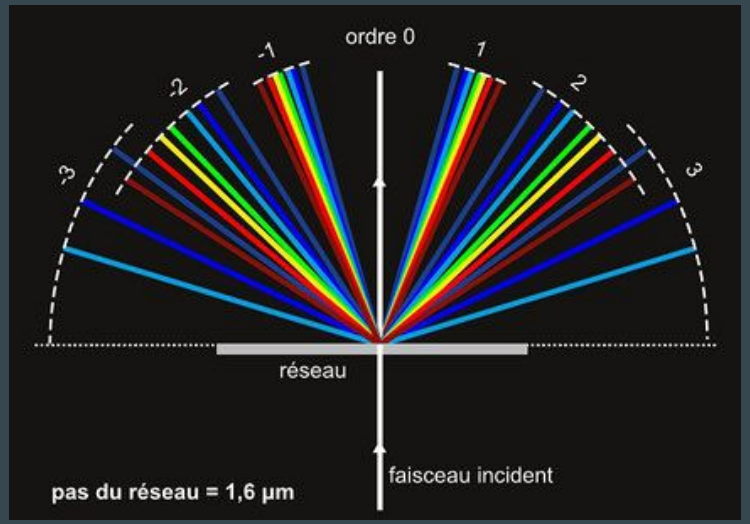
Une objet coloré, est une surface qui ne réfléchit pas la lumière de façon identique pour toutes les longueurs d'onde. Lorsque l'on éclaire un objet avec une lumière blanche (symbolisée par les couleurs Rouge Vert et Bleu sur le schéma), les surfaces peuvent absorber que certaines longueurs d'ondes. Ce déficit de certaines longueurs d'onde est alors traduit par l'oeil et le cerveau comme une coloration de la surface.

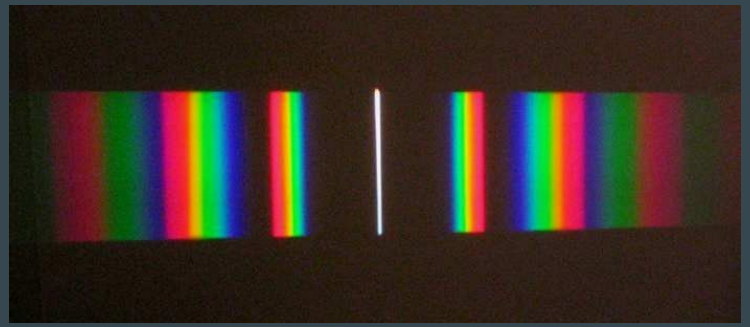
On peut noter que dans la nature seules les longueurs d'onde existent. Les couleurs n'existent pas. Elles sont issues de la physionomie humaine (oeil-cerveau).



Décomposer la lumière pour l'étudier

Il existe deux types de "disperseurs" pour décomposer la lumière: le prisme en verre (basé sur la réfraction) et le réseau (basé sur la diffraction et les interférences).



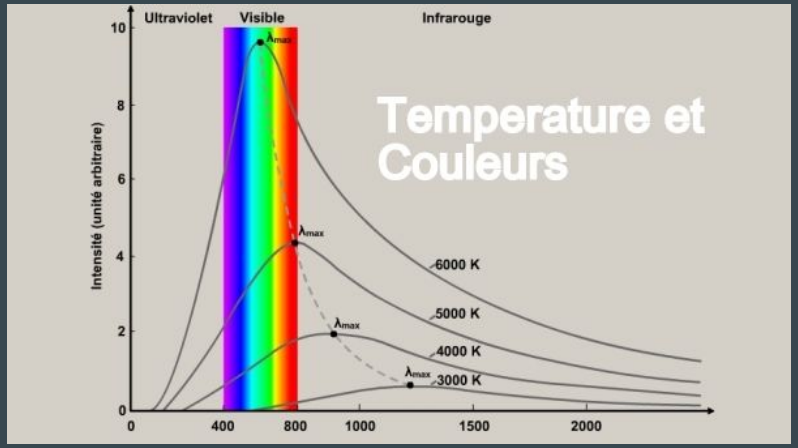


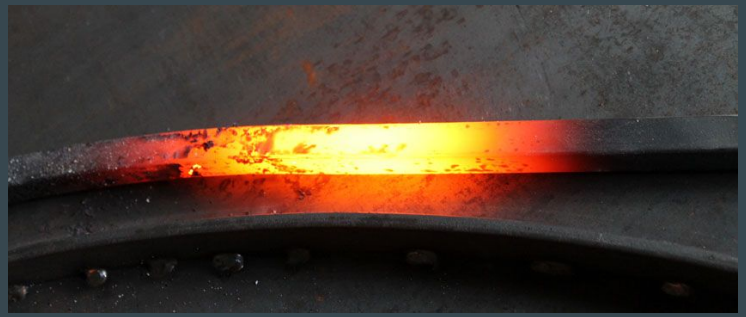
Rayonnement du corps noir

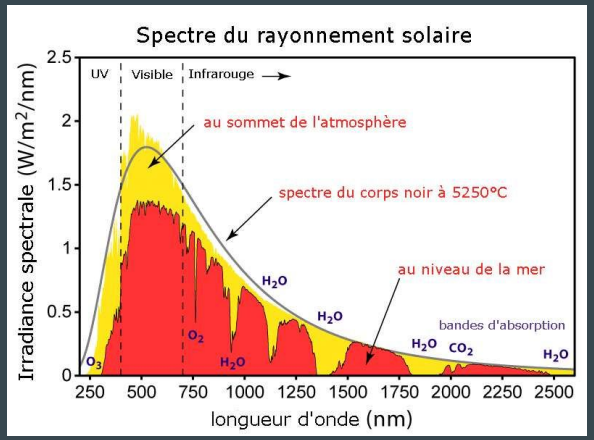
Tout corps isolé, à température supérieure au zéro absolu, émet un rayonnement spontané. C'est la conversion de l'énergie thermique en énergie électromagnétique.

Il existe un lien direct entre la température du corps et la longueur d'onde du maximum d'émission.

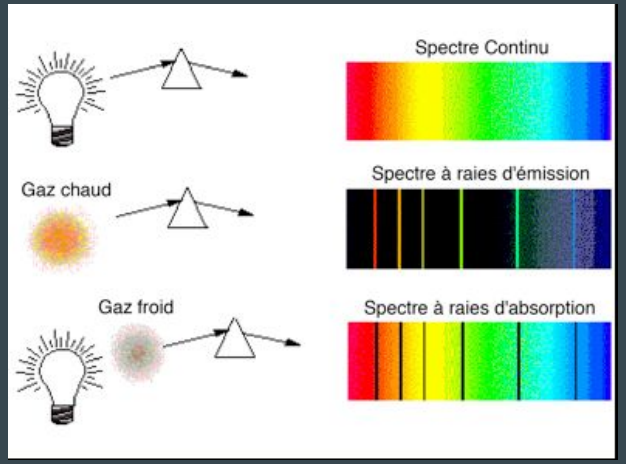
En faisant le spectre d'un objet, et en mesurant la longueur d'onde à laquelle il rayonne le plus, on peut donc en déduire la température de la surface visible. De manière plus simple, c'est ce qui nous permet de dire que les étoiles rouges sont froides, alors que les étoiles bleues sont chaudes.

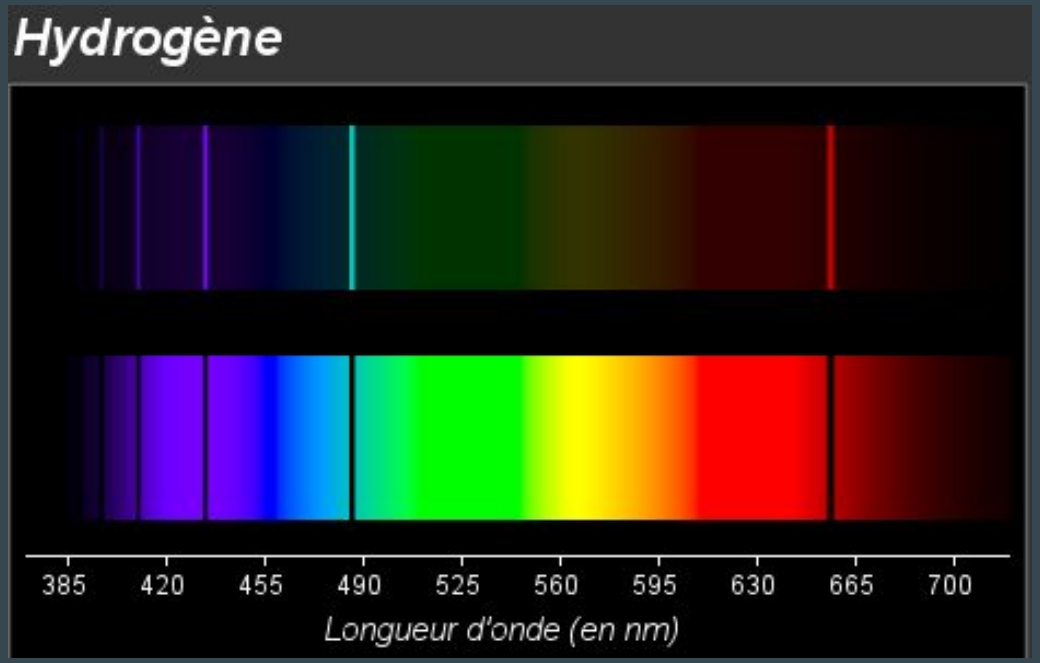




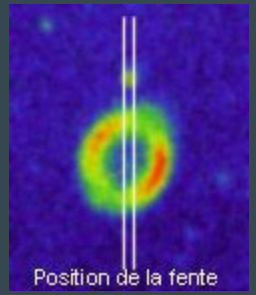


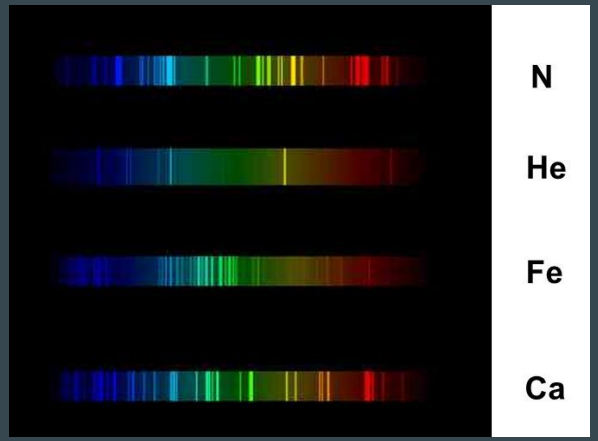
Spectres continus, d'émission et d'absorption



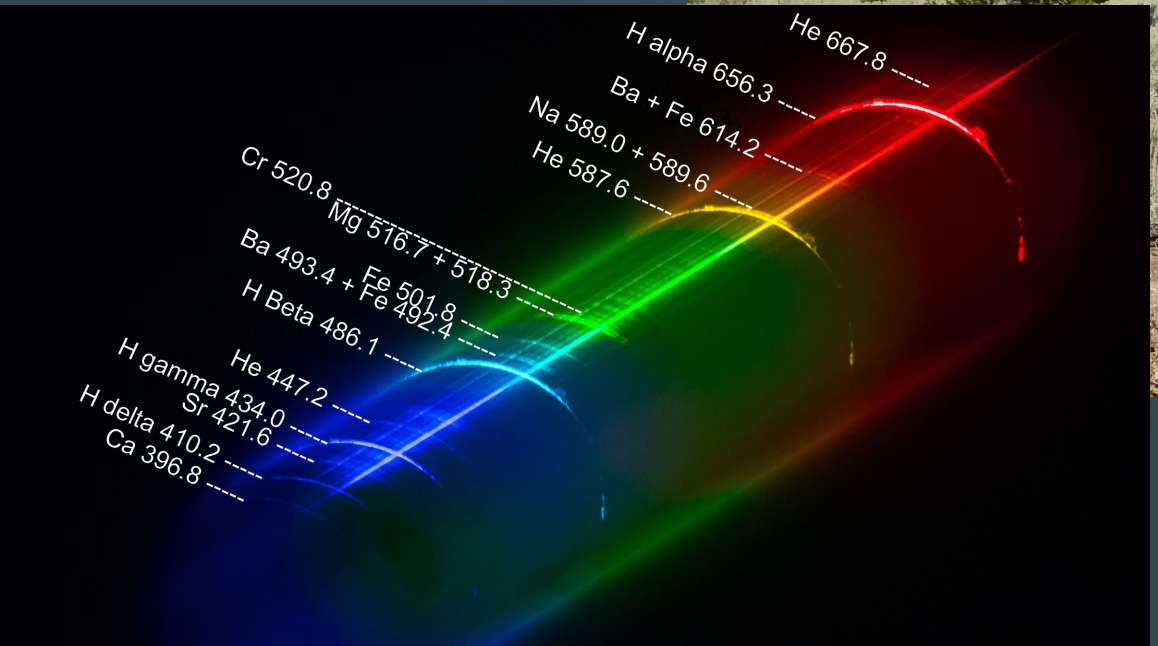


Spectre de nébuleuses

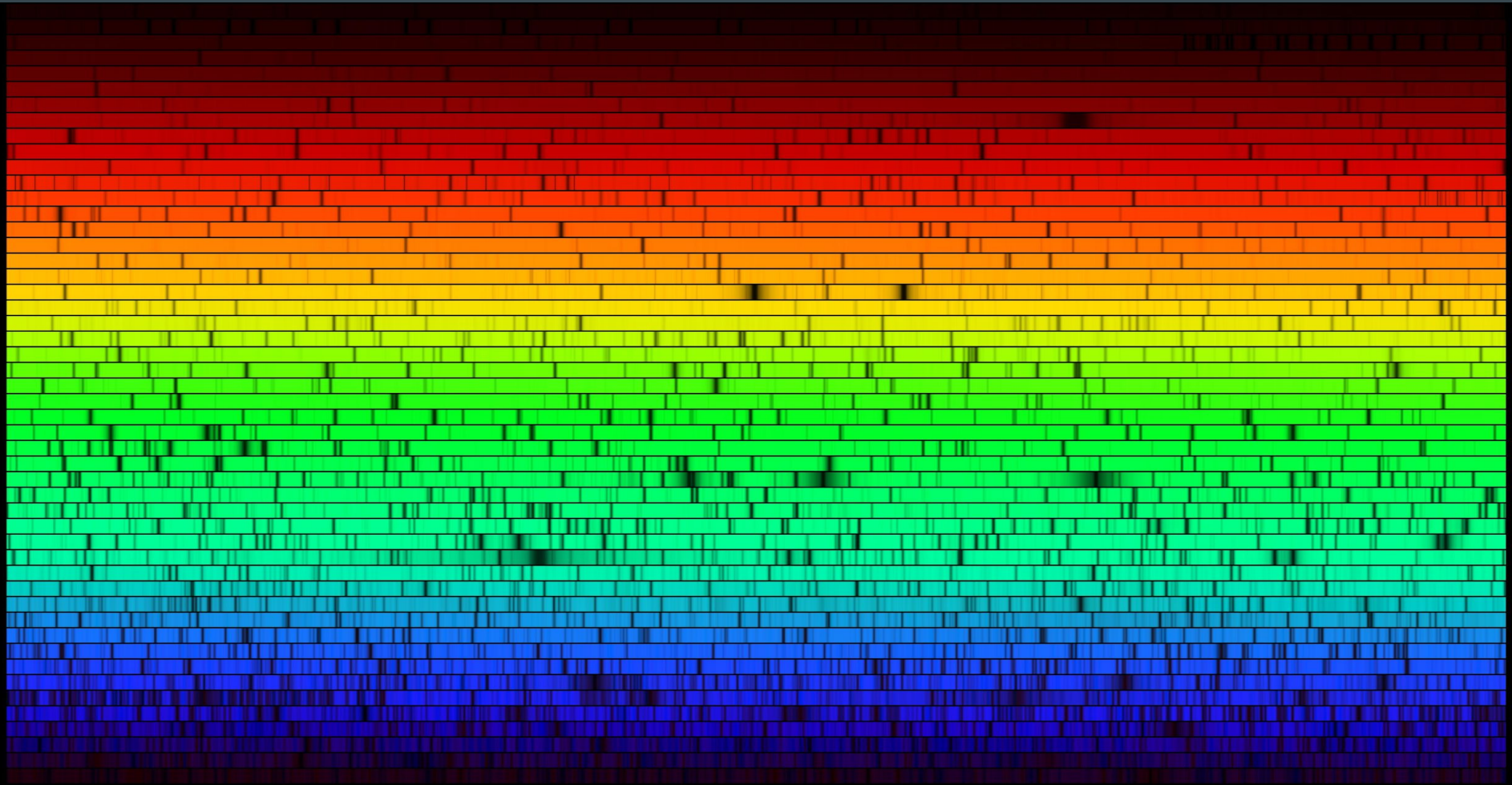




Spectre de la Chromosphère du Soleil Eclipse du 21 Août 2017



Spectre solaire à haute résolution



Fin.
Des questions?