

La lumière, seul matériau à la disposition des astronomes

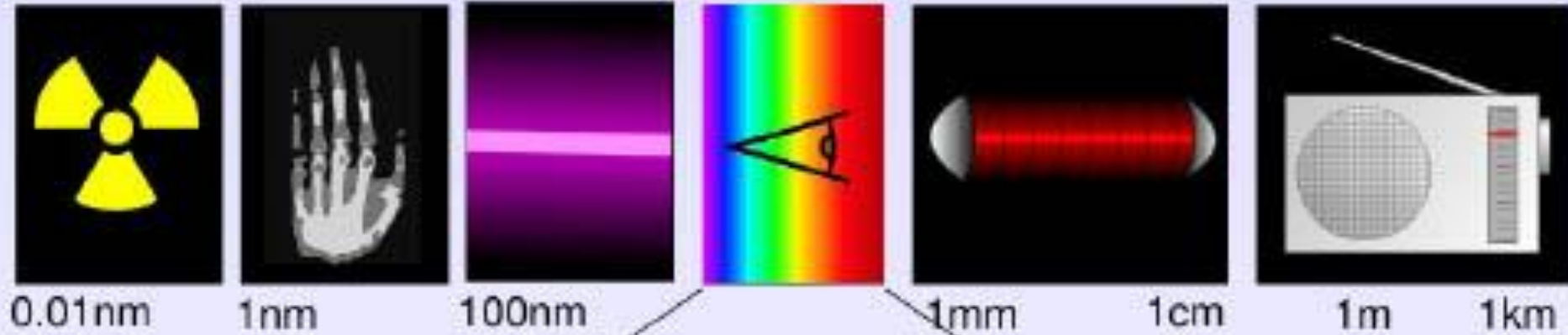
École d'été « l'univers à la portée de tous »

23-26 août 2017

La lumière

- Qu'est-ce que la lumière?
- C'est une onde électromagnétique que nous percevons avec nos yeux
- Les couleurs sont des longueurs d'onde différentes
- Certaines « couleurs » ne sont pas visibles par l'œil humain (ultra violet et infra rouge)

Le spectre électromagnétique

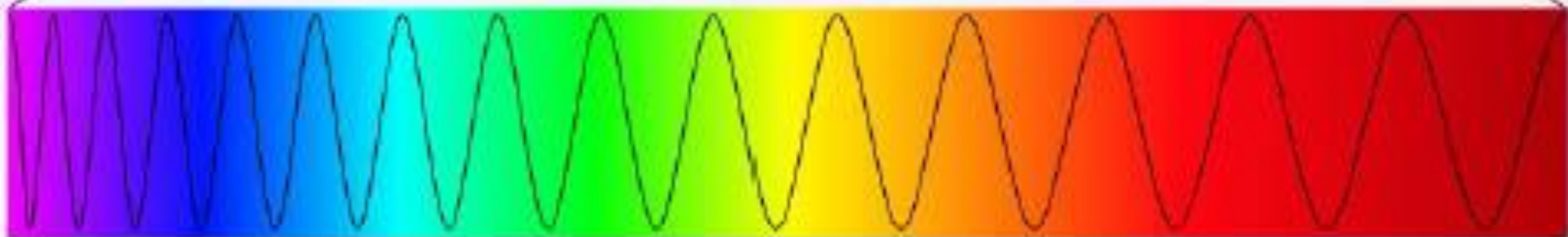


0.4 à 0.7 micromètre → visible

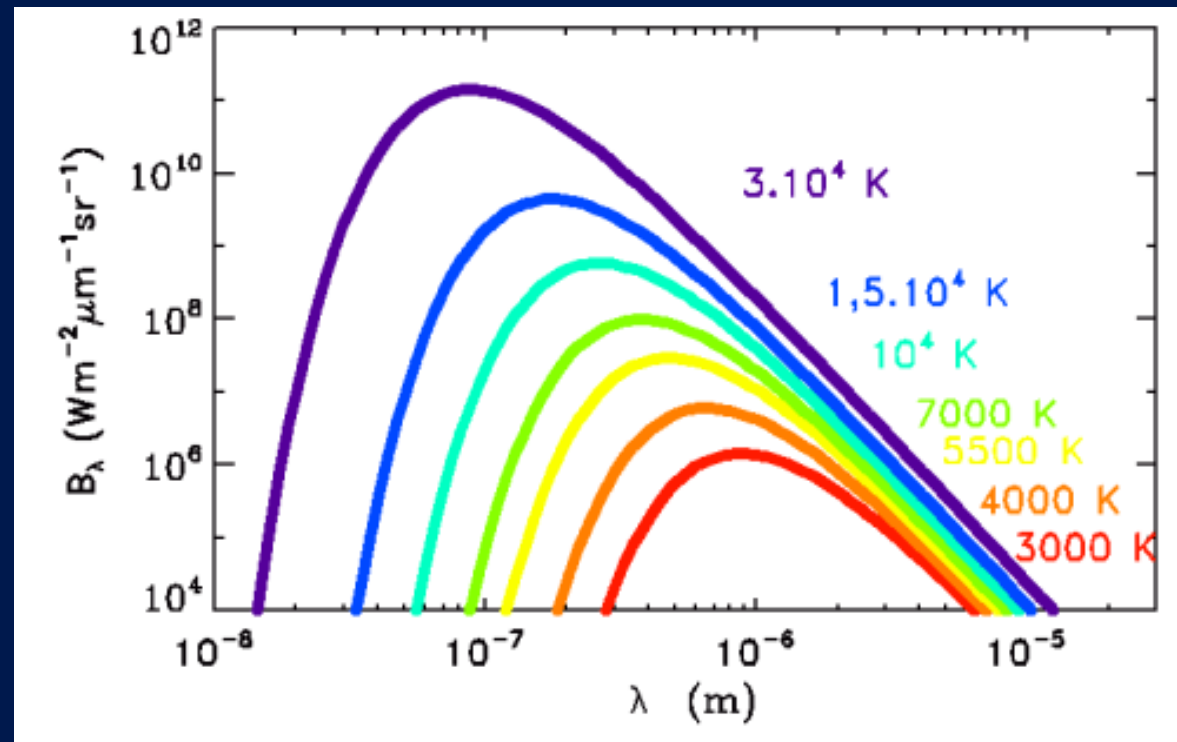
de 0.1 à 10 micromètres → optique

400nm

700nm



Le « corps noir »



- La notion de corps noir est simultanément simple et complexe.
- Simple, car la situation du corps noir représente une situation d'équilibre thermodynamique entre la matière et son rayonnement. Et l'Univers comme les étoiles sont de bons corps noirs.
- Complexe, par les pièges du langage - rien de moins noir qu'un corps noir - et par les multiples accroc à l'équilibre précédemment cité : l'étude d'un spectre stellaire est justement intéressante par ses écarts au corps noir.

Loi de Wien

- En notant L la longueur d'onde du maximum de luminance spectrale et T la température, on a:

$$L \times T = \text{constante}$$

- Le calcul de cette constante donne :

$$2,89 \times 10^{-3} \text{ K m}$$

objet (corps noir)	température (K)	longueur d'onde	couleur de température
étoile type O	50 000	60 nm	UV
soleil	6 000	500 nm	visible
Terre	300	10 000 nm	IR thermique

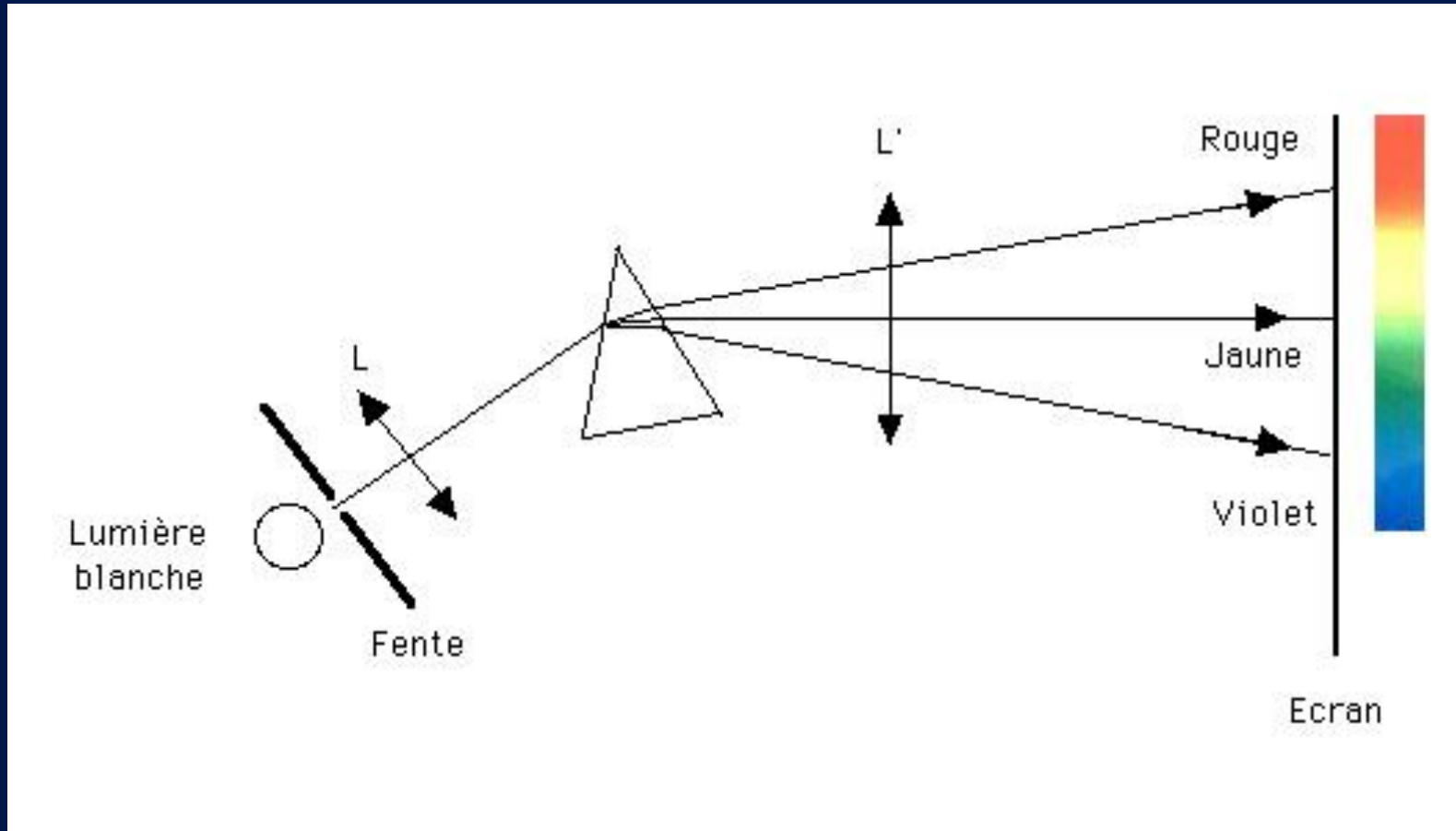
Les lois de Kirchoff

- Les conditions de formation des différents spectres sont regroupées sous forme de lois, que l'on appelle *les lois de Kirchoff*.
- Un gaz, un solide ou un liquide à pression élevée, s'ils sont chauffés, émettent un rayonnement continu qui contient toutes les couleurs.
- Un gaz chaud, à basse pression, émet un rayonnement uniquement pour certaines couleurs bien spécifiques : le spectre de ce gaz présente des raies d'émission.
- Un gaz froid, à basse pression, situé après une source de rayonnement continu, en absorbe certaines couleurs, produisant ainsi dans le spectre des raies d'absorption.

Les lois de Kirchoff

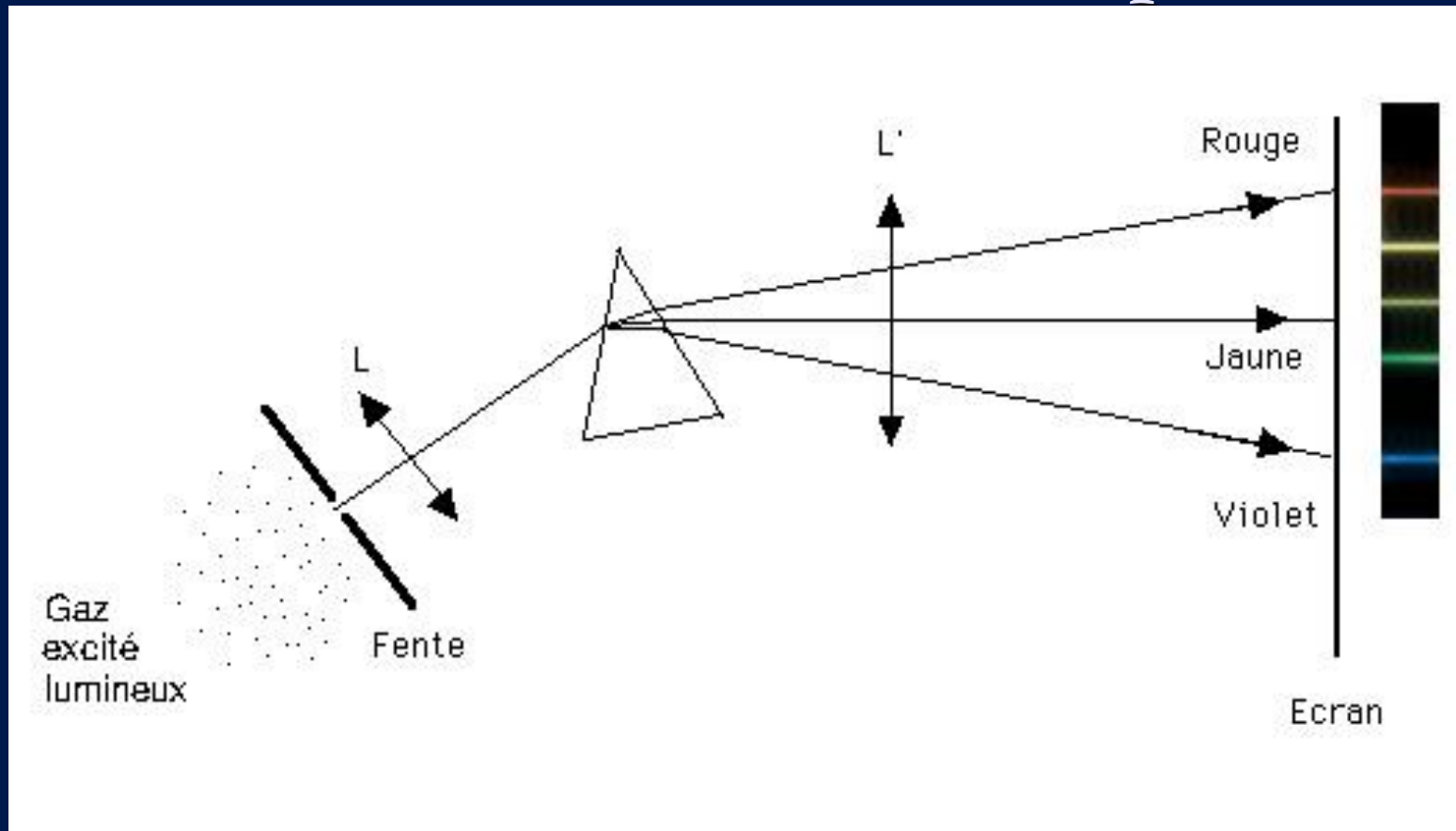
- Ces lois sont fondamentales pour la spectroscopie et nous permettent ainsi de comprendre les spectres des astres. En effet, le Soleil et les étoiles émettent un spectre continu : on en déduit alors que les étoiles sont formées d'un gaz sous pression, à température élevée. Ils rayonnent comme les corps noirs.
- Le spectre du Soleil présente des raies d'absorption, qui caractérisent les éléments chimiques constituant son atmosphère. En effet sa température varie de plusieurs millions de degrés, au centre, à quelques 5800 K en *surface*. Ainsi le rayonnement continu émis par le gaz chaud subit une absorption par le gaz qui constitue son atmosphère et qui est plus froid. On a ainsi accès la composition de son atmosphère car l'absorption est sélective, elle est caractéristique des éléments chimiques contenus dans celle-ci. On peut en conclure que l'atmosphère du Soleil est constituée d'un gaz sous basse pression.
- Dans une grande variété de corps célestes, telles les comètes et certaines étoiles, on peut également observer des spectres d'émission. On en déduit que ces objets sont composés de gaz chaud à basse pression.

Comment la lumière nous parle



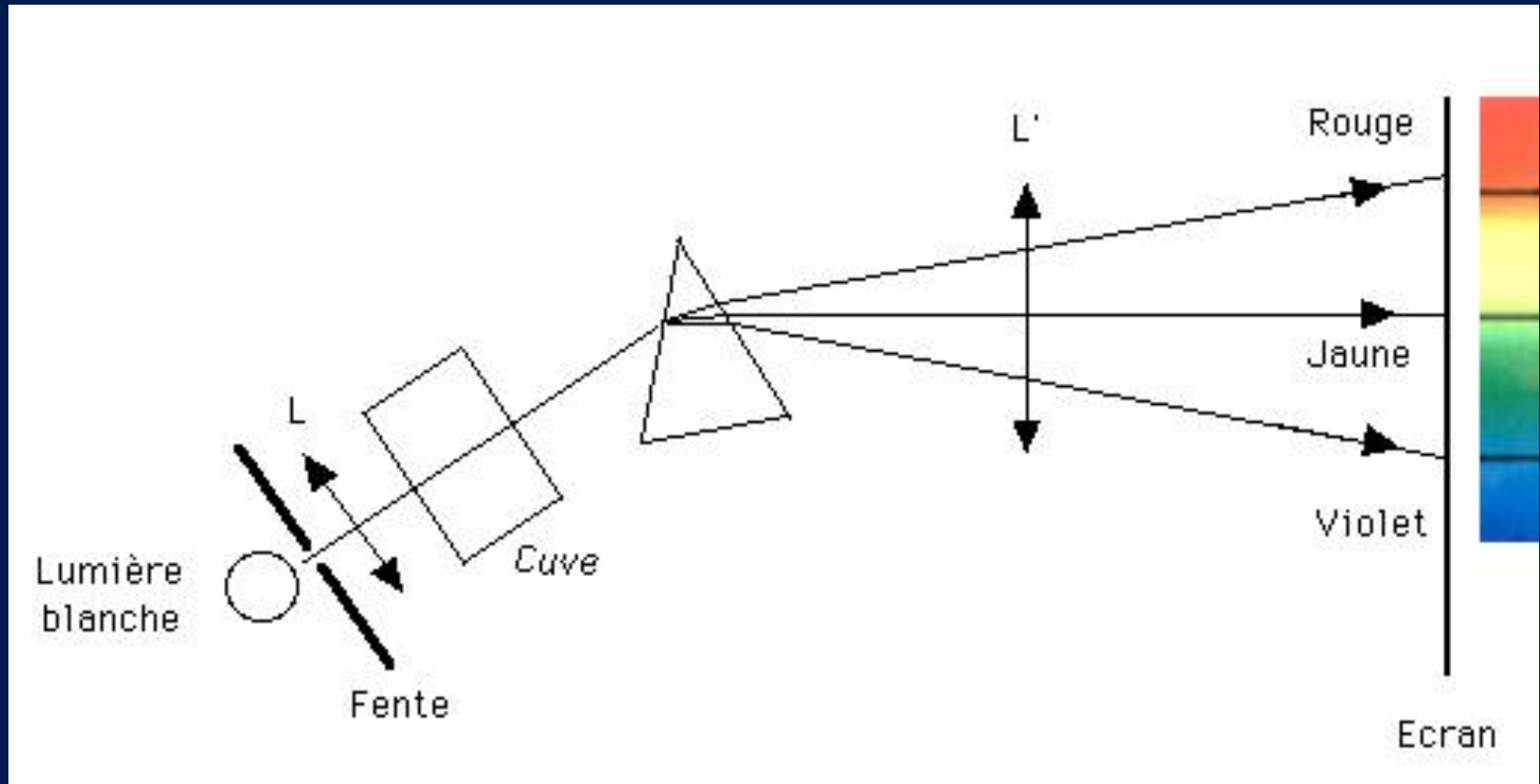
- La lumière blanche est décomposée un **spectre continu**, car on passe d'une couleur à une autre sans interruption dans la succession des couleurs.
- Expérimentalement on constate que tout corps (gazeux ou solide) sous haute pression et à haute température, donne naissance à un spectre continu de lumière.

Comment la lumière nous parle



- Un gaz, à basse pression et à température élevée, émet un nombre restreint de radiations : on obtient un **spectre de raies d'émission**.
- Les couleurs et les positions des raies dans le spectre sont caractéristiques des atomes du gaz qui émettent ces radiations, autrement dit chaque élément chimique à l'état gazeux possède son propre spectre de raies.

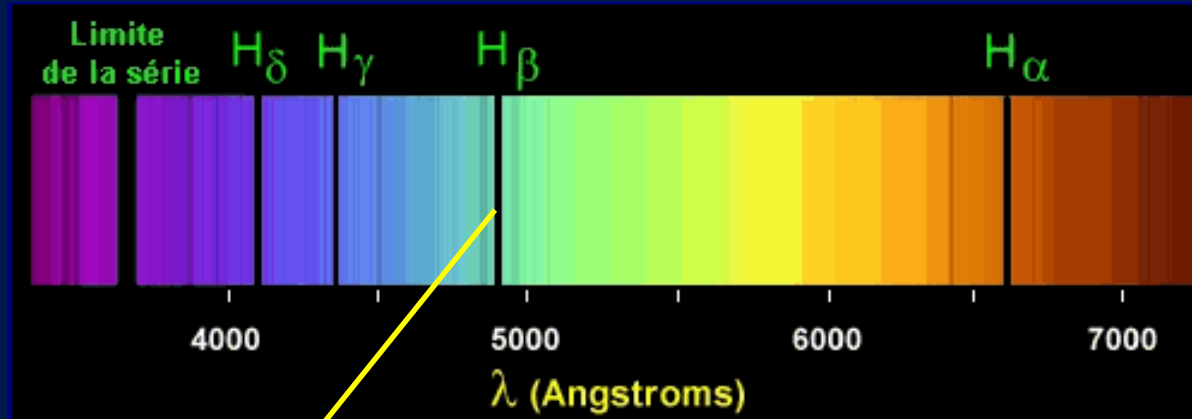
Comment la lumière nous parle



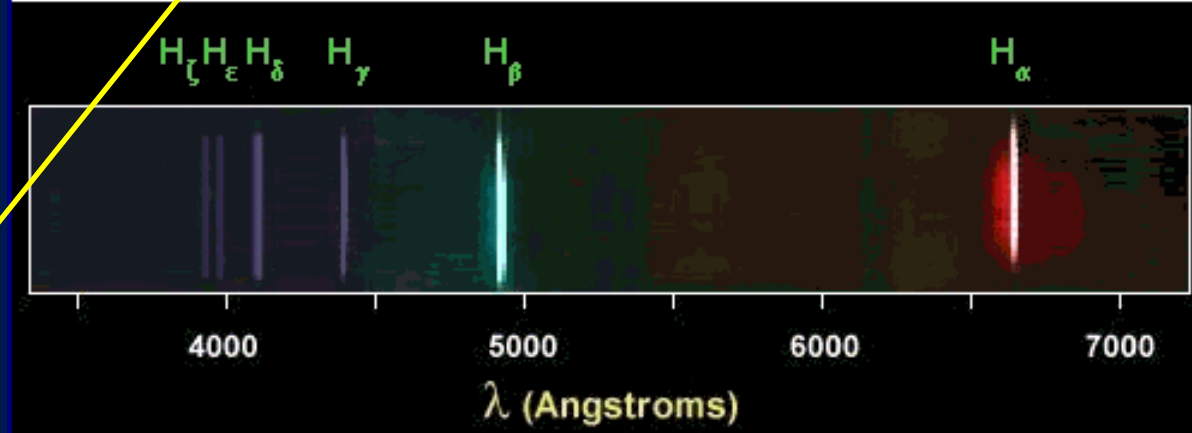
- Les atomes peuvent non seulement émettre de la lumière mais également en absorber. On peut constater ceci en faisant passer de la lumière blanche à travers un gaz froid avant de la disperser par un prisme.
- La propriété importante de ce **spectre de raies d'absorption** est que ses raies se produisent au même endroit que les raies d'émission : le gaz absorbe les radiations qu'il serait capable d'émettre s'il était chaud.

Principe de la Spectroscopie

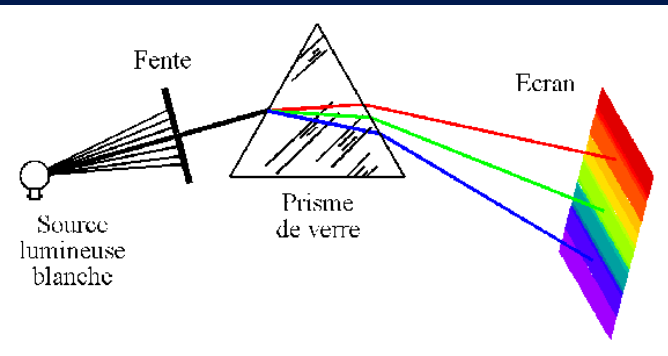
Spectre d'absorption



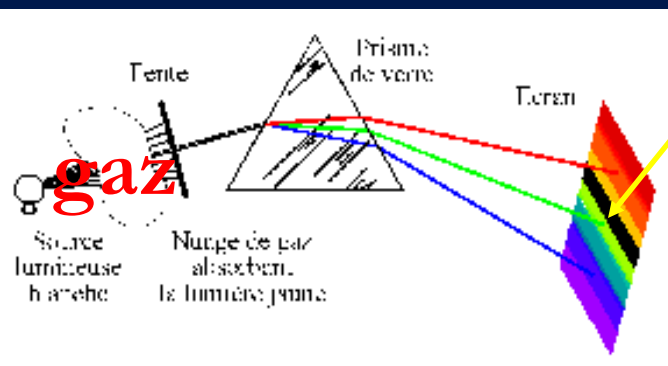
La série de Balmer des différents états d'excitation de l'atome d'hydrogène observés en absorption sur le continuum visible (ci-dessus) et en émission (ci-dessous). On reconnaît à droite la plus connue et la plus profonde ou la plus brillante de ces raies, celle de l'hydrogène alpha à 6562.81 Å. Document T.Lombry.



Spectre d'émission



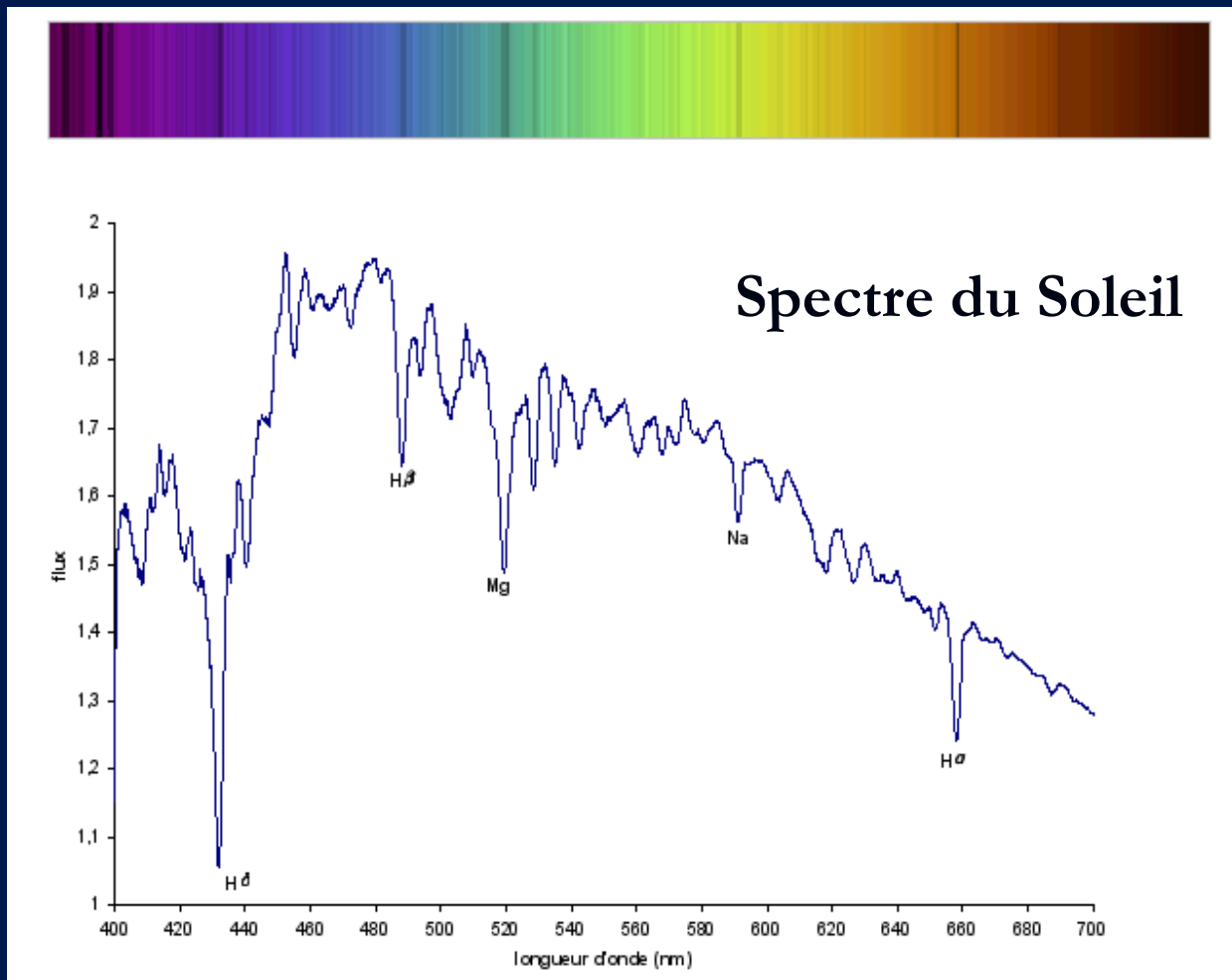
Spectre continu



Spectre de raies

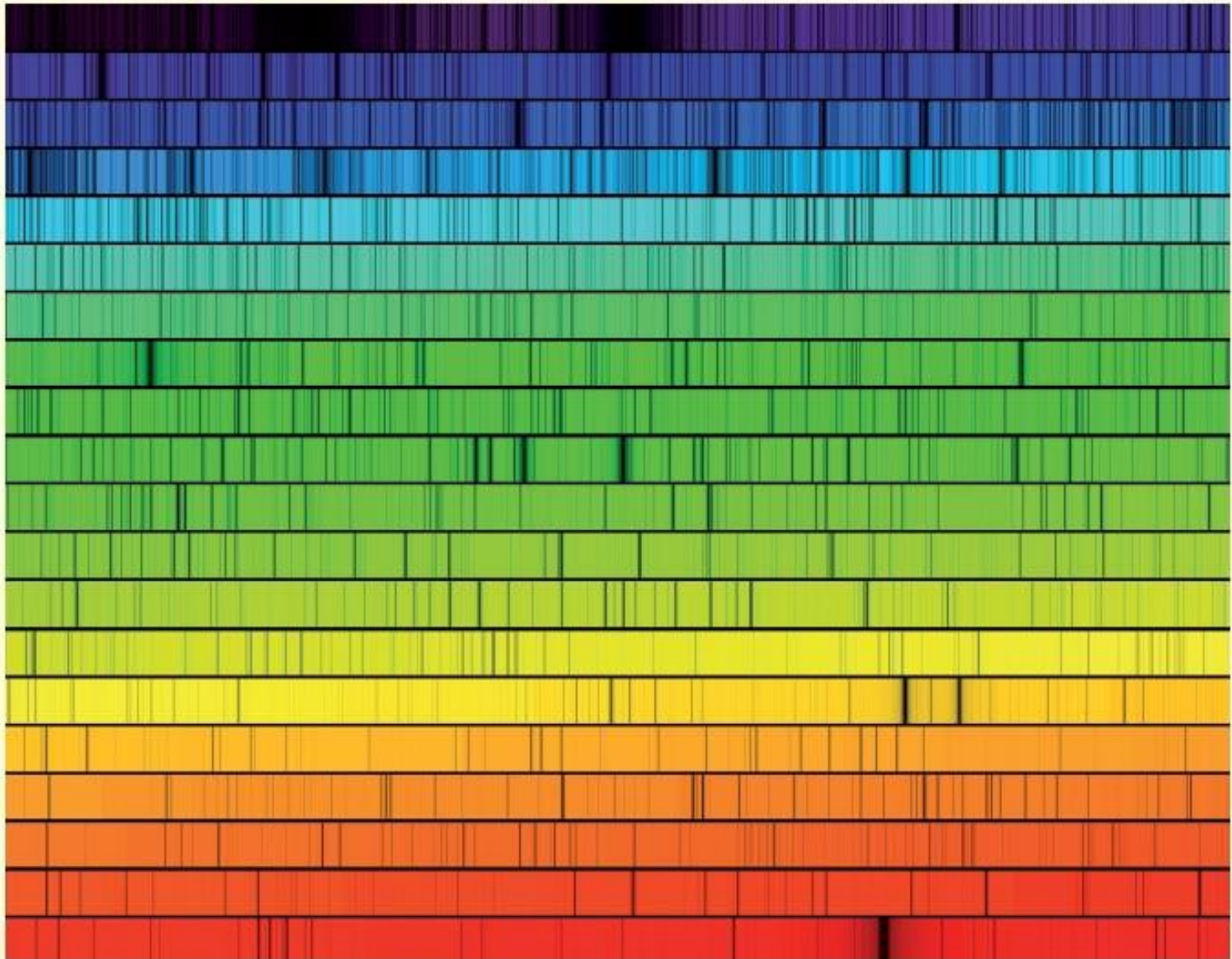
Le spectre électromagnétique

- Mesurer le spectre d'une étoile ou d'un autre objet, c'est mesurer la quantité de lumière selon la longueur d'onde (la couleur) considérée.
- Chaque étoile a un spectre particulier qui la caractérise bien.



Observé à basse résolution, le spectre du soleil ressemble à celui d'un corps noir de température d'équilibre 5777 K. Mais pour déterminer cette température au degré près, il est nécessaire d'analyser finement les écarts à la loi du corps noir

Le spectre du Soleil et celui des étoiles nous indiquent leur composition

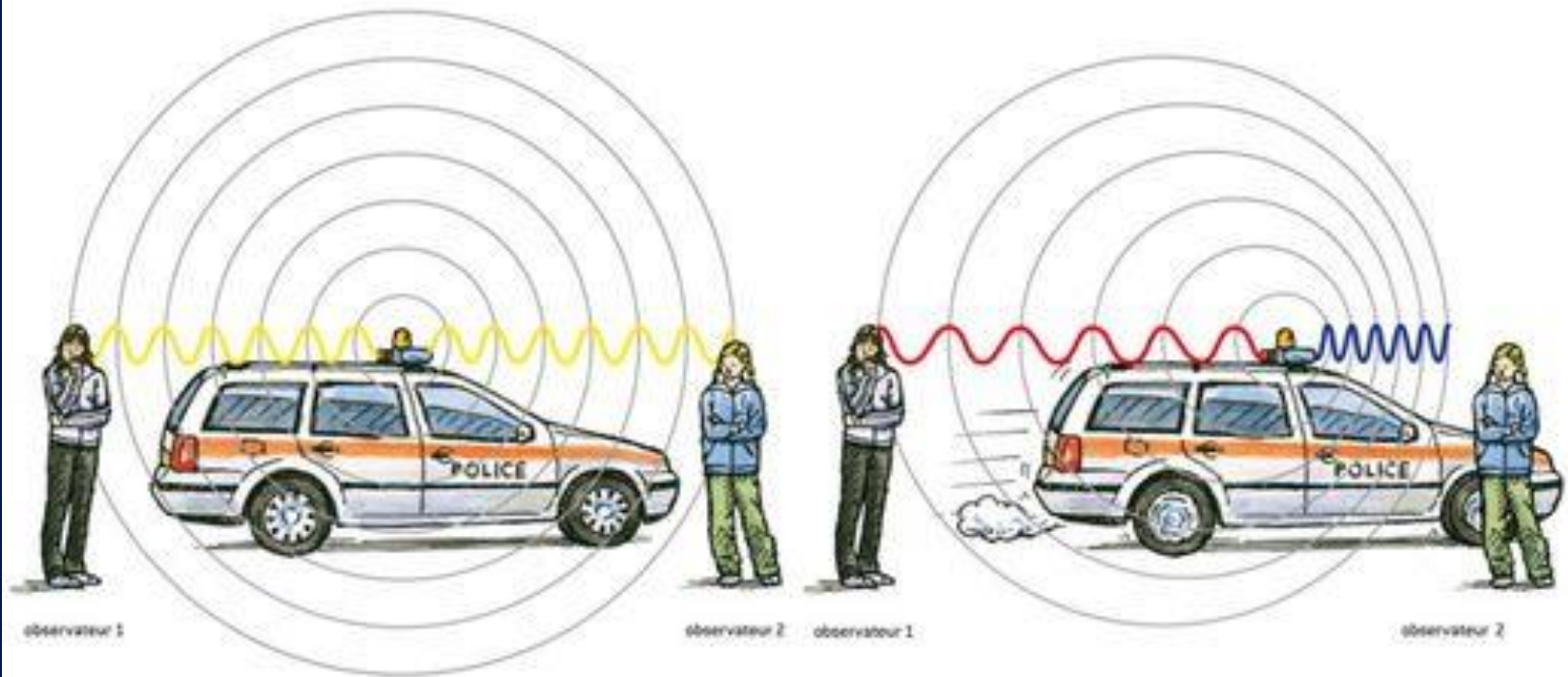


Spectres planétaires

- En première approximation, on peut distinguer 2 composantes dans un spectre planétaire :
- Le spectre solaire directement réfléchi
- Le spectre infrarouge, rayonnée par la planète en fonction de sa température d'équilibre
- Stricto sensu, le rayonnement n'est plus un rayonnement de corps noir. En fait, les 2 composantes sont proches de 2 corps noirs, l'un à la température du rayonnement stellaire, l'autre à la température d'équilibre planétaire.

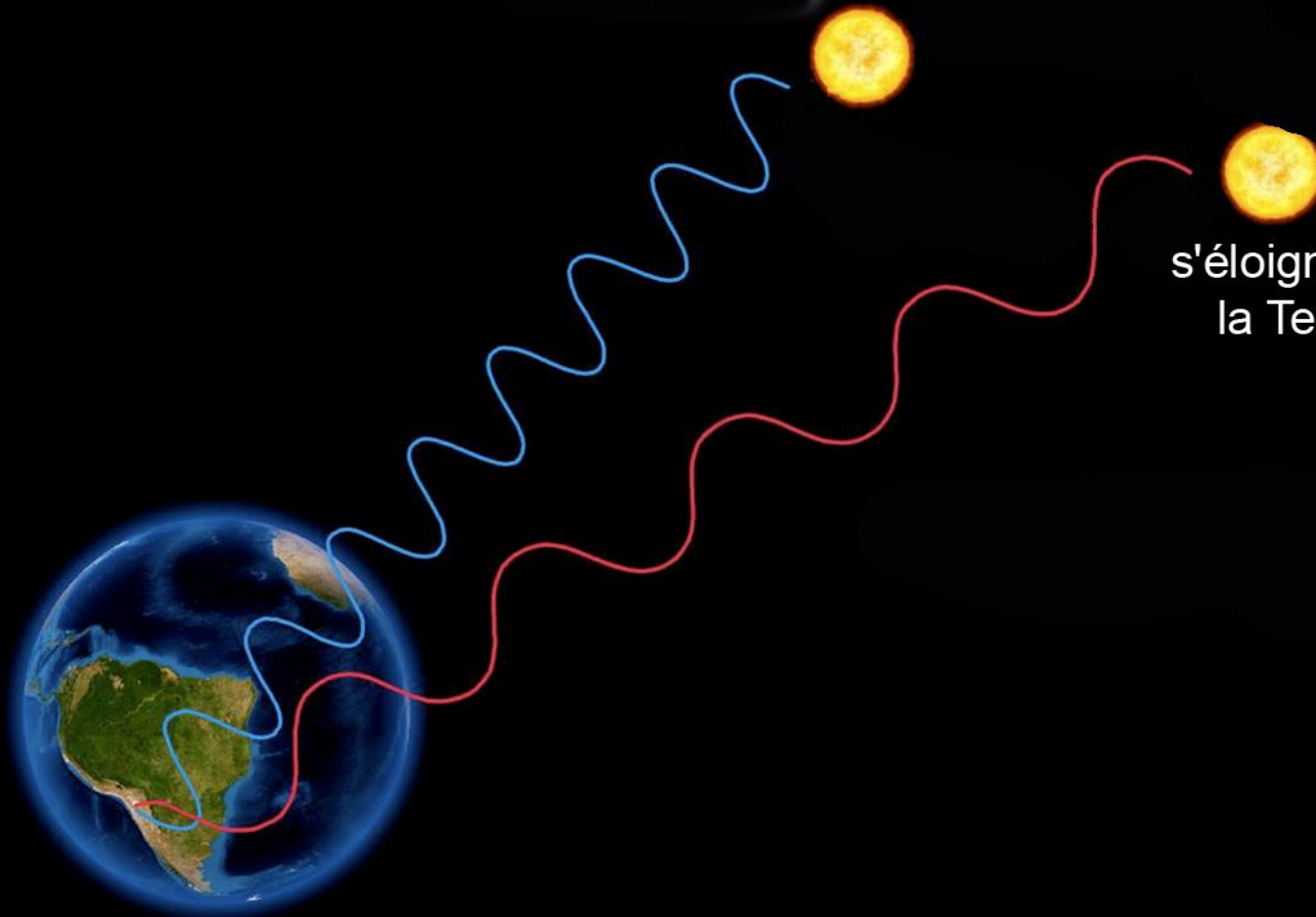
L'effet Doppler

- L'éloignement d'une étoile la « rougit »
 - Le rapprochement d'une étoile la « bleuit »
 - On peut ainsi mesurer la vitesse d'éloignement des étoiles (vitesses radiales)
 - L'astrométrie par l'image mesure le déplacement angulaire
- ➔ On a ainsi le mouvement complet de l'étoile dans la galaxie



OSL Œuvre Suisse des Lectures pour la Jeunesse

se rapproche de la Terre

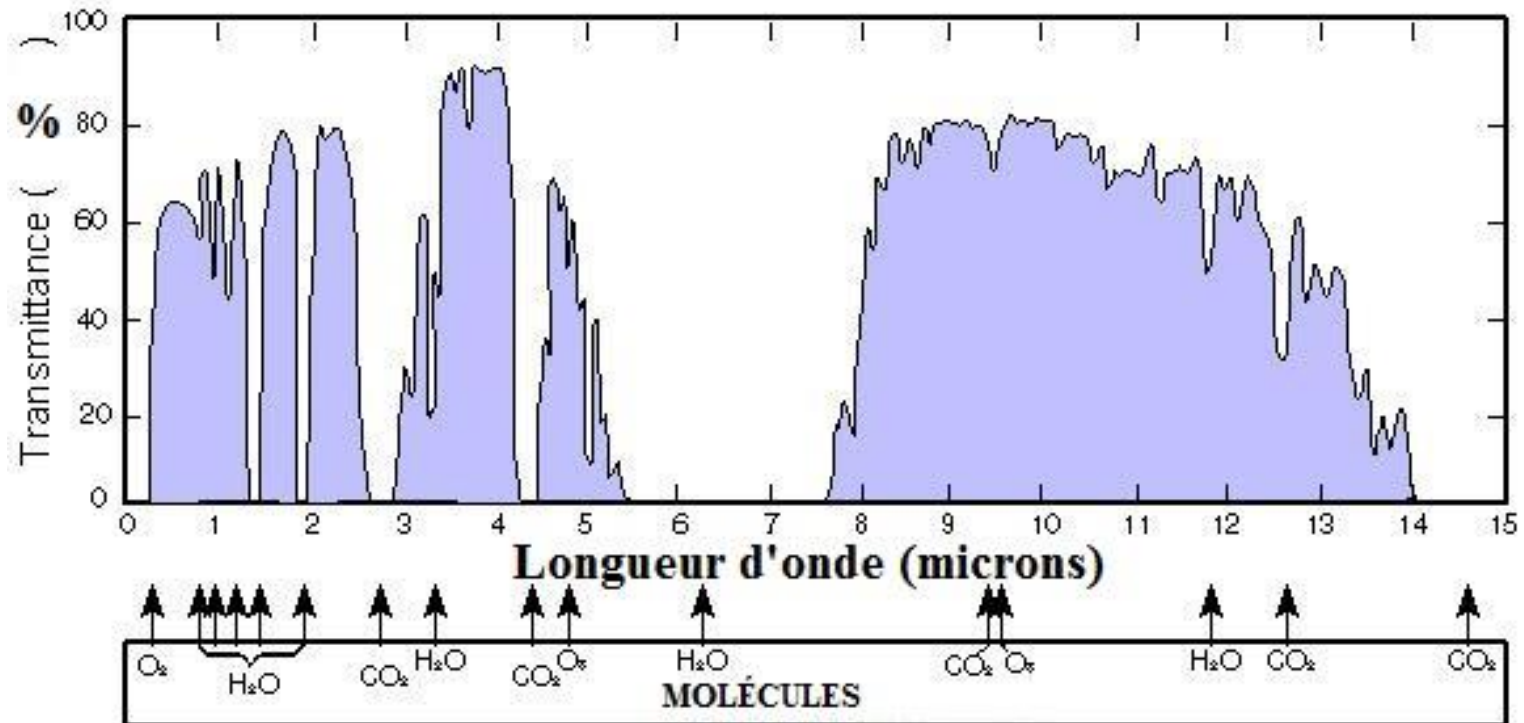


s'éloigne de
la Terre

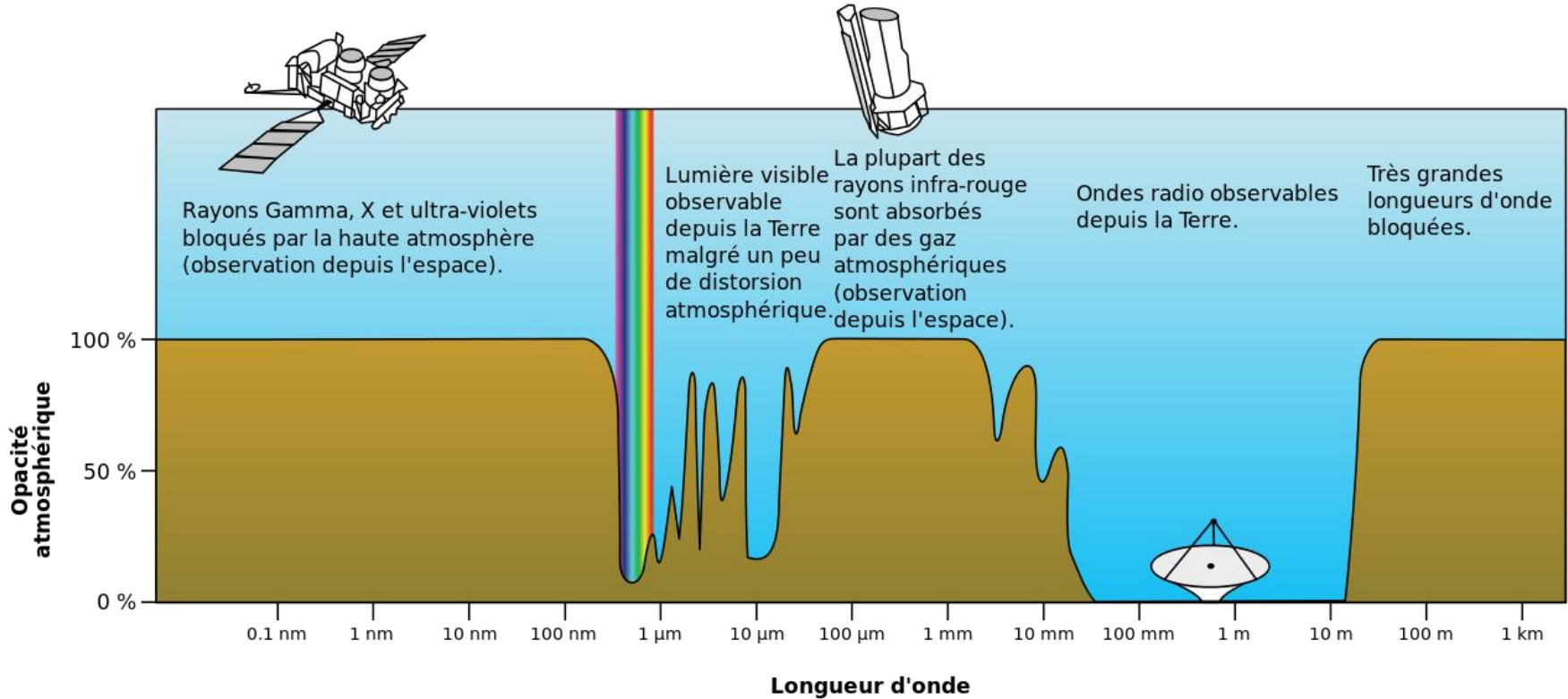
Que recevons-nous sur Terre?

- Certaines longueurs d'onde sont dangereuses, mais nous ne les recevons pas!
- L'atmosphère filtre les longueurs d'ondes reçues.

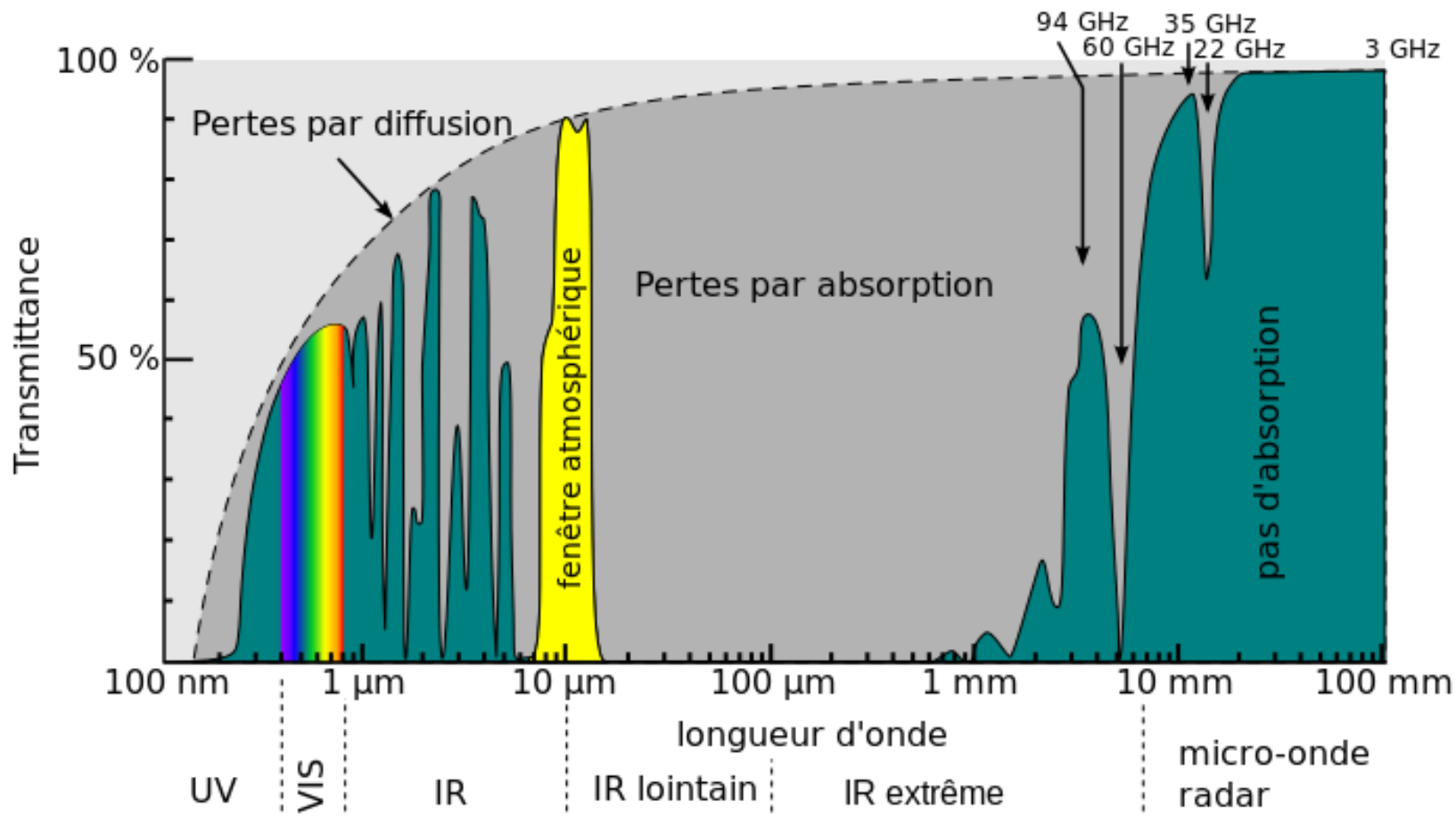
Les fenêtres atmosphériques



Les fenêtres atmosphériques



Les fenêtres atmosphériques



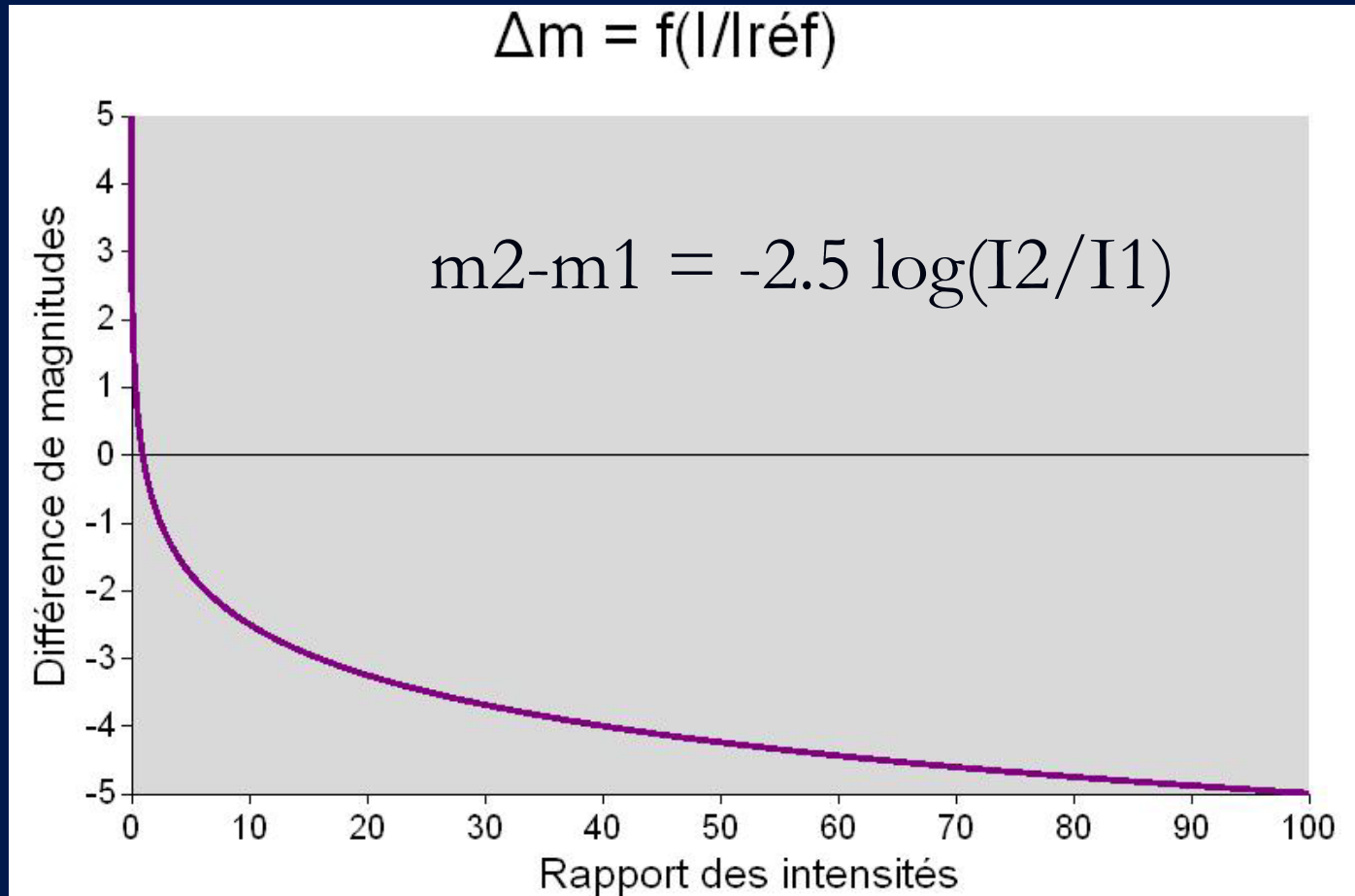
La magnitude

- La magnitude exprime une mesure photométrique dans un système d'unités approprié à l'usage astrophysique. On peut ainsi comparer les étoiles les unes par rapport aux autres d'un point de vue énergétique
- Le père de la magnitude est Hipparque (2^e siècle avant J-C) : les étoiles les plus brillantes étaient classées dans la catégorie "étoiles de première grandeur", les autres se répartissaient ensuite sur 5 échelons, jusqu'aux "étoiles de sixième grandeur" qui étaient les plus faibles visibles à l'œil nu.
- L'utilisation d'instruments capables de mesurer les intensités lumineuses plus précisément qu'à l'œil nu permet de préciser et de développer la notion de magnitude : la définition historique de la magnitude a été traduite en une échelle logarithmique, car l'œil est un récepteur logarithmique. La limite de détection à l'œil nu, correspond à des étoiles de magnitude 6.

Magnitude apparente

- La magnitude est une grandeur qui permet de mesurer la luminosité des astres.
- La magnitude apparente d'une étoile est définie conventionnellement à partir de son flux par la relation : $m = -2,5 \log E/E_0$
- où E_0 représente le flux d'une étoile de référence de magnitude nulle.
- Le facteur 2.5 et la base logarithmique décimale ont été choisis afin de respecter la définition historique.
- La définition du *flux* ici introduit n'est pas primordiale, vu que la définition se contente d'introduire un rapport de cette grandeur.
- $m+1 \rightarrow I/2.5$; $m+2.5 \rightarrow I/10$; $m+5 \rightarrow I/100$

la sensibilité de l'oeil à l'intensité lumineuse
n'est pas linéaire mais logarithmique



Magnitude augmente de 1

→ Le flux lumineux est divisé par 2,5

Mesurer l'éclat des étoiles (photométrie)

La magnitude apparente

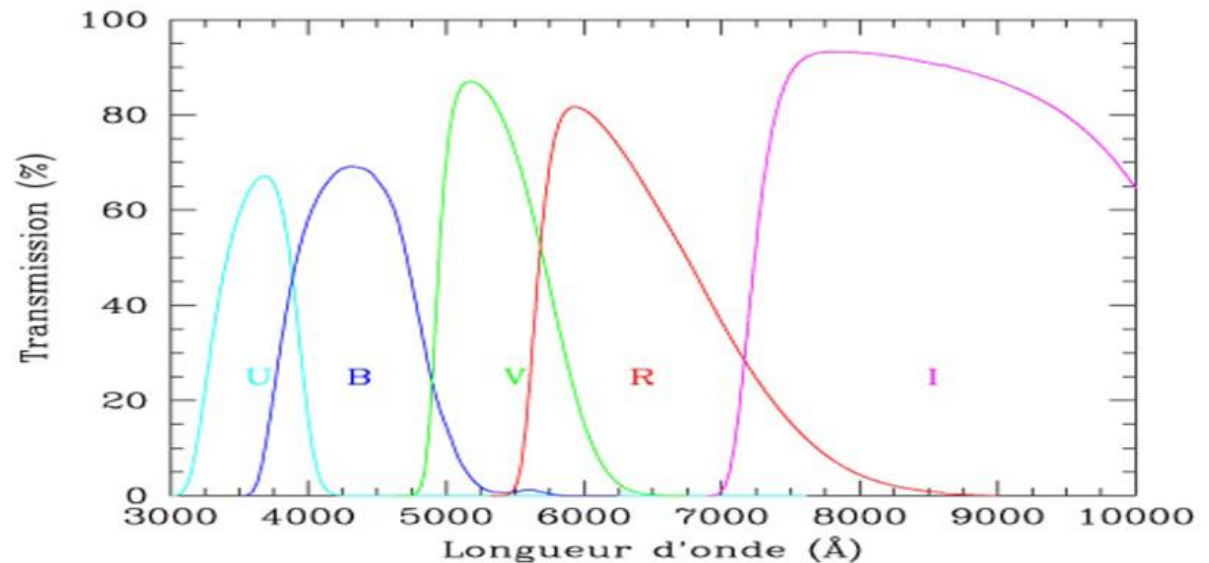
m (magnitude) comme I (intensité ou flux lumineux) sont mesurées dans des filtres spécifiques pour des longueurs d'onde données:

p.ex. $m_U, m_V, m_B \leftrightarrow$ intensité I mesurées dans filtres UBV du système photométrique Johnson ($V \sim \text{Œil}$)

- La référence (arbitraire)

$m_V = 0$ est prise pour l'étoile Véga & $m_V = -2.5 \log(I_V / I_{Vega})$

Systeme Johnson →



- Œil nu: $\rightarrow mV \sim 6$
- En passant de l'oeil (ouverture $\sim 1\text{cm}$) à des jumelles ($\sim 5\text{cm}$)
 - \rightarrow Surface collectrice et $I \times 25$ (2.5×10) $\rightarrow \Delta m \sim 3.5$
 - $(1 + 2.5) mV \text{ limite} = 6 + 3.5 = 9.5$

Magnitude apparente et absolue des étoiles

La magnitude absolue est la magnitude conventionnelle qu'aurait l'étoile si sa distance était ramenée, par définition à 10 pc.

III

Objet	m apparente	M absolue	(pc)
soleil	-26.7	4.9	
Sirius	-1.45	1.4	2.7
Véga	0.00	0.5	8.1
Antarès	1.00	-4.8	130
Mimosa	1.26	-4.7	150
Adhara	1.50	-5.0	200

Magnitude apparente et absolue dans le système solaire

- La magnitude absolue est la magnitude conventionnelle qu'aurait un corps du système solaire si sa distance à la Terre était ramenée, par définition à 1 Unité astronomique (150 millions de km).

D'autres signaux?

- Autres que le signal électromagnétique?
- Oui: les ondes gravitationnelles... mais elles restent à être facilement détectées et à être interprétées.