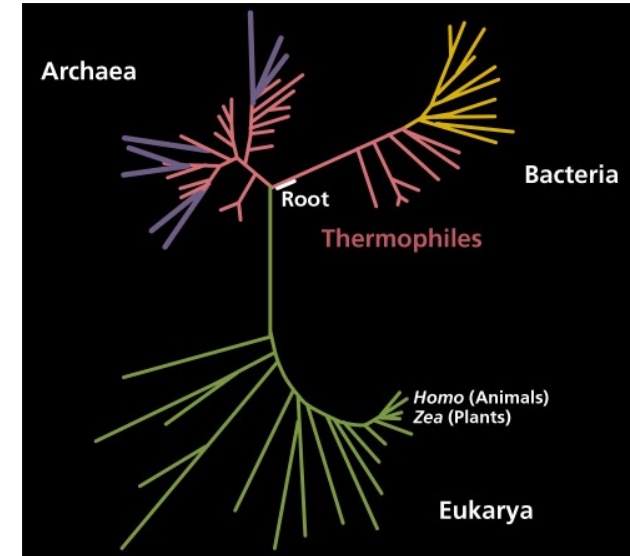




Exobiologie

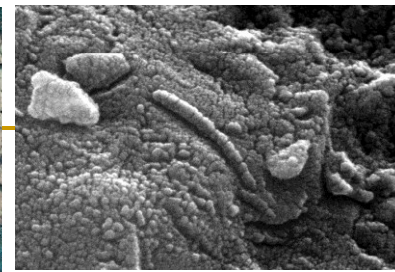
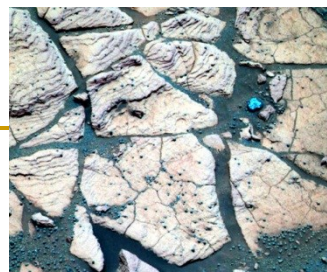
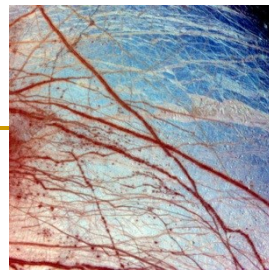
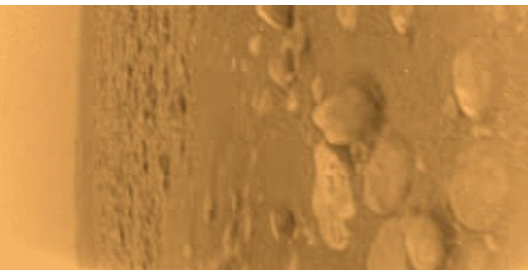


Sébastien Rodriguez
Université Paris 7 / A.I.M.
sebastien.rodriquez@cea.fr



Plan

- ❑ 1. Introduction générale : repères historiques et « philosophiques »
- ❑ 2. La formation de l'Univers : la première lumière et l'origine des éléments chimiques
- ❑ 3. Formation des étoiles et des planètes
- ❑ 4. La vie terrestre : un modèle pour comprendre - Formation des océans et de l'atmosphère terrestres – Premières traces du vivant
- ❑ 5. Terre primitive. Origine et évolution de la vie sur Terre – La vie dans les milieux extrêmes
- ❑ 6-7. Visite du Système Solaire et recherche de la vie
- ❑ 8. Les planètes extrasolaires – Les conditions d'habitabilité sur une planète
- ❑ 9. Les signatures du vivant et les programmes de recherche de la vie extraterrestre (intelligente?)



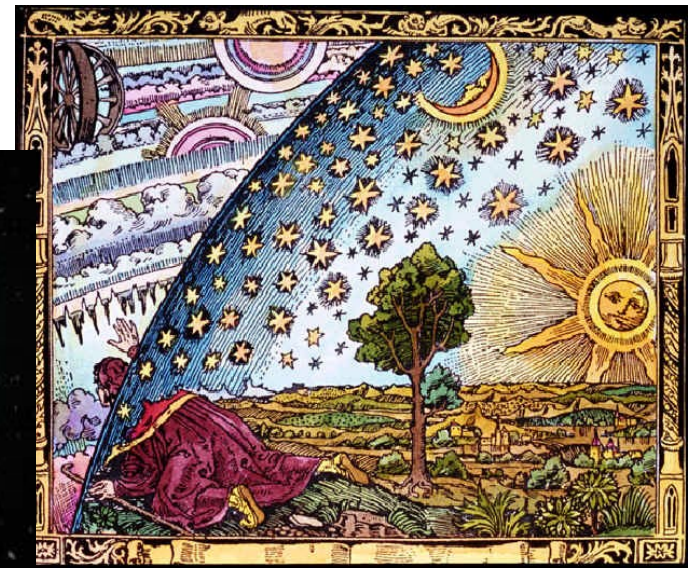


La formation de l'Univers : la première lumière et l'origine des éléments chimiques



Origines des éléments chimiques. Une chimie universelle

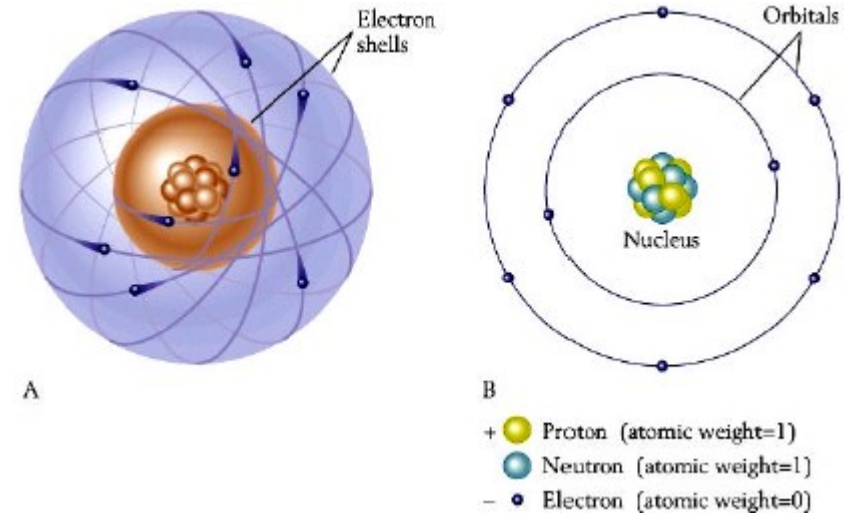
- Atome et lumière
- Naissance de l'Univers - Big-Bang et nucléosynthèse primordiale
- Nucléosynthèse stellaire et explosive (naissance et mort des étoiles)
- Formation des planètes



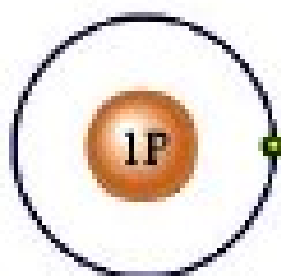
I. Atome et lumière : propriétés fondamentales

Structure de l'atome

- Noyau (A, Z) :
 - A-Z Neutrons ($q=0$)
 - Z Protons ($q=+Z.e$)
- Nb e^- définit les propriétés chimiques de l'élément
- Nuage d'électrons ($q=-Z.e$) sur des orbites $\Rightarrow$ quantification des niveaux d'énergie : cf **Atome de Bohr**.

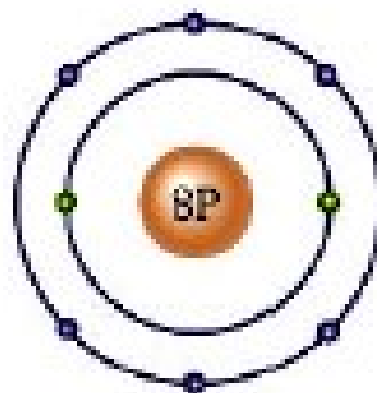


Hydrogen



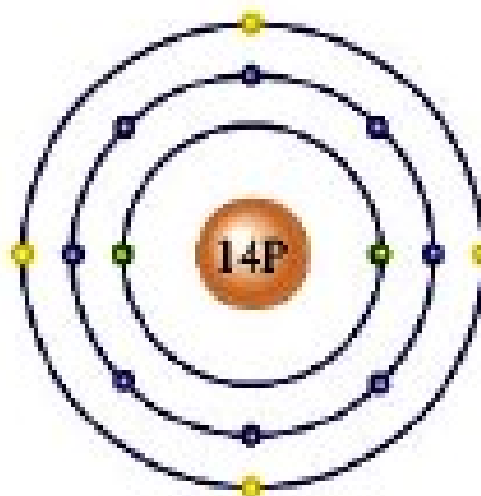
1 electron

Oxygen



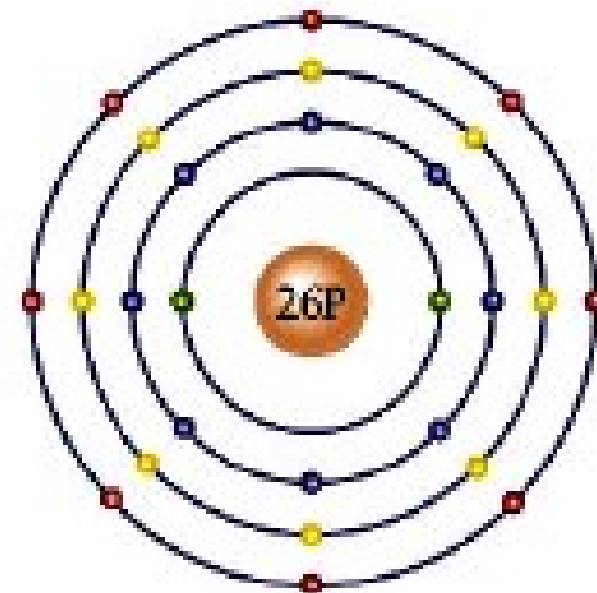
8 electrons

Silicon



14 electrons

Iron



26 electrons

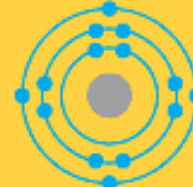
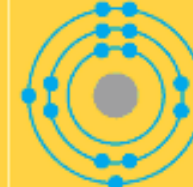
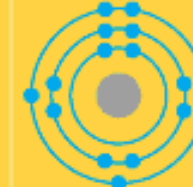
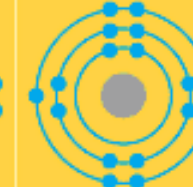
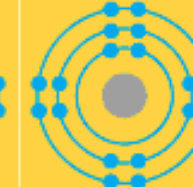
First shell								Helium ${}_2\text{He}$ 
	Hydrogen ${}_1\text{H}$ 							
Second shell	Lithium ${}_3\text{Li}$ 	Beryllium ${}_4\text{Be}$ 	Boron ${}_5\text{B}$ 	Carbon ${}_6\text{C}$ 	Nitrogen ${}_7\text{N}$ 	Oxygen ${}_8\text{O}$ 	Fluorine ${}_9\text{F}$ 	Neon ${}_{10}\text{Ne}$ 
Third shell	Sodium ${}_{11}\text{Na}$ 	Magnesium ${}_{12}\text{Mg}$ 	Aluminum ${}_{13}\text{Al}$ 	Silicon ${}_{14}\text{Si}$ 	Phosphorus ${}_{15}\text{P}$ 	Sulfur ${}_{16}\text{S}$ 	Chlorine ${}_{17}\text{Cl}$ 	Argon ${}_{18}\text{Ar}$ 

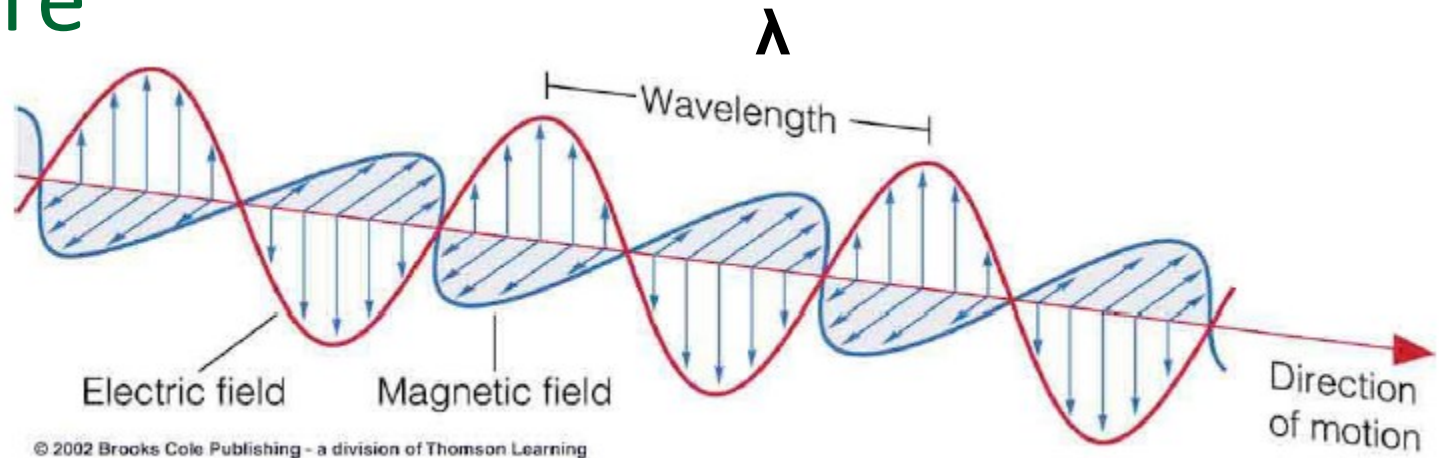
Table des éléments chimiques

The diagram illustrates the periodic table with elements color-coded by groups. A legend box explains the notation for an element:

- Numéro atomique** (Atomic Number): Z
- Masse molaire atomique (g.mol⁻¹)** (Molar Mass): M
- Symbole atomique** (Atomic Symbol): X
- Famille** (Group): Indicated by a color-coded background.
- Nom** (Name): Written below the symbol.

The periodic table shows elements from Hydrogène (1) to Oganesson (118), with Lanthanides and Actinides shown separately at the bottom.

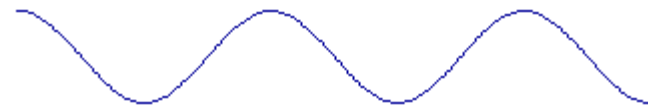
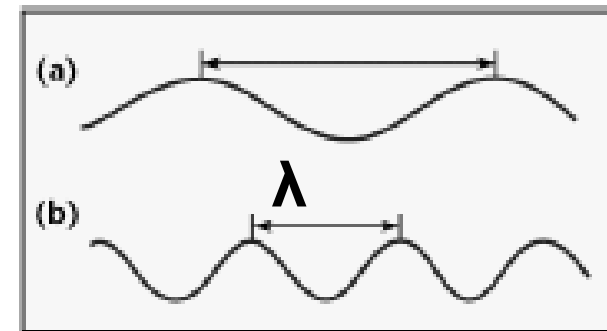
Nature ondulatoire et corpusculaire de la lumière



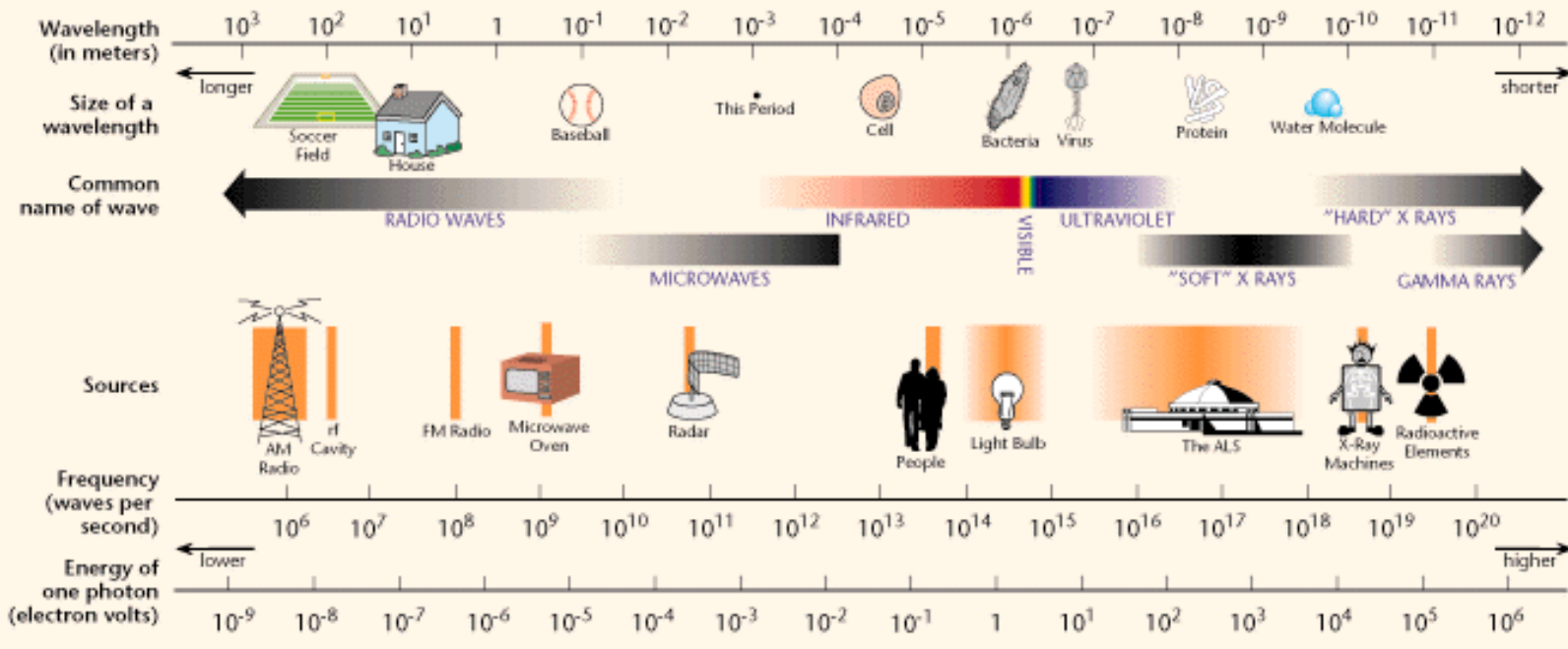
■ La lumière est une onde électromagnétique (E,B) : interférences, diffraction

- Longueur d'onde: λ (unité [m])
- Se propage à vitesse $c = 300\,000\text{ km/s}$
- Fréquence $\nu = c / \lambda$ (unité [Hz])

■ La lumière transporte de l'énergie (particule élémentaire $\Rightarrow$ photon): $E = h.\nu$



THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



λ (m)

ν (Hz)

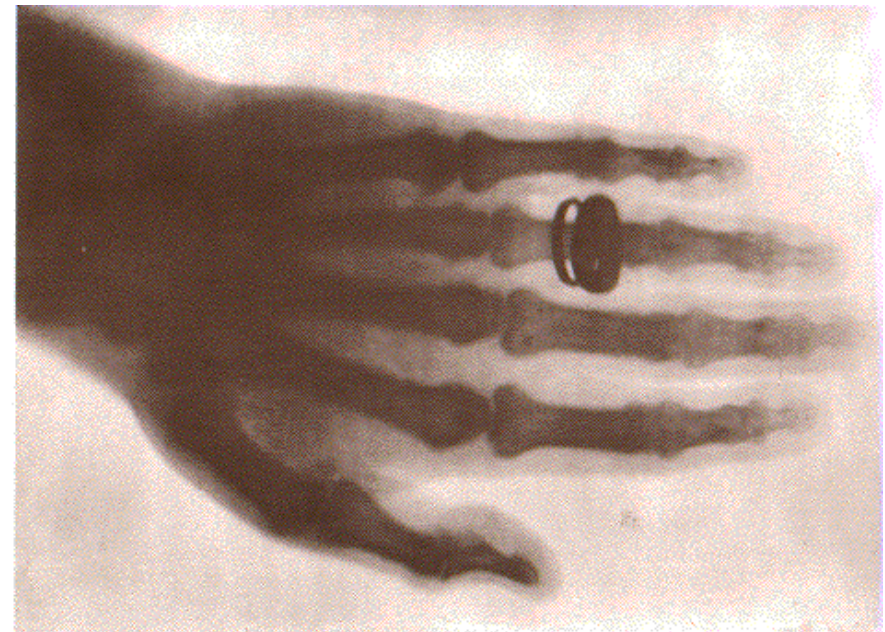
E (eV)

- Ondes radio: $100 \text{ m} \Rightarrow 10 \text{ cm}$
- Micro-ondes: $10 \text{ cm} \Rightarrow 1 \text{ mm}$
- Infrarouge: $1000 \mu\text{m} \Rightarrow 0.8 \mu\text{m}$
- Optique (visible): $0.8 \mu\text{m} \Rightarrow 0.3 \mu\text{m}$
- Ensuite UV, X et gamma



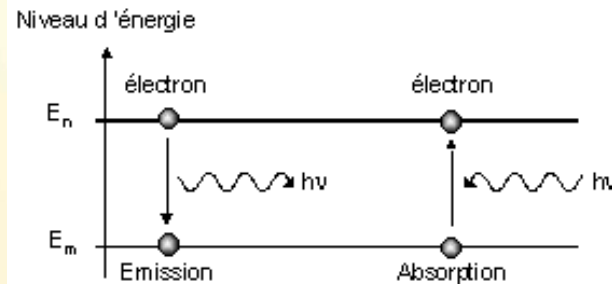
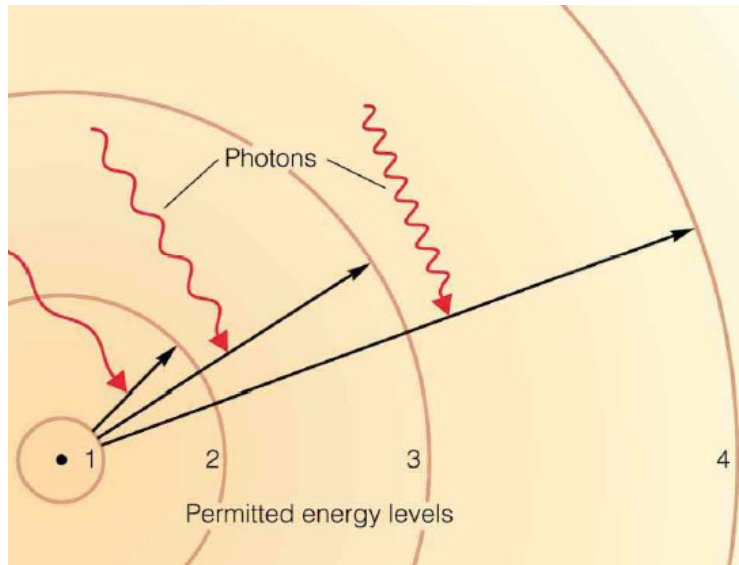
Lumière visible





Images en visible, infrarouge et rayons X

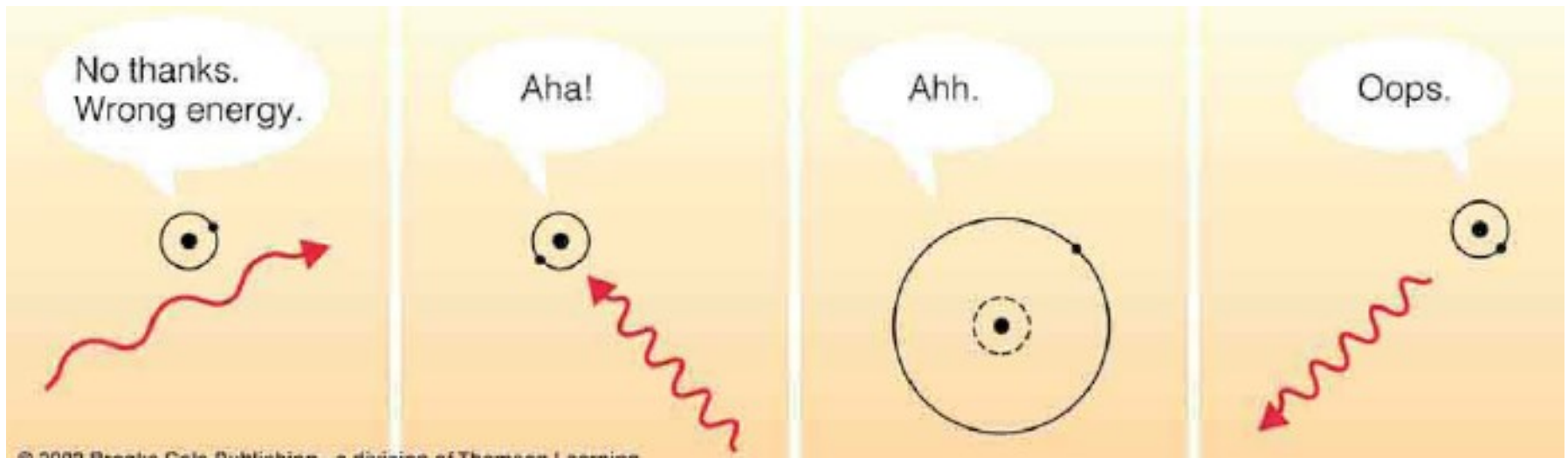
Quantification des niveaux d'énergie

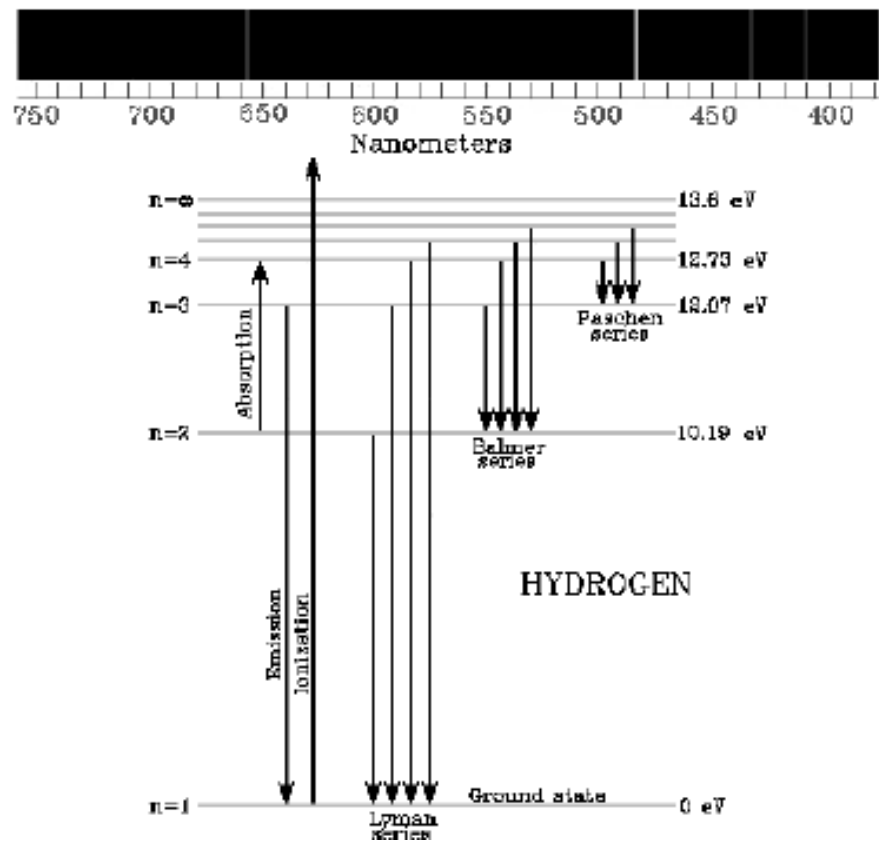


$$h\nu = E_n - E_m$$

$$\frac{1}{\lambda_n} = R_H \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

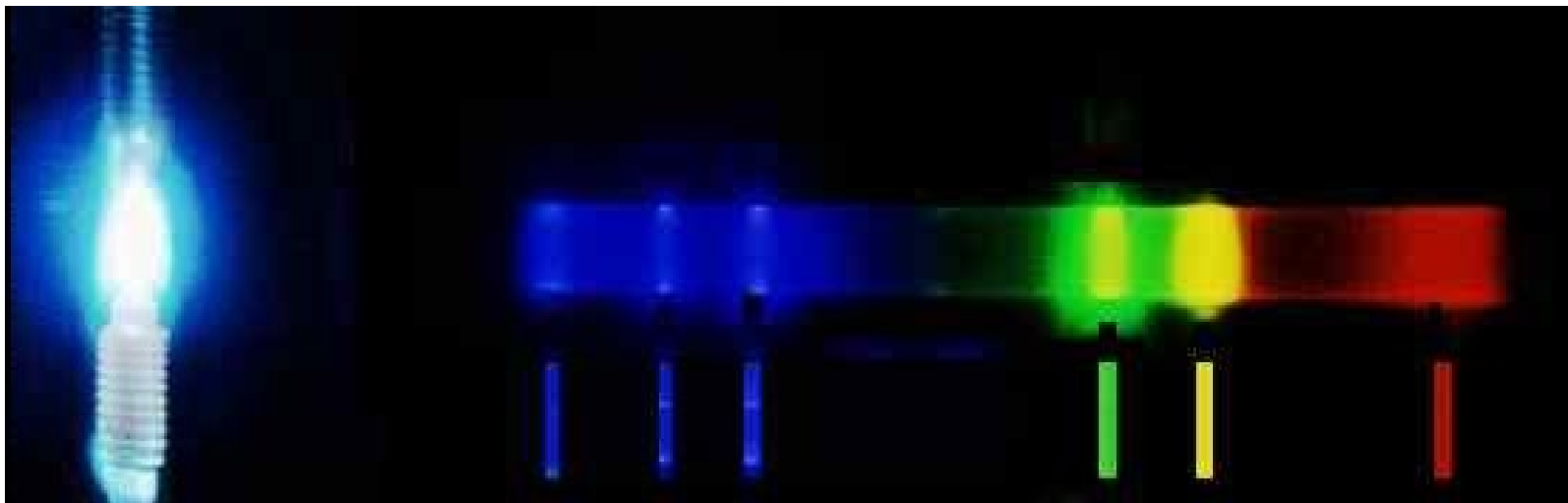
$$\nu = \frac{E_n - E_m}{h}$$



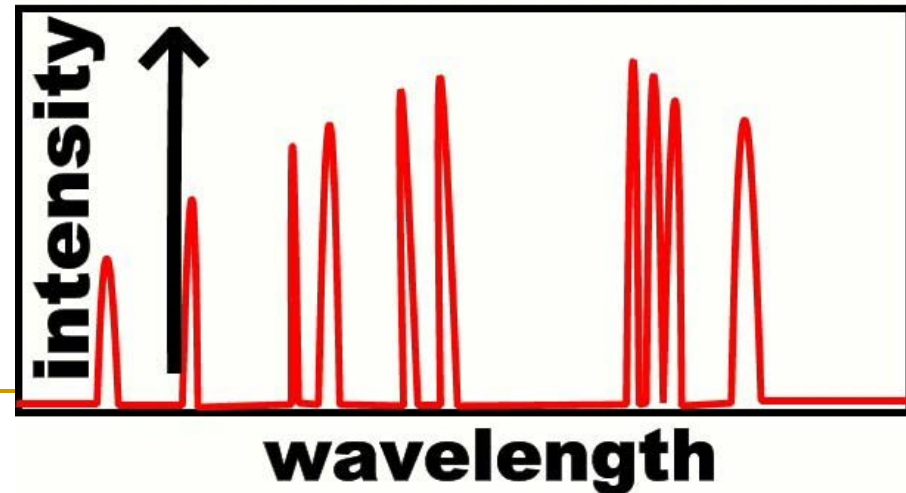
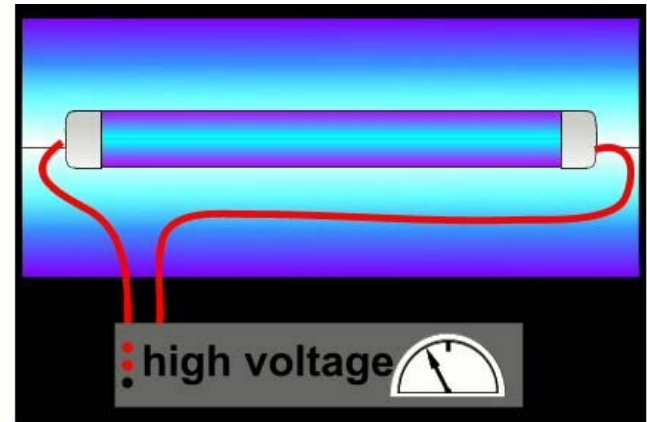
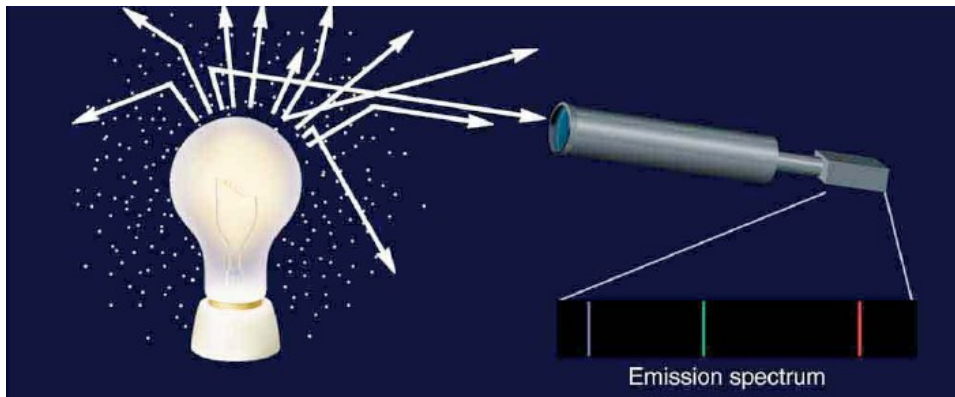


Atome d'hydrogène

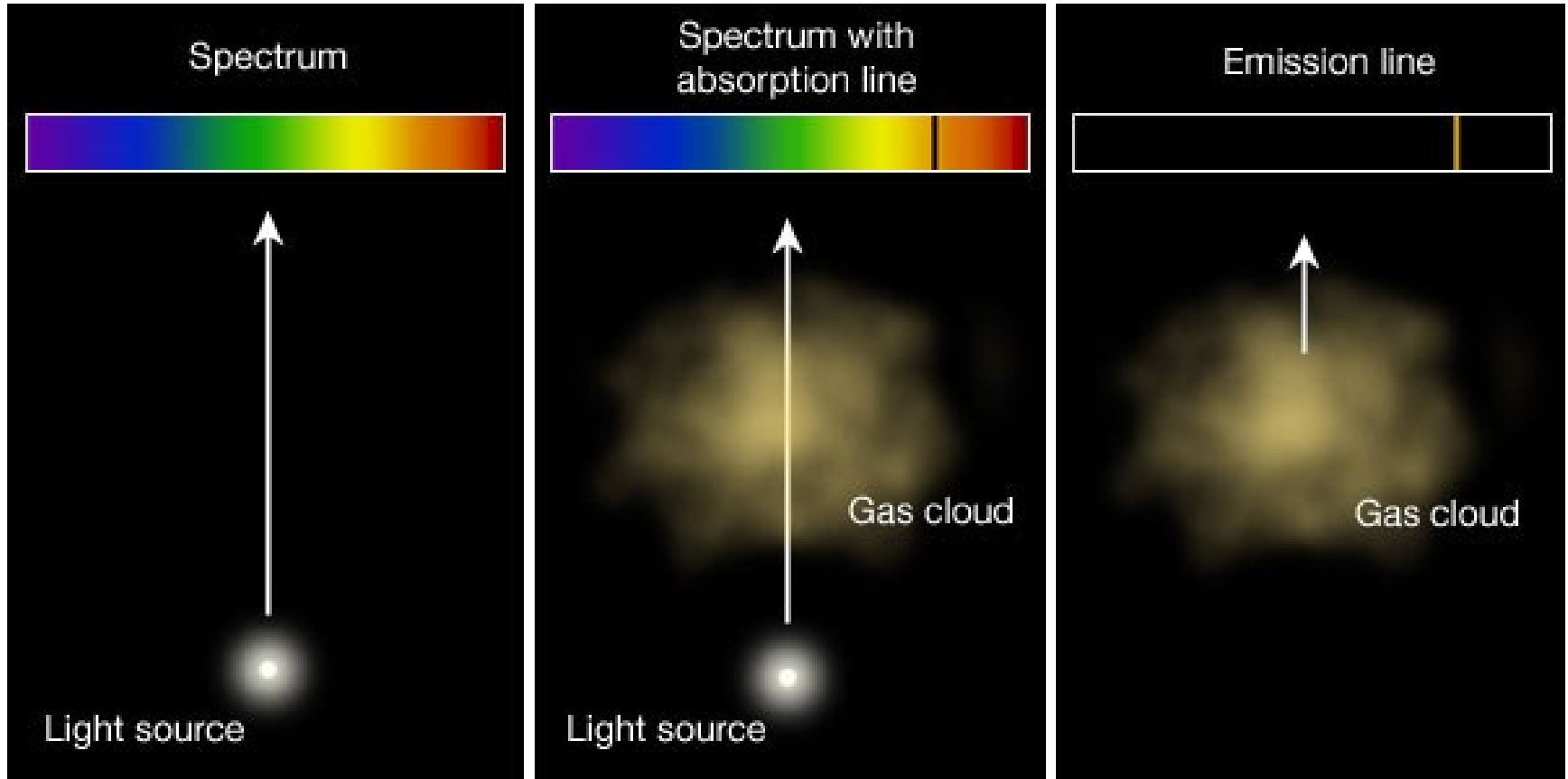
Lampe à mercure



Spectre de raies: émission

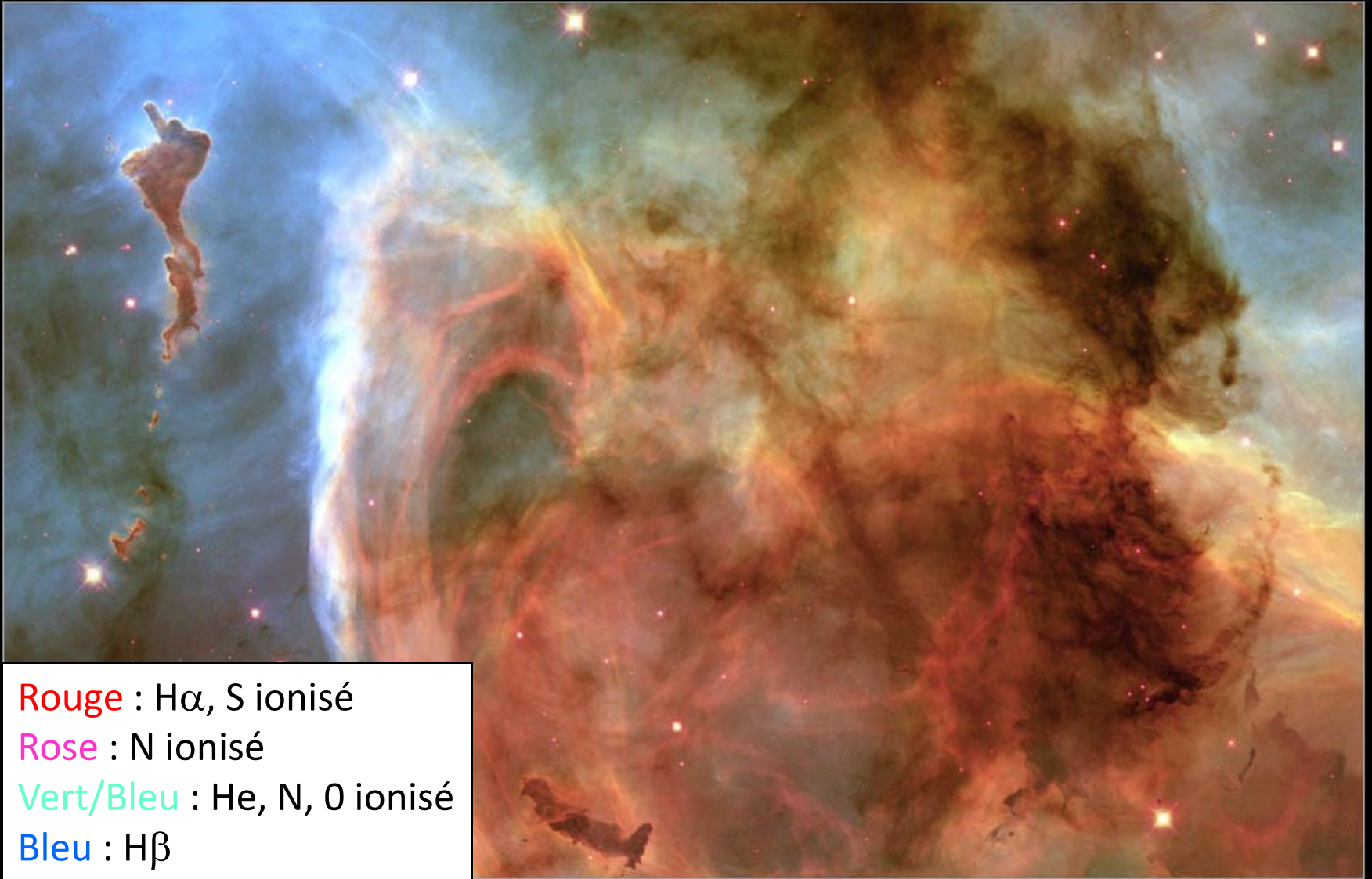


Spectre de raies: émission/absorption



Nébuleuses/nuages interstellaires : atomes, molécules, poussières

Keyhole Nebula



Rouge : $H\alpha$, S ionisé

Rose : N ionisé

Vert/Bleu : He, N, O ionisé

Bleu : $H\beta$

Hubble
Heritage

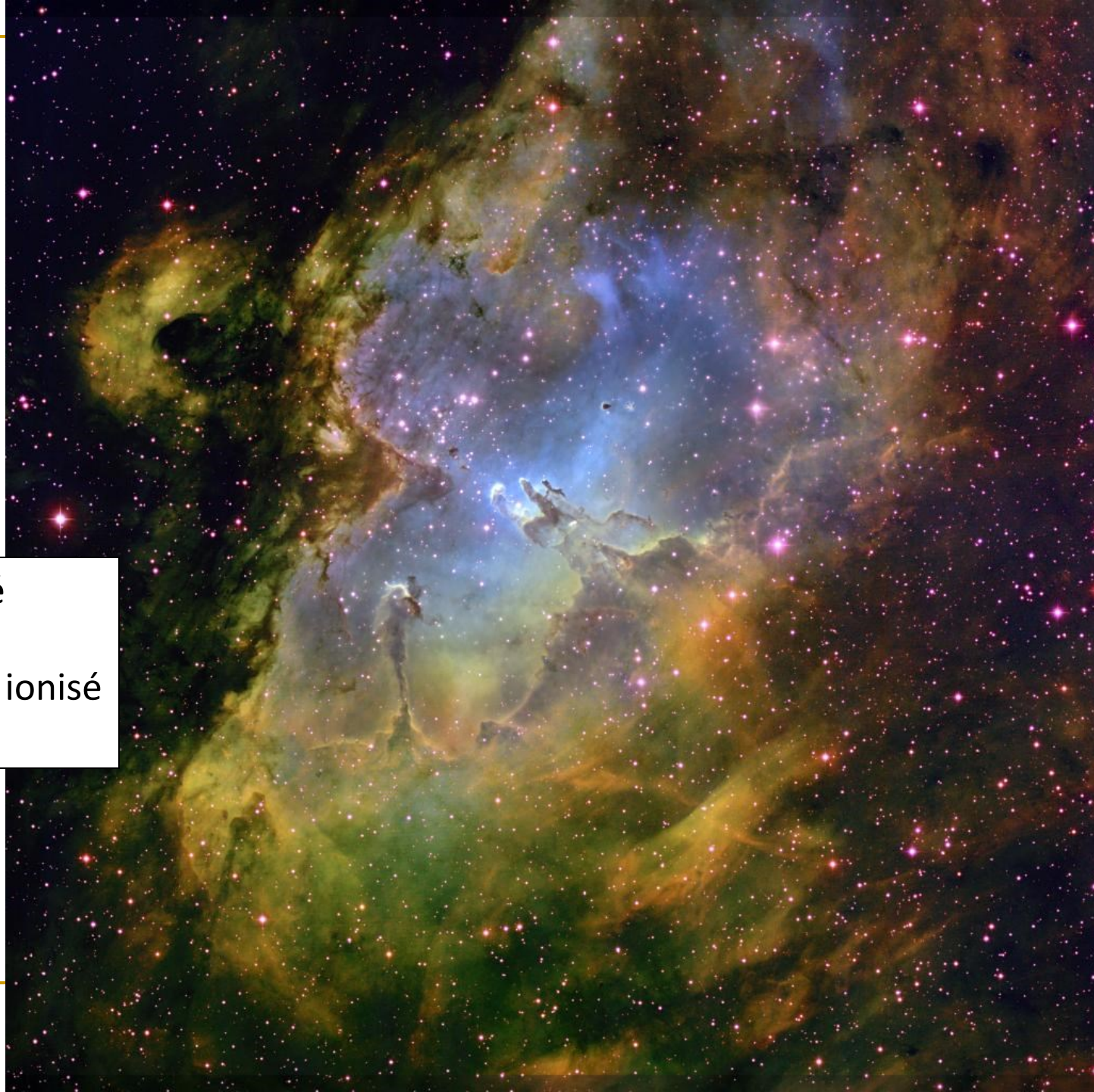
Nébuleuse de l'Aigle

Rouge : $H\alpha$, S ionisé

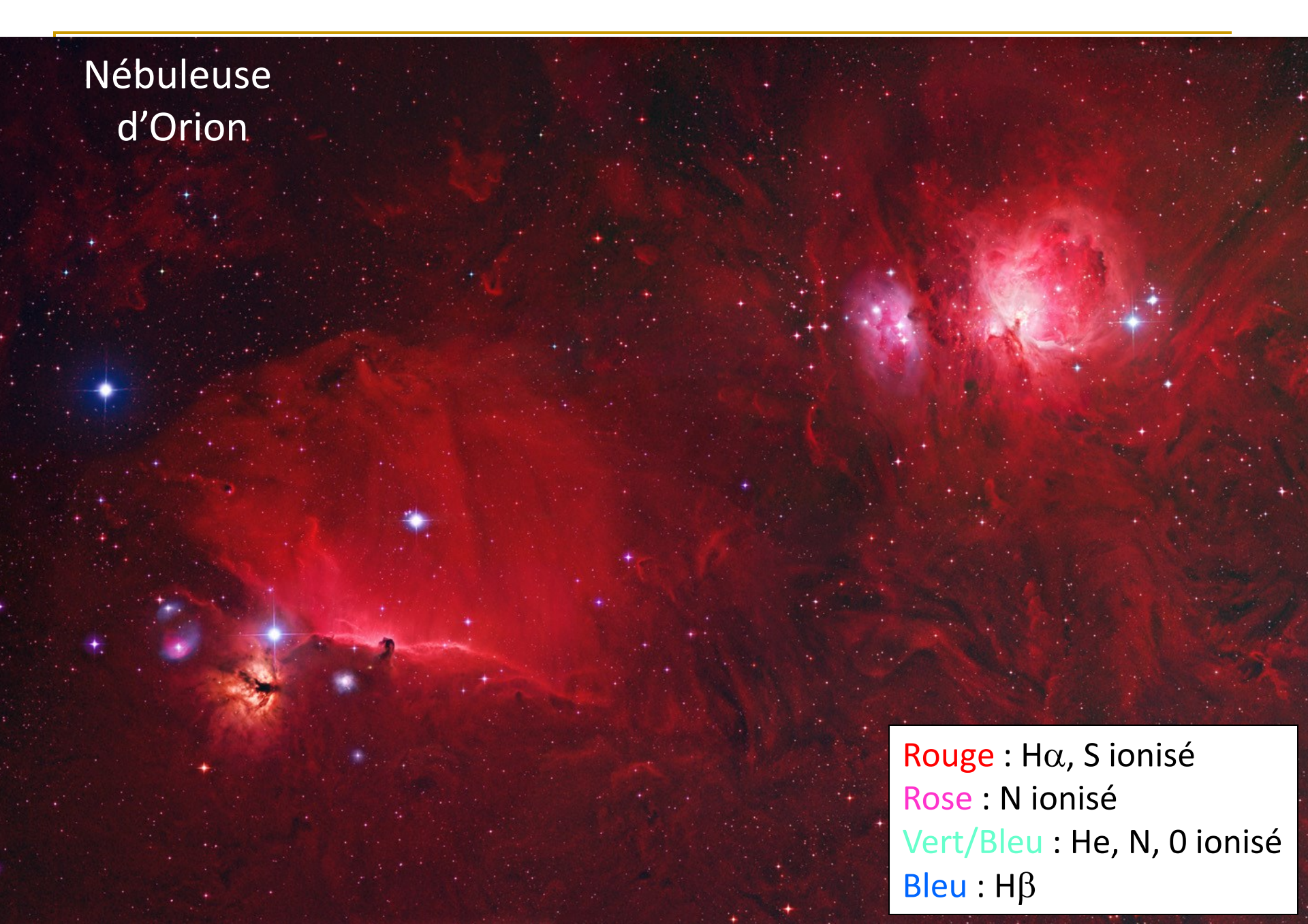
Rose : N ionisé

Vert/Bleu : He, N, O ionisé

Bleu : $H\beta$



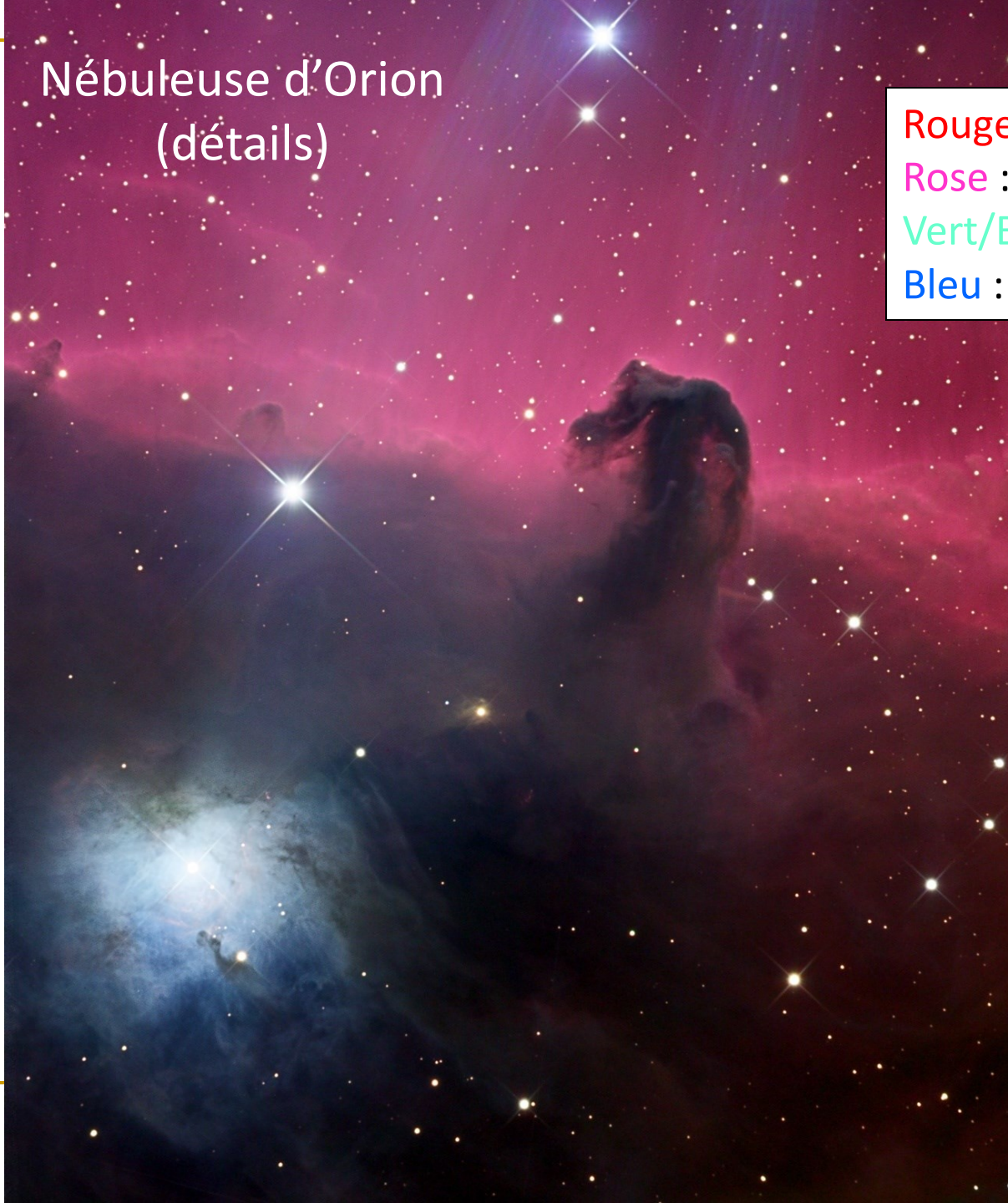
Nébuleuse d'Orion



Rouge : $H\alpha$, S ionisé
Rose : N ionisé
Vert/Bleu : He, N, O ionisé
Bleu : $H\beta$

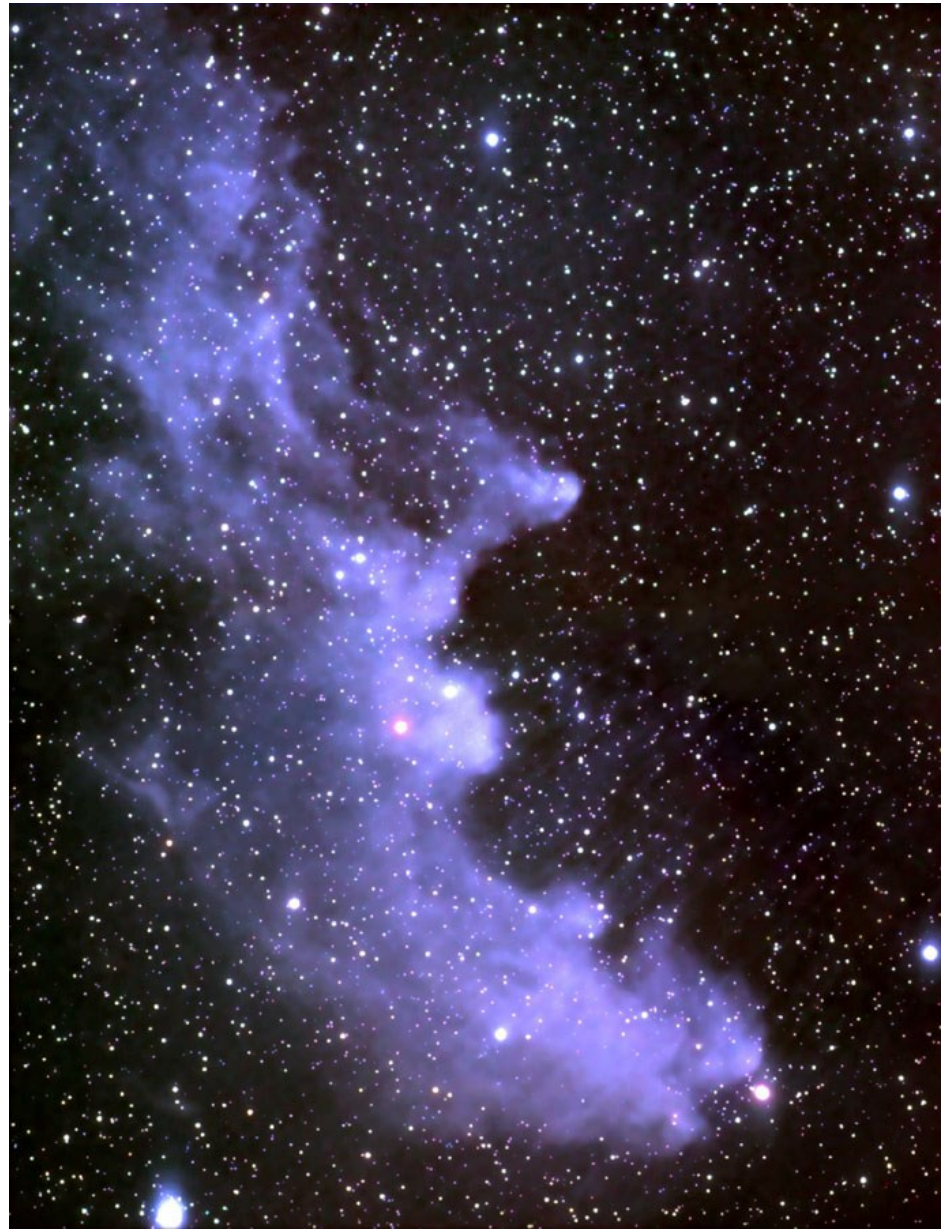
Nébuleuse d'Orion (détails)

Rouge : $H\alpha$, S ionisé
Rose : N ionisé
Vert/Bleu : He, N, O ionisé
Bleu : $H\beta$



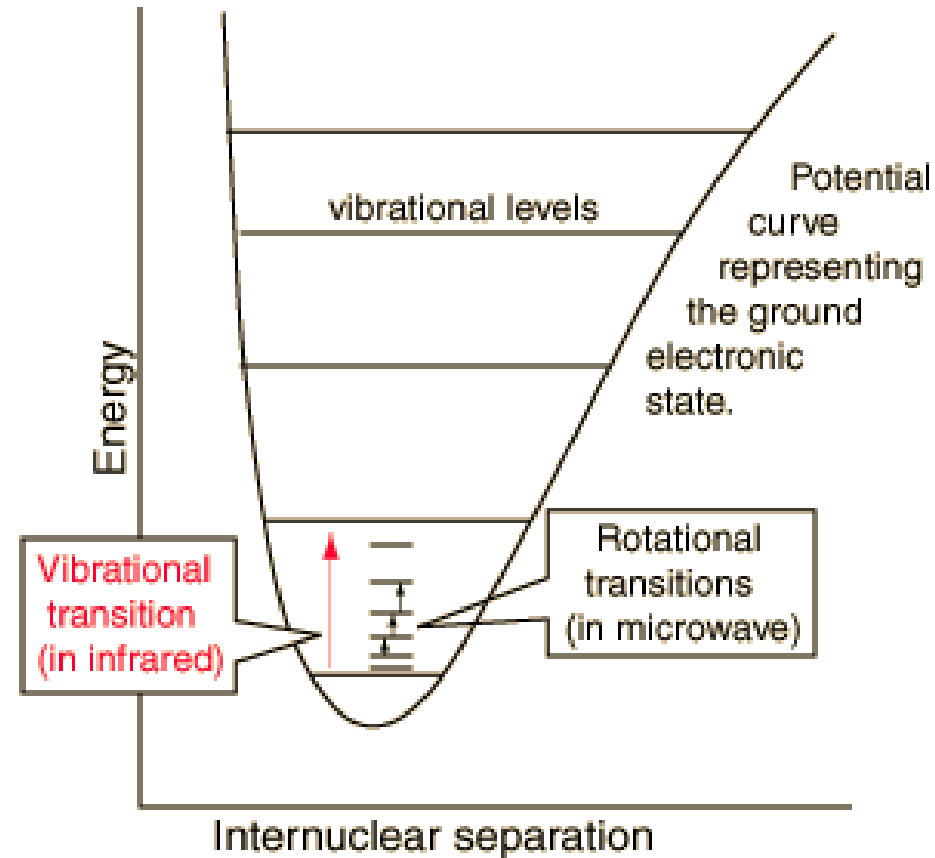
Nébuleuse de la Tête de sorcière

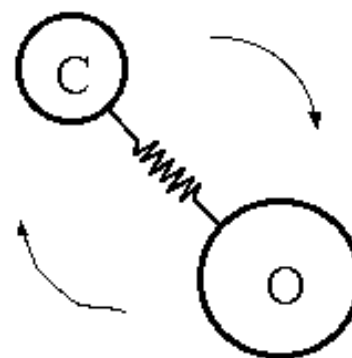
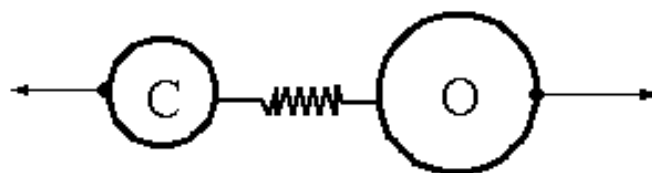
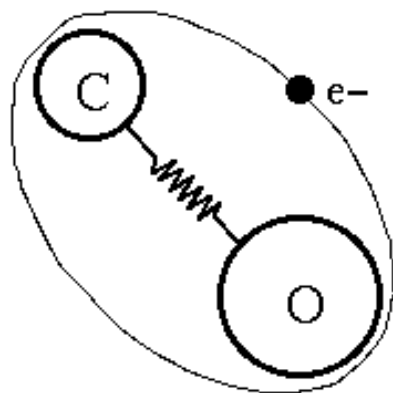
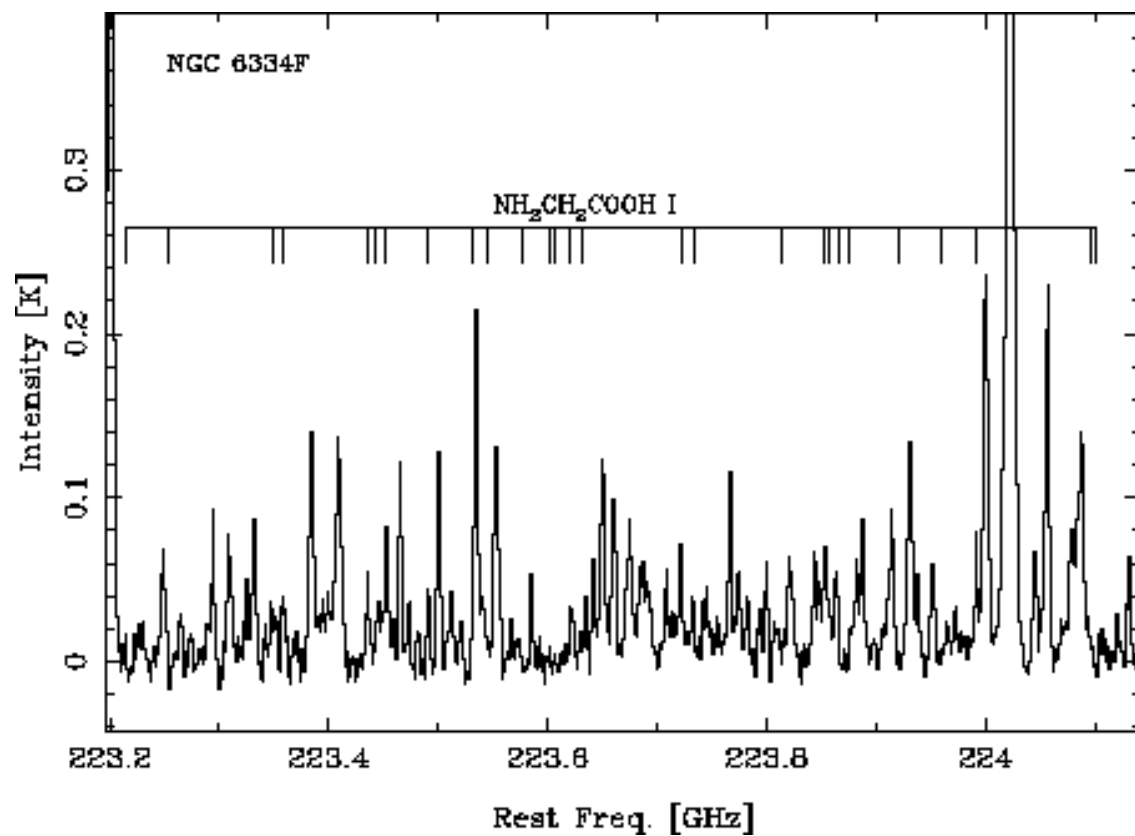
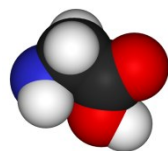
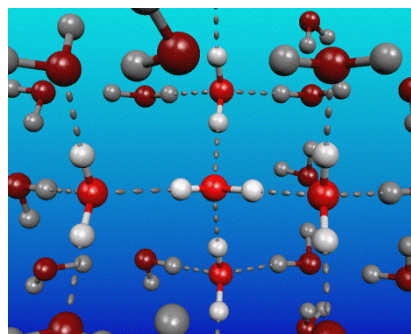
Rouge : $H\alpha$, S ionisé
Rose : N ionisé
Vert/Bleu : He, N, O ionisé
Bleu : $H\beta$



Molécules: niveaux d'énergie (rotation, vibration)

- Molécules : plusieurs atomes
⇒ vibration + rotation :
niveaux d'énergie quantifiés
(similaires aux niveaux atomiques)
- Nouvelles raies d'émission et d'absorption. Énergies plus faible: fréquences plus basse. Important pour la détection de molécules dans l'espace.



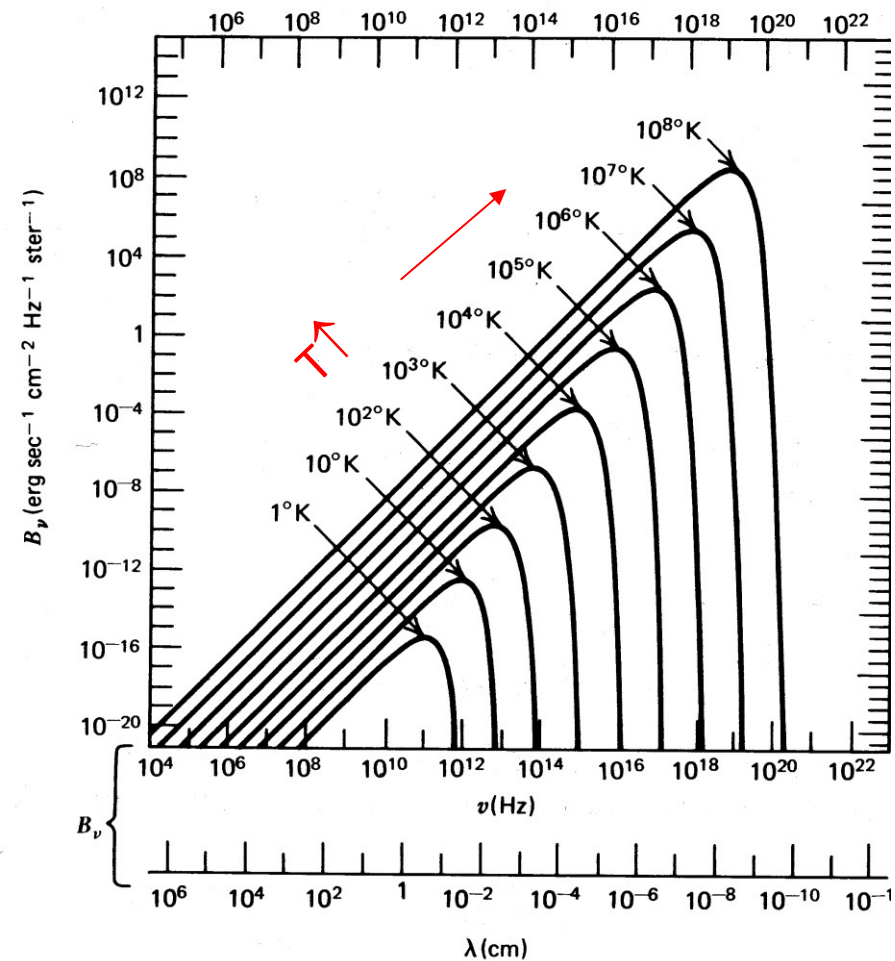


Emissivité : Modèle du corps noir

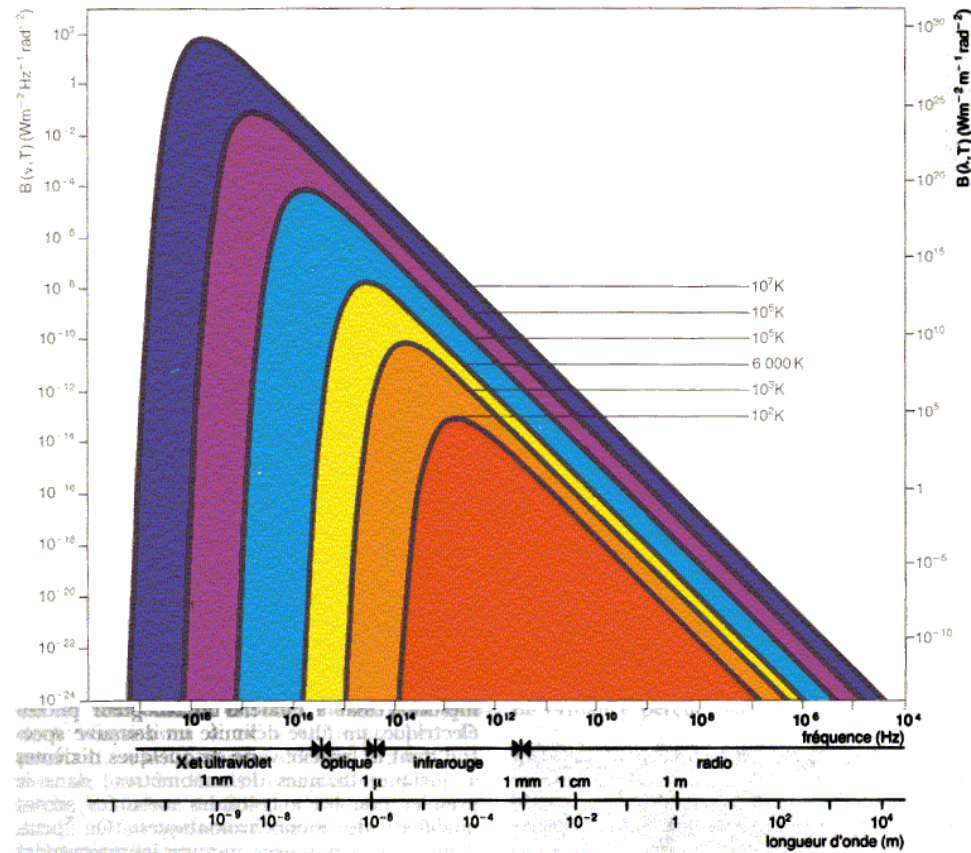
Rayonnement thermique: corps noir

- Tout corps « chaud (T) » rayonne de la lumière : transformation de l'énergie d'agitation thermique
- Corps noir :
 - Corps idéal absorbant toute la lumière extérieure qui lui parvienne, et ne réémettant que la seule radiation thermique qui ne dépend que de sa température de surface
 - dans la réalité, les objets sont gris (efficacité d'émiss/absorpt $\leq 100\%$)
- Rayonnement de **corps noir** ne dépend que de la **température**, pas du matériau, de la taille, de la forme, etc...



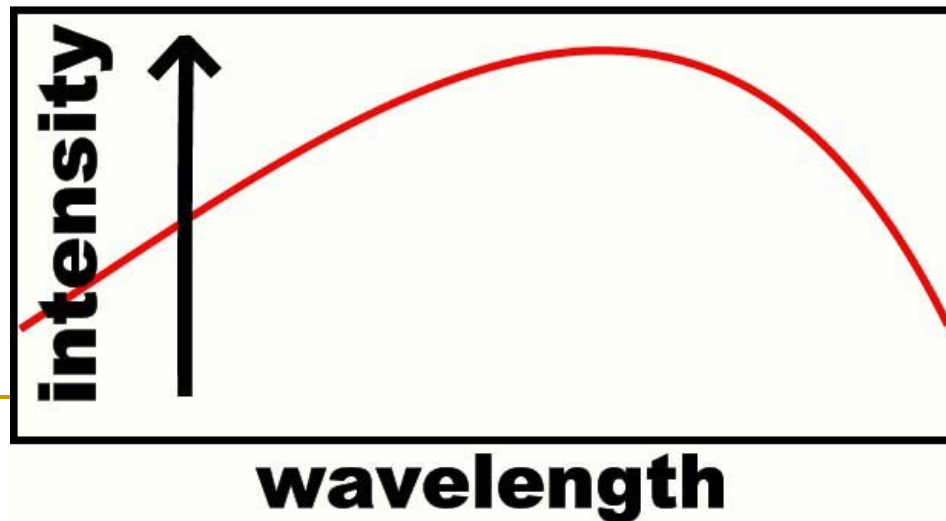
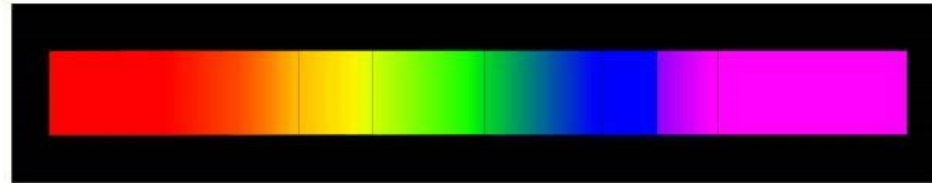
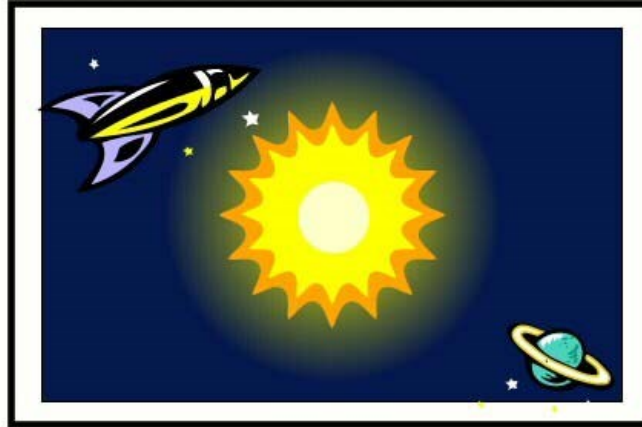


Spectre en fréquence



Spectre en long. d'onde

Spectre continu : émission



Caractéristiques du corps noir

- Loi de Wien:

$$\lambda_{\max} T = 2.9 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$$

- + étoile est chaude, + la courbe du c.n. se déplace vers le bleu (long. d'onde + faible)

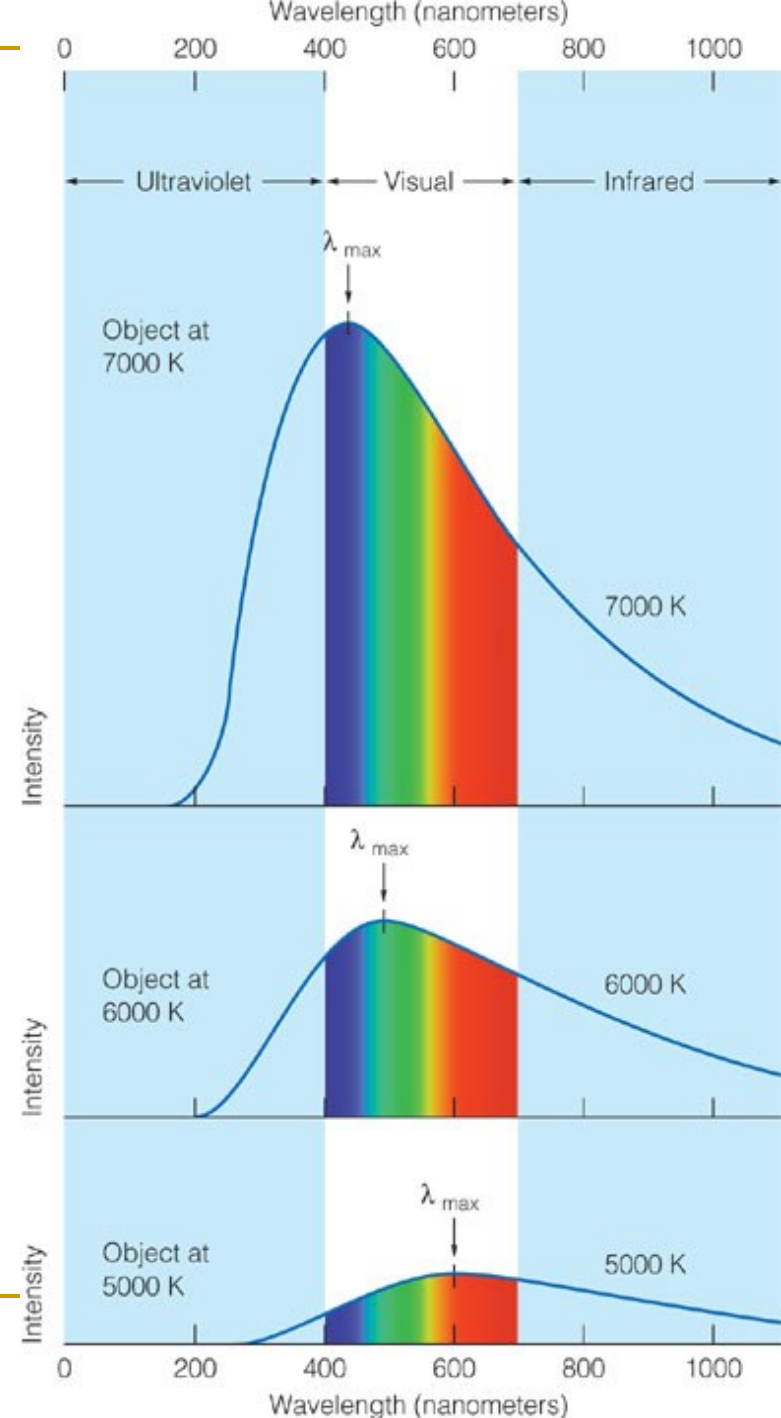
- Loi de Stefan-Boltzman:

- Énergie libérée par unité de surface:

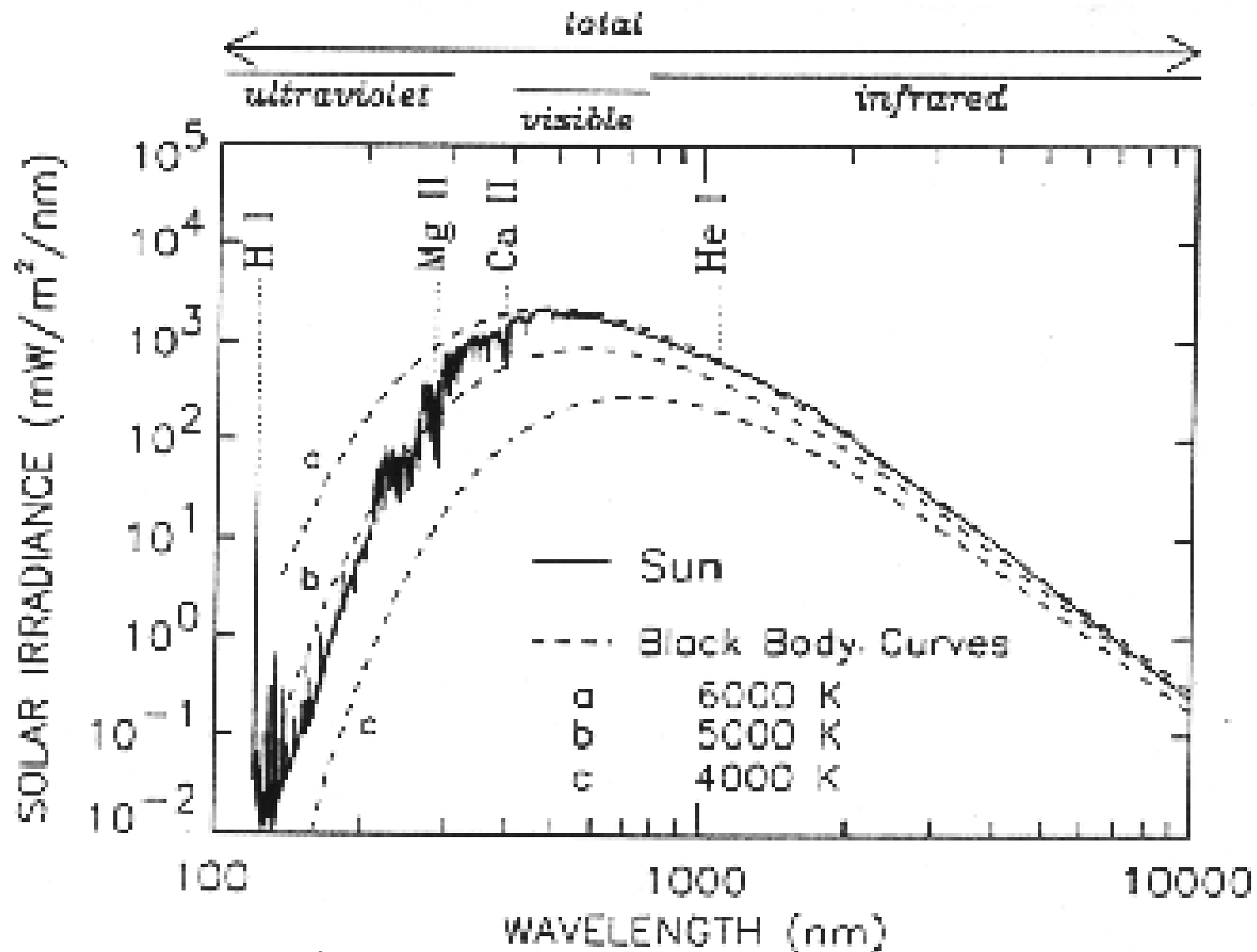
$E = \sigma T^4$ avec E en W/m^2 et T en K.

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

- étoile + chaude, + de photons émis



Le corps noir du Soleil



Spectre détaillé du Soleil: spectre du CN + beaucoup de raies d'absorption

