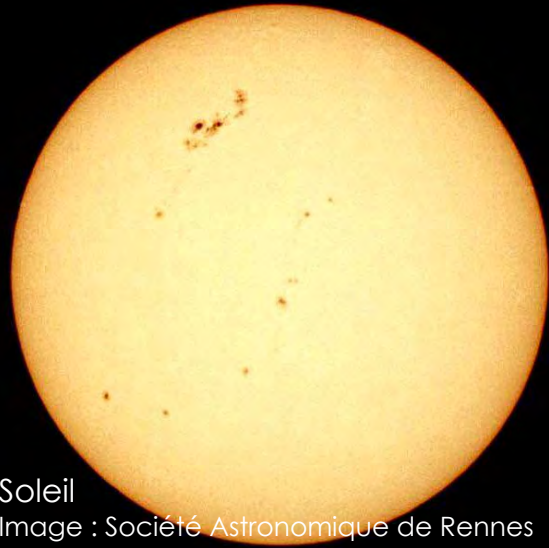


Toutes sortes de lumières



Soleil
Image : Société Astronomique de Rennes



Étoiles (les Pléiades)
Image : NASA



LASER



Ampoule à incandescence

Flamme



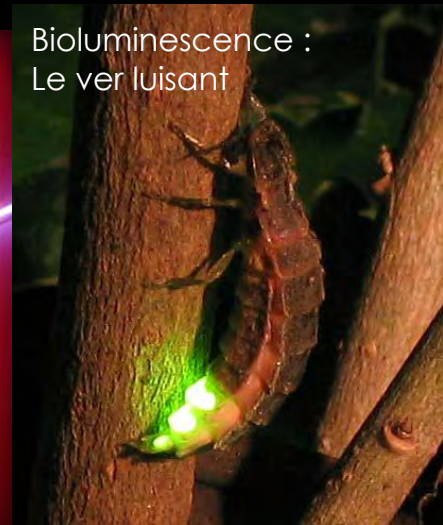
LED



Tubes fluorescents



Bioluminescence :
Le ver luisant



Qu'est-ce que la lumière ?

Décomposer la lumière



En 1666, Isaac Newton décompose la lumière à l'aide d'un prisme. Si il n'est pas le premier à le faire, il est le premier à comprendre que la lumière blanche est composée de l'ensemble des couleurs de l'arc-en-ciel.

Avant lui, certains pensaient que les couleurs étaient dues au milieu traversé, voire à un effet de la lumière sur notre système sensoriel (Descartes) ...

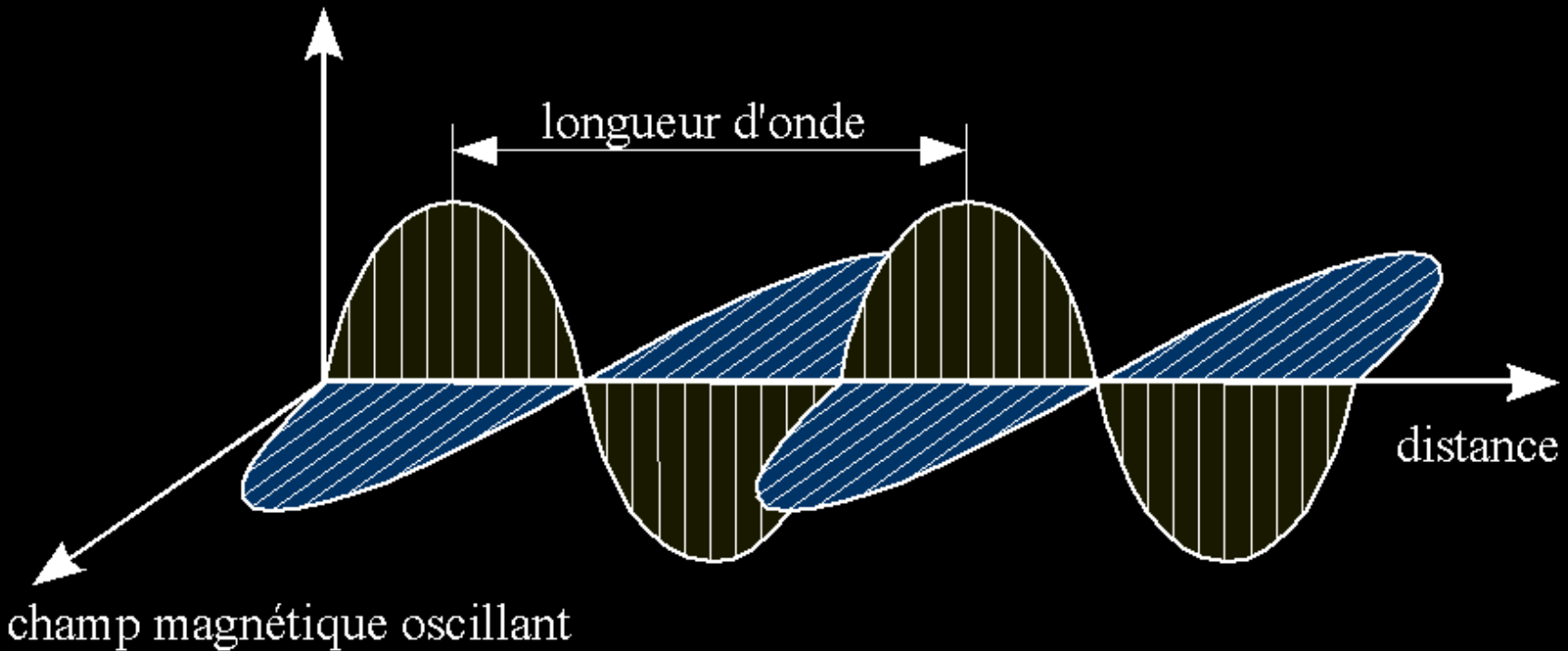
Qu'es-ce que la lumière ?

Lumière et ondes

Qu'est-ce que la lumière ?

La lumière est une onde électromagnétique

champ électrique oscillant



Longueur d'onde mesurée en nm

$$1 \text{ nm} = 0.000000001 \text{ m} = 10^{-9} \text{ m}$$

Ondes et particules

- Le **photon** est un *quantum* (« grain ») de lumière
- Le photon n'est ni une particule, ni une onde, mais il peut se comporter comme l'une ou l'autre
- L'**énergie** (E) du photon est reliée à la **longueur d'onde** (λ) :

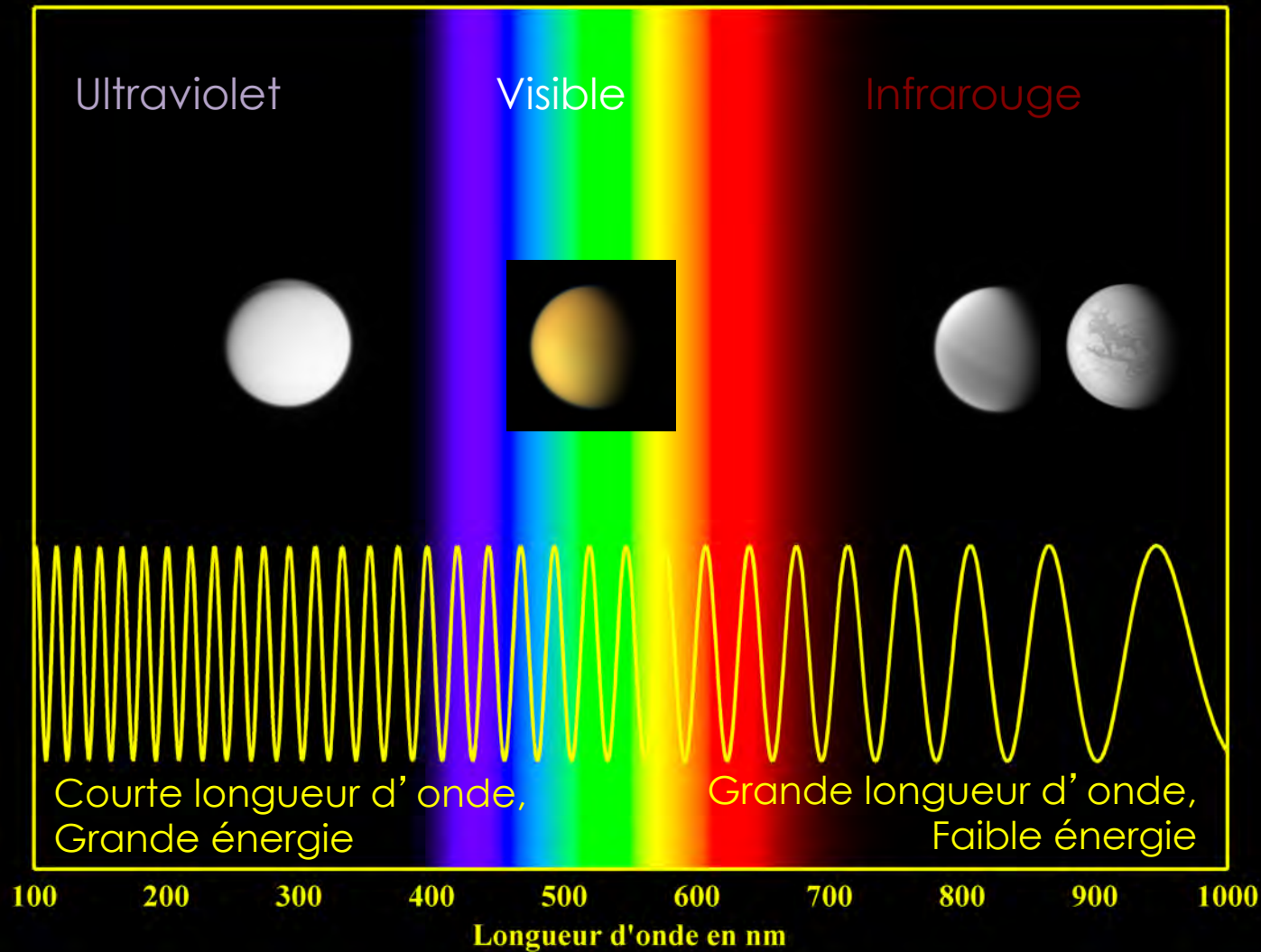
$$E = hc / \lambda$$

Décomposition en longueur d'onde : **Le spectre**



Qu'es-ce que la lumière ?

Longueur d'onde et couleur



Qu'est-ce que la lumière ?



Lumière et température

Soleil
5800 K



FLIR

Chien par caméra IR
300 K



Acier en fusion
1800 K



Fond cosmologique
de l'univers 3K



La couleur des étoiles

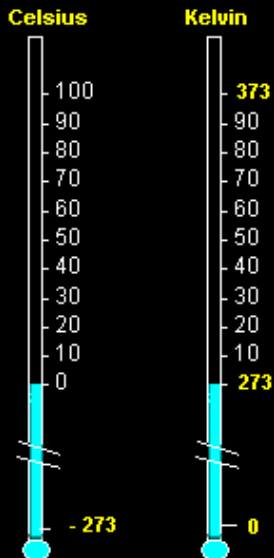
Corps noir !

Un **corps noir** est un objet idéal absorbant tous les rayonnements et dont **l'émission ne dépend que de sa température**.

Cette notion a été introduite par Gustav Kirchhoff en 1880. Elle a permis à Max Planck de poser en 1900 les bases de la mécanique quantique.

L'intérieur d'un four est un très bon analogue de corps noir.

La surface d'une étoile ou la rayonnement de fond cosmologique sont également de très bons corps noirs.



La **loi du corps noir** permet, grâce à l'analyse du spectre lumineux, de **mesurer la température** d'un objet.

Les physiciens mesurent les températures en **Kelvins**, échelle ayant pour origine le zéro absolu (-273.15°C).

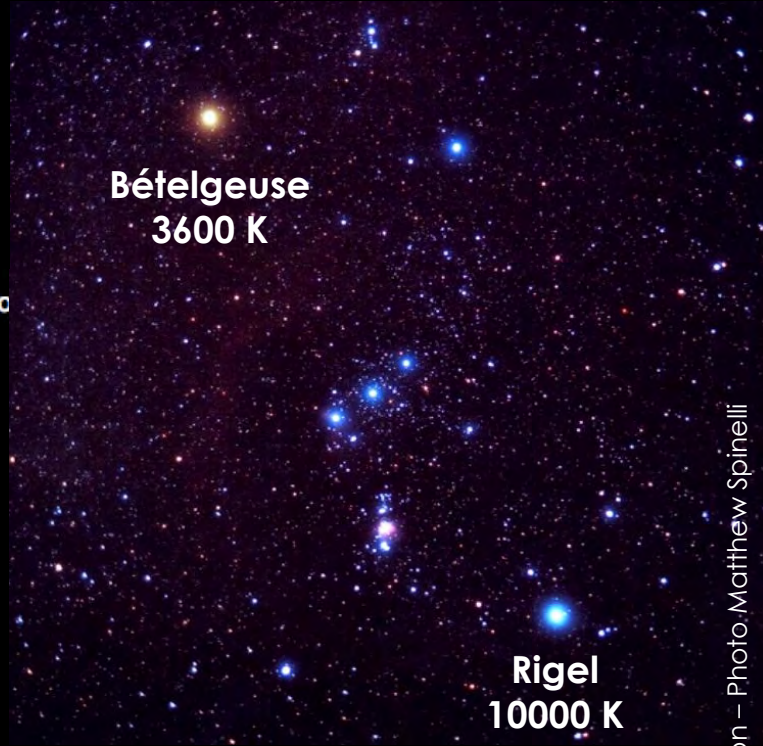
Chaud et froid sur les étoiles

Soleil 5800 K



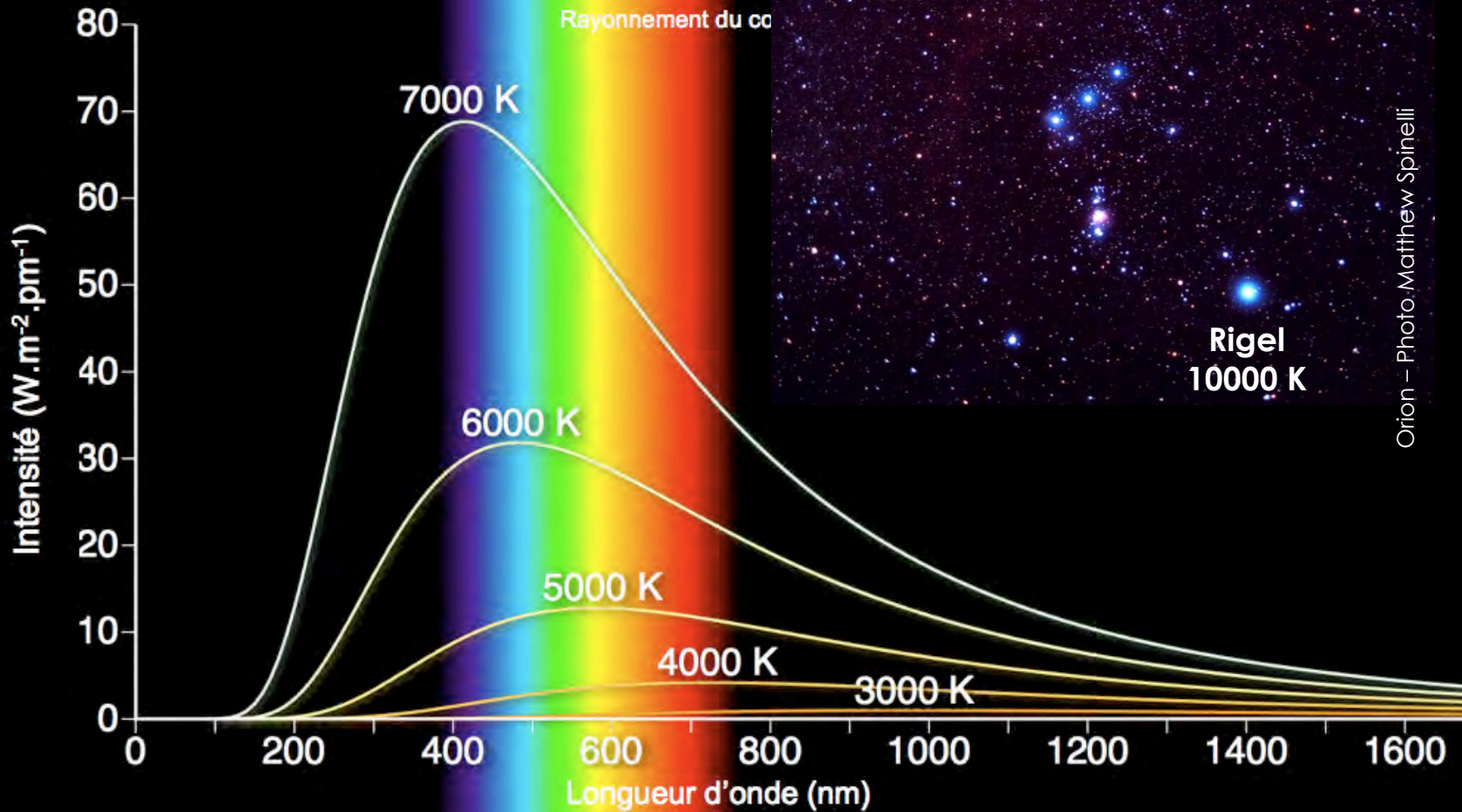
Image : NASA

Bételgeuse
3600 K



Rigel
10000 K

Orion - Photo: Matthew Spinelli

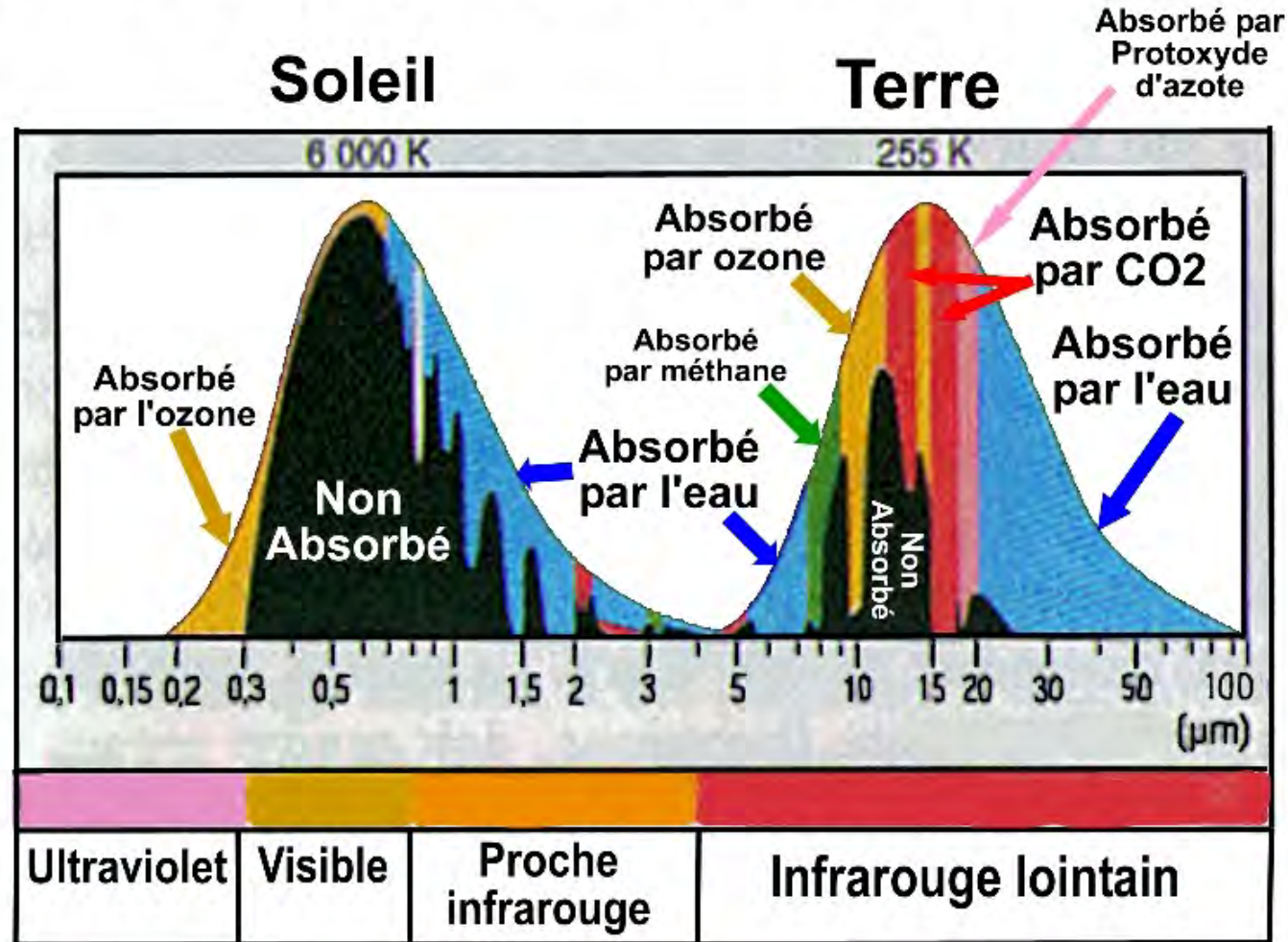


La couleur des étoiles



Soleil et Terre

Spectre d'absorption du rayonnement thermique

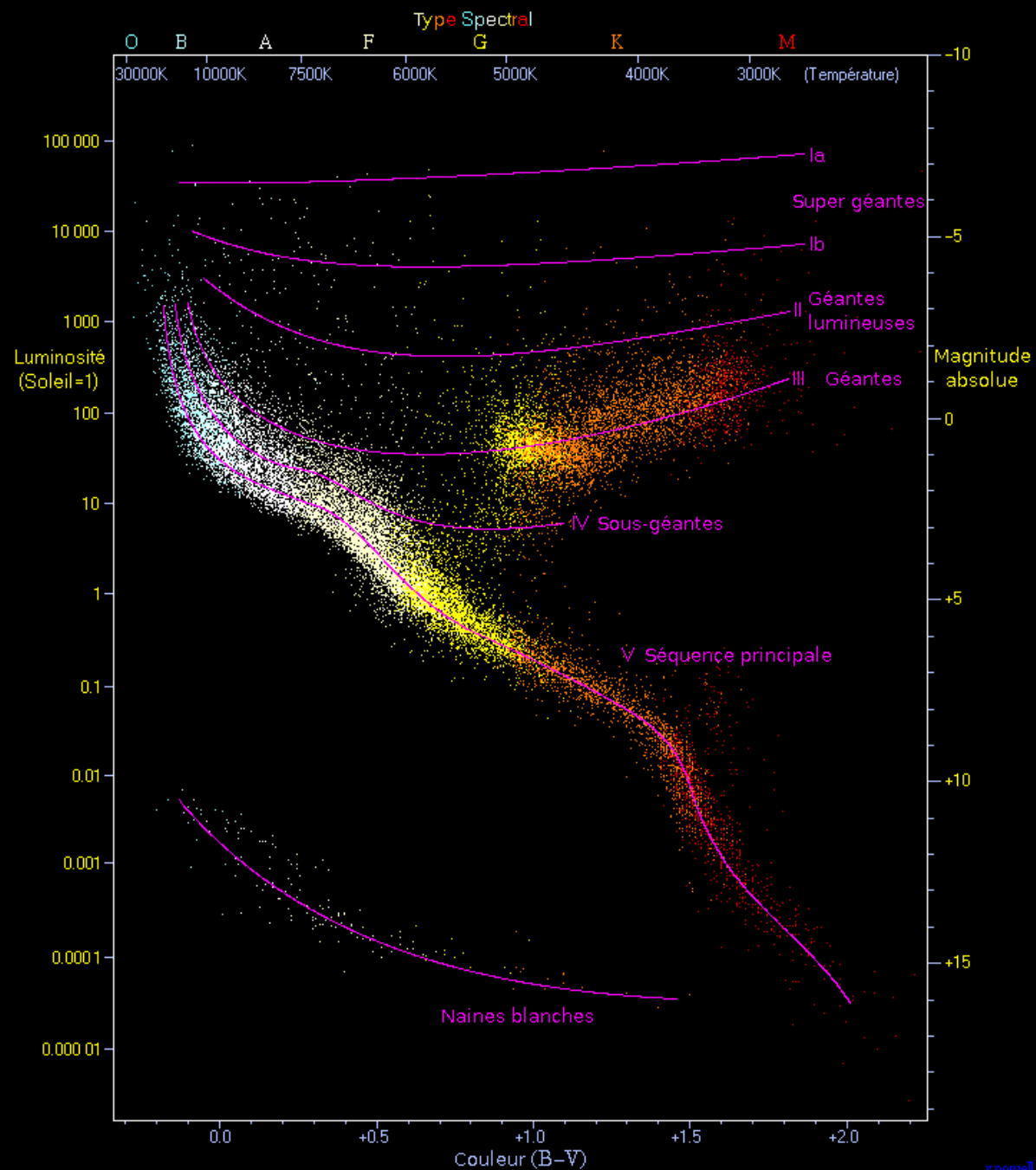


Sources : Sadourny, Jancovici

Classer les étoiles

On peut classer les étoiles en fonction de leur couleur et de leur luminosité.

Elles s'arrangent sur les différentes branches du diagramme de Hertzsprung-Russel, selon leur degré d'évolution.



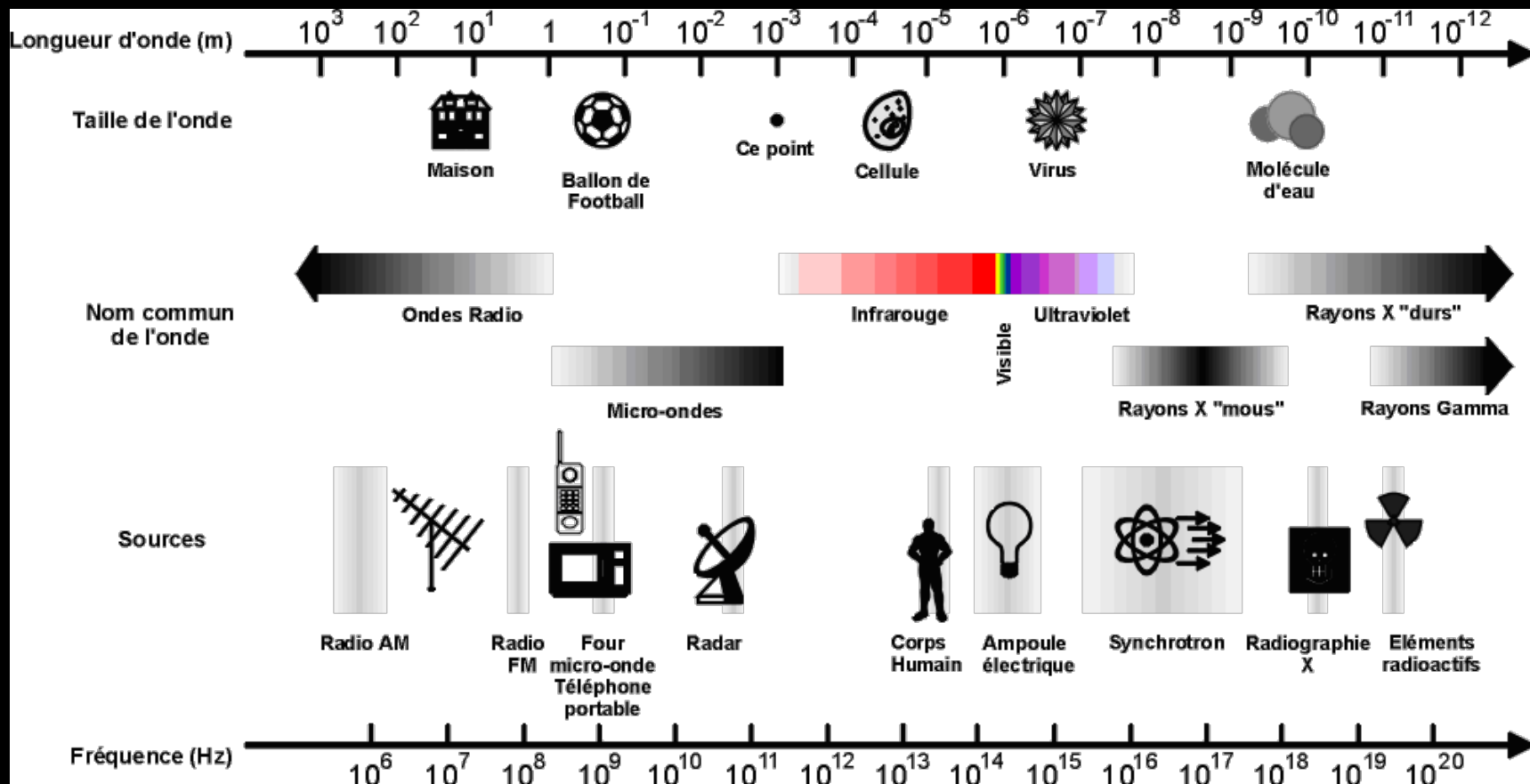
La couleur des étoiles

Le spectre électromagnétique

La lumière visible ne représente qu'une toute petite partie du spectre.

Les astronomes utilisent toutes les longueurs d'onde pour sonder l'Univers.

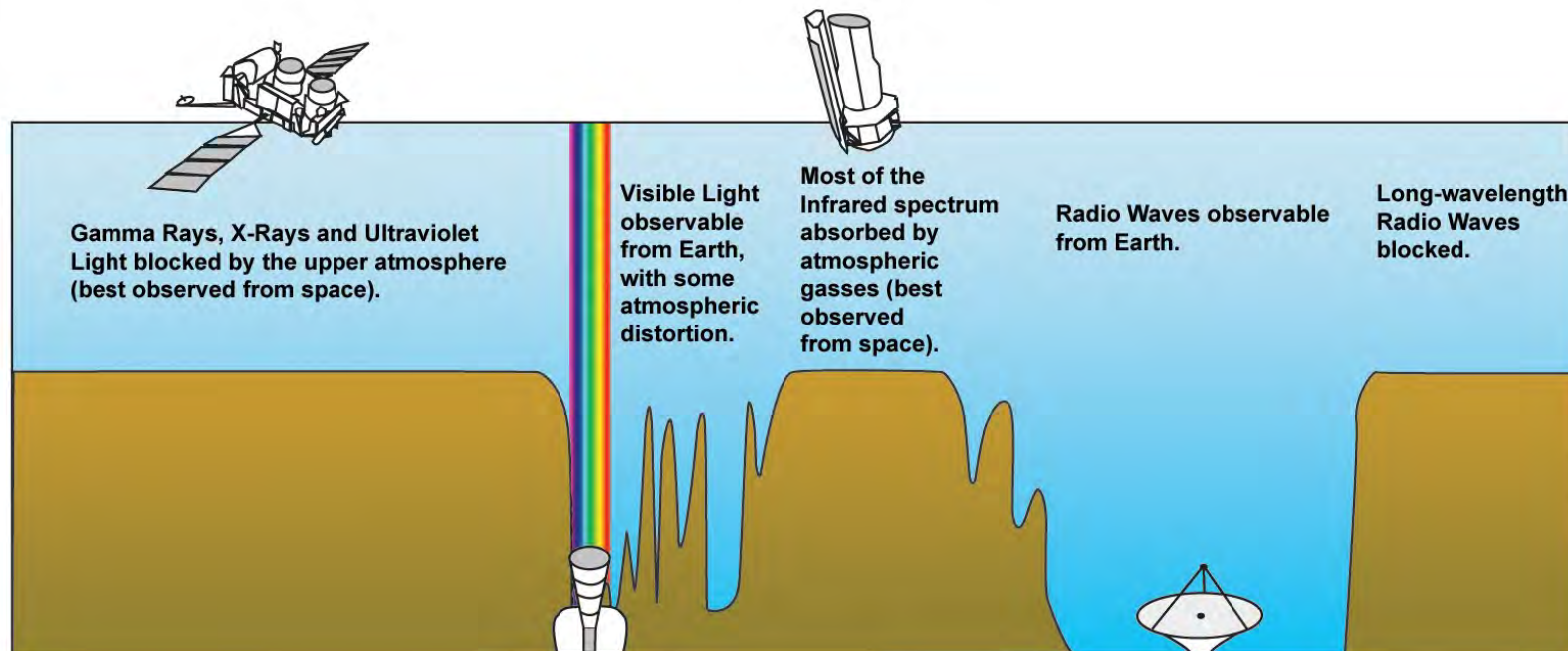
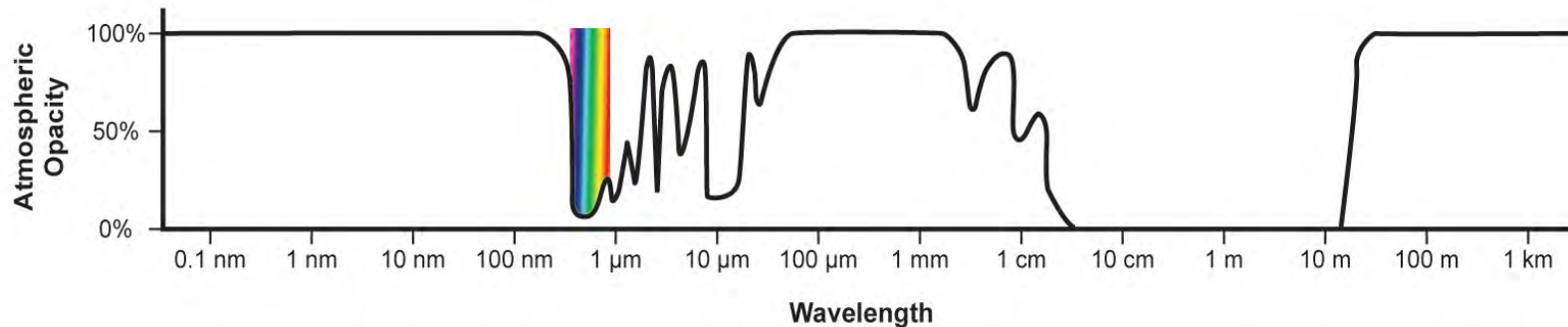
L'Univers de toutes les couleurs



Source : <http://patrick.kohl.pagesperso-orange.fr>



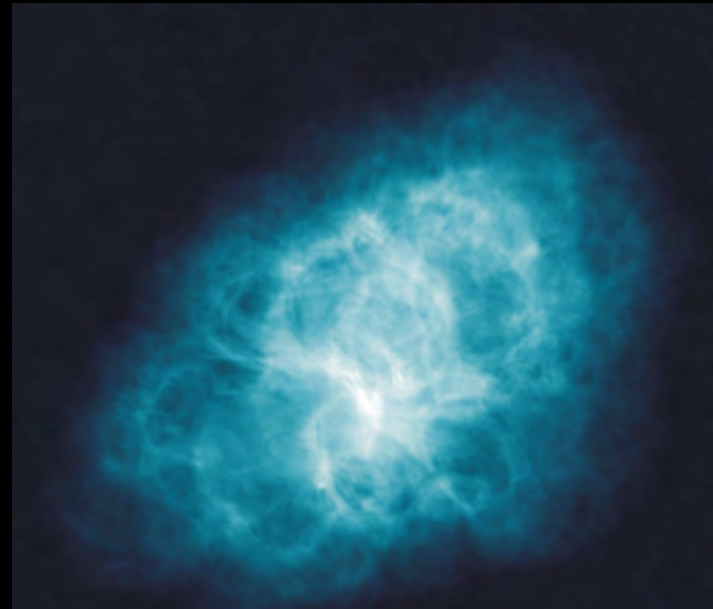
Observer dans toutes les longueurs d'onde



La radioastronomie

De nombreux objets émettent en ondes radio (galaxies, pulsars, ...).

En particulier, la raie à $\lambda = 21$ cm de l'atome d'hydrogène permet de cartographier la répartition de cet élément dans l'Univers.



La nébuleuse du Crabe en radio par le VLA



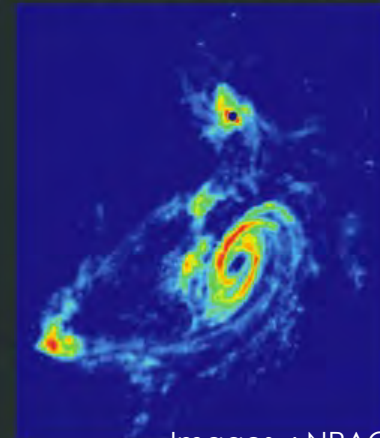
Radiotélescopes du Very Large Array (USA)

TIDAL INTERACTIONS IN M81 GROUP

Stellar Light Distribution



21 cm HI Distribution

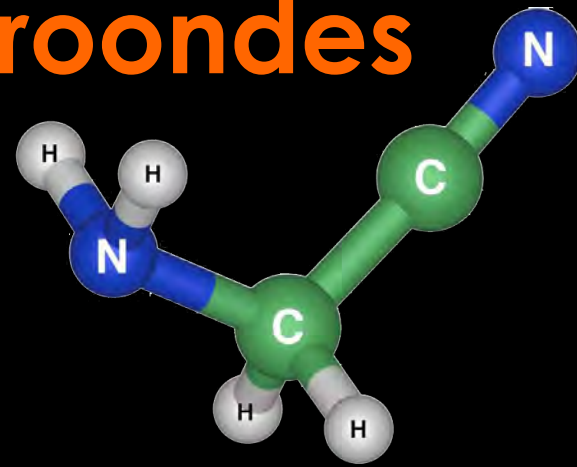


Images : NRAO

L'Univers en microondes

Un très grand nombre de molécules complexes du milieu interstellaire ont un spectre d'absorption très caractéristique dans les micro-ondes.

Le fonds diffus cosmologique est également cartographié en micro-ondes par des satellites.



L'aminocétonitrile, précurseur de la glycine (acide aminé le plus simple), découvert en 2008 dans le « *Large Molecular Heimat* », près du centre galactique.



Le projet ALMA dans le désert d'Atacama au Chili / ESO

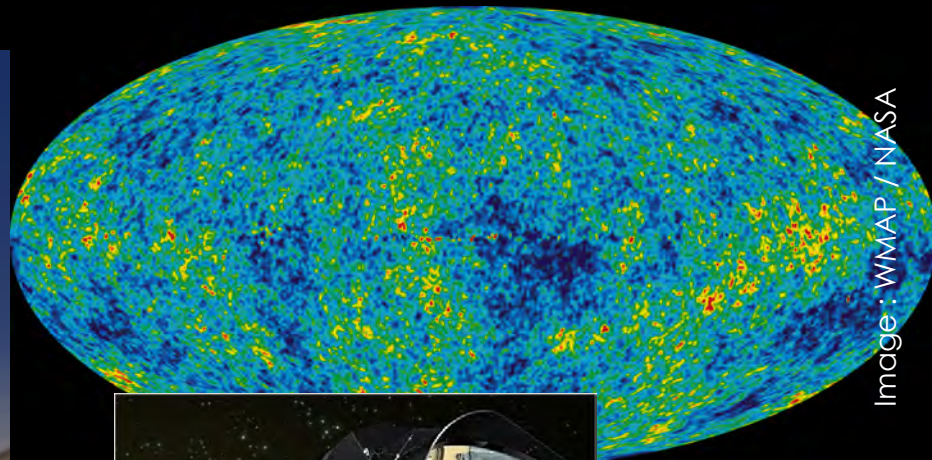
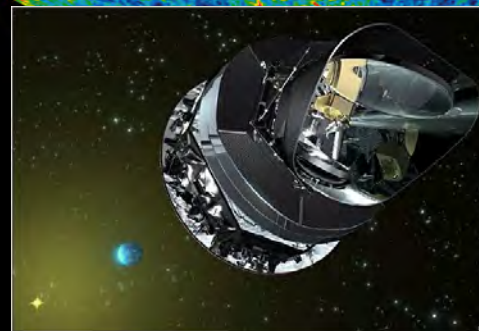


Image : WMAP / NASA

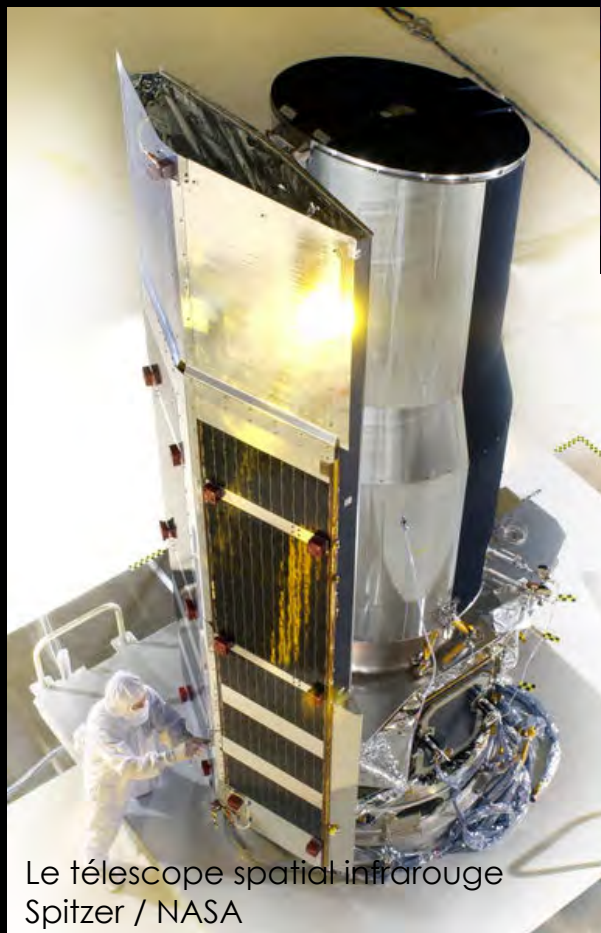


Le satellite Planck (ESA), lancé en 2009 pour cartographier le fond diffus cosmologique.

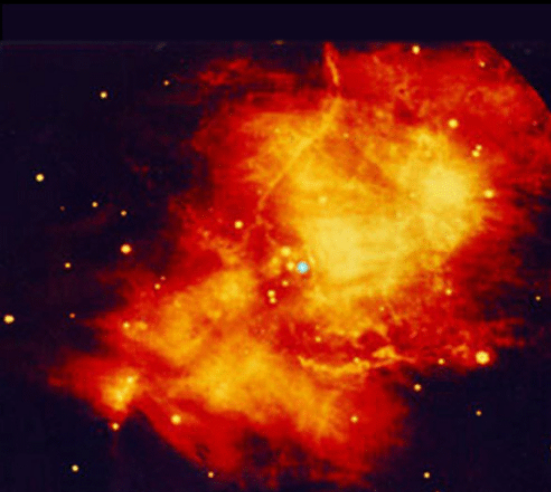
L'Univers en infrarouge

L'Univers de toutes les couleurs

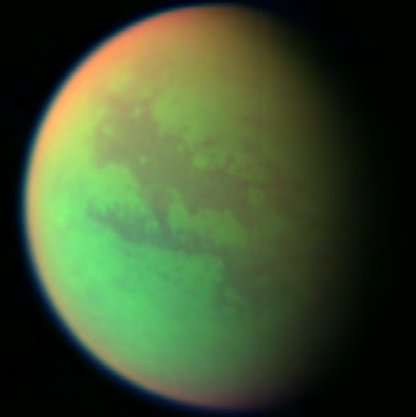
Le rayonnement infrarouge permet de cartographier l'Univers « froid », en particulier les nuages de poussières.



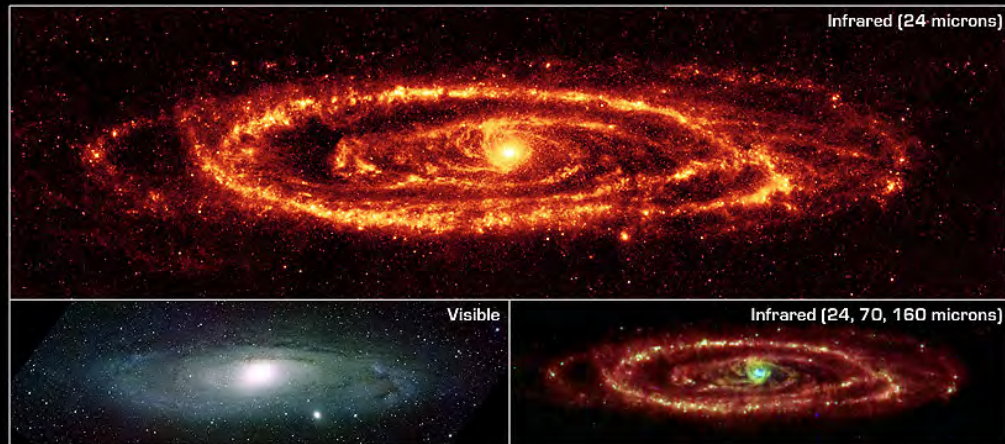
Le télescope spatial infrarouge Spitzer / NASA



La nébuleuse du Crabe en infrarouge, NASA



Voir à travers la brume : Titan en infrarouge par Cassini / NASA



Dust in Andromeda Galaxy (M31)
NASA / JPL-Caltech / K. Gordon (University of Arizona)

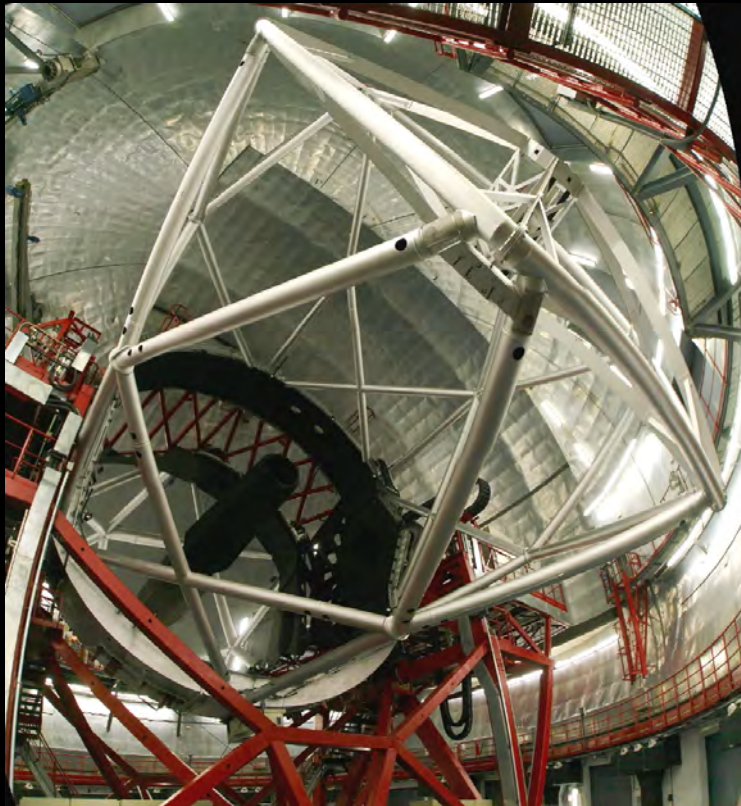
Spitzer Space Telescope • MIPS
Visible: NOAO/AURA/NSF ssc2005-20a



L'Univers visible

La plupart des étoiles émettent essentiellement dans le visible.

Un certain nombre d'atomes ou d'ions ont également des raies d'absorption dans le visible.



Le Gran Telescopio Canarias
Diamètre : 10,40 m



La nébuleuse du Crabe en lumière visible
Image : Hubble / NASA

La nébuleuse d'Orion (M42) en lumière visible.

En rouge, l'hydrogène.

En vert, l'oxygène.



Image : Robert Gendler

L'Univers en ultraviolet

Les étoiles (dont le Soleil) émettent aussi généralement beaucoup de rayonnement UV (responsable du bronzage !).

Ce rayonnement est produit par des électrons changeant de niveau. Il est la signature des objets chauds.

La galaxie M81 en ultraviolet, par GALEX / NASA



Le télescope spatial ultraviolet GALEX / NASA



Le Soleil en ultraviolet par l'instrument EIT du satellite SOHO / ESA

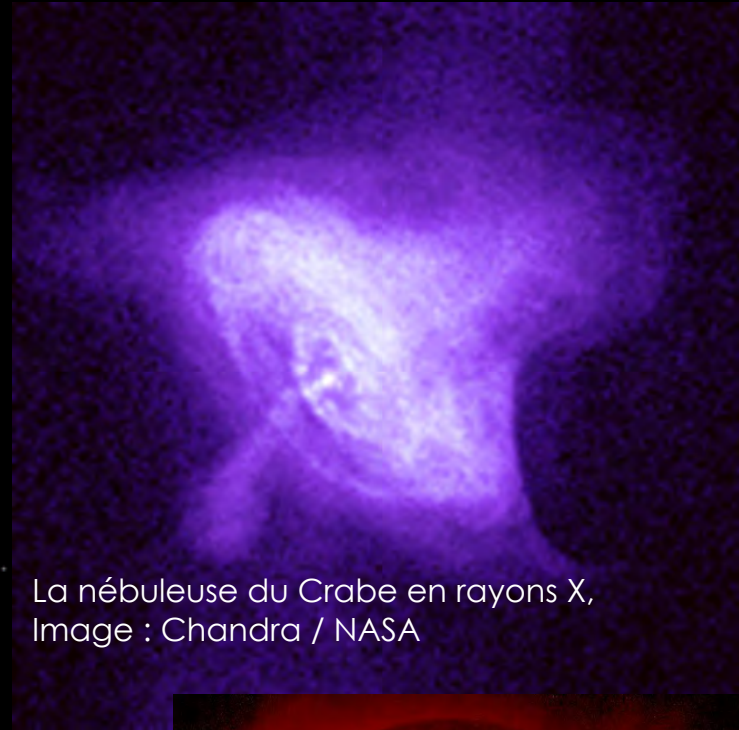
L'Univers en rayons X

Les rayons X peuvent facilement pénétrer la matière (radiographie).

Dans l'Univers, les gaz extrêmement chauds peuvent de grandes quantités de rayons X. Le gaz chauffé spiralant dans un trou noir en est un exemple.

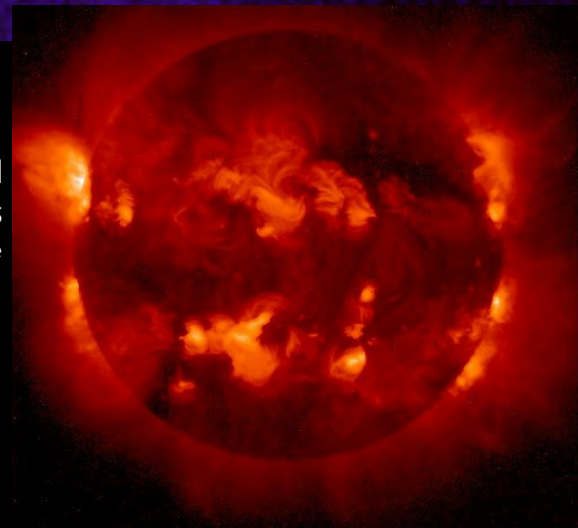


Le télescope spatial X
Chandra / NASA



La nébuleuse du Crabe en rayons X,
Image : Chandra / NASA

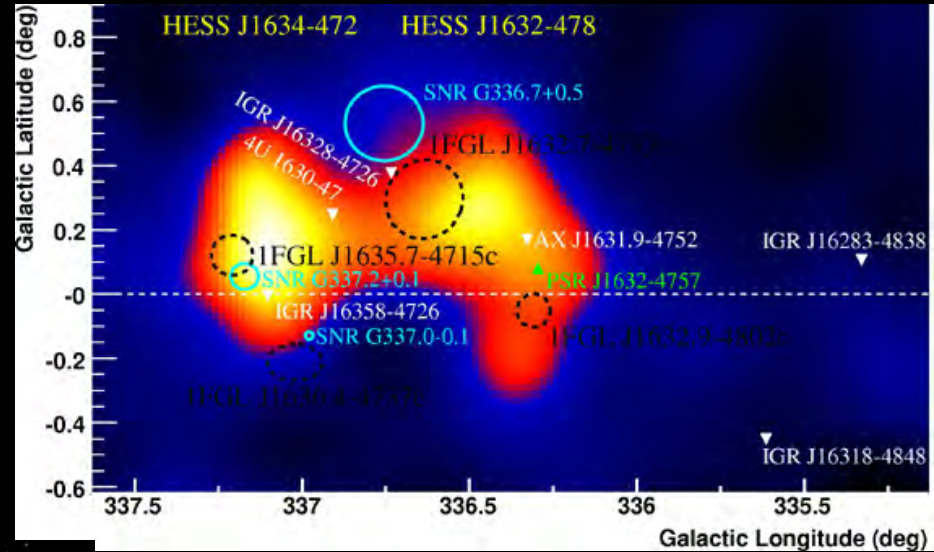
Le Soleil
en rayons
X par le
satellite
japonais
Yohkoh



L'Univers en rayons γ

Les rayons γ sont émis par les noyaux atomiques (radioactivité, réactions nucléaires). Ils sont le signe des événements les plus violents de l'Univers (supernovæ, ...).

Il existe de nombreuses sources γ encore mystérieuses (sursauts γ).

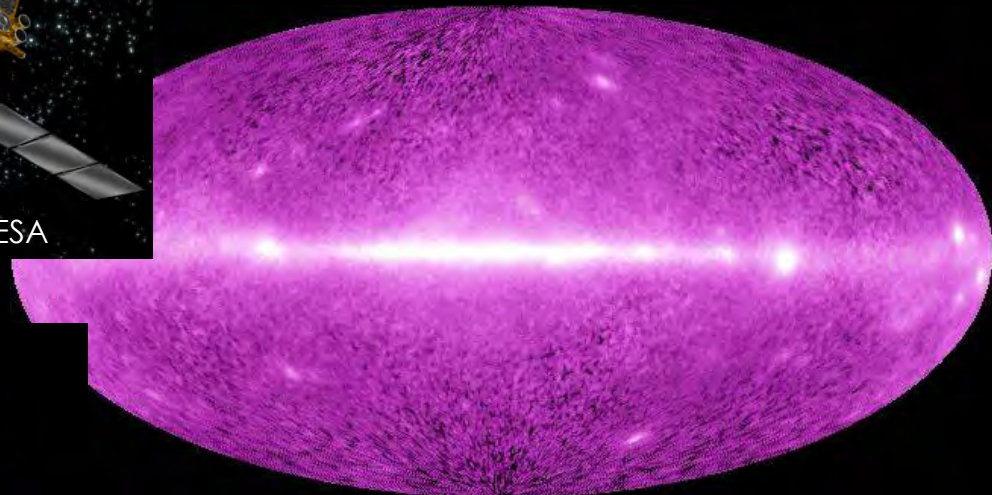


Sources γ galactiques par le télescope HESS (Namibie)



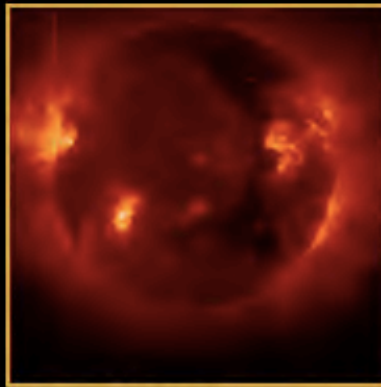
Le satellite γ Integral / ESA

Le satellite γ Fermi / NASA

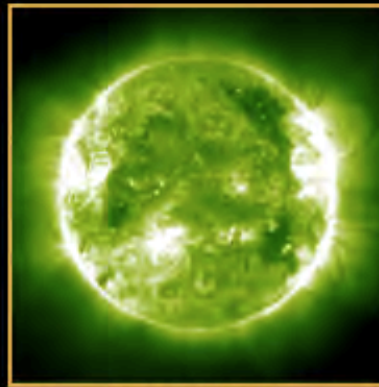


La Terre (à gauche) et le ciel (ci-dessus) en rayons γ par le satellite Compton Gamma Ray Observatory / NASA

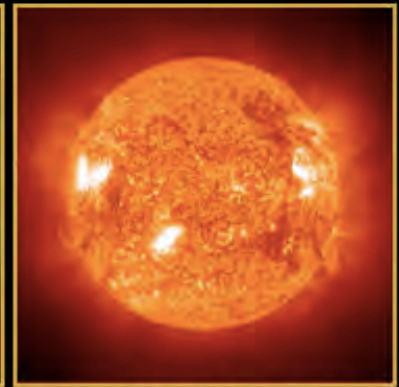
Le Soleil vu dans différentes longueurs d'onde



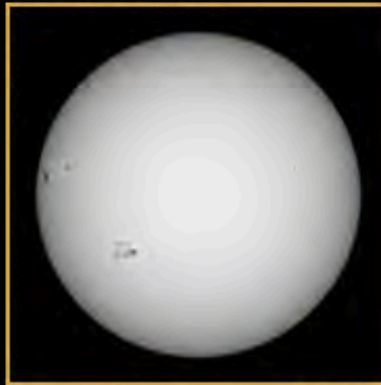
X-Ray: Yohkoh



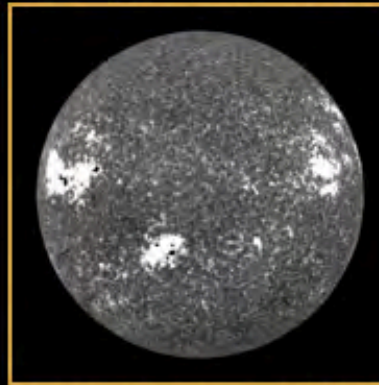
Ultraviolet: SOHO-EIT



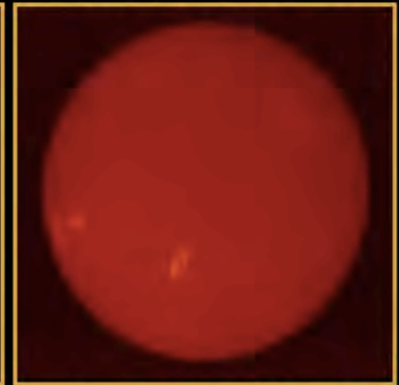
Extreme UV: SOHO-EIT



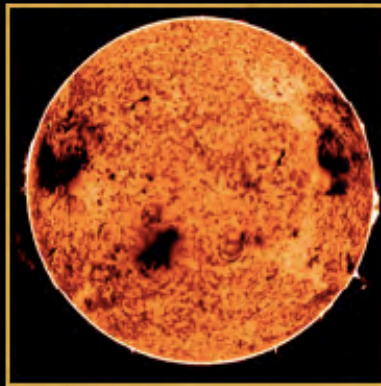
Visible: White Light BBSO



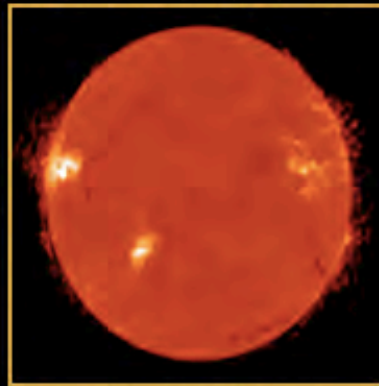
Visible: Calcium-K BBSO



Visible: H-alpha Learmonth



Infrared: NSO



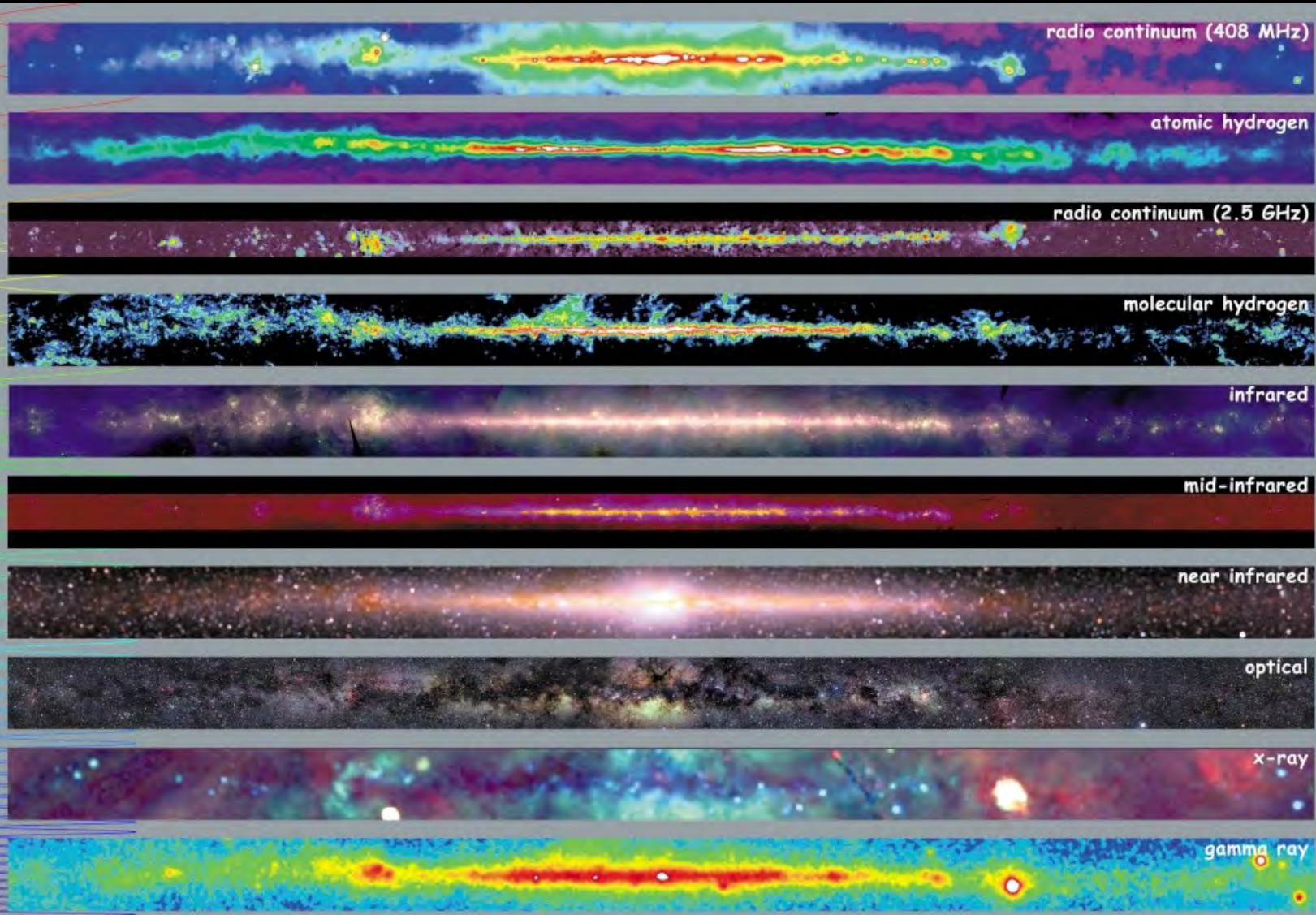
Radio: NobeyamaObs

L'Univers de toutes les couleurs

Source : Caltech



Les couleurs de la Voie Lactée



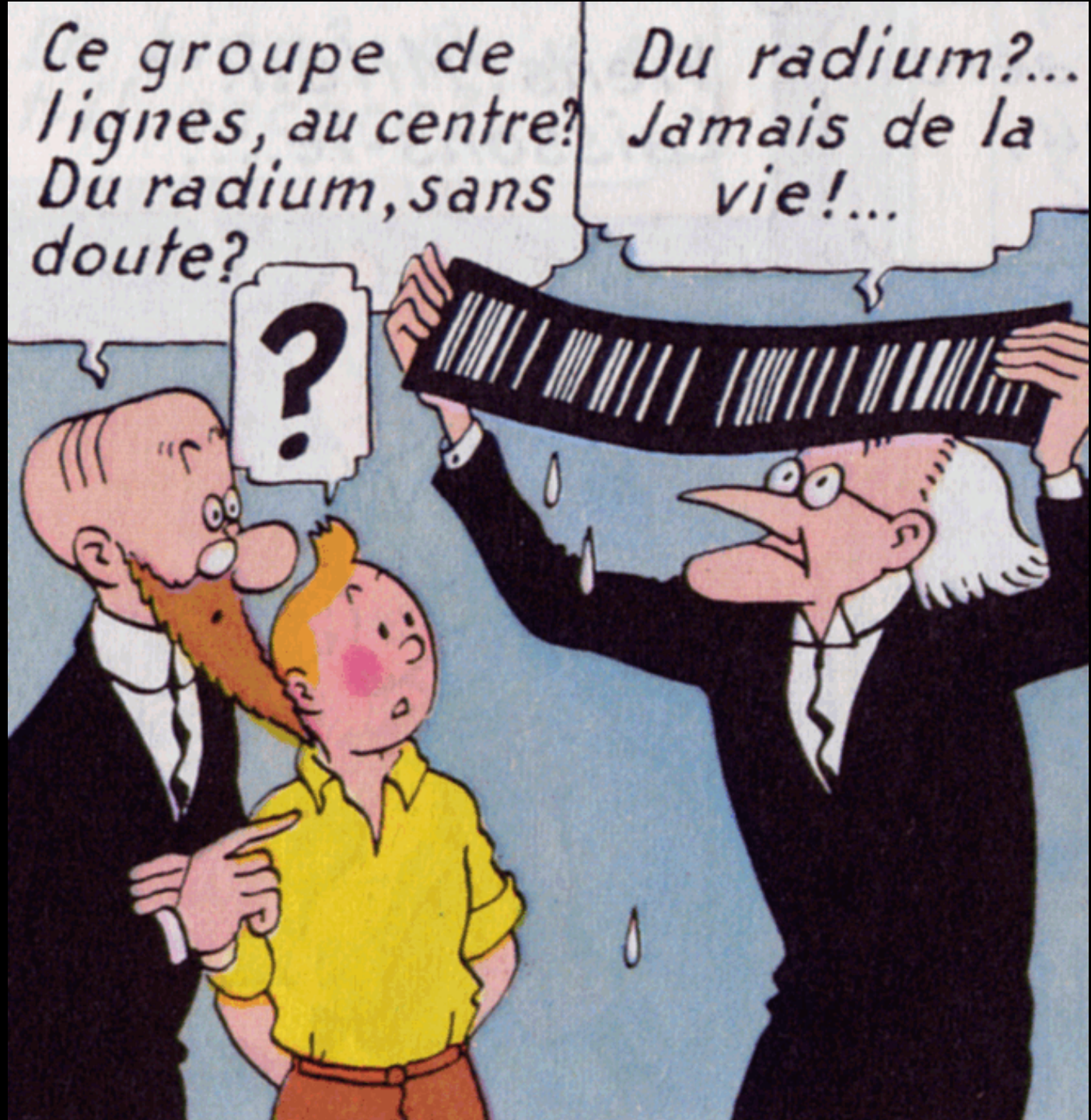
<http://adc.gsfc.nasa.gov/mw/>



Multiwavelength Milky Way

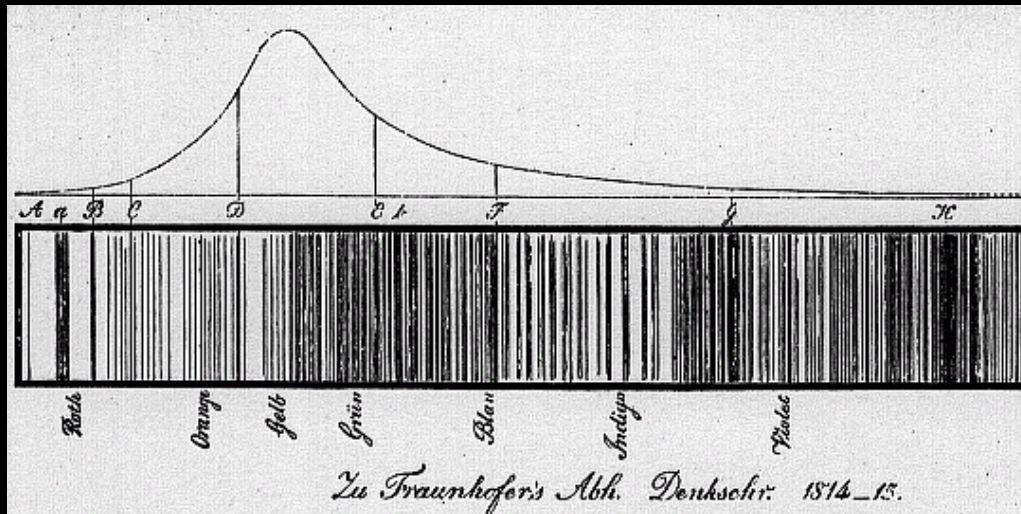
L'Univers de toutes les couleurs





Les raies spectrales

- 1802, **William Wollaston** : raies sombres dans le spectre solaire.
- 1811, **Joseph von Fraunhofer** : près de 500 raies.
- 1865, **Robert Bunsen** et **Gustav Kirchhoff** : raie caractéristique du sodium dans le spectre du Soleil.
- 1896, **Henry Rowland** : 36 éléments
- Hélium : découvert sur le Soleil par identification de raies inconnues, avant qu'il ne soit découvert sur la Terre en 1895.



Aujourd'hui, on dénombre plusieurs milliers de raies, pour l'ensemble des éléments chimiques connus.

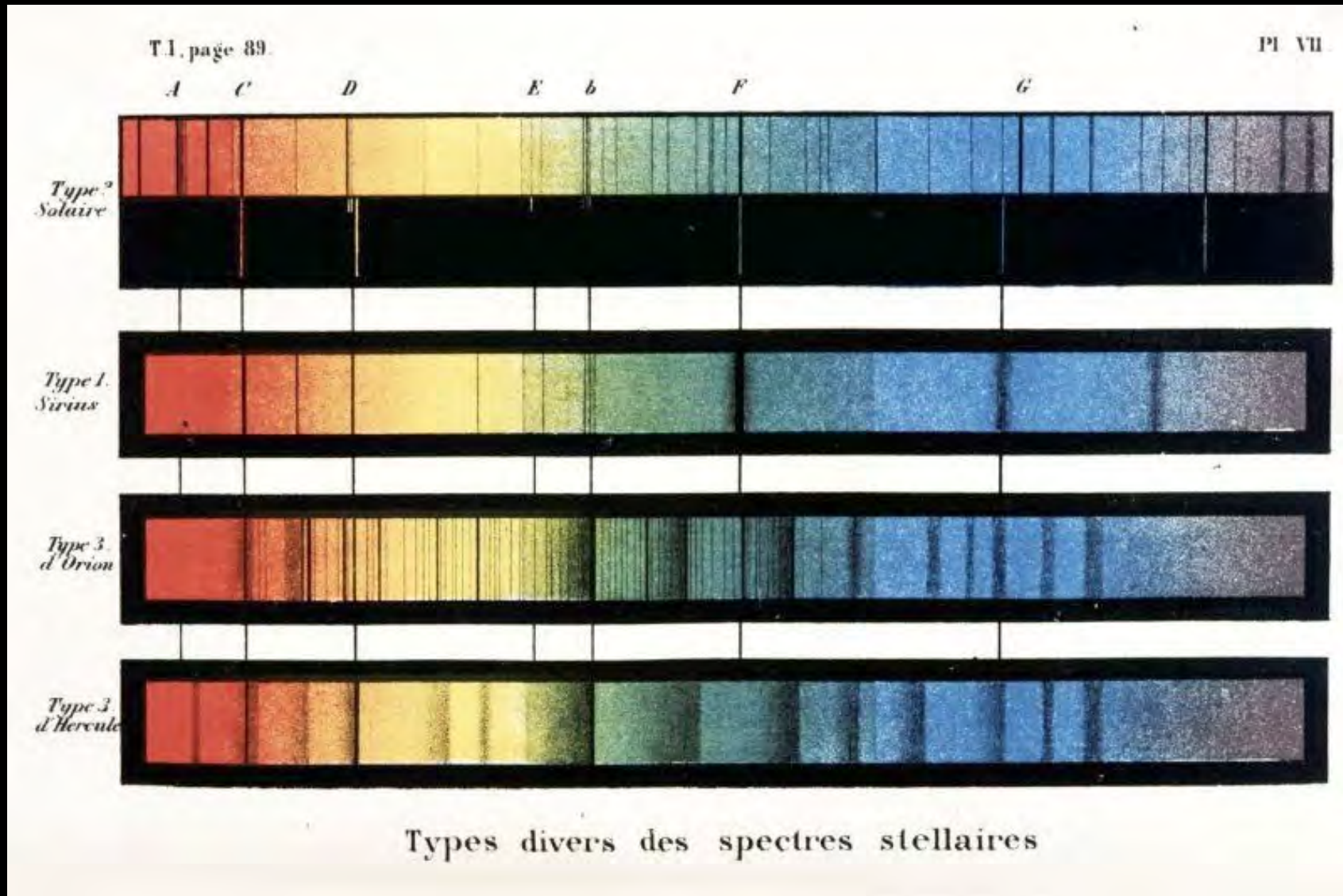
Spectre solaire

Goûter les astres



Spectres d'étoiles

Dès la fin du 19^{ème} siècle, ont été observés les premiers spectres stellaires.



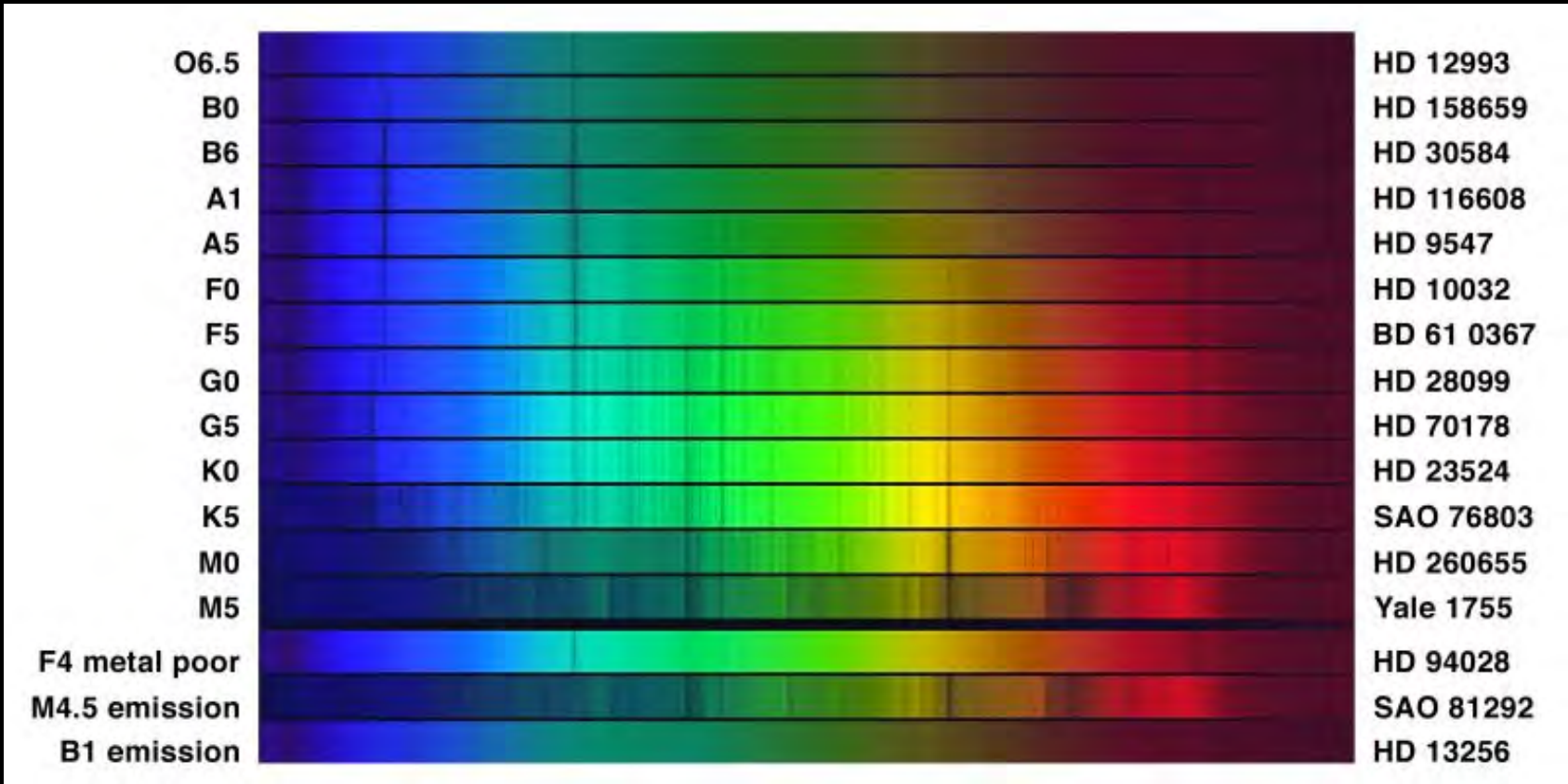
Goûter les astres



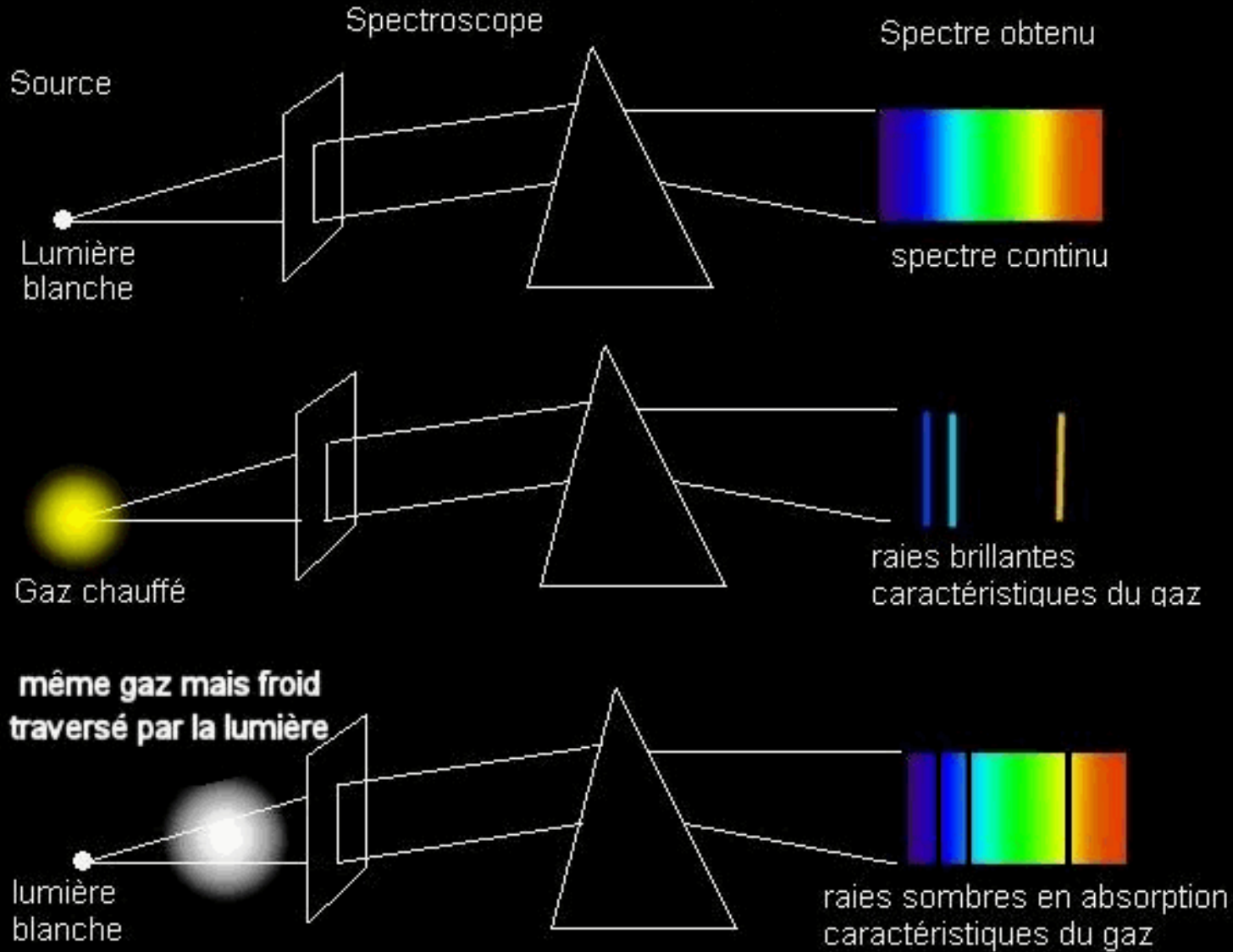
Types spectraux

Différents types de spectres stellaires ont pu être observés et classifiés (aujourd'hui, types O-B-A-F-G-K-M : « *Oh Be A Fine Girl, Kiss Me* », et aussi L, T, Y).

Goûter les astres



Principes physiques



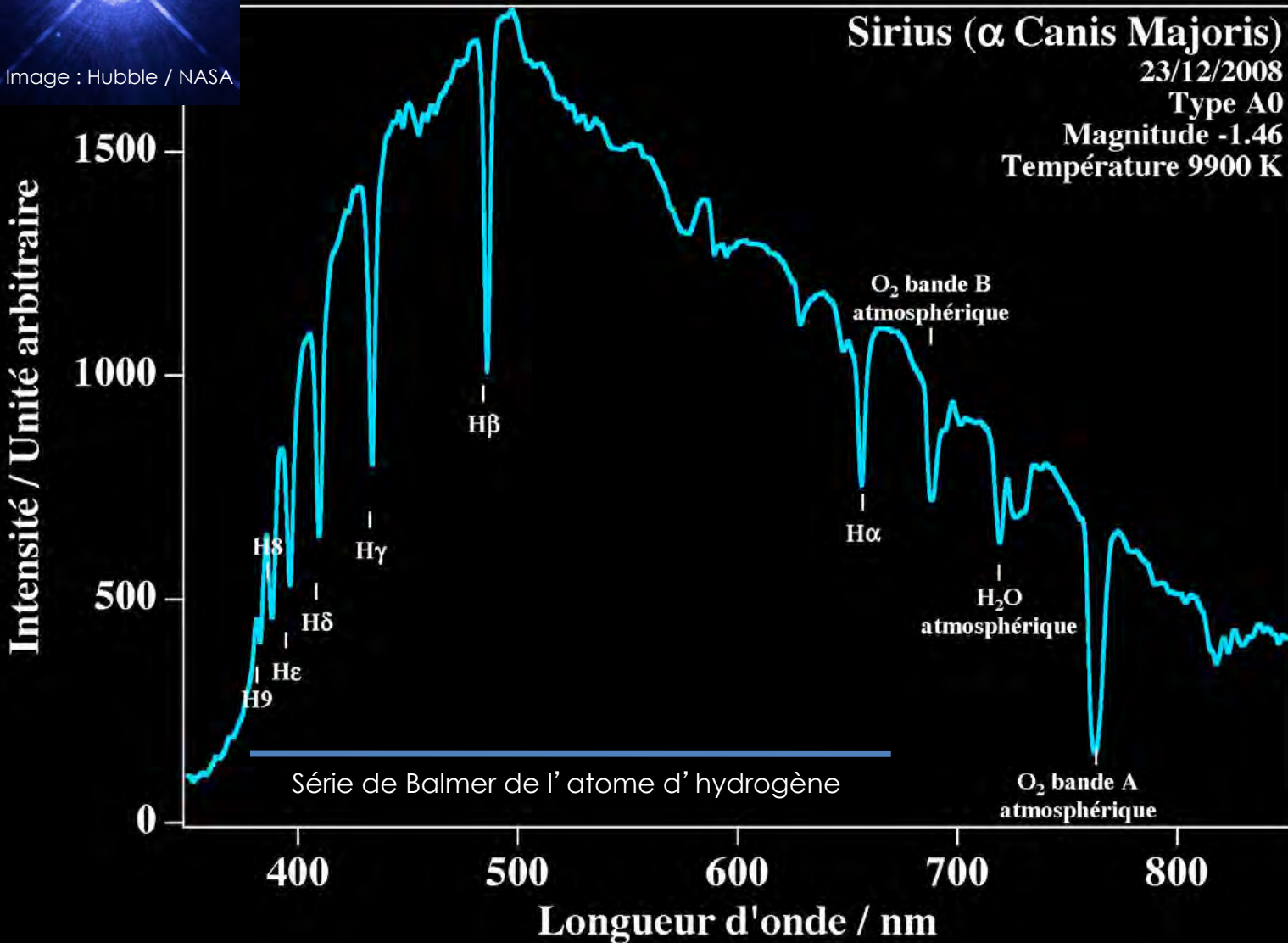
Goûter les astres



Raies d'absorption



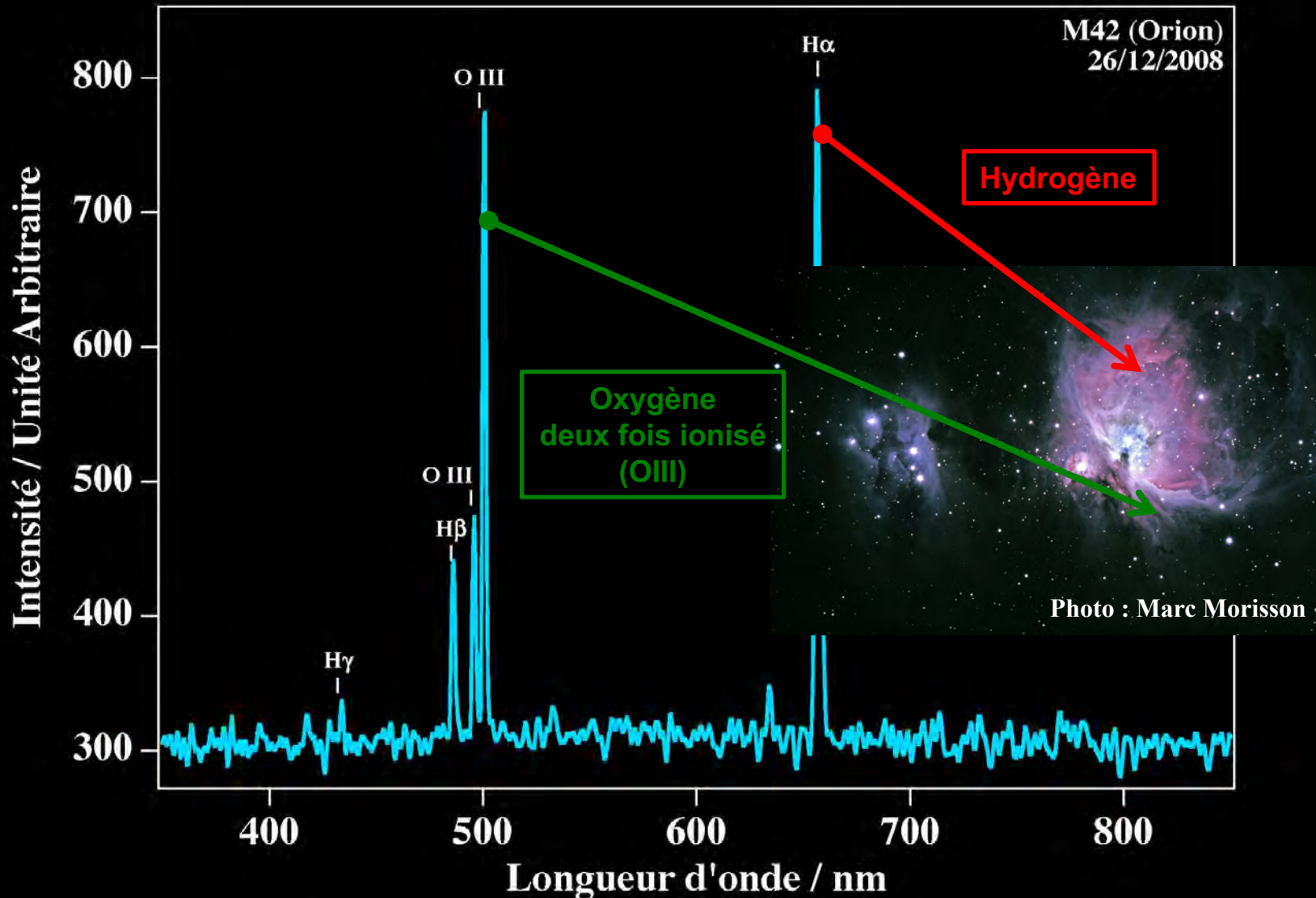
Image : Hubble / NASA



Goûter les astres



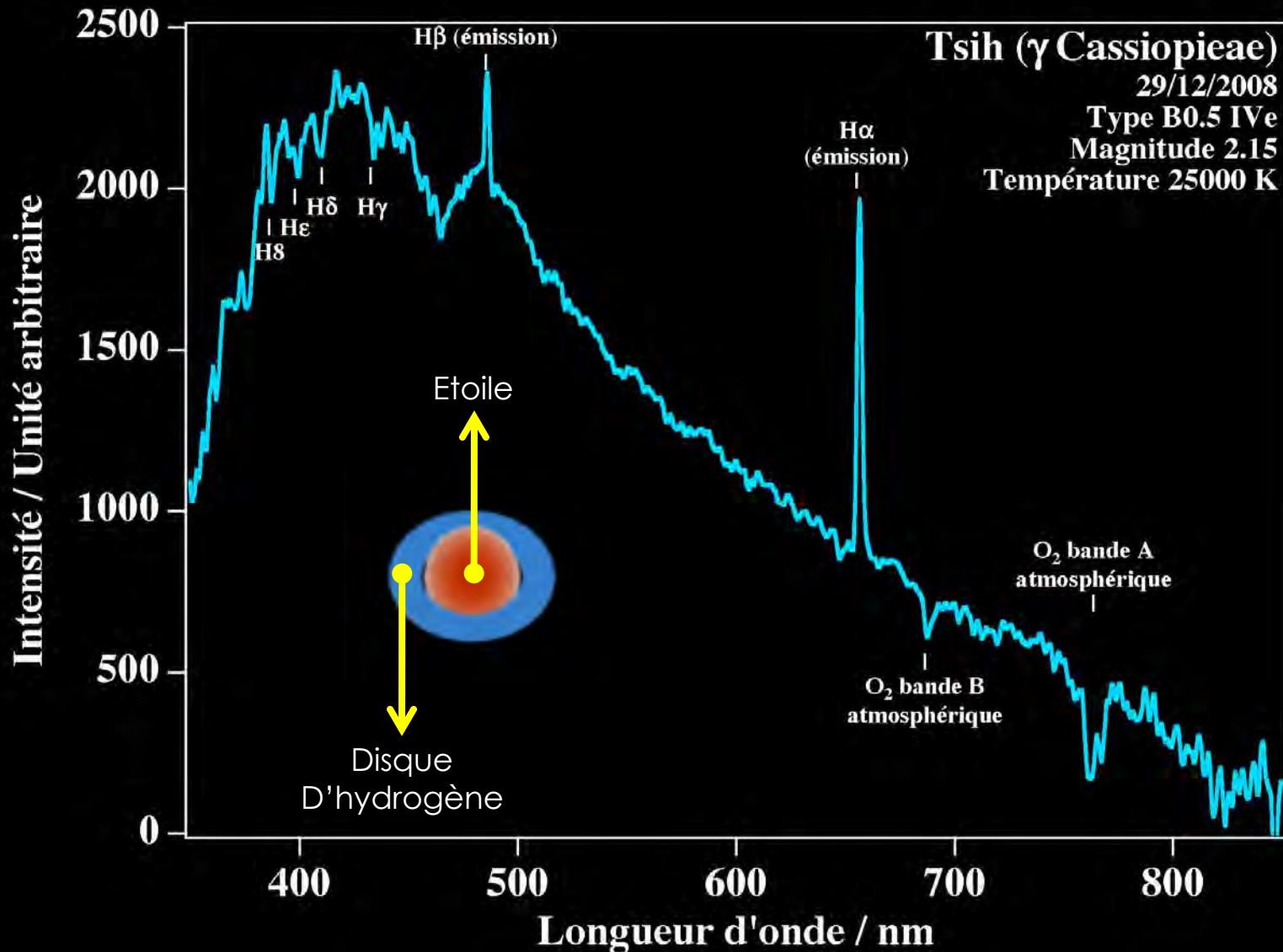
Raies d'émission



Goûter les astres



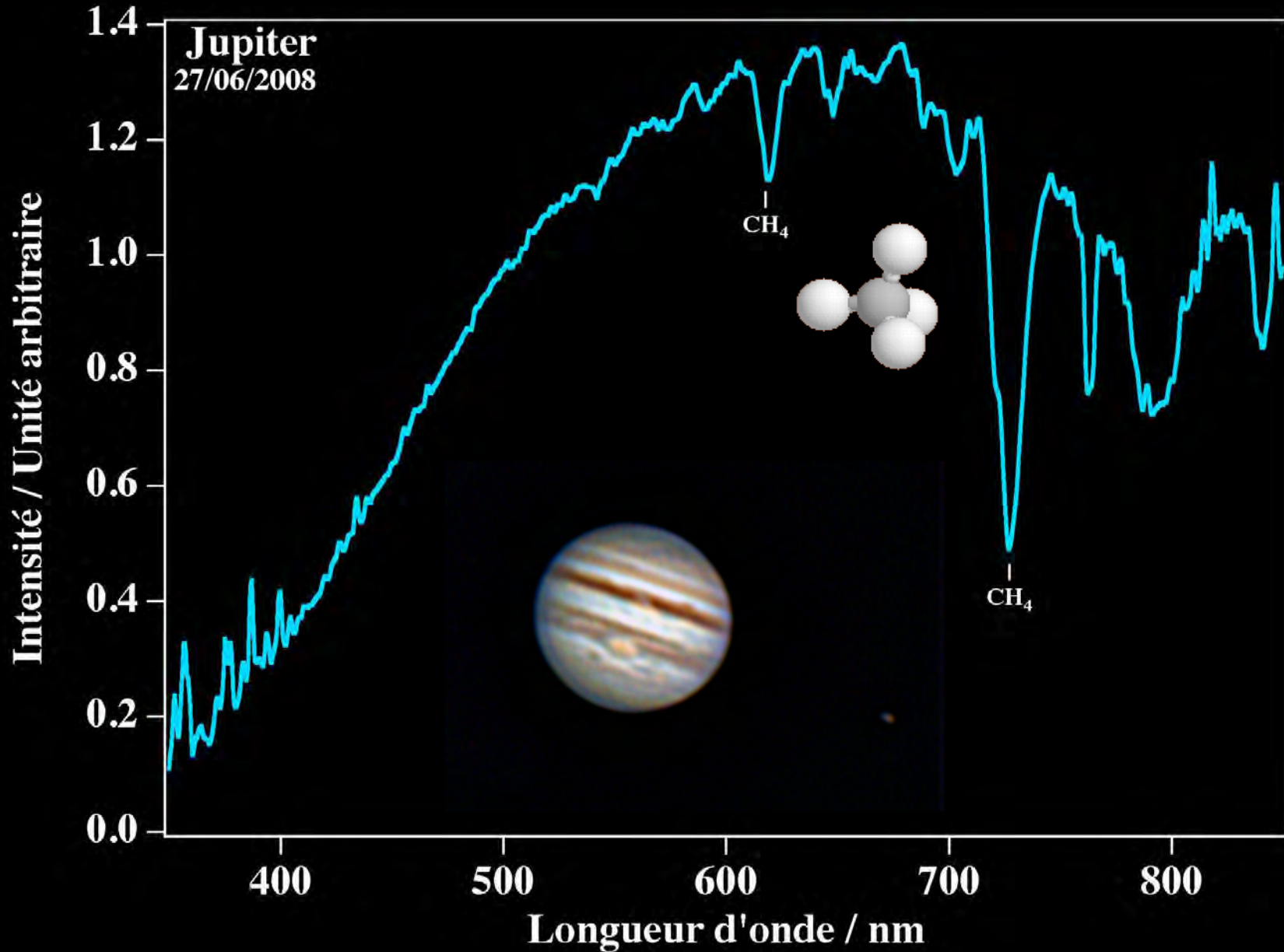
Absorption et émission



Goûter les astres



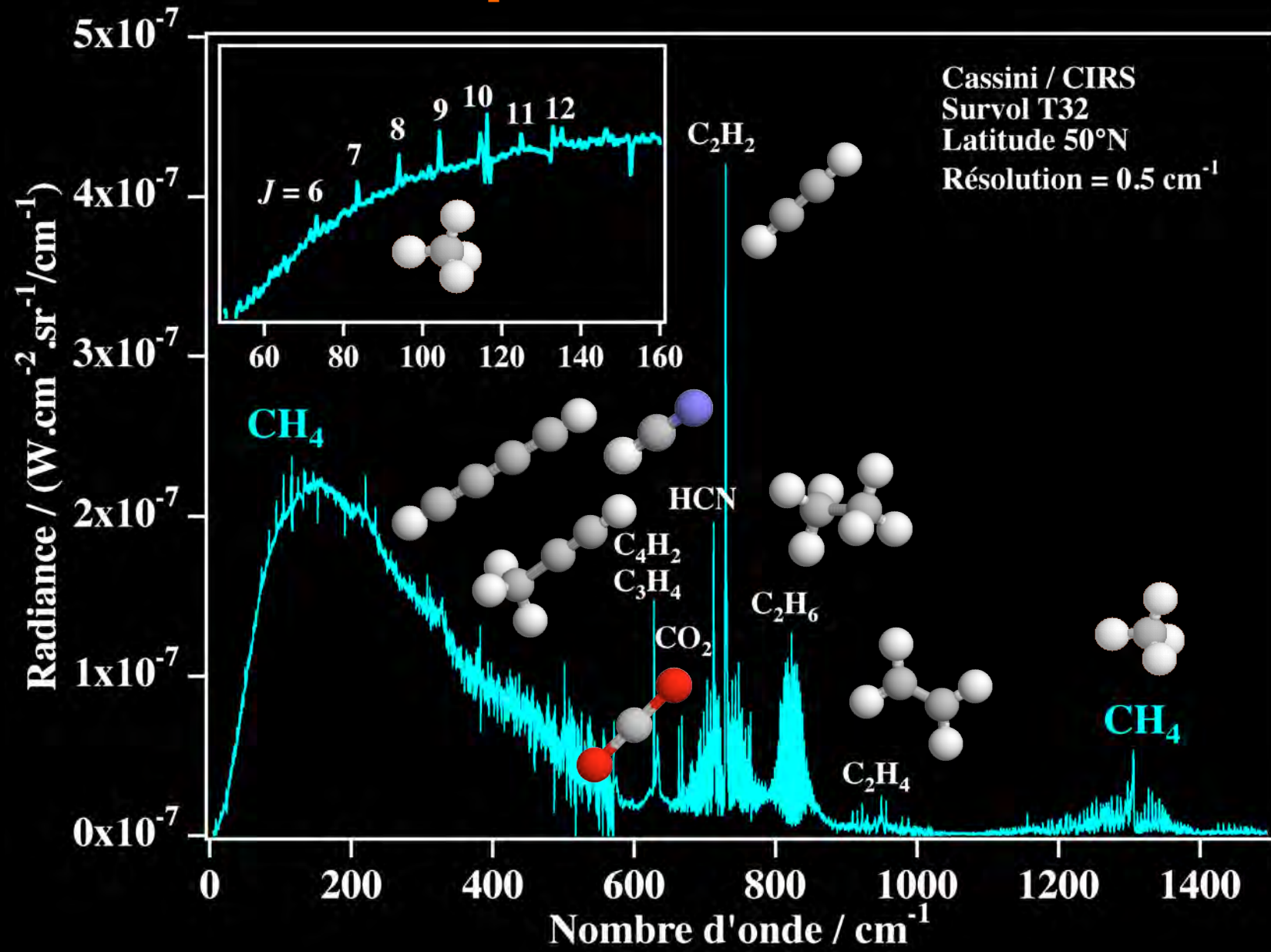
Spectre planétaire : Jupiter



Goûter les astres

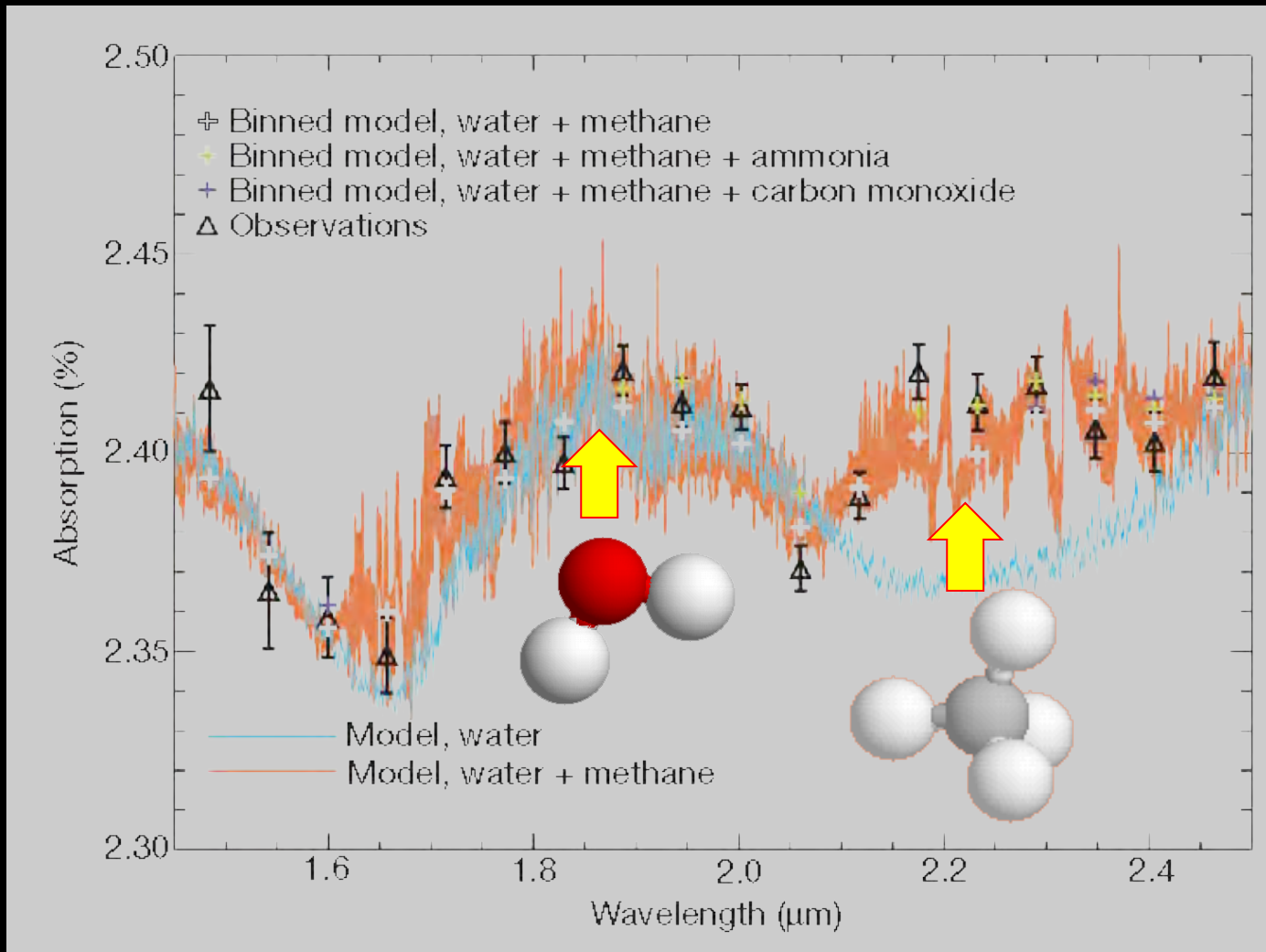


L'atmosphère de Titan



Goûter les astres

Spectres d'exoplanètes

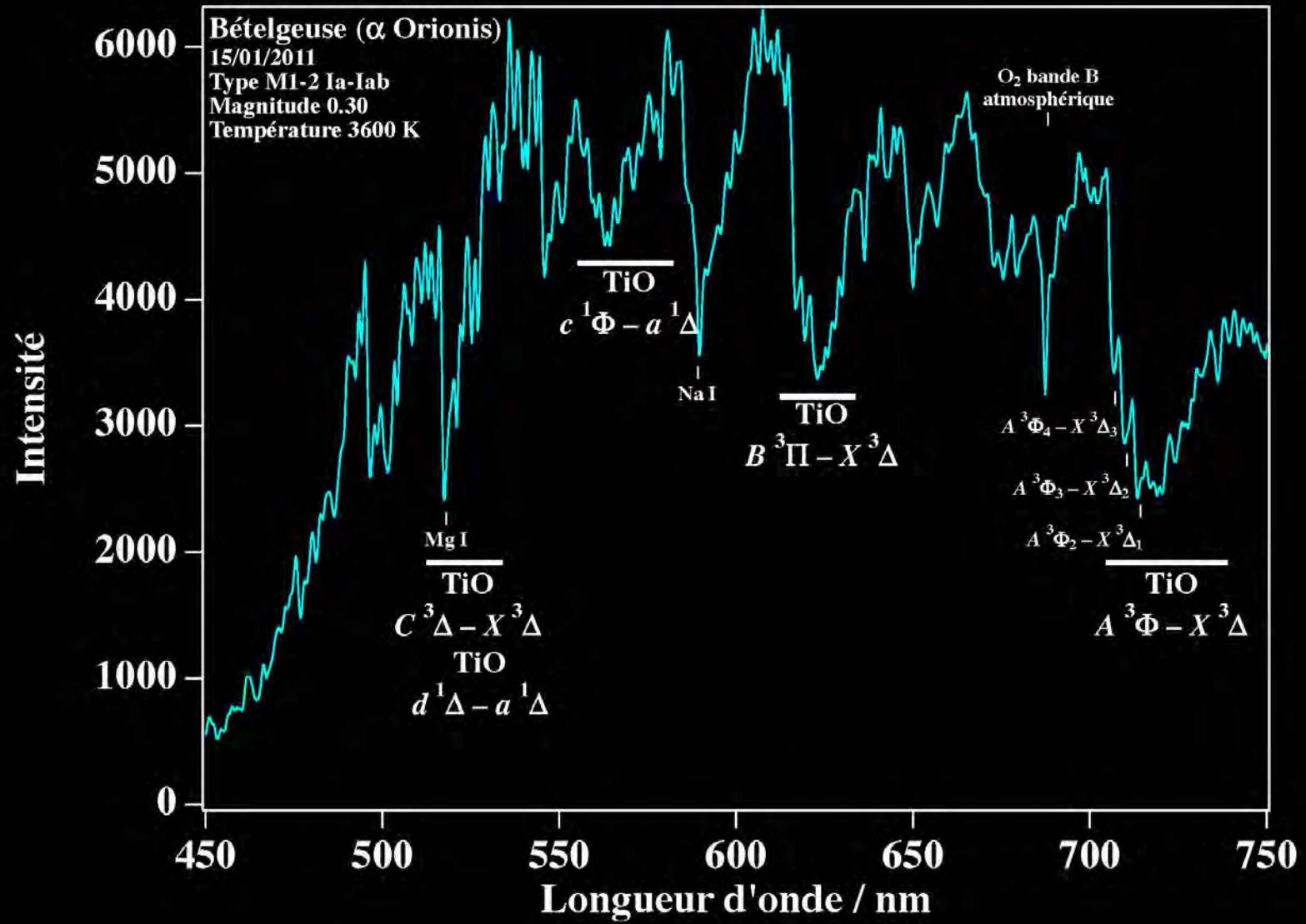


Goûter les astres

M. R. Swain, G. Vasisth and G. Tinetti, *Science* 452, 329–331 (2008) :
Détection de CH₄ et H₂O dans l'atmosphère de l'exoplanète HD189733b

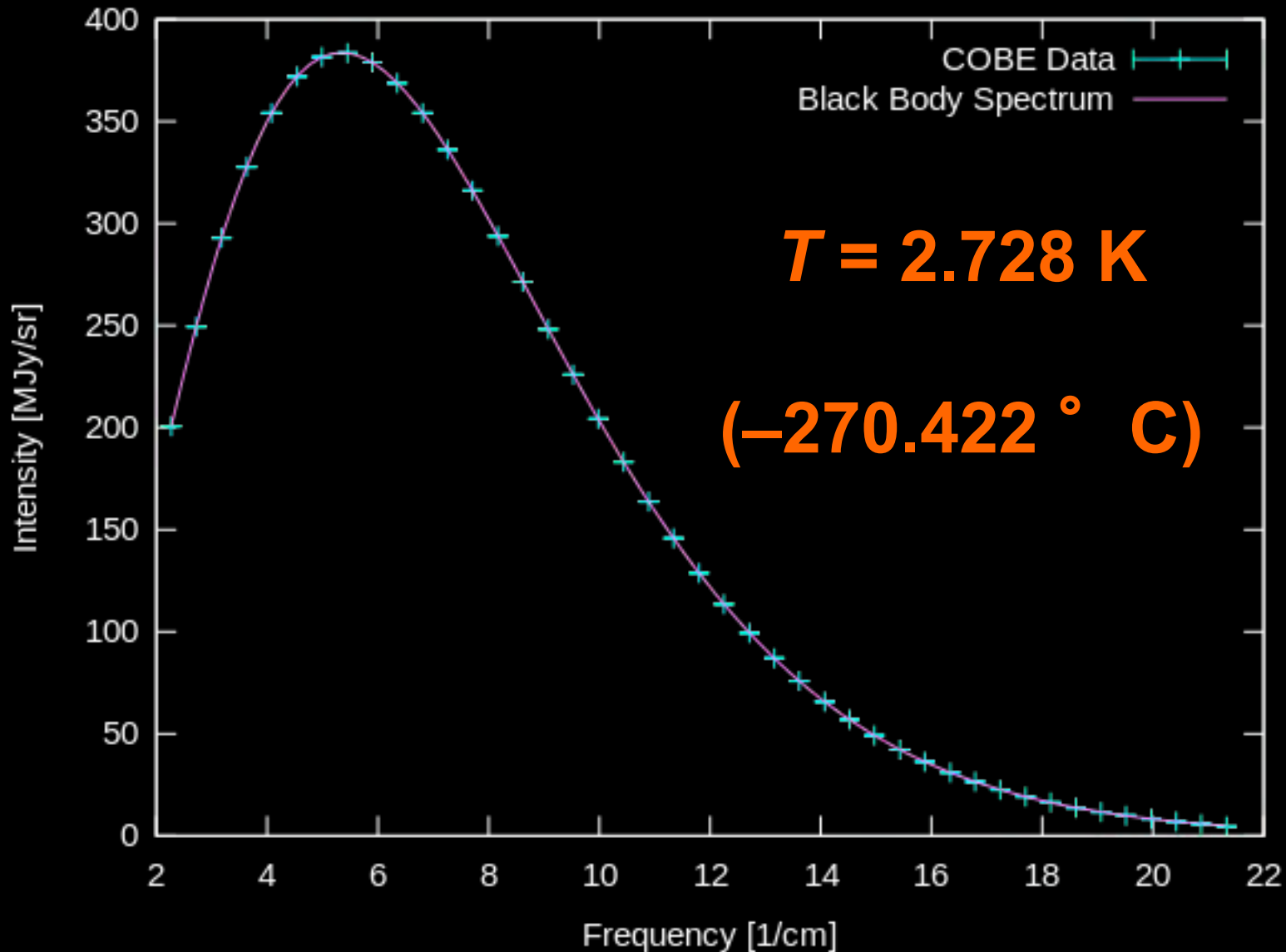
Molécules dans les étoiles « froides »

Goûter les astres



Une courbe parfaite !

Cosmic Microwave Background Spectrum from COBE



La première lumière