

FAIRE PARLER LA LUMIÈRE

Chantal Balkowski

Astronome à l'Observatoire de Paris

Mai 2011

CONTRAINTES DE L'ASTRONOME

Les objets étudiés en astronomie sont hors de portée :
le seul indice est la lumière émise par les astres

- ❖ Comprendre sa nature
- ❖ Capter
- ❖ Analyser
- ❖ Enregistrer
- ❖ Traiter les données



SPECTRE DE LA LUMIÈRE BLANCHE

400 nm
|

500 nm
|

600 nm
|

700 nm
|





QU'EST CE QUE LA LUMIÈRE ?



❖ 1670 **Newton**

- ❖ Décompose la lumière du soleil avec un prisme
- ❖ **La lumière est constituée de *corpuscules*.**

❖ 1676 **Römer**

- ❖ Détermine la vitesse de la lumière

❖ 1690 **Huyghens**

- ❖ **La lumière est une série d'ondes propagées à travers l'éther**



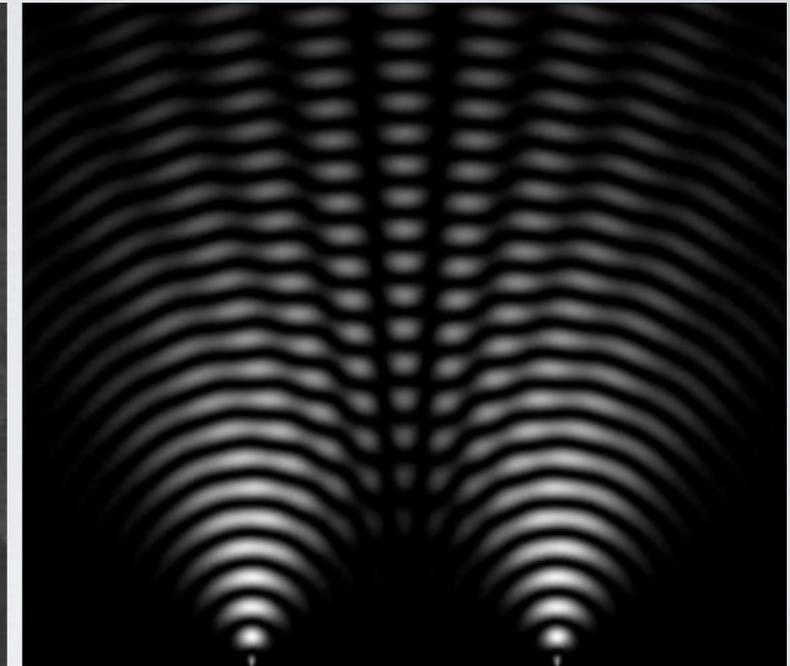
OPTIQUE ONDULATOIRE AU XIX^{ÈME}

- ❖ 1801 Fentes de Young

- ❖ Mise en évidence des interférences



©DP



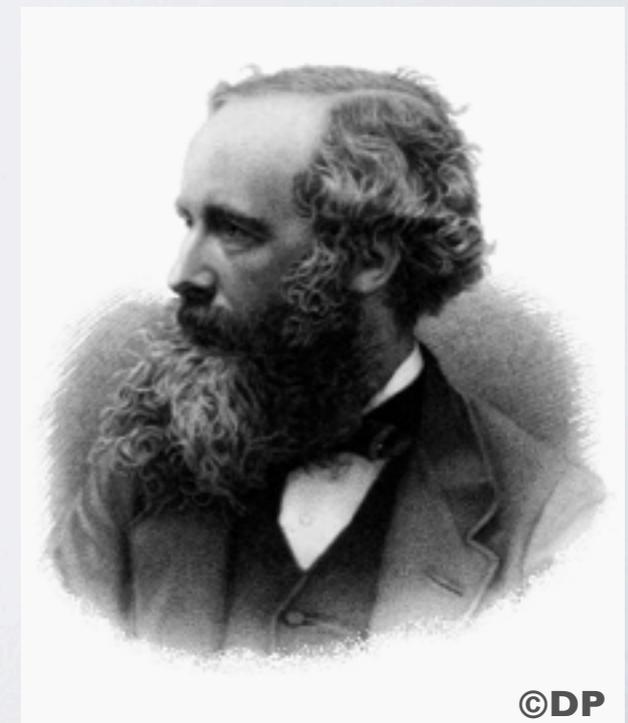
©CC3

Simulation des interférences obtenues après les fentes de Young : les deux points en bas de l'image sont les sources de lumière.

- ❖ 1864 **Maxwell**

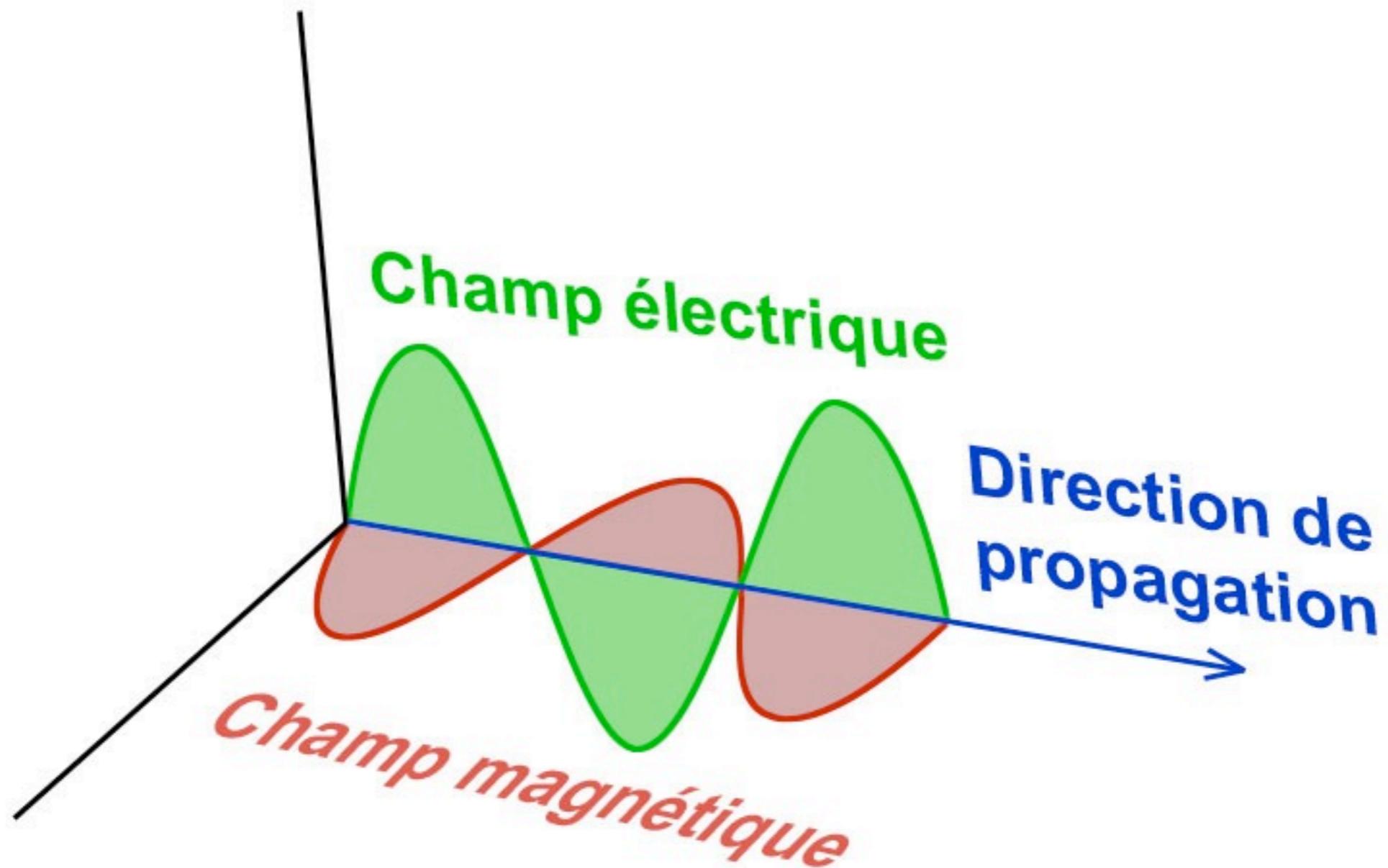
- ❖ Synthèse des phénomènes électriques et magnétiques

- ❖ La lumière est une onde électromagnétique



©DP

ONDE ÉLECTROMAGNÉTIQUE



LA LUMIÈRE EST UNE ONDE

❖ Définie par la longueur d'onde, notée λ

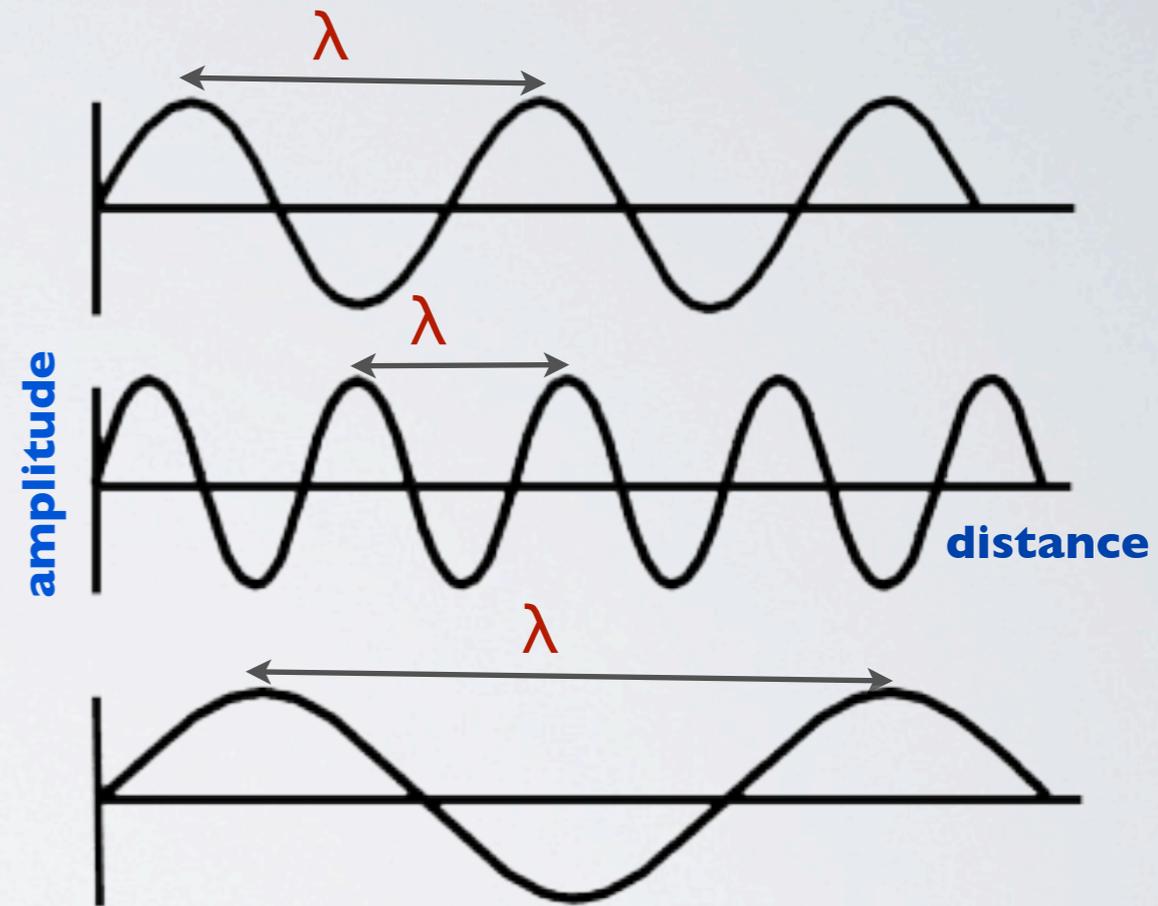
$$\lambda = c/v$$

λ en unité de longueur

v fréquence en Hertz

c vitesse de la lumière

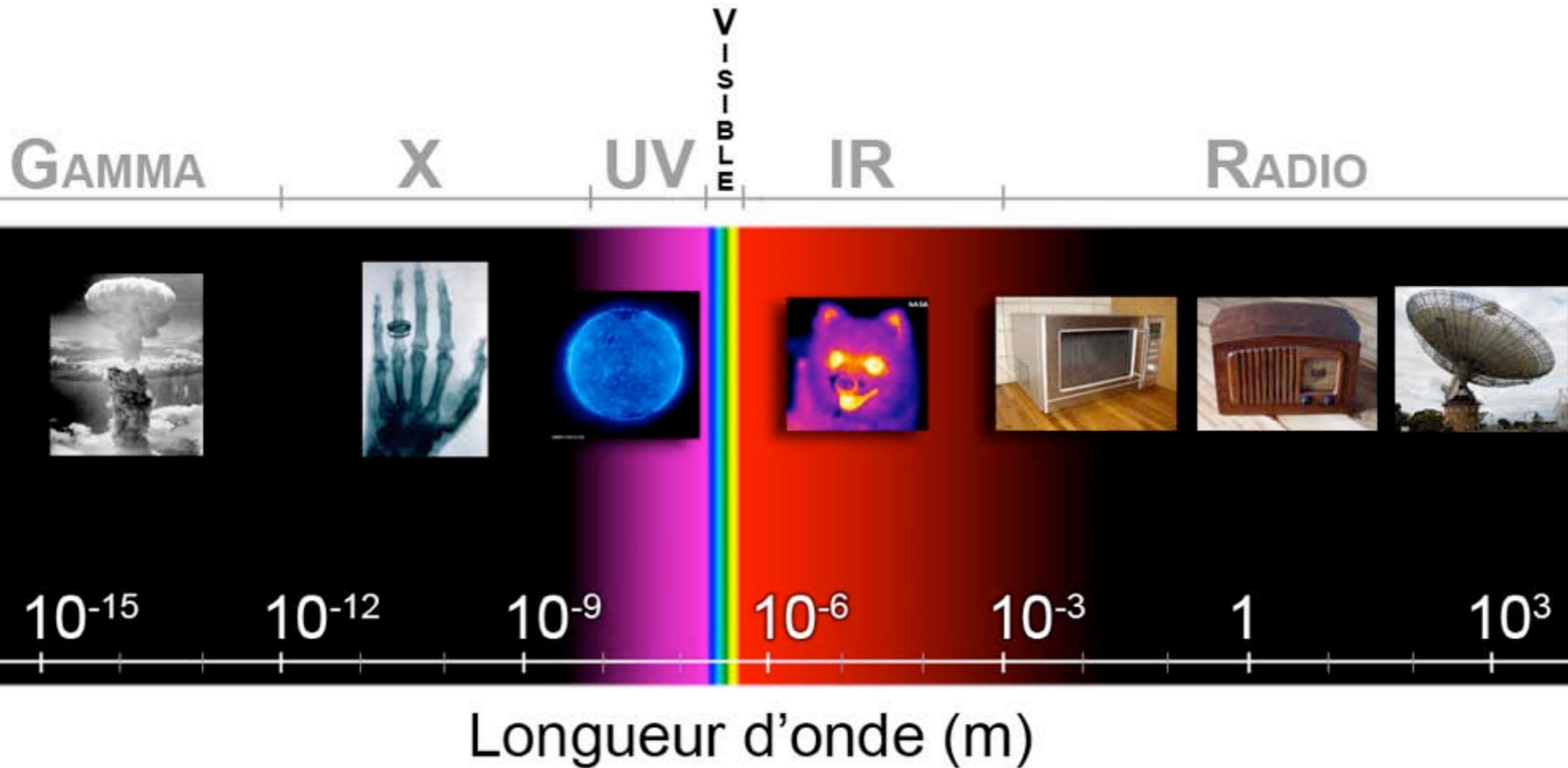
$$c = 299792 \text{ km/s}$$



λ est la distance parcourue par l'onde pendant une période d'oscillation

©UFE-OP

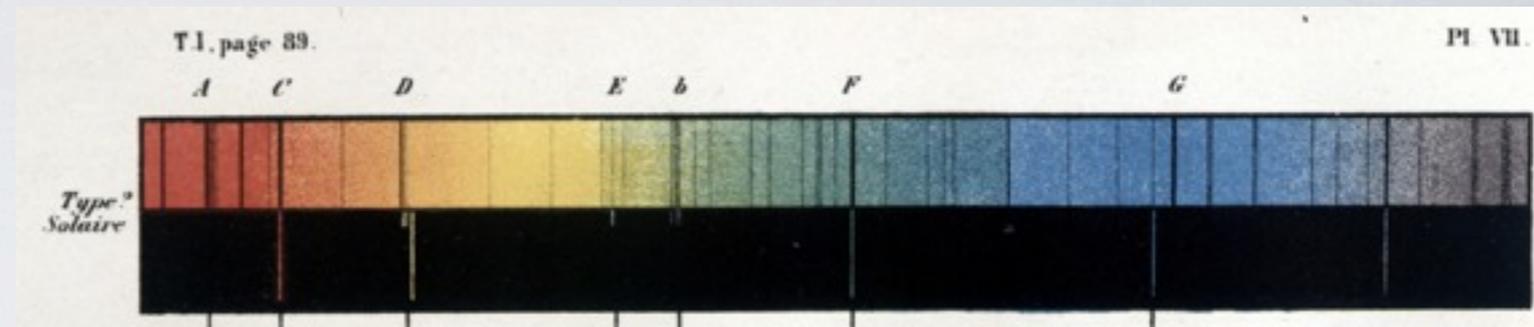
SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE



PREMIÈRES RAIES

❖ 1814 Observation Fraunhofer

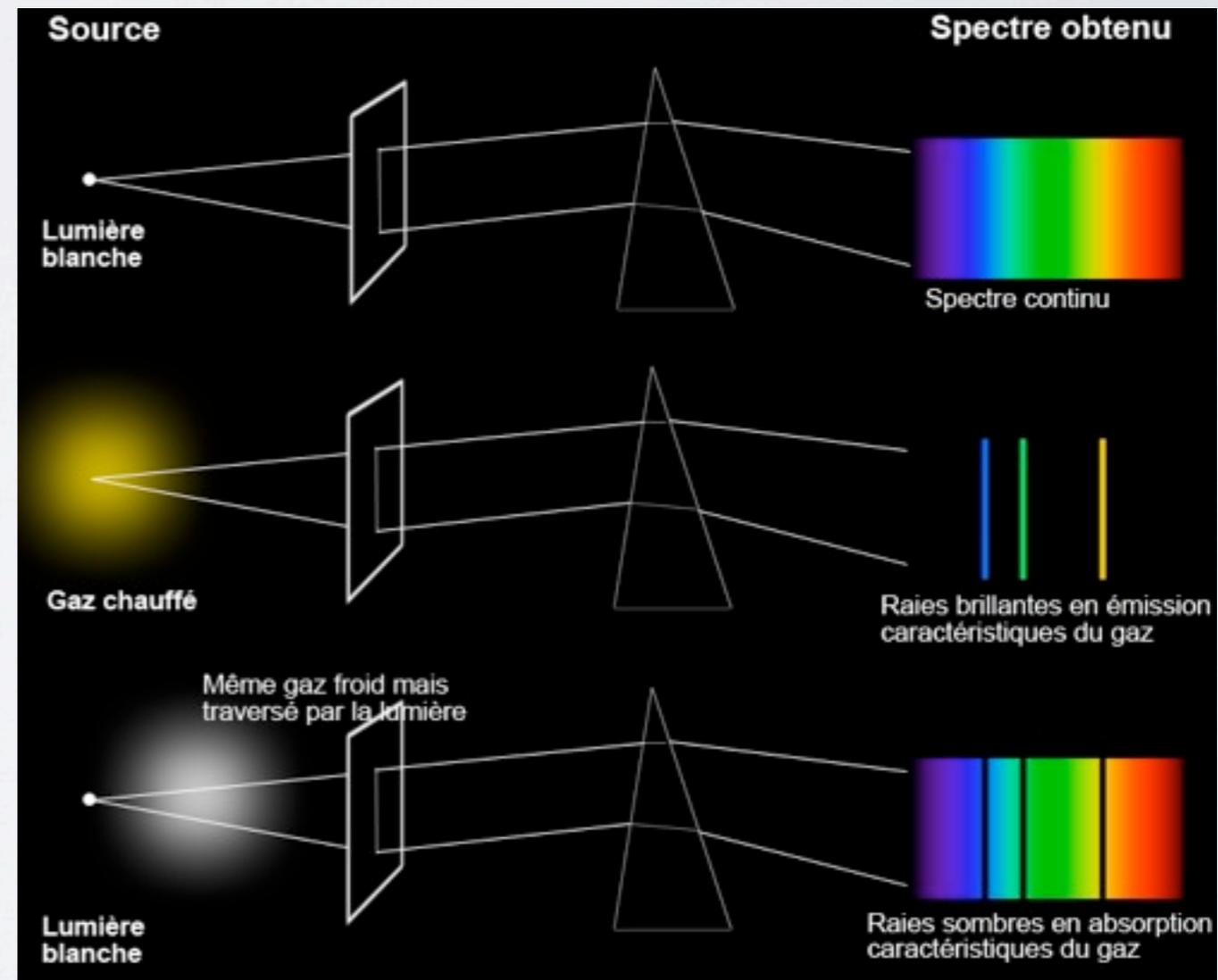
❖ Raies sombres dans le spectre solaire



Spectre observé et dessiné par Secchi
©BOP

❖ 1850 Expérience Kirchhoff et Bunsen

❖ Emission et absorption

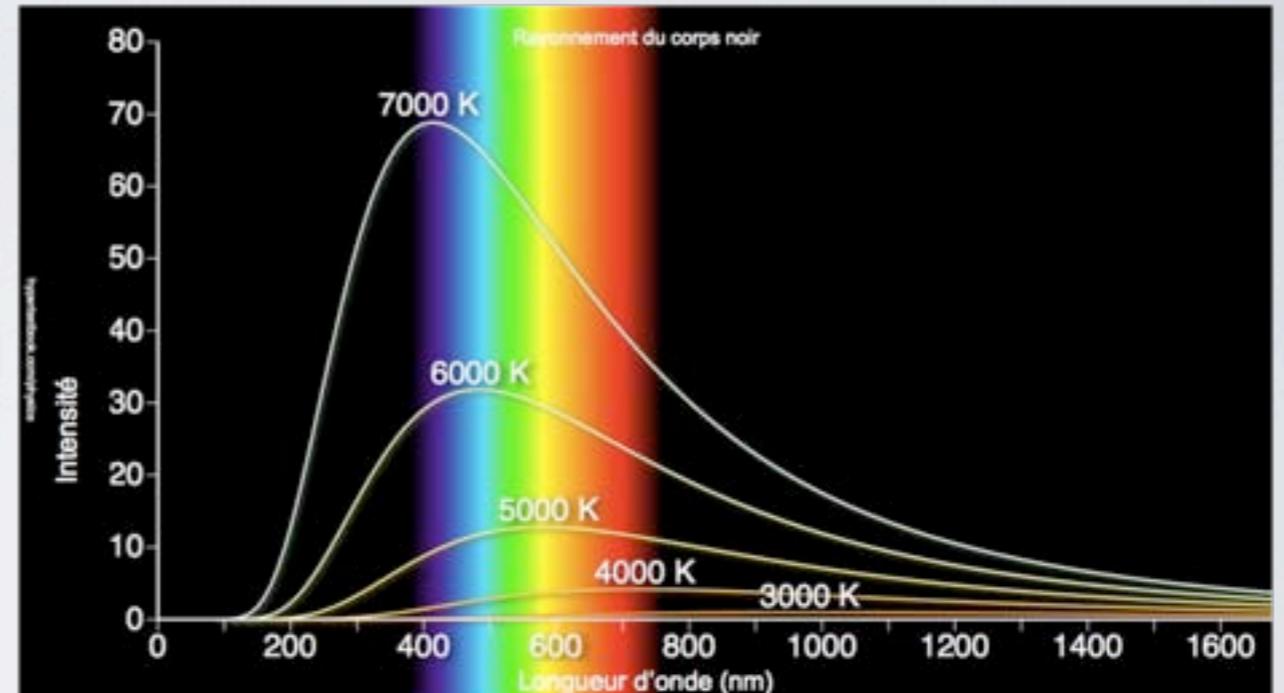


©UFE-OP

LUMIÈRE : ONDE OU PARTICULE ?

❖ Planck en 1900 publie la loi de rayonnement du corps noir

Spectres de «Corps noirs»

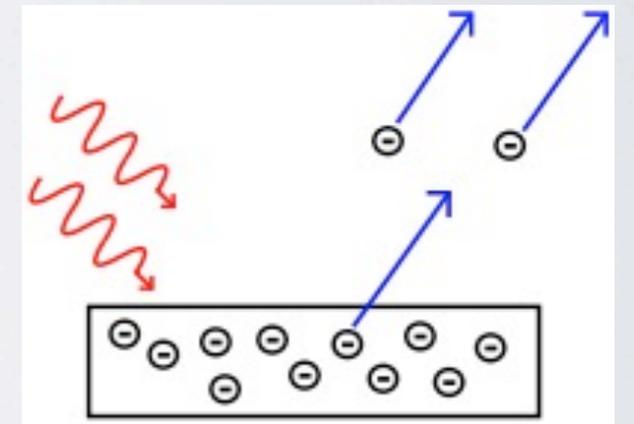


©UFE-OP

❖ Effet photoélectrique expliqué théoriquement par Einstein en 1905



Albert Einstein
©DP



©CC3

La lumière est constituée de photons qui possèdent chacun un comportement ondulatoire.

LA LUMIÈRE EST CONSTITUÉE DE PHOTONS

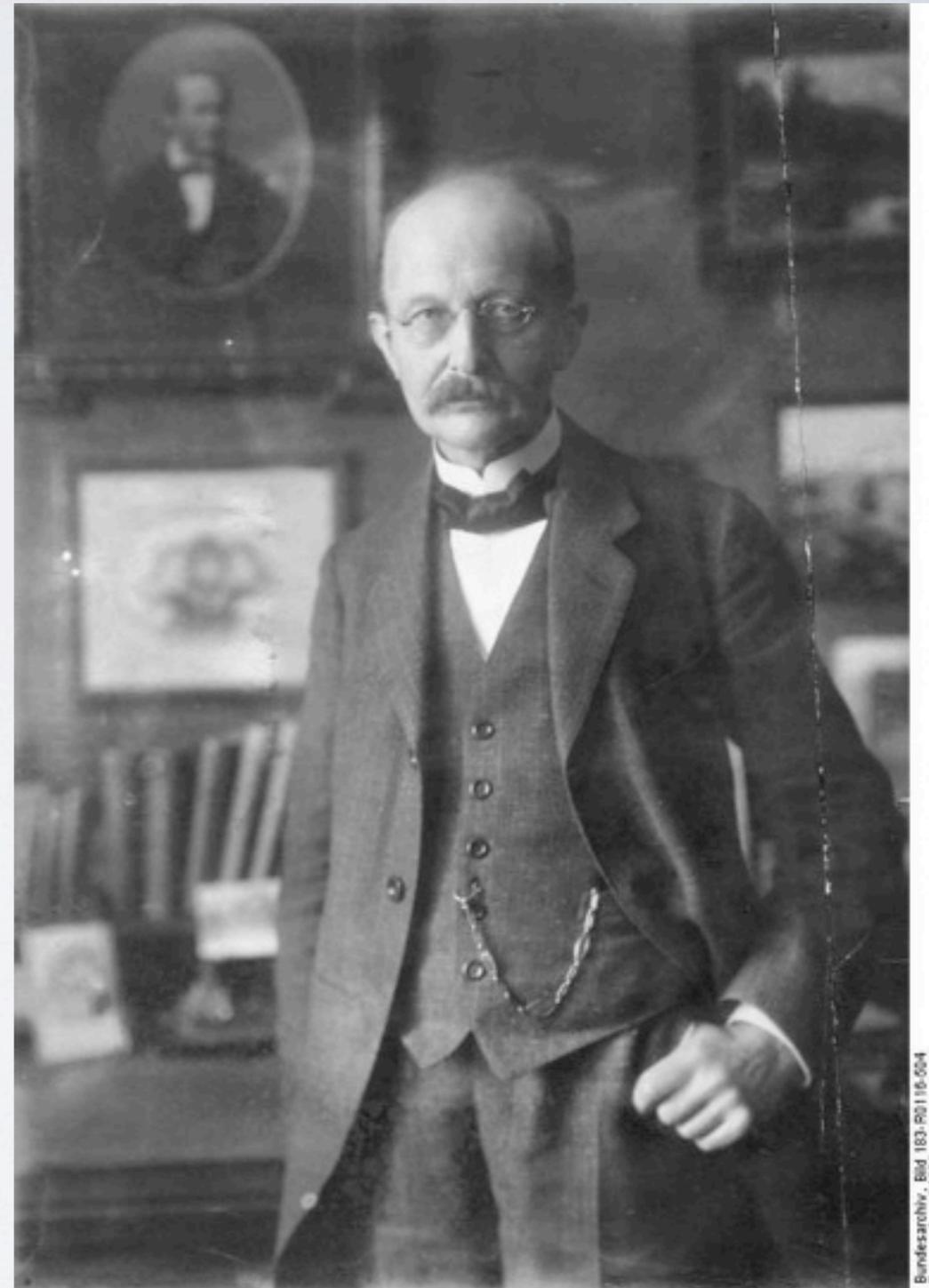
$$E = h\nu \quad \text{ou} \quad E = hc / \lambda$$

E = Energie

$h = 6.62 \cdot 10^{-34}$ J.s (constante de Planck)

ν = fréquence

λ = longueur d'onde



Bundesarchiv, Bild 183-P0116-004
Foto: o. Jürg. | 1901

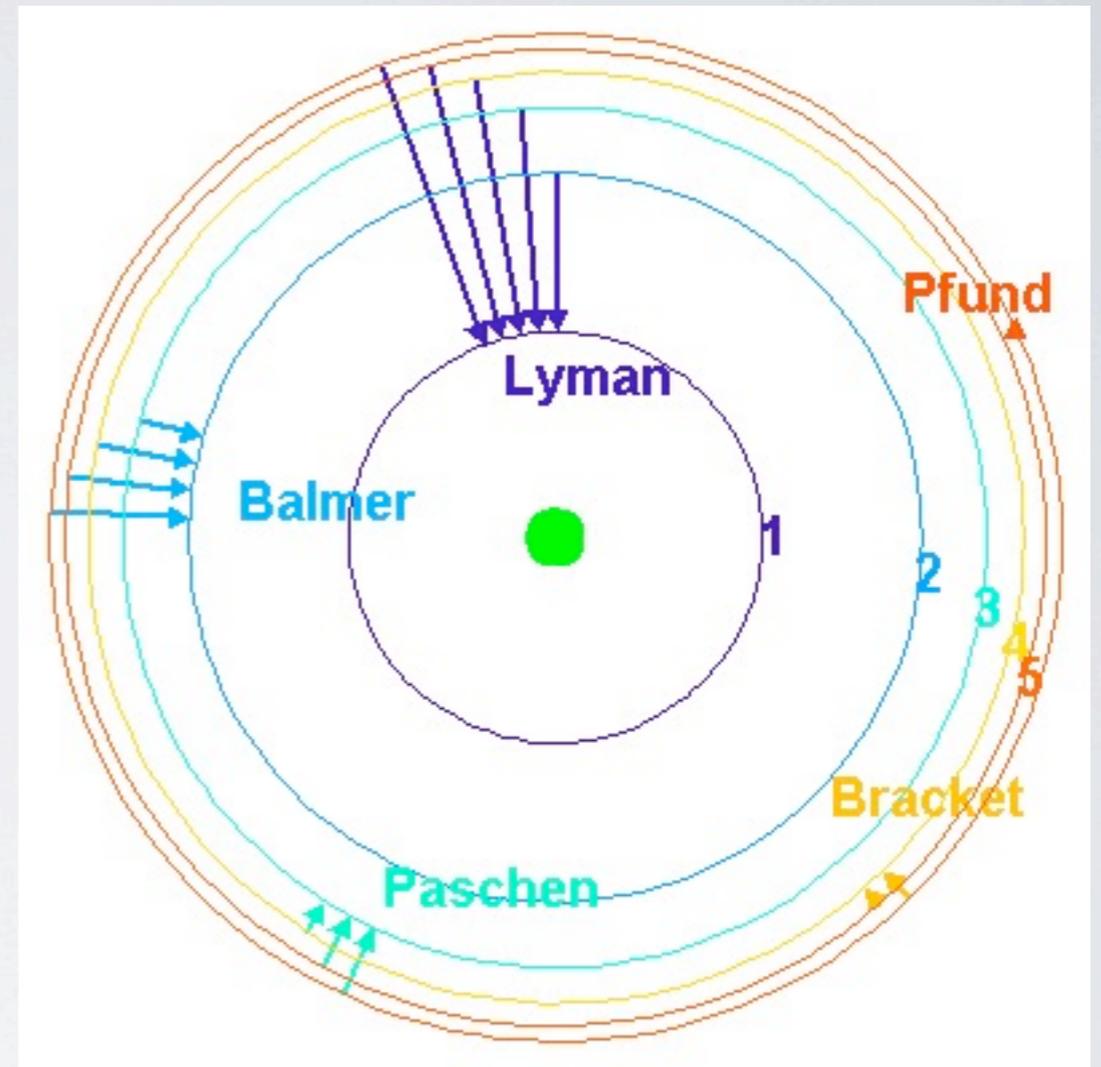
STRUCTURE DE LA MATIÈRE

❖ 1913 Atome d'hydrogène Modèle de Bohr :

❖ Les électrons sont situés sur des orbites quantifiées

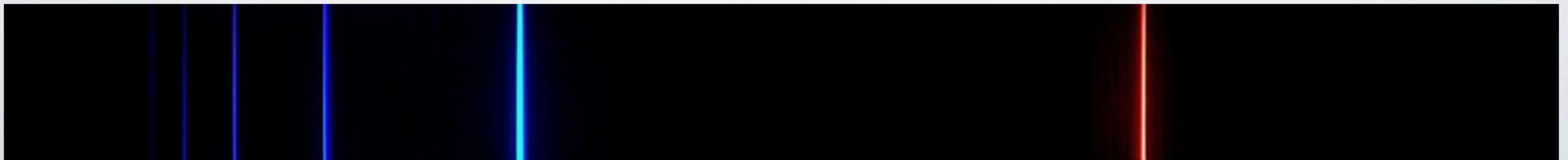
Série de Balmer

Différents états d'excitation de l'atome d'hydrogène observés en émission



©UFE-OP

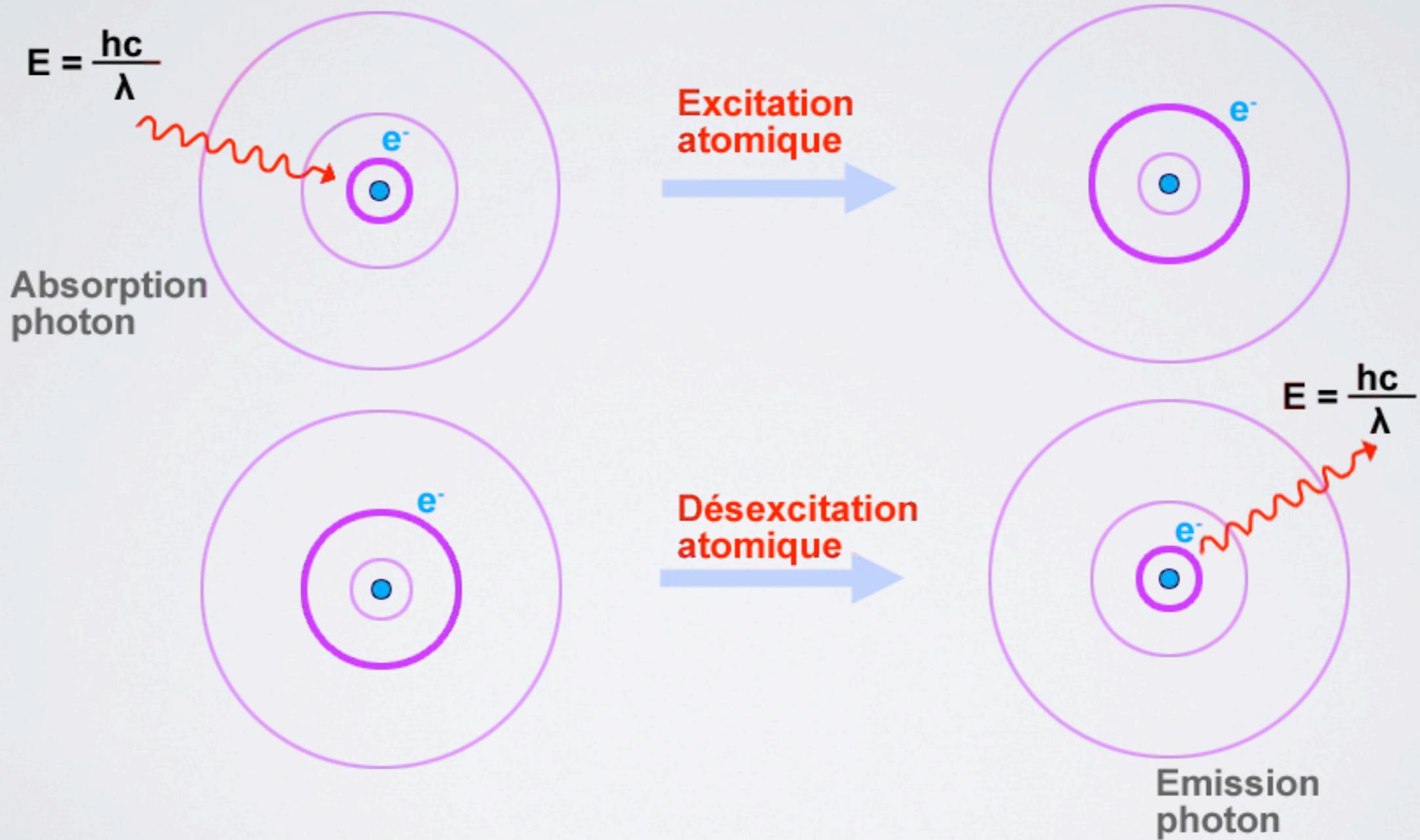
H_{ξ} H_{ϵ} H_{δ} H_{γ} H_{β} H_{α}



656 nm

©UFE-OP

PRINCIPE DE L'ABSORPTION ET DE L'ÉMISSION

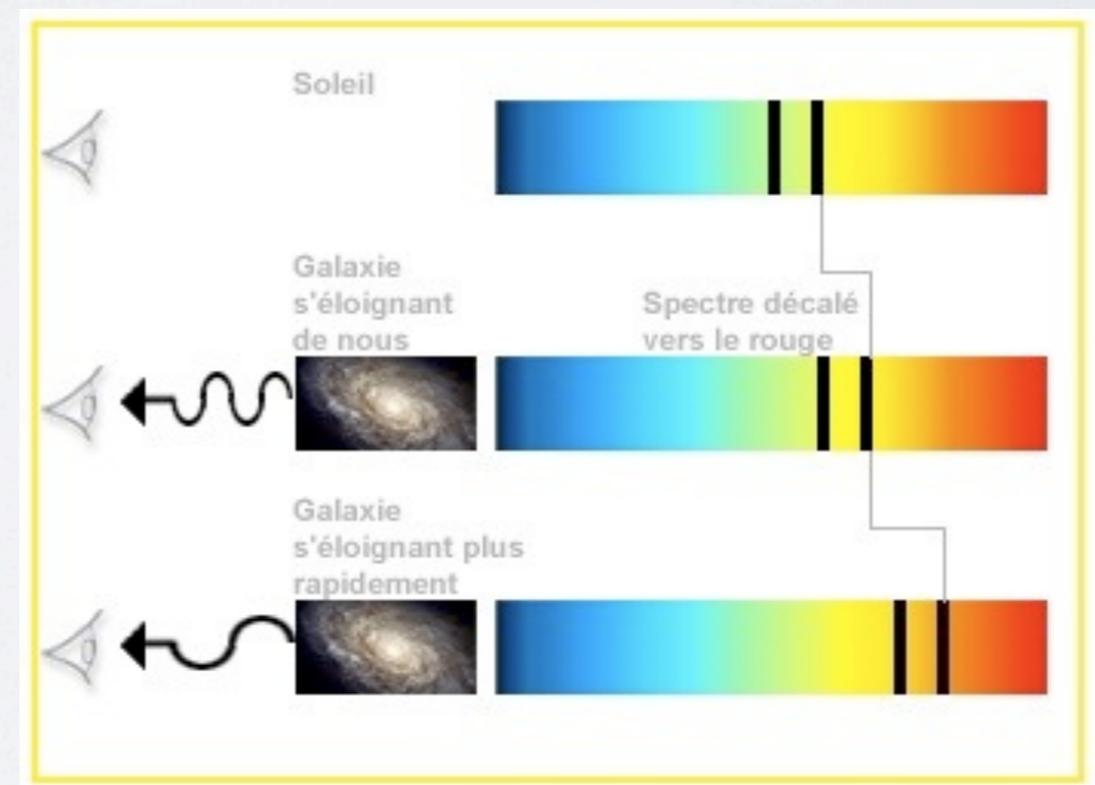
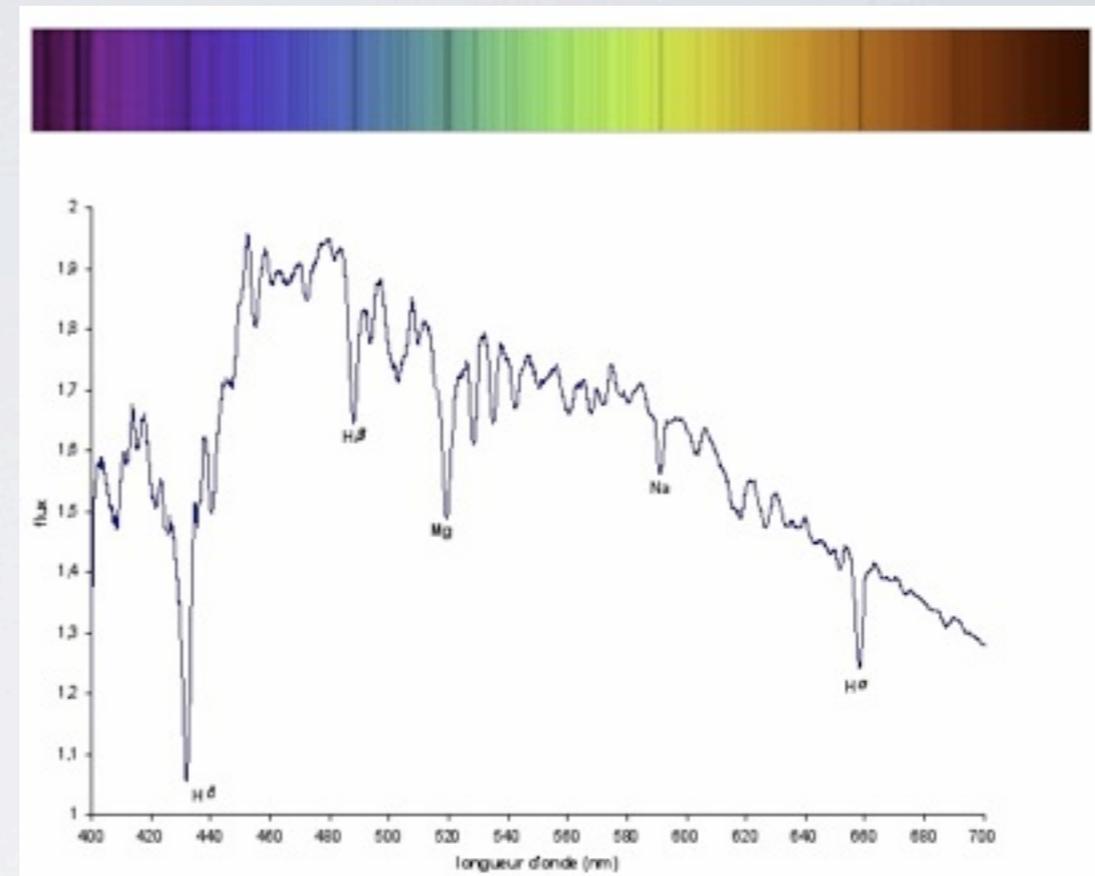


APPORT DE LA SPECTROSCOPIE

- ❖ Température
- ❖ Composition
- ❖ Abondances

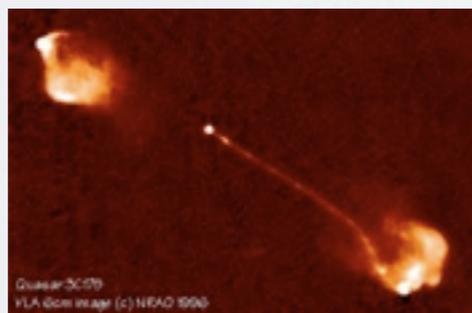
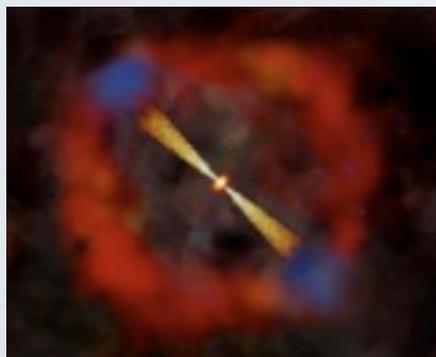
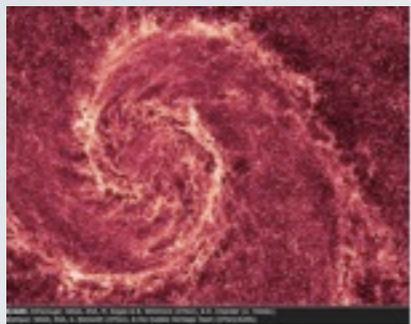
- ❖ Rotation

- ❖ Vitesse d'éloignement

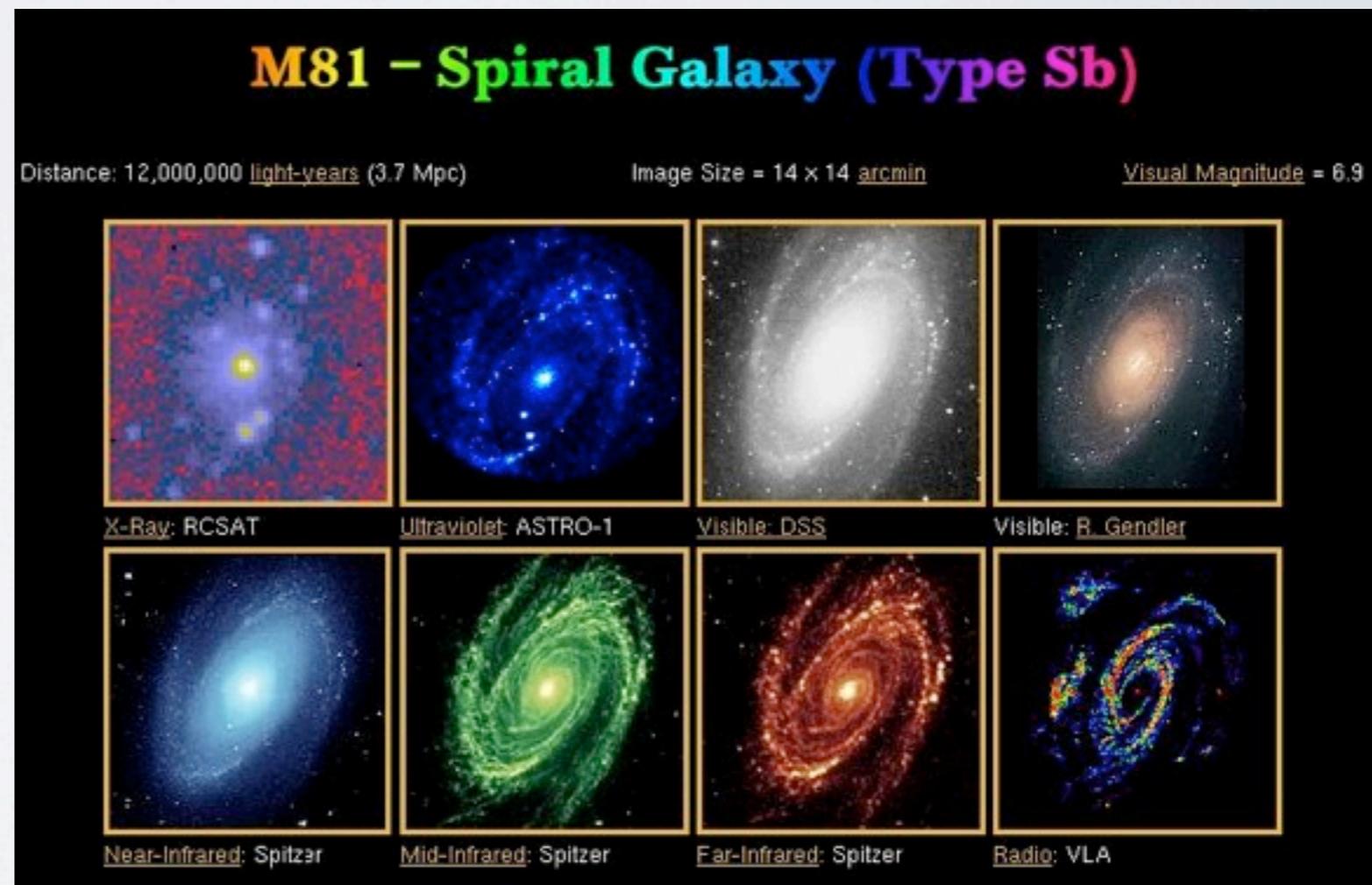


POURQUOI OBSERVER À DIFFÉRENTES LONGUEURS D'ONDE ?

❖ Différents types d'objets

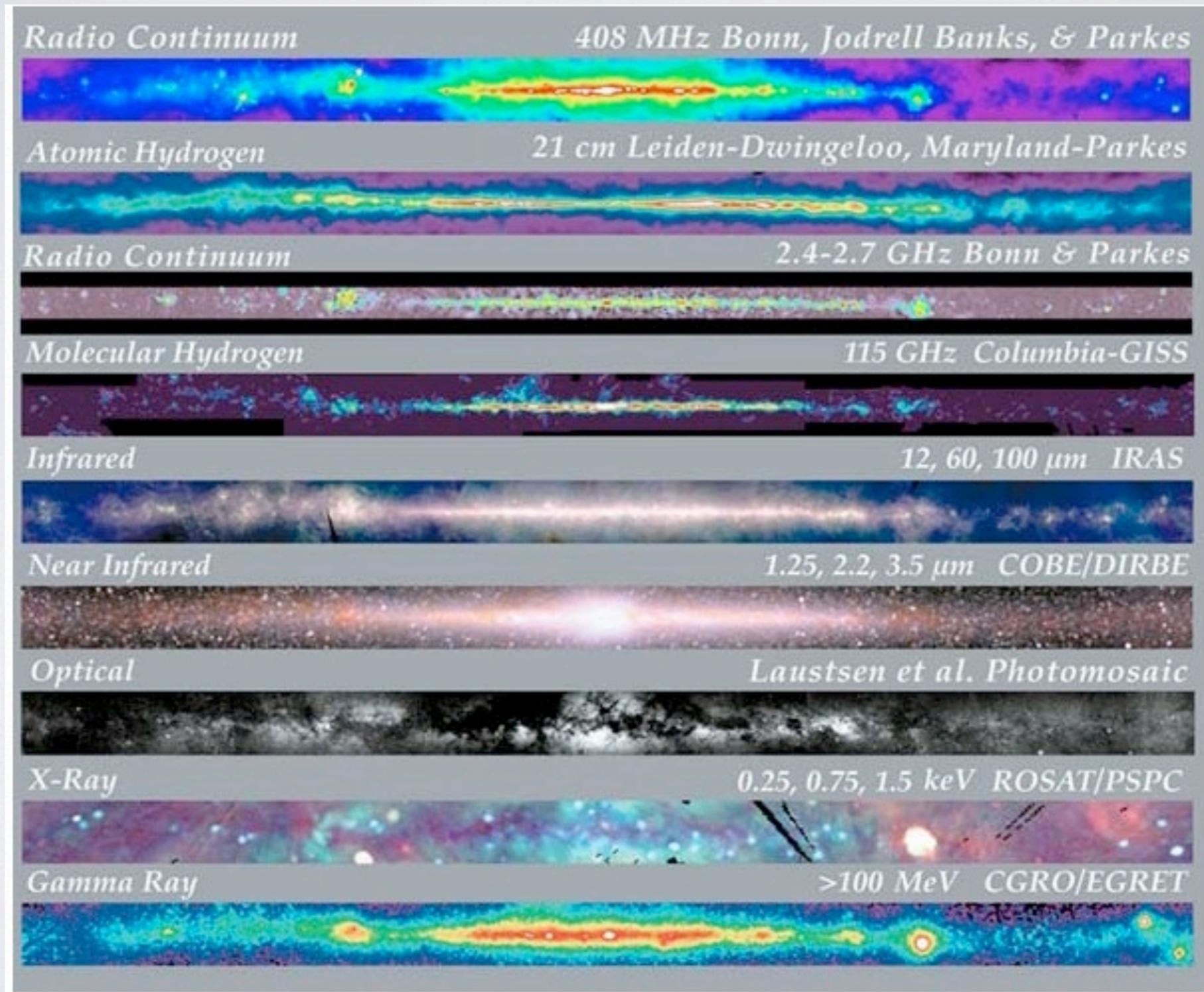


❖ Différents composants d'un même objet



©IPAC-NASA

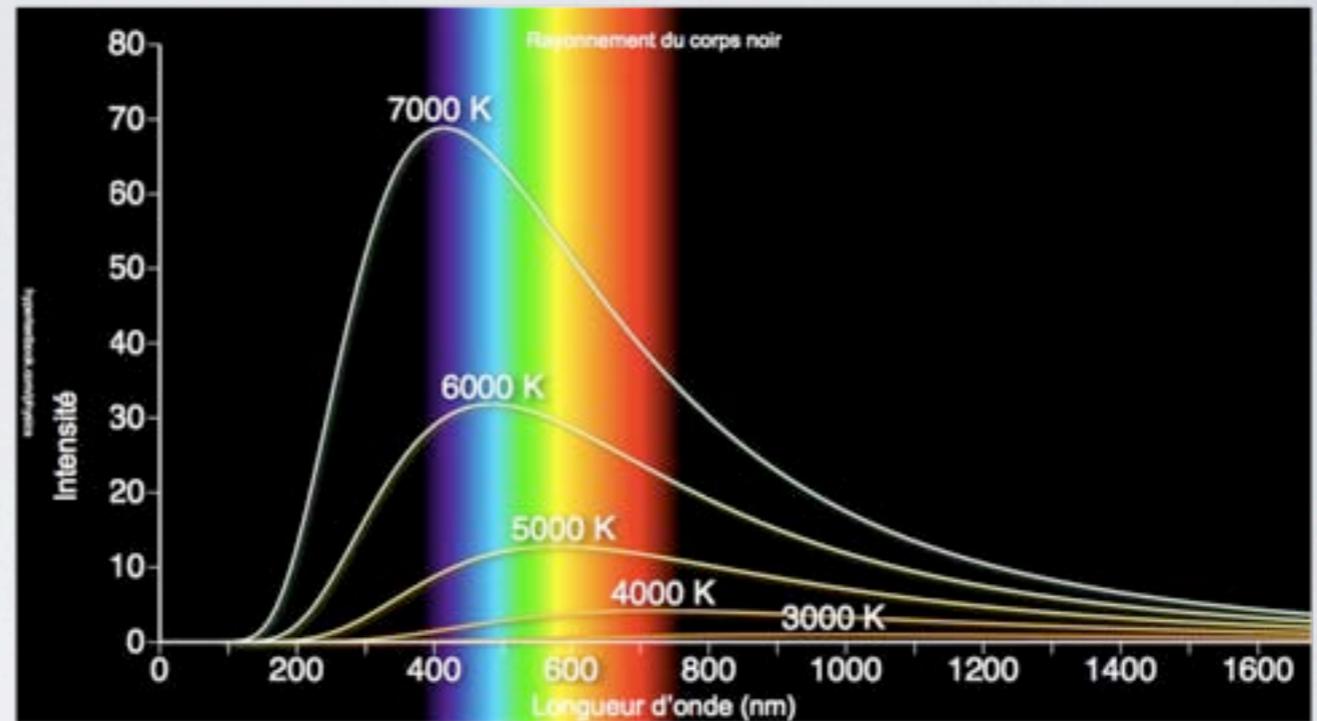
NOTRE GALAXIE À DIFFÉRENTES LONGUEURS D'ONDE



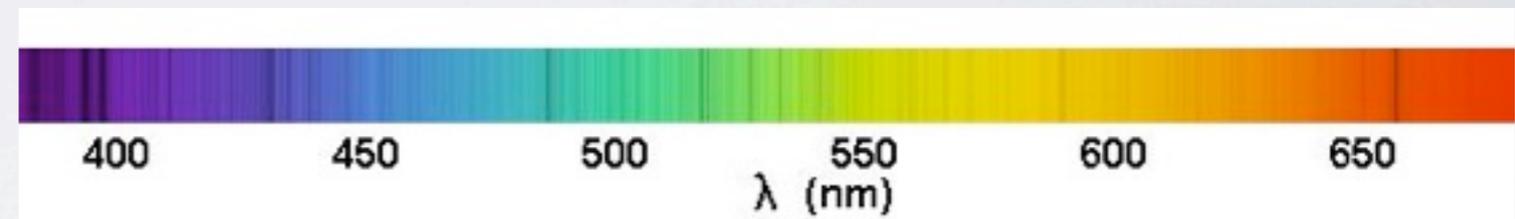
©NASA

LE SPECTRE DES ÉTOILES

- ❖ Les étoiles émettent de la lumière comme des *corps noirs*
- ❖ L'émission est un *continuum*
- ❖ Sur ce continuum se superposent des raies spectrales, formées dans l'atmosphère de l'étoile



©UFE-OP



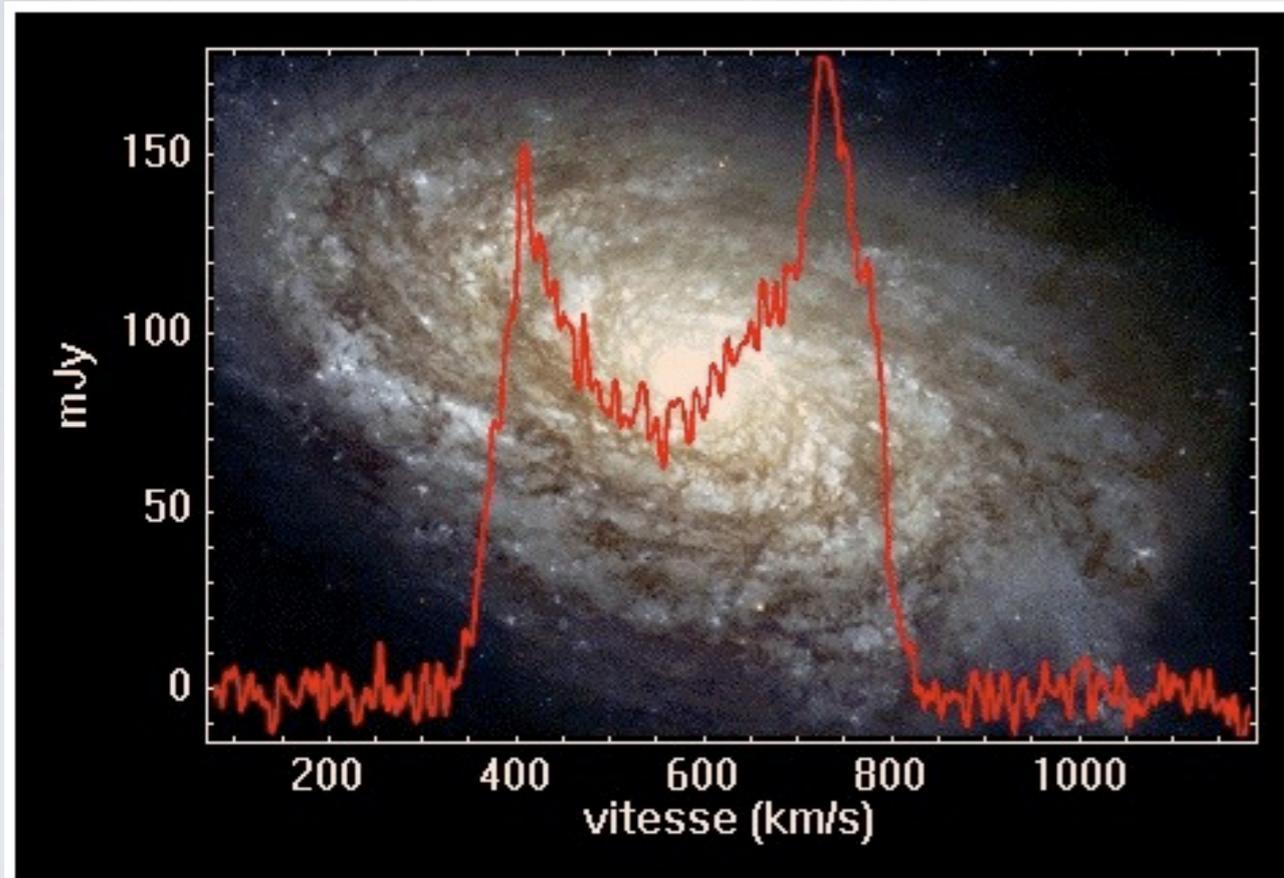
Classe	température ¹	couleur	raies d'absorption
O	> 25 000 K	bleue	azote, carbone, hélium et oxygène
B	10 000 - 25 000 K	bleue-blanche	hélium, hydrogène
A	7 500 - 10 000 K	blanche	hydrogène
F	6 000 - 7 500 K	jaune-blanche	métaux: fer, titane, calcium, strontium et magnésium
G	5 000 - 6 000 K	jaune (comme le Soleil)	calcium, hélium, hydrogène et métaux
K	3 500 - 5 000 K	jaune-orange	métaux et oxyde de titane
M	< 3 500 K	rouge	métaux et oxyde de titane

Type spectral- Classification de Harvard

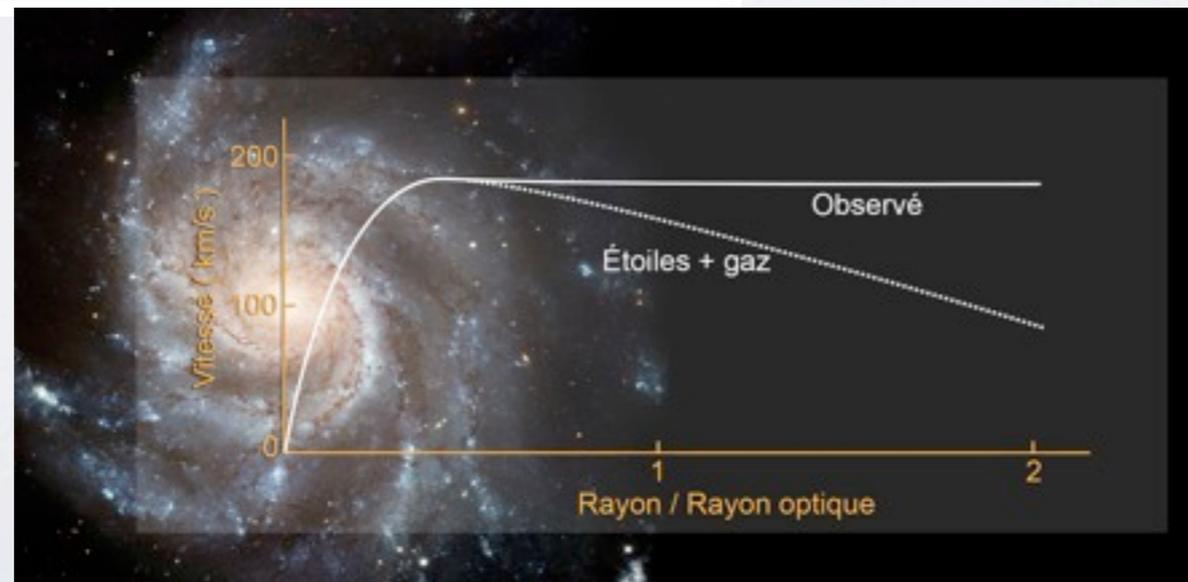
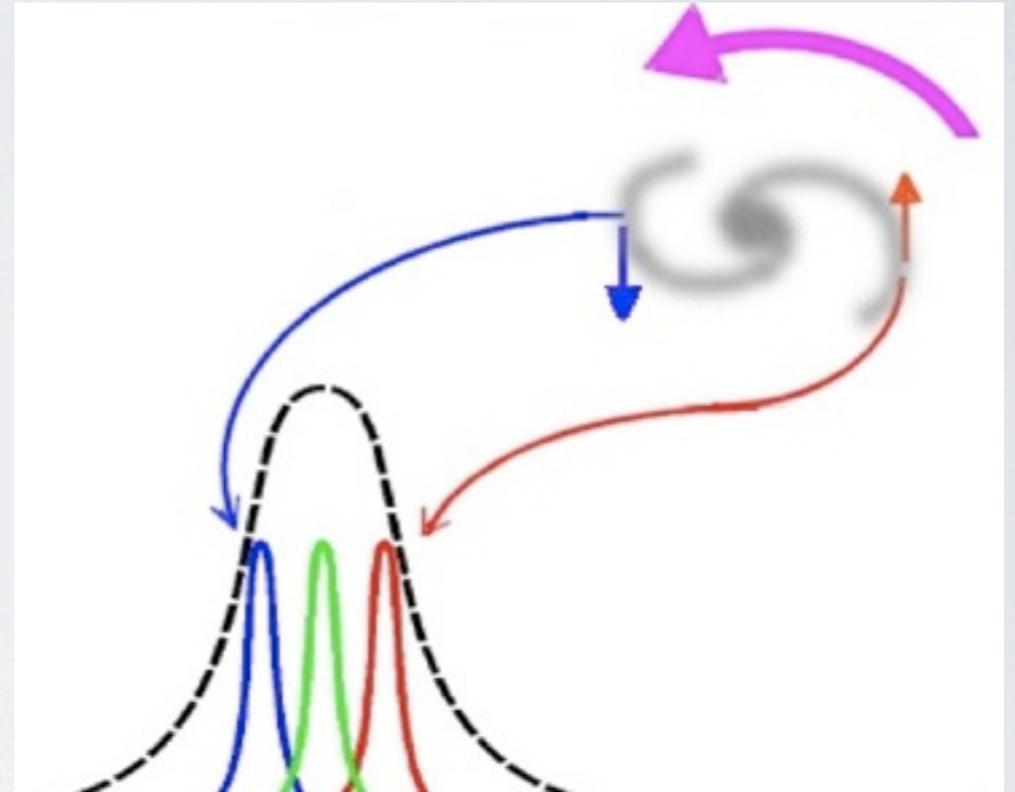
©Wikipédia

MESURE DE LA ROTATION D'UNE GALAXIE

Décomposition du profil



Raie 21 cm

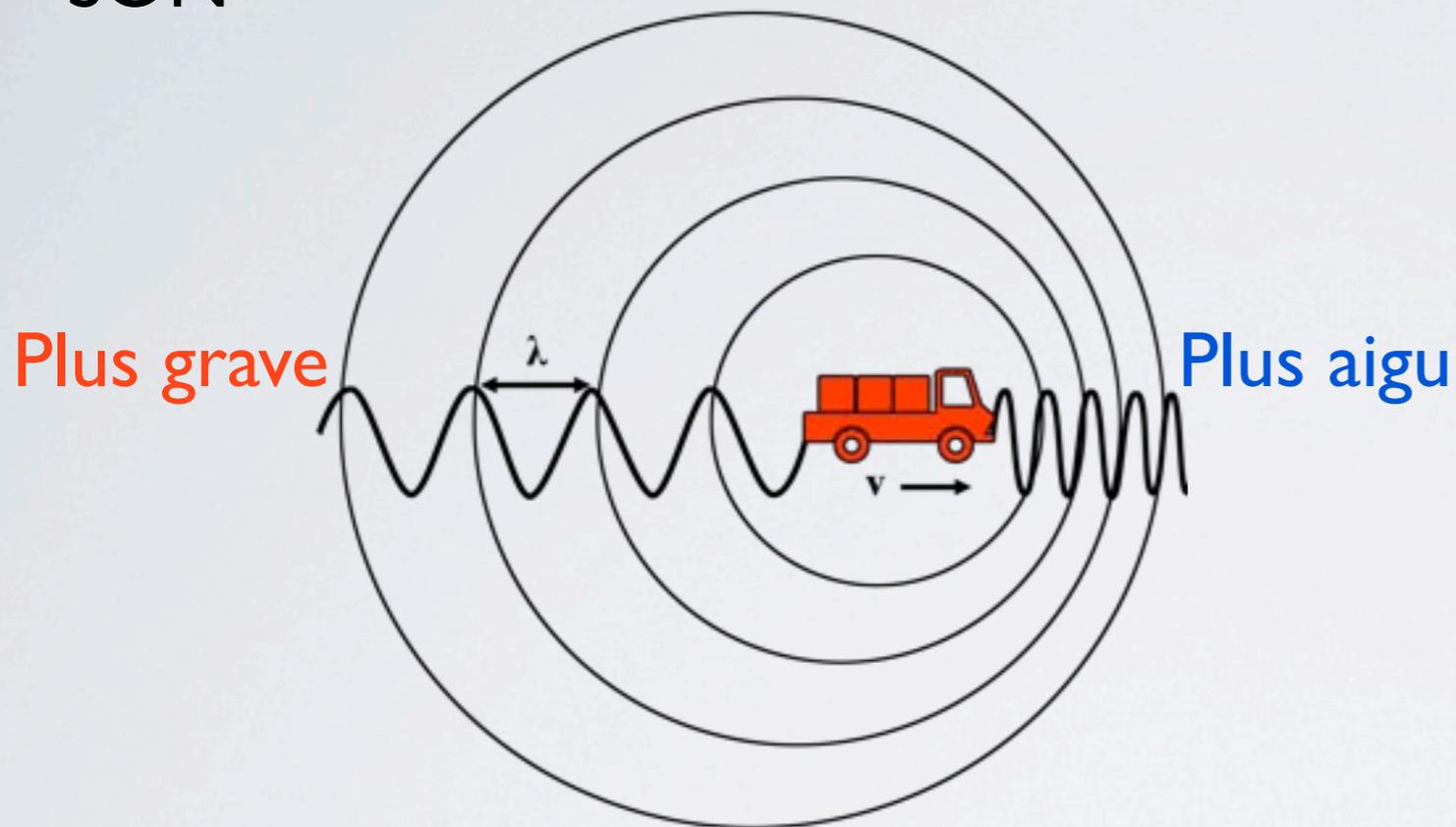


Courbe de rotation

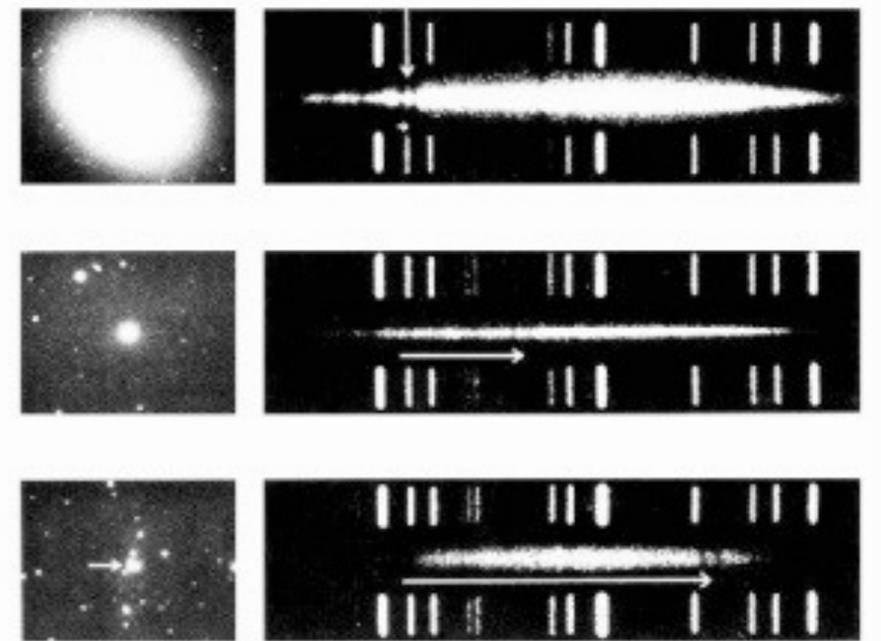
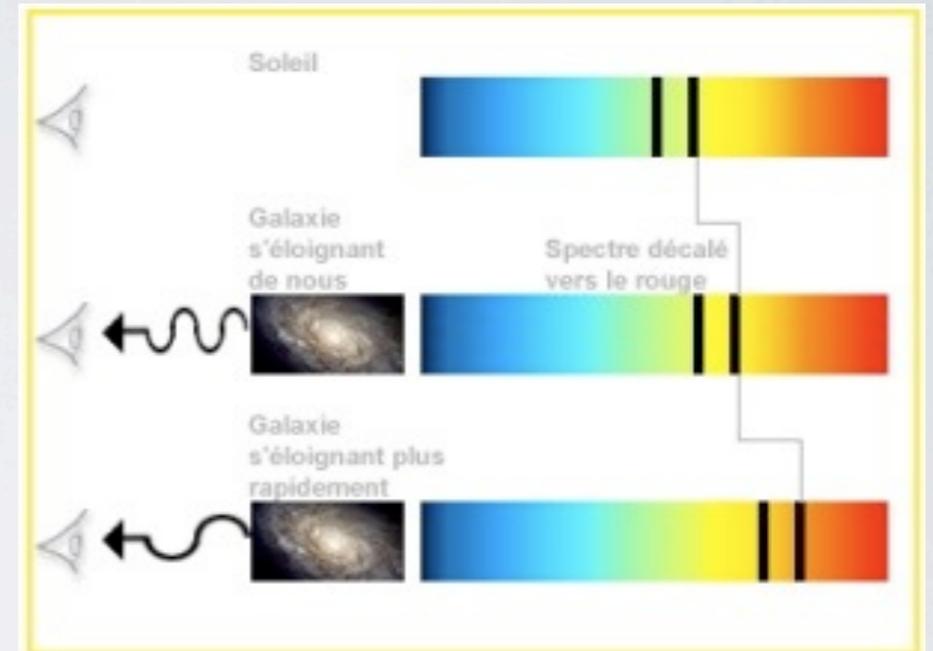
©HUBBLE-UFE-OP

L'EFFET DOPPLER-FIZEAU

SON



LUMIÈRE



z décalage spectral

$$z = \Delta\lambda / \lambda = v / c$$

λ longueur d'onde

v vitesse

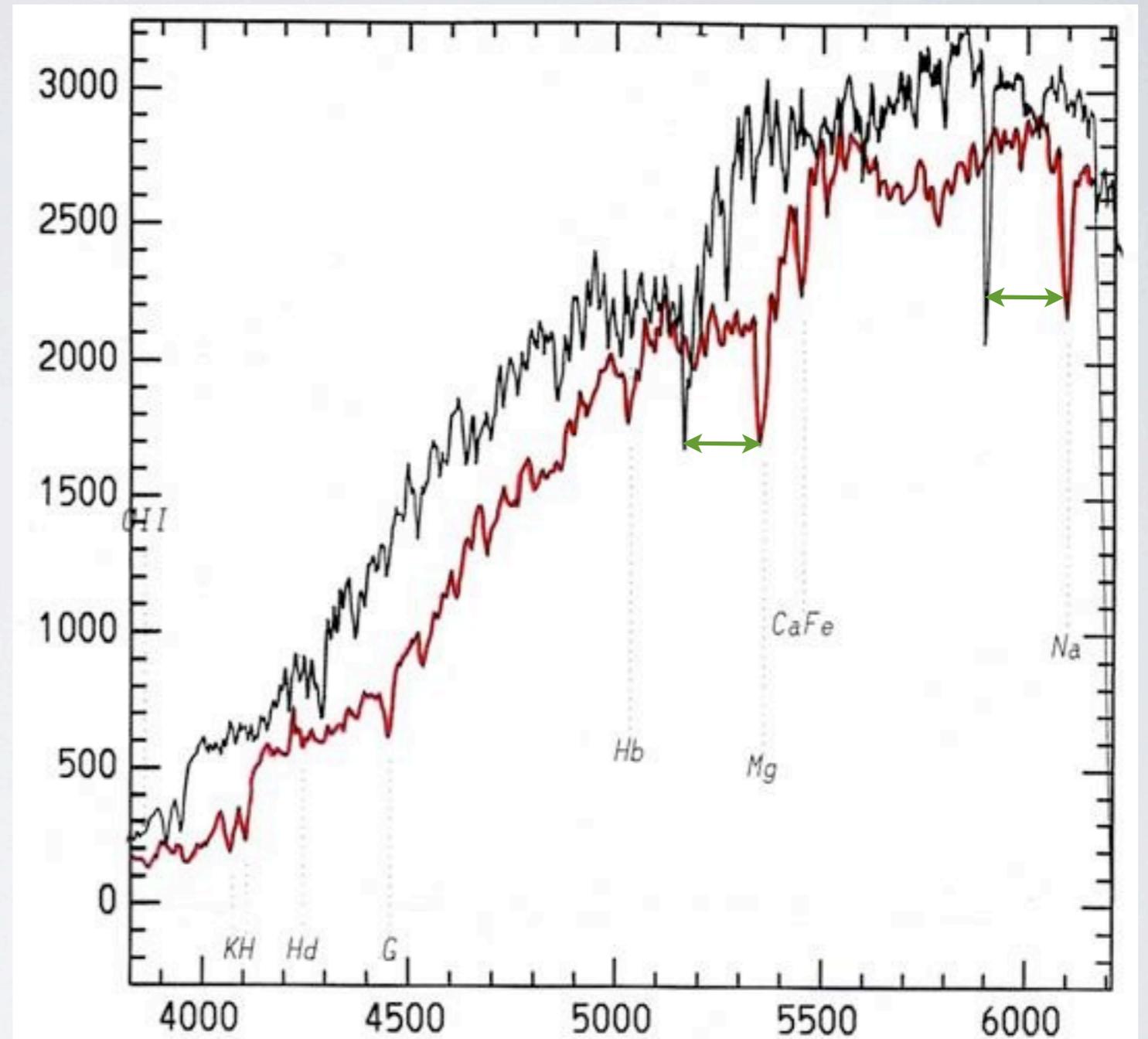
c vitesse de la lumière

SPECTRES DES GALAXIES

M31

Galaxie à 10000 km/s

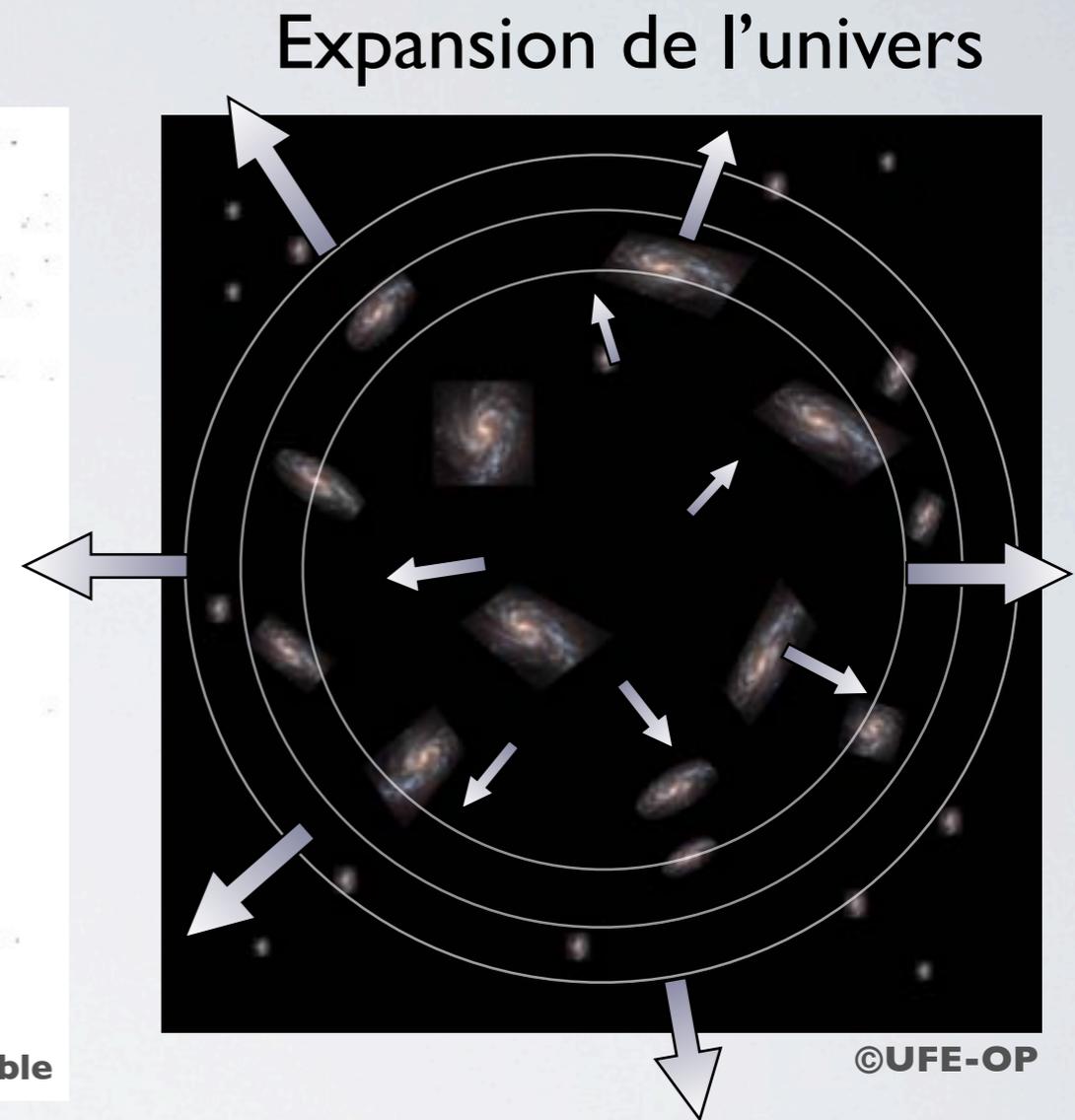
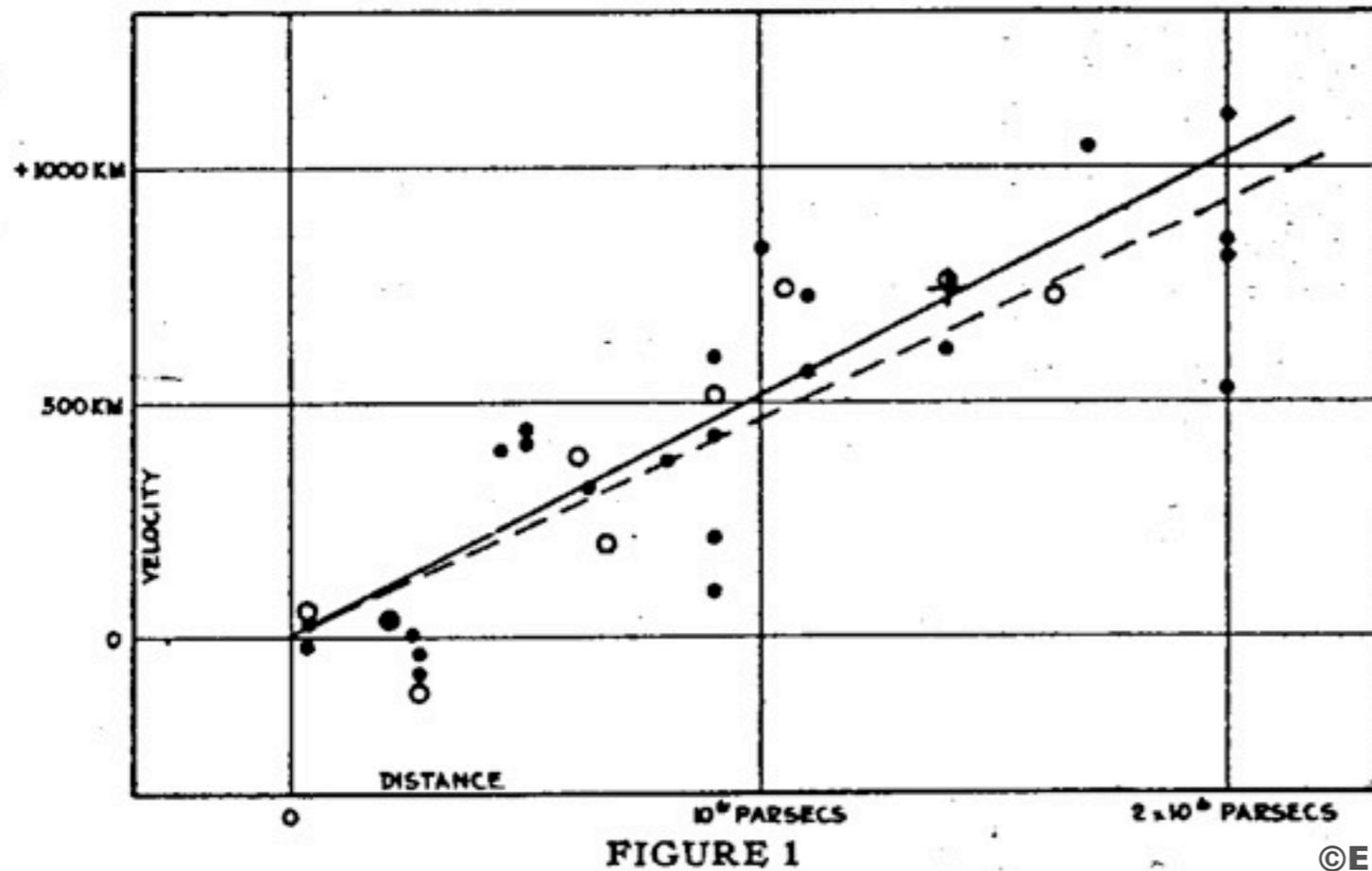
- ❖ Spectre d'une galaxie proche servant de référence (en noir)
- ❖ Et d'une galaxie dont on veut mesurer le décalage spectral (en rouge)



©UFE-OP

LA LOI DE HUBBLE

ARTICLE ORIGINAL DE HUBBLE 1929



Relation entre la vitesse de récession d'une galaxie et sa distance

$$v = H \times d$$

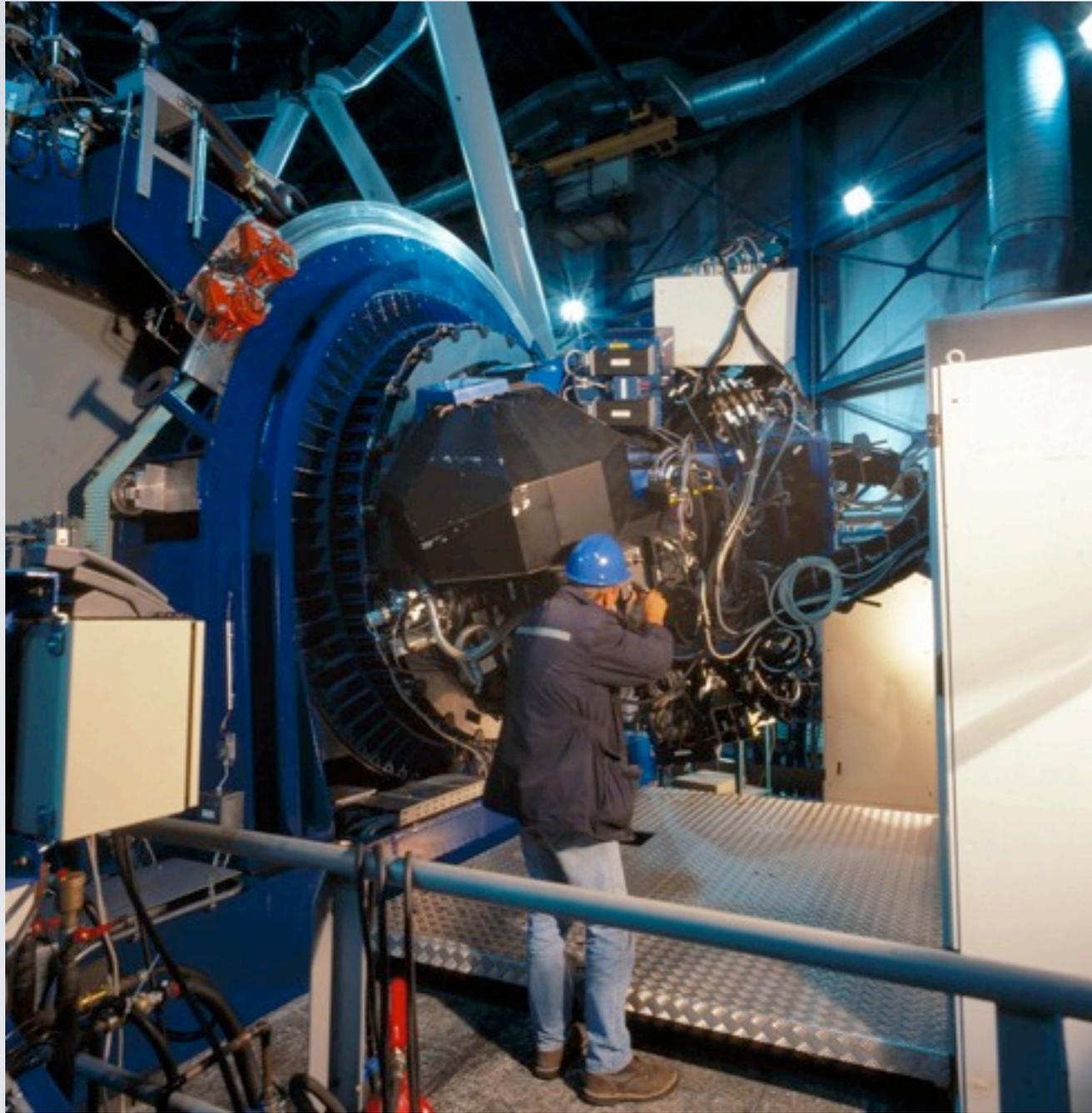
v = vitesse de la galaxie

H = constante de Hubble

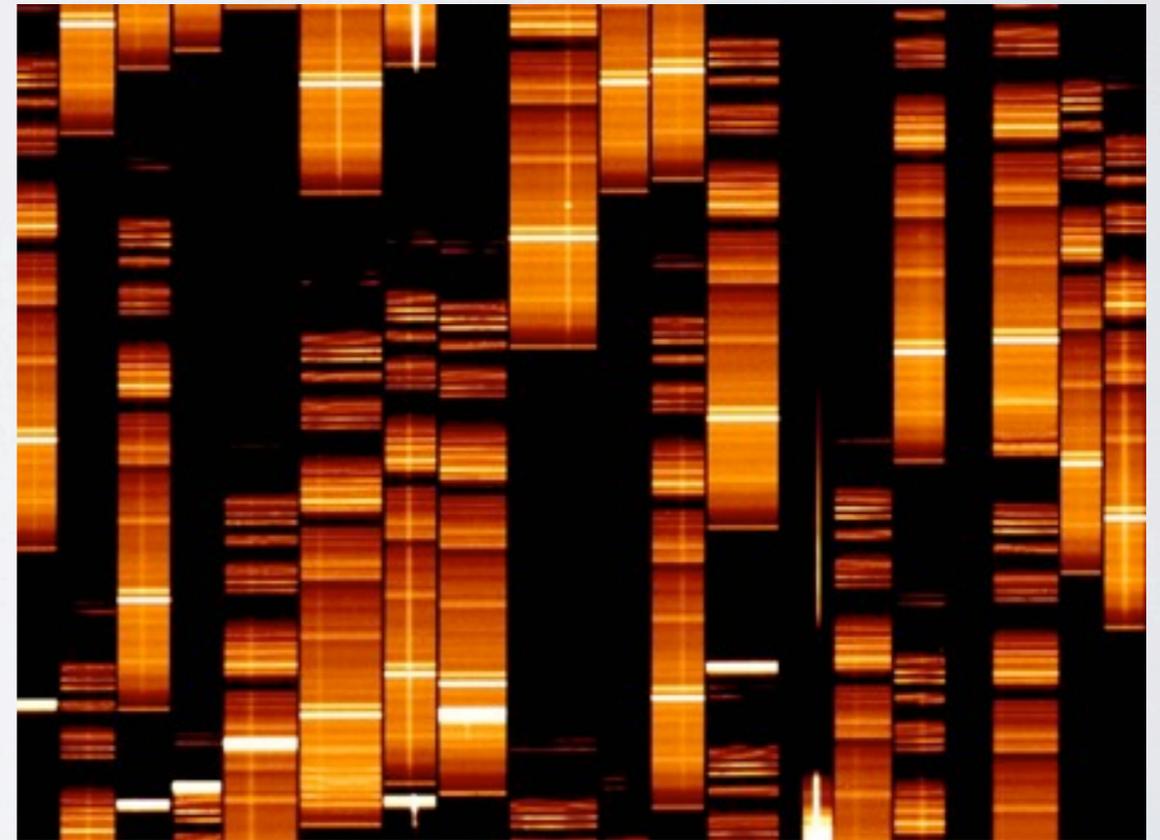
d = distance de la galaxie

SPECTROGRAPHE MULTI-FENTES

Fabrication des masques



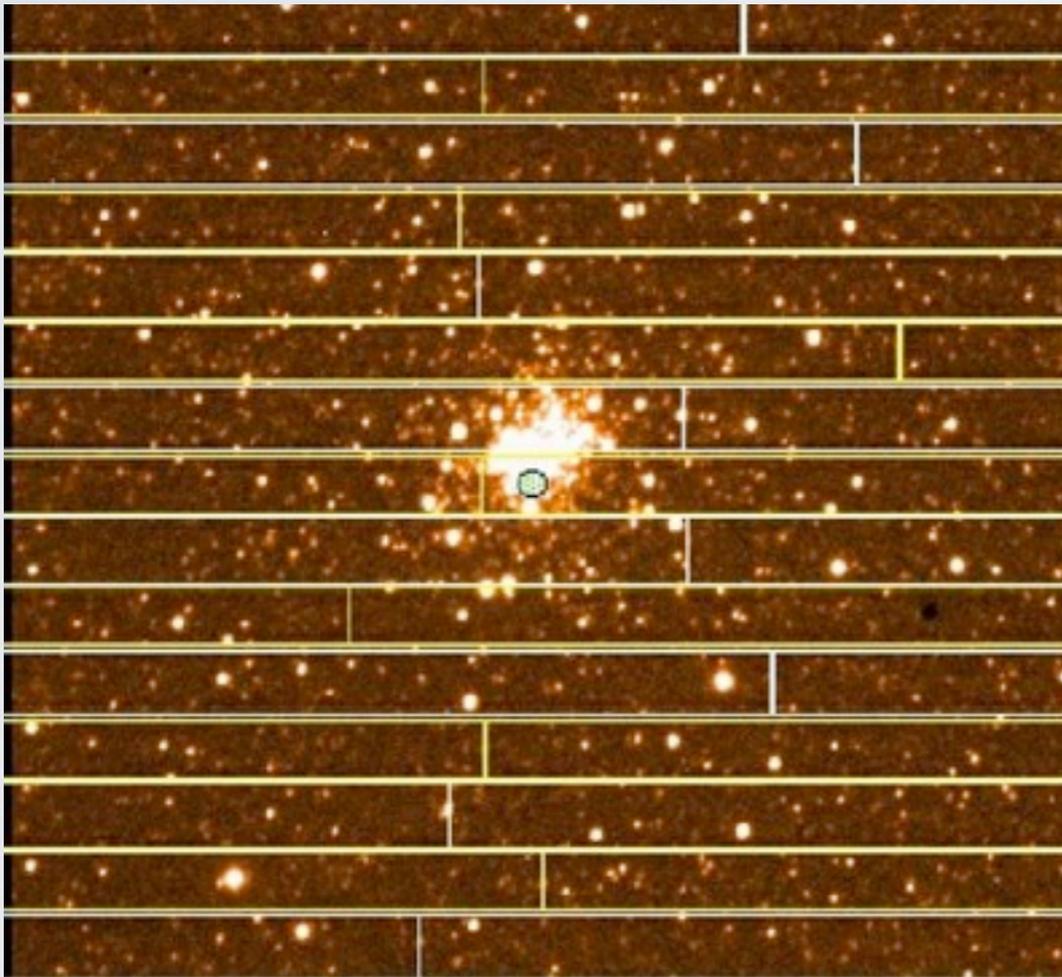
Vimos au VLT



Premiers Spectres Vimos

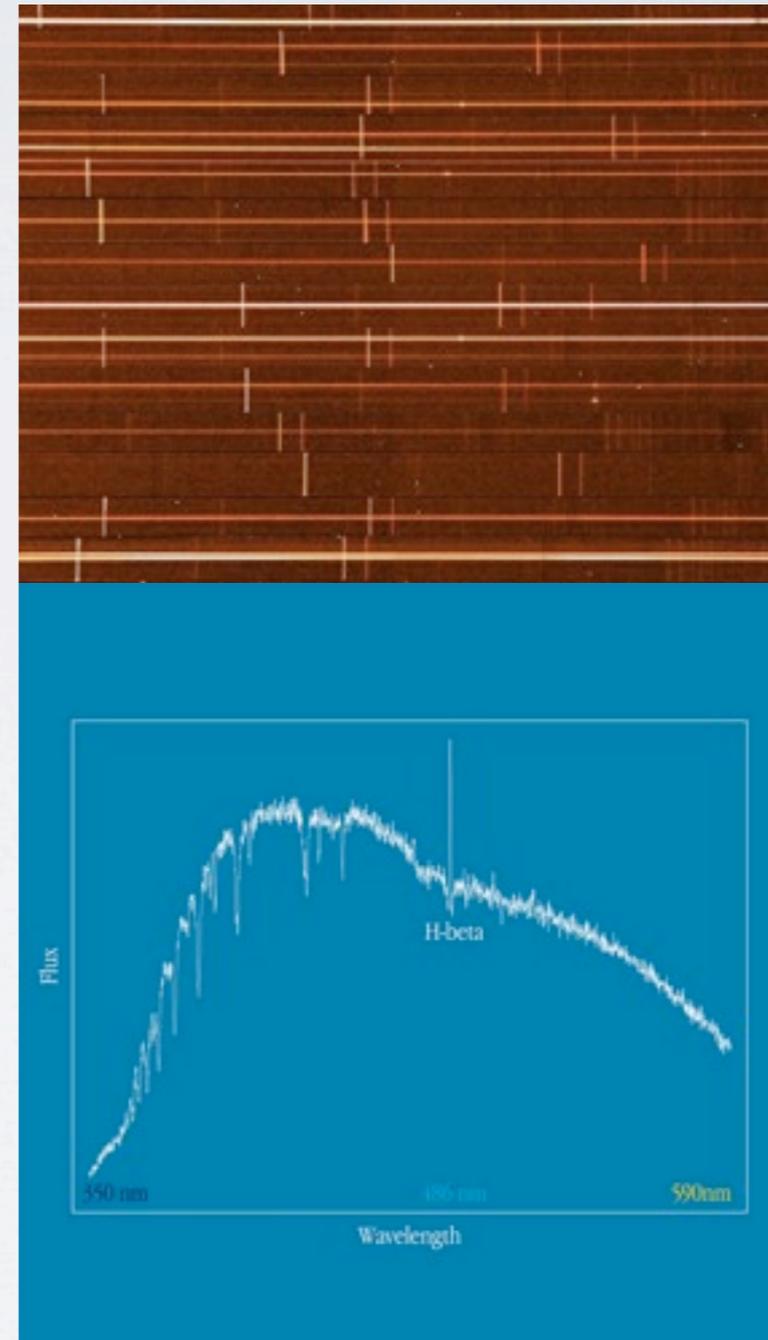
OBSERVATIONS AVEC DES MASQUES

Choix des objets



Champ dans le petit nuage de Magellan, centré autour de NGC 330

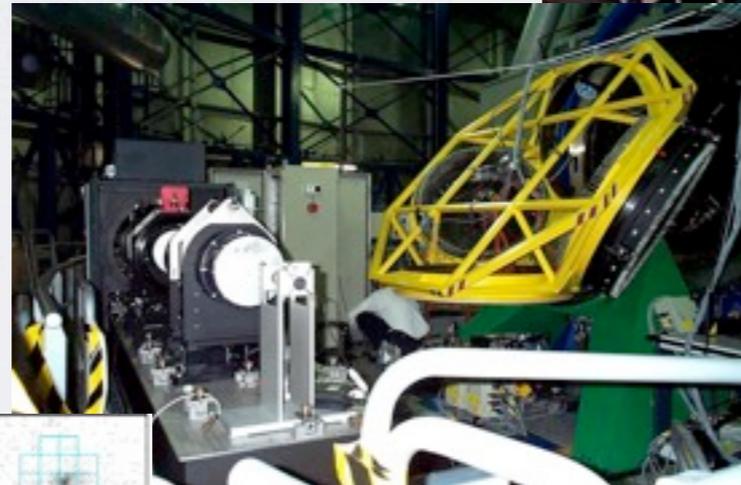
Spectres obtenus



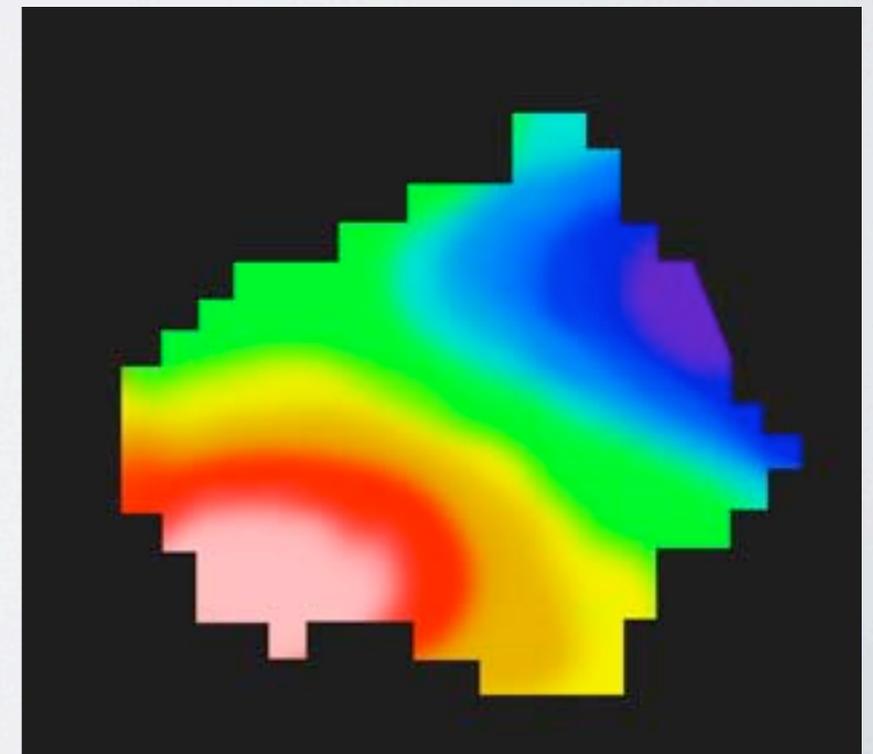
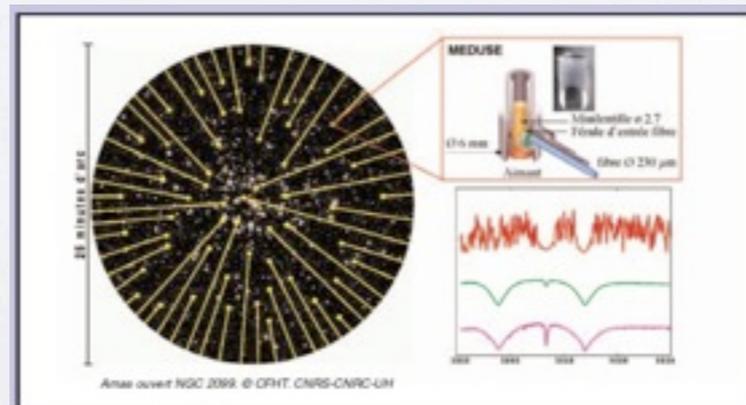
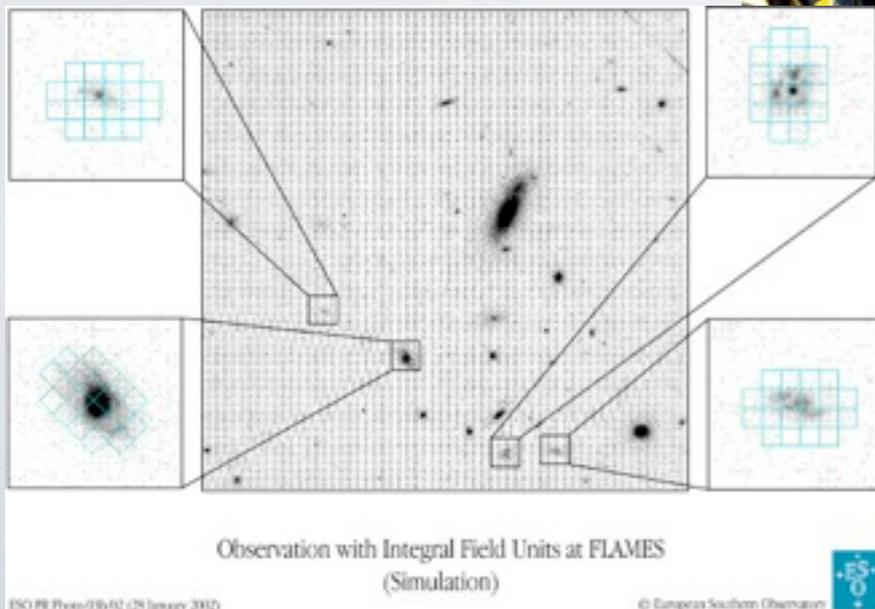
SPECTROGRAPHIE MULTI-OBJETS À FIBRES

❖ Giraffe au VLT

- ❖ 135 objets simultanément
- ❖ Spectrographie de champ intégral
- ❖ 15 champs de vitesse



©ESO



©OP

CAPTER LES ONDES : DE LA LUNETTE AUX TÉLESCOPES

1609 Lunette de Galilée
diamètre 20-30 mm

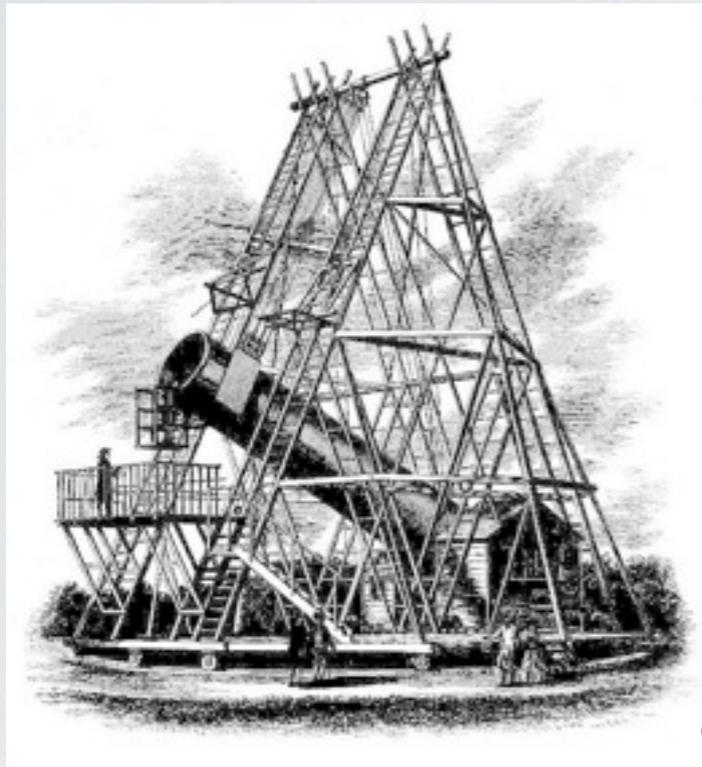


1671 Télescope de Newton
diamètre 15 cm



À LA RECHERCHE DE LA RÉOLUTION SPATIALE

1788 Herschel
diamètre 1.2 m



©BOP

1847 Lord Rosse
diamètre 1.80 m



1908 Ritchey
diamètre 1.5 m



1917 Hooker
diamètre 2.5 m

©DP

DES MIROIRS DE PLUS EN PLUS GRANDS

1948 Mount Palomar
diamètre 5m

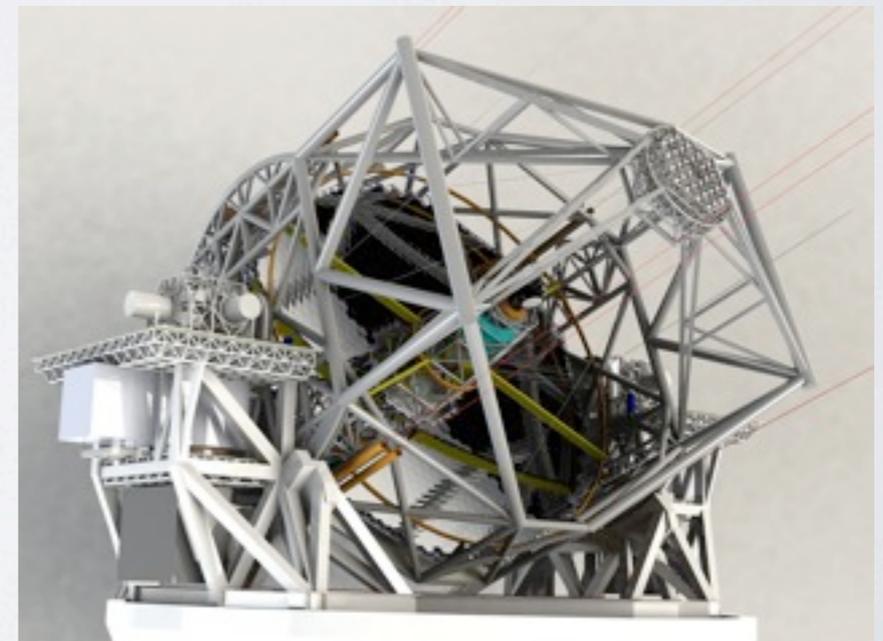


1996 Keck
diamètre 10m
2 télescopes



2001 VLT
diamètre 8.2m
4 télescopes

2018 ? ELT
diamètre 42m - 30m



LES RADIOTÉLESCOPES

Nançay, France



©DP

Arecibo, USA



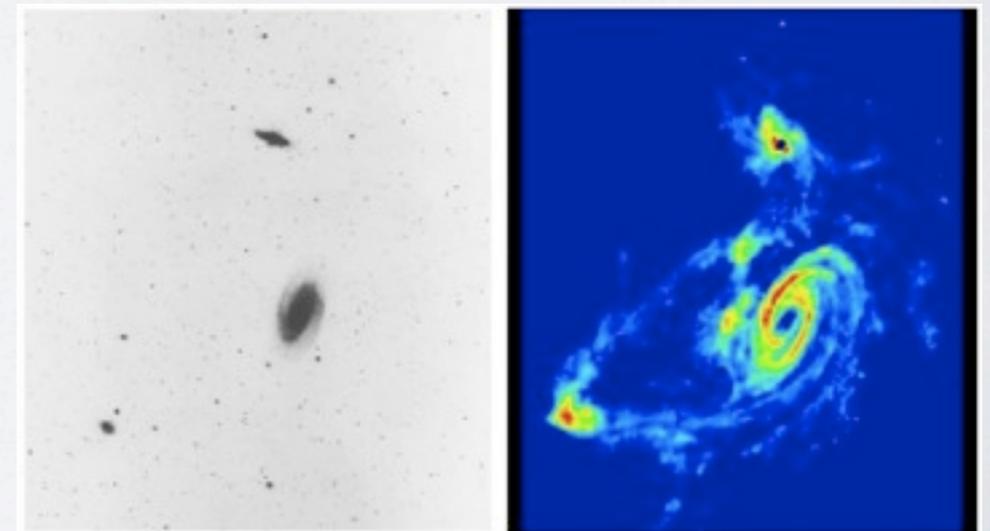
©DP

Groupe de M81



Very Large Array, USA

©GFDL



optique

radio

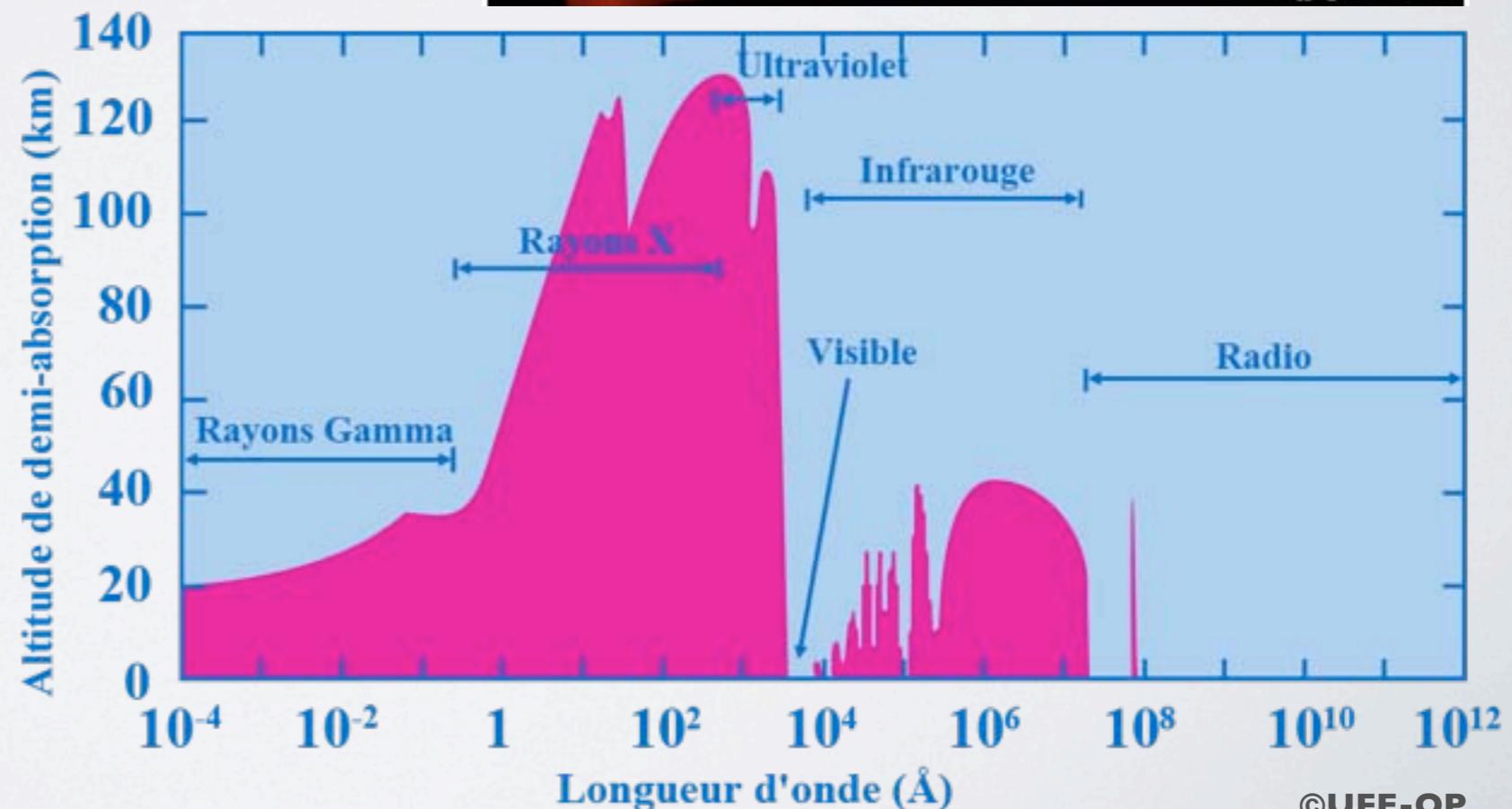
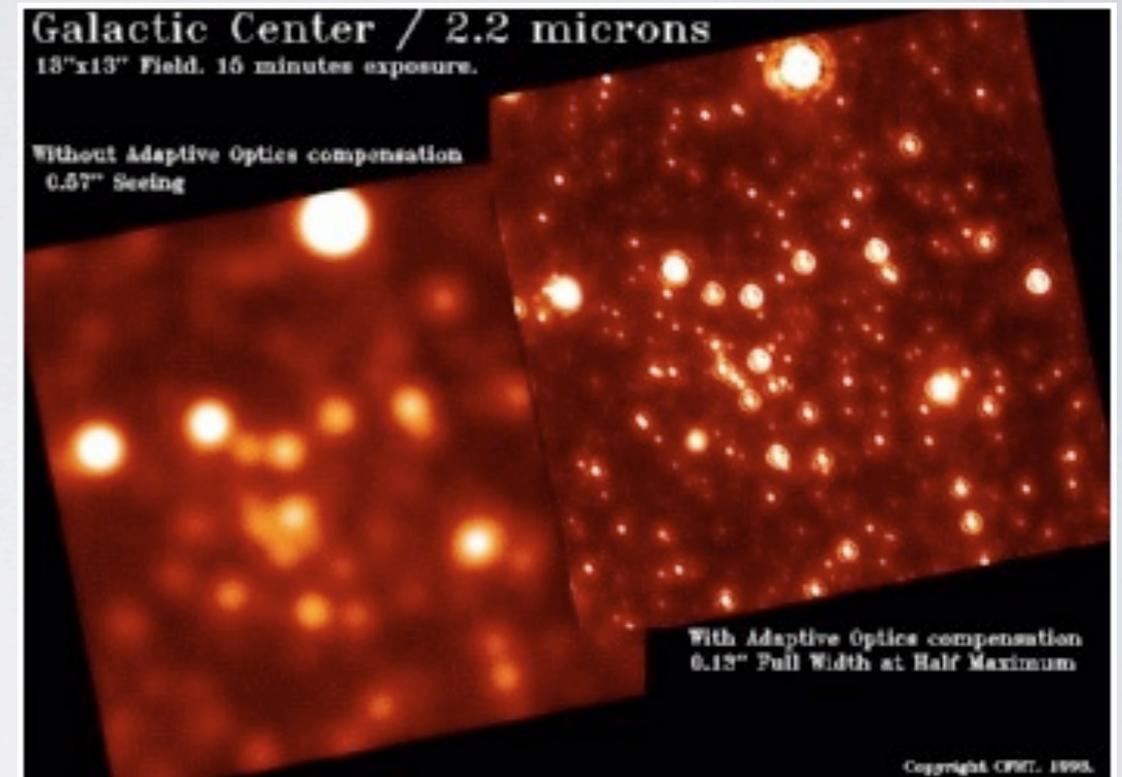
OBSERVATIONS SPATIALES

❖ Avantages

- ❖ Pas de turbulence atmosphérique
- ❖ Accès à des longueurs d'onde absorbées par l'atmosphère
- ❖ Gamma, X, UV, IR

❖ Désavantages

- ❖ Miroirs de petite taille
- ❖ Pas de réparation
- ❖ Durée limitée



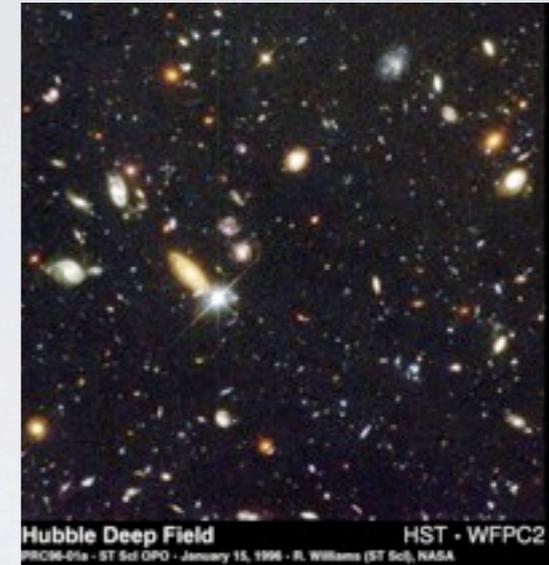
OBSERVER DEPUIS L'ESPACE

Hubble Space Telescope
diamètre 2.4 m



©NASA

Amas de Coma



Hubble Deep Field HST - WFPC2
PR06-01a - ST ScI DPO - January 15, 1996 - R. Williams (ST ScI), NASA

©NASA

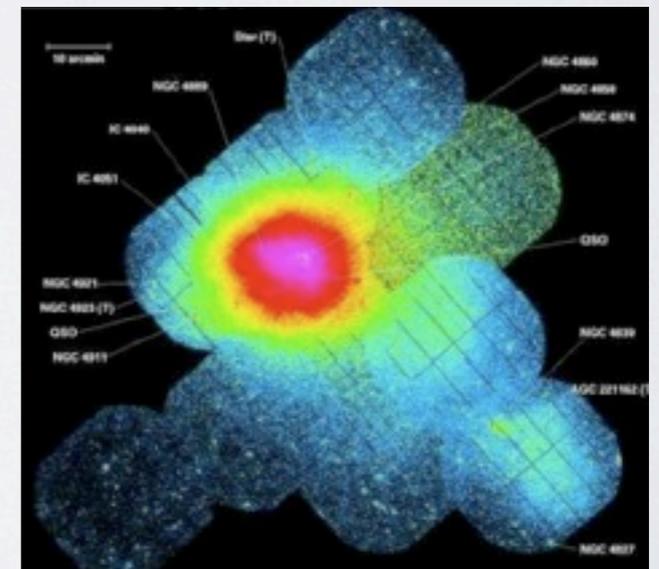
Optique et infrarouge



©ESA

XMM
diamètre 0.7 m

Rayons X



©ESA

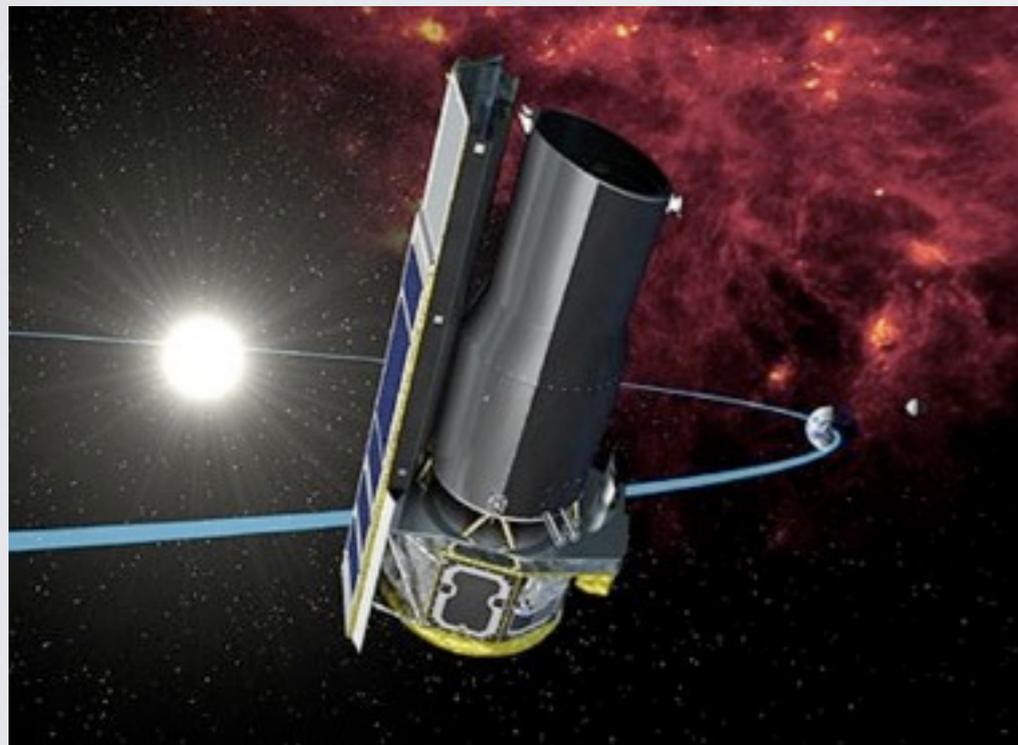
Gaz chaud

IMAGES COMPOSITES

Spitzer Space Telescope

diamètre 0.85 m

Infrarouge 3-180 microns



©NASA

M82

Infrarouge

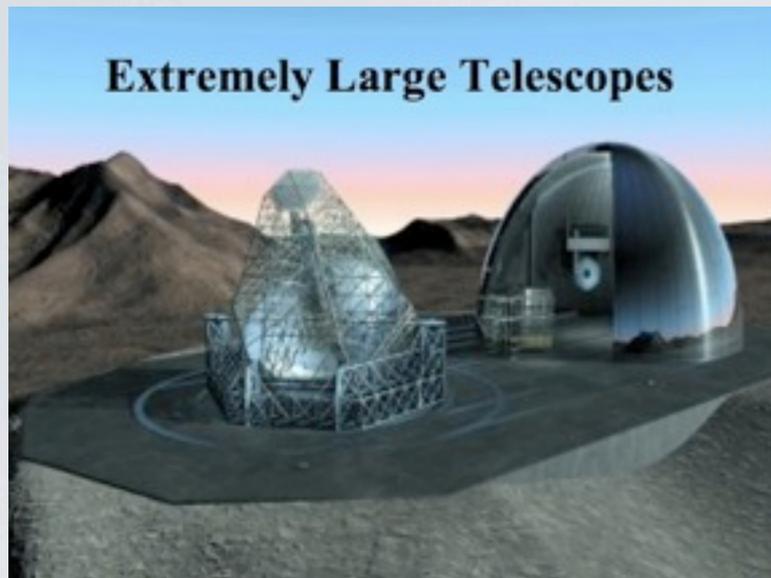


©NASA

HST : orange et vert
Chandra X : bleu
Spitzer IR : rouge

LES TÉLESCOPES DU FUTUR

Au sol

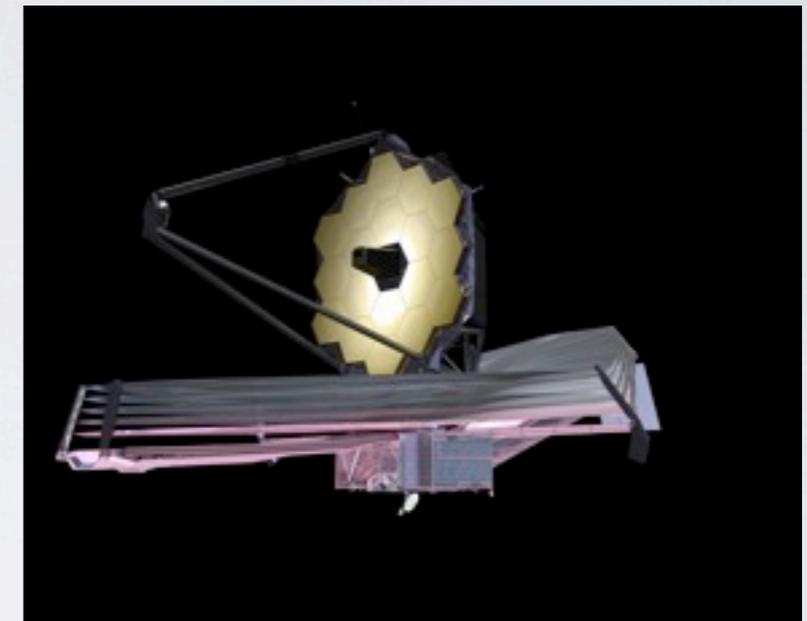


©ESO

diamètre 40m

James Webb Telescope
diamètre 6.6m

Dans l'espace



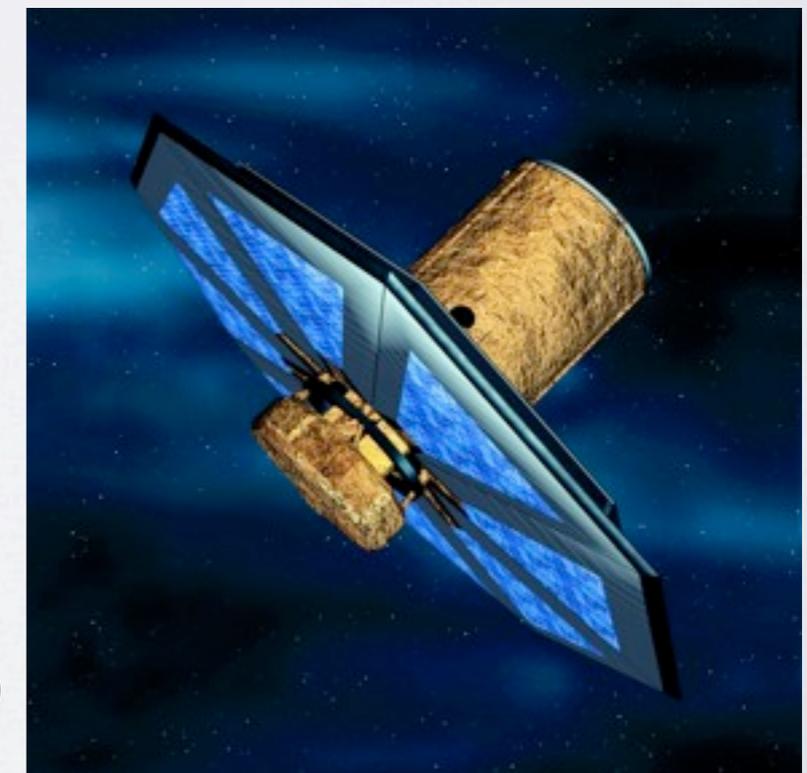
©NASA

Square Kilometer Array



©SKA

Darwin 2020



©ESA

CRÉDITS DES IMAGES

- **©Observatoire de Paris (www.obspm.fr)**

OP : Laboratoires de l'Observatoire de Paris

BOP : Bibliothèque de l'Observatoire de Paris

UFE-OP : Unité de Formation et d'Enseignement de l'Observatoire de Paris

- **©NASA (nasascience.nasa.gov)**
- **©ESO (www.eso.org)**
- **©Hubble (hubblesite.org/gallery)**
- **©DP : Domaine Public**