L'Univers invisible en images

Vincent Minier

Astrophysicien au CEA Saclay

Chercheur associé au Centre François Viète, Université de Nantes

Contact et site Internet

http://www.vincentminier.fr

vincent.minier@cea.fr

Plan du cours: 4 séances

1. Introduction – Pré requis (14/12/2012)
2. Déconstruction d'images brillantes (21/12/2012)
3. Déconstruction d'images sombres (11/01/2013)
4. Construction d'une image scientifique (*18/01/2013*)

Séance #1

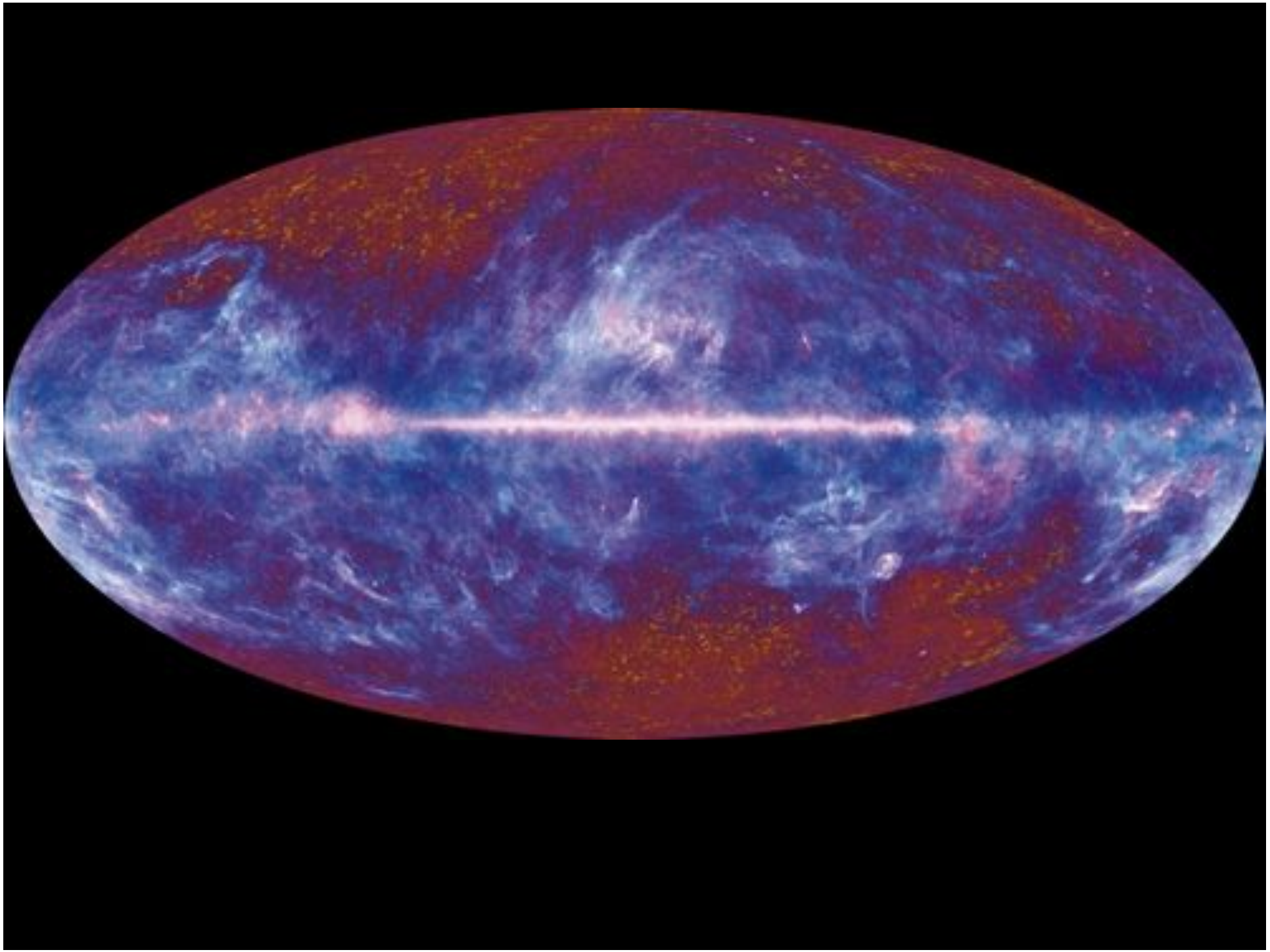
1. Introduction sur les images de l'astronomie
2. La lumière
3. Les limites de l'atmosphère
4. Les grands instruments de l'astrophysique

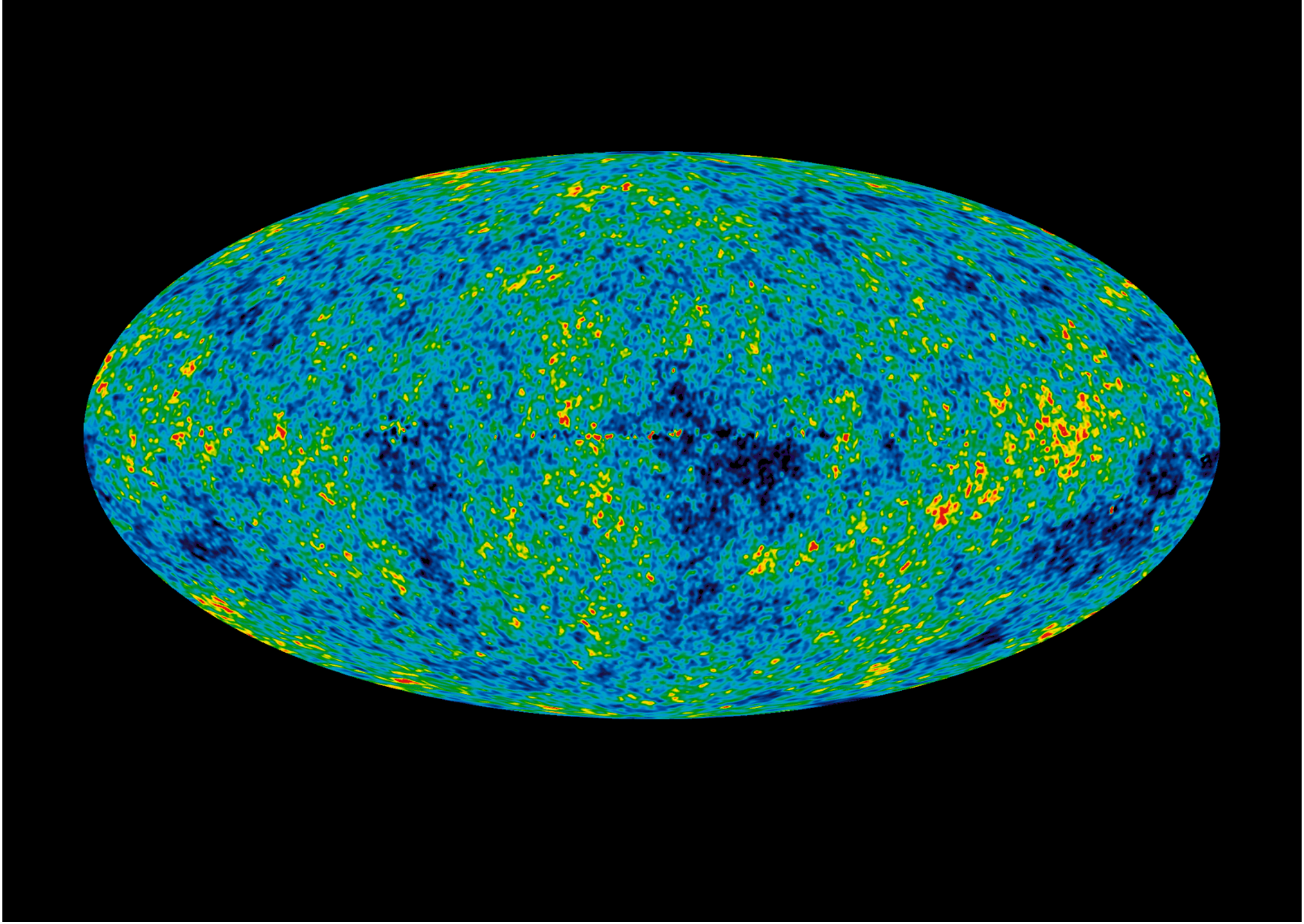
Séance #1

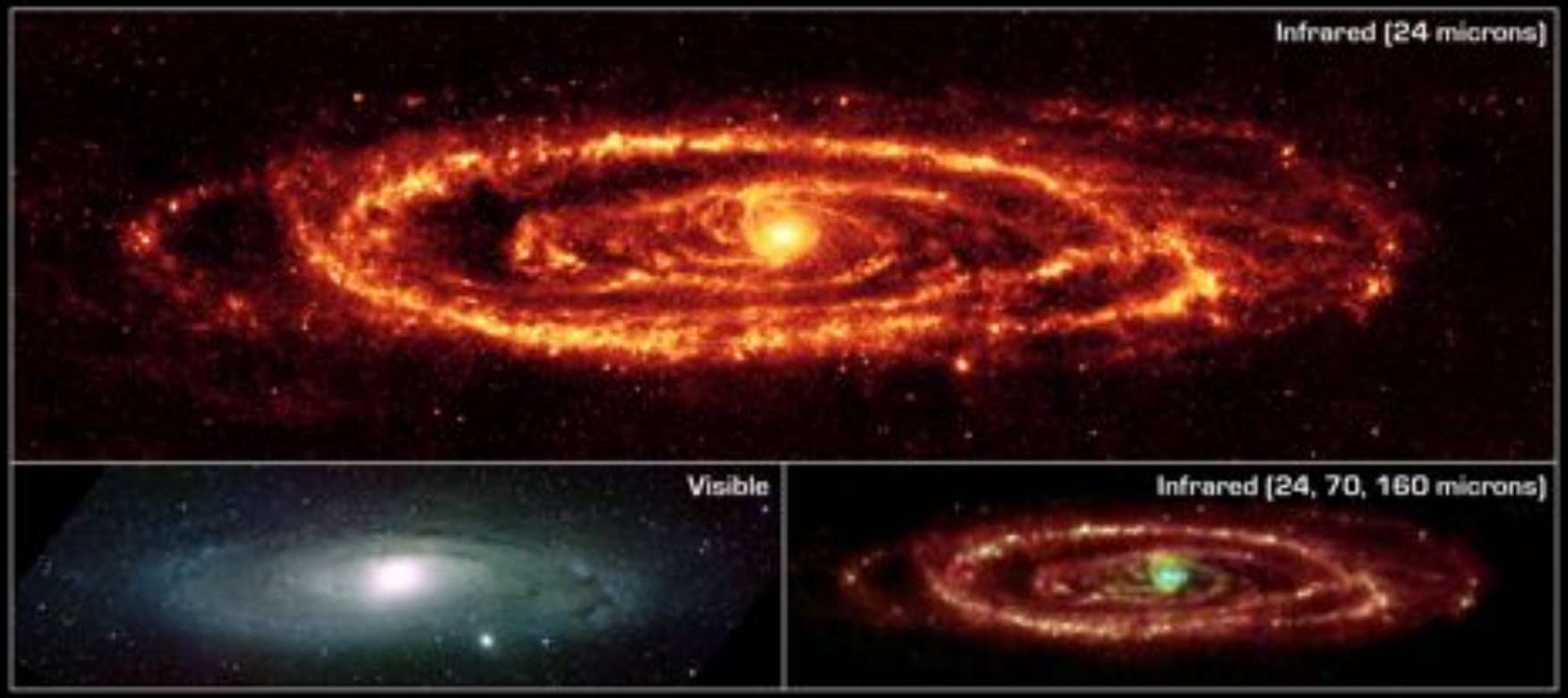
1. Introduction sur les images de l'astronomie
2. La lumière
3. Les limites de l'atmosphère
4. Les grands instruments de l'astrophysique

Sites de « belles images »

- http://www.eso.org/public/images/archive/top100/ (ESO top 100)
- http://www.spacetelescope.org/images/archive/top100/ (Hubble top 100)
- http://oshi.esa.int/ (Herschel)
- http://public.planck.fr/ (Planck)
- www.dailymotion.com/playlist/x1r4ys_AstrophysiqueTV_picturing-star-motion/ (Astrophysique TV, Picturing Star Motion)
- http://apod.nasa.gov/apod/astropix.html (Astronomy Picture of the Day)







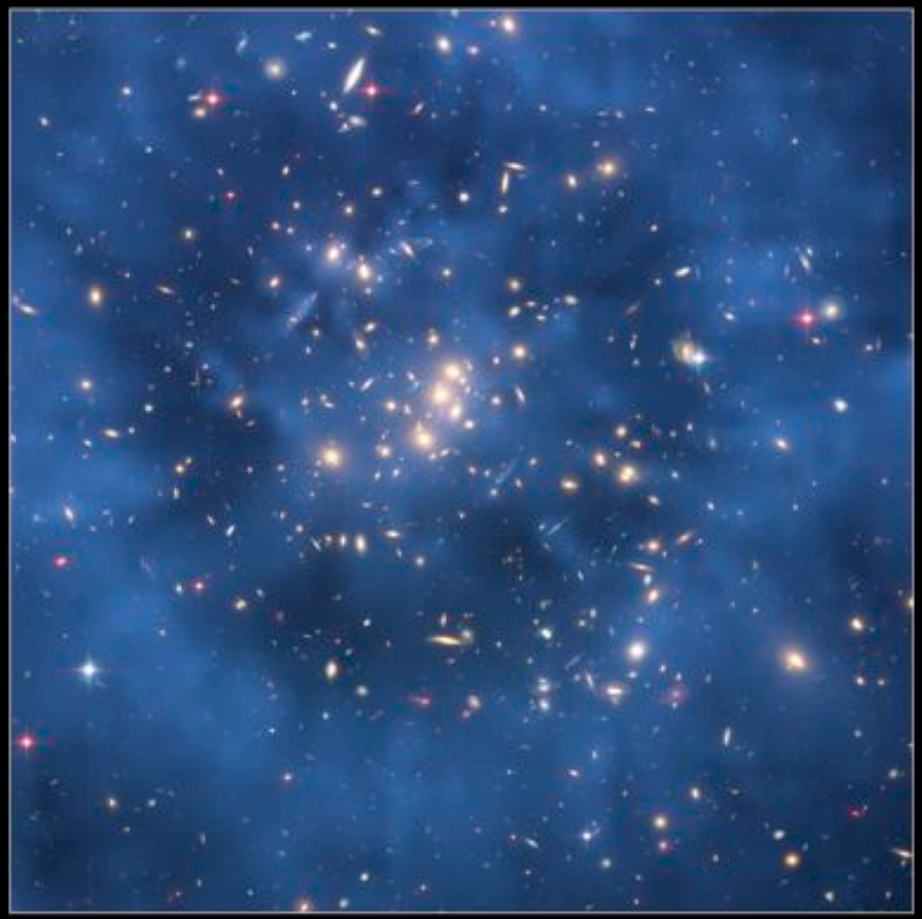
Dust in Andromeda Galaxy (M31)

NASA / JPL-Caltech / K. Gordon (University of Arizona)

Spitzer Space Telescope • MIPS

Visible: NOAO

ssc2005-20a

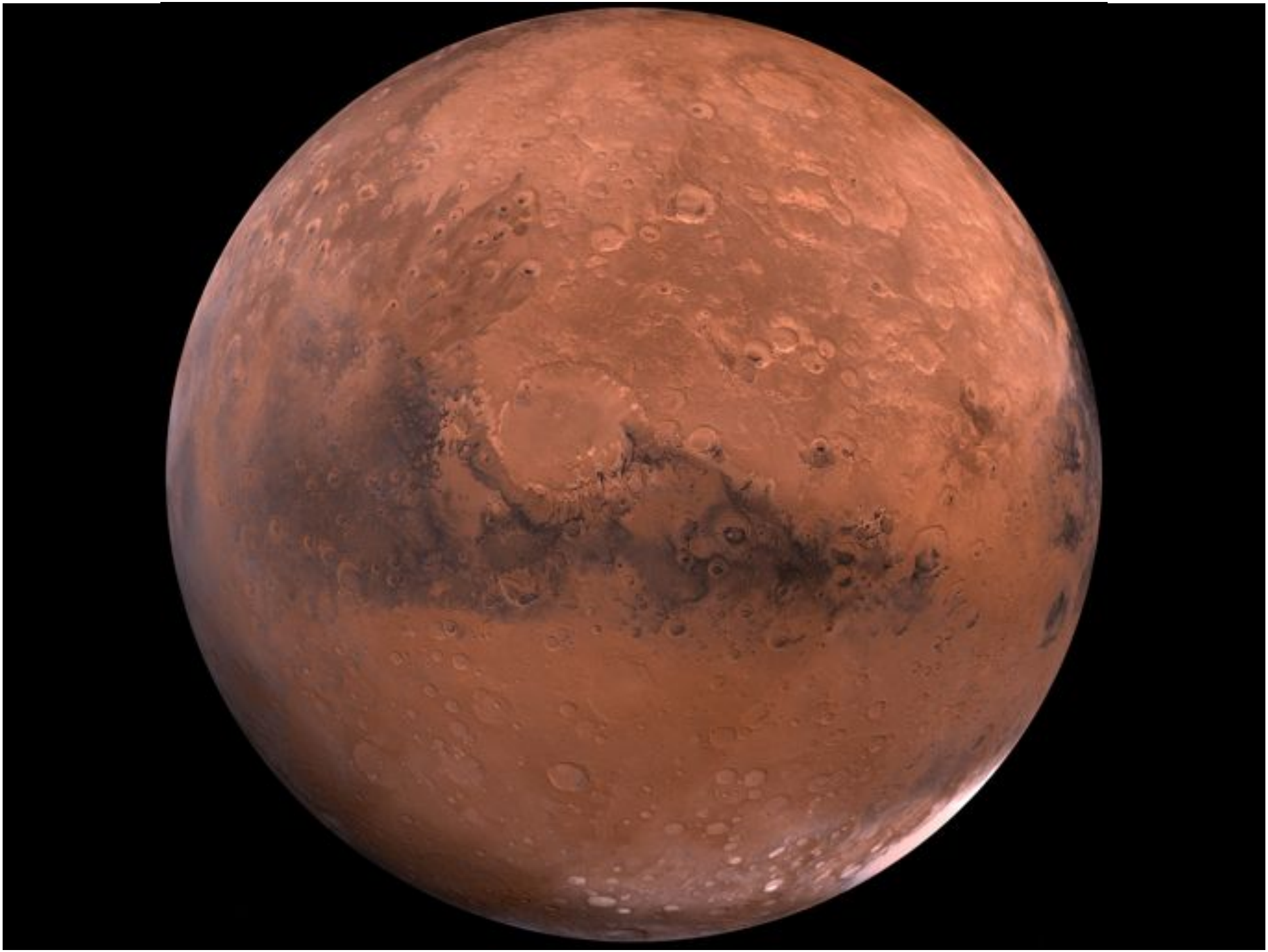


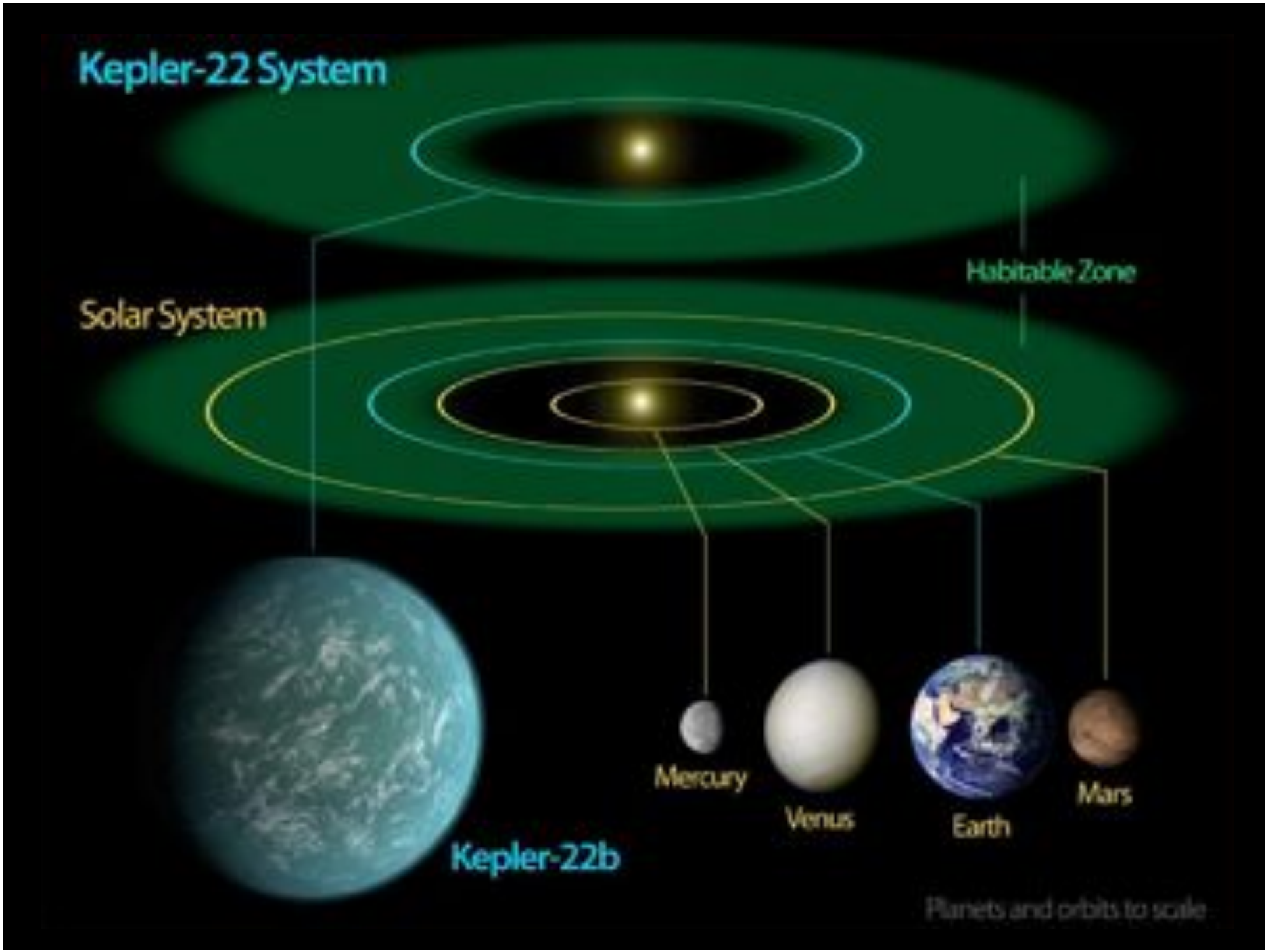
Dark Matter Ring in Galaxy Cluster Cl 0024+17 (ZwCl 0024+1652)
Hubble Space Telescope • ACS/WFC

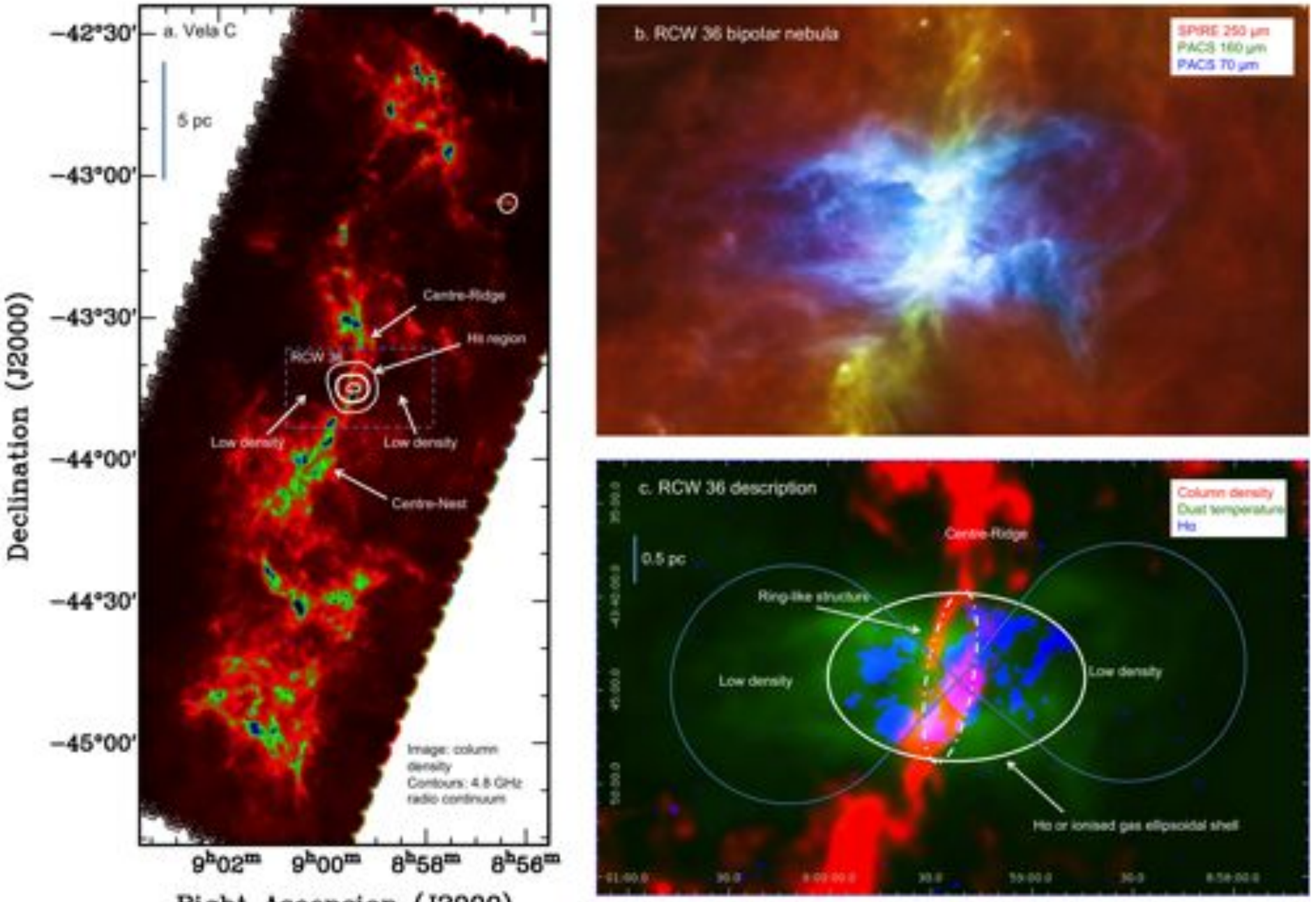
NASA, ESA, and M.J. Jee (Johns Hopkins University) STScI-PRC07-17a

Galaxy Cluster Cl 0024+17 (ZwCl 0024+1652)
Hubble Space Telescope • ACS/WFC

NASA, ESA, and M.J. Jee (Johns Hopkins University) STScI-PRC07-17b




Kepler-22 System
Habitable Zone
Solar System
Mercury
Venus
Earth
Mars
Kepler-22b
Planets and orbits to scale



Minier et al. 2012

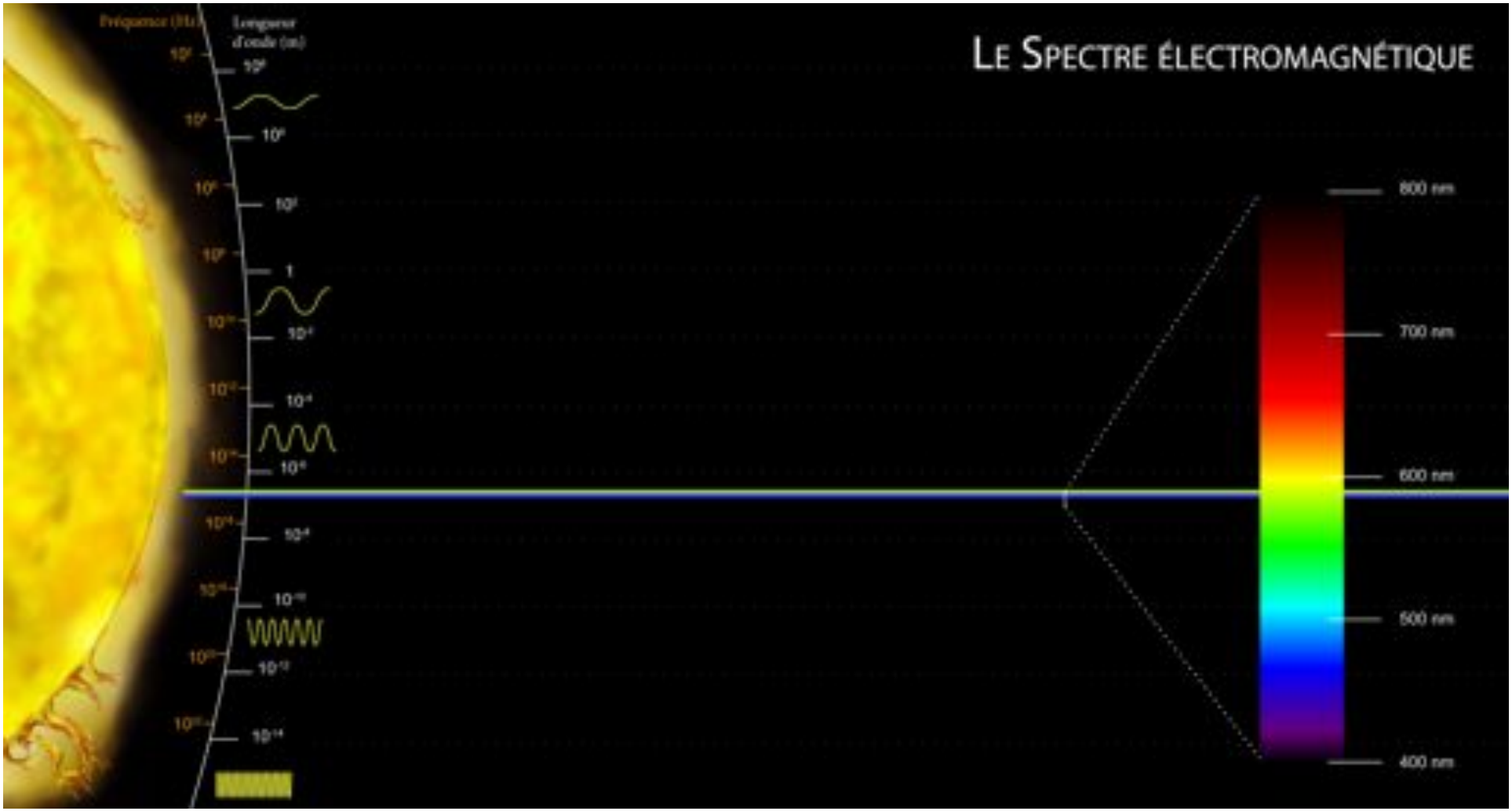
Séance #1

1. Introduction sur les images de l'astronomie
2. La lumière
3. Les limites de l'atmosphère
4. Les grands instruments de l'astrophysique

La lumière visible:
les couleurs de l'arc-en-ciel

Crédit image: CEA

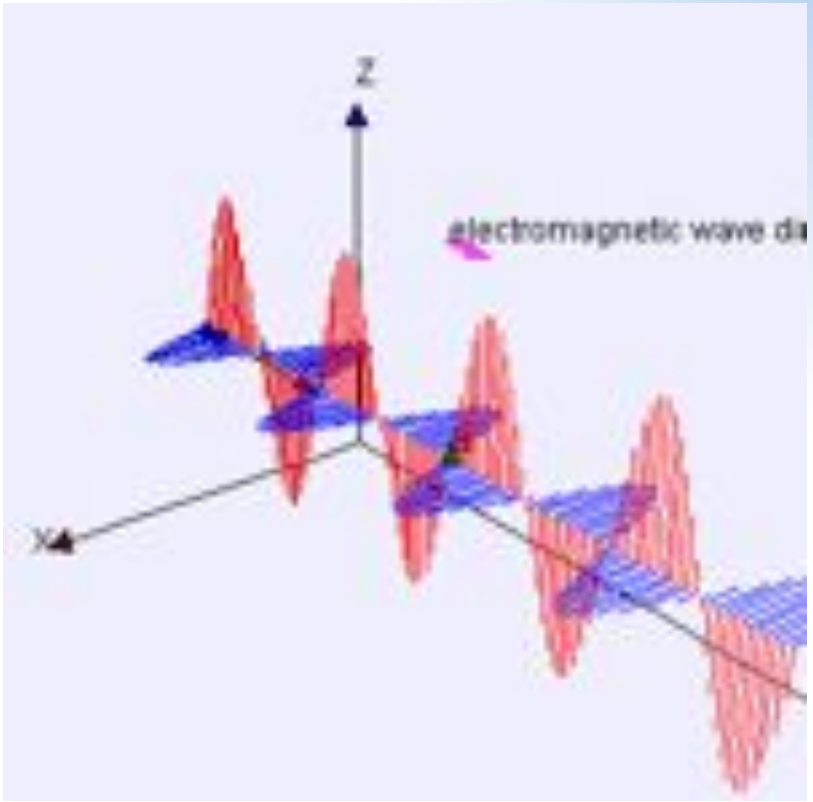
La lumière naturelle se décompose en couleurs.



Crédit image: CEA

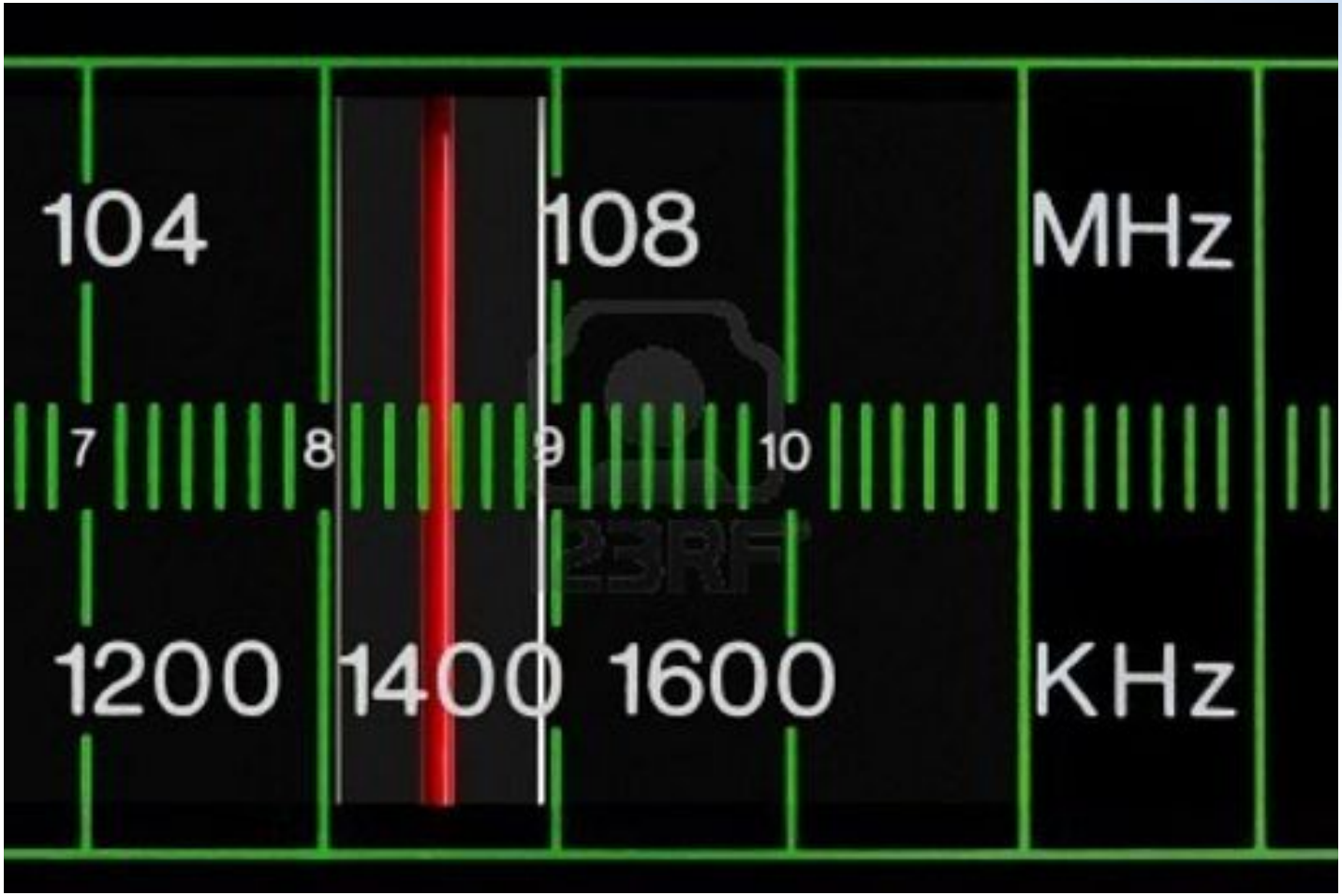
La lumière peut être décrite comme une onde électromagnétique, cela signifie que les propriétés électromagnétiques d'une lumière se propage périodiquement dans un milieu, y compris le vide. Elle est caractérisée par une fréquence (v) ou par une longueur d'onde (λ).

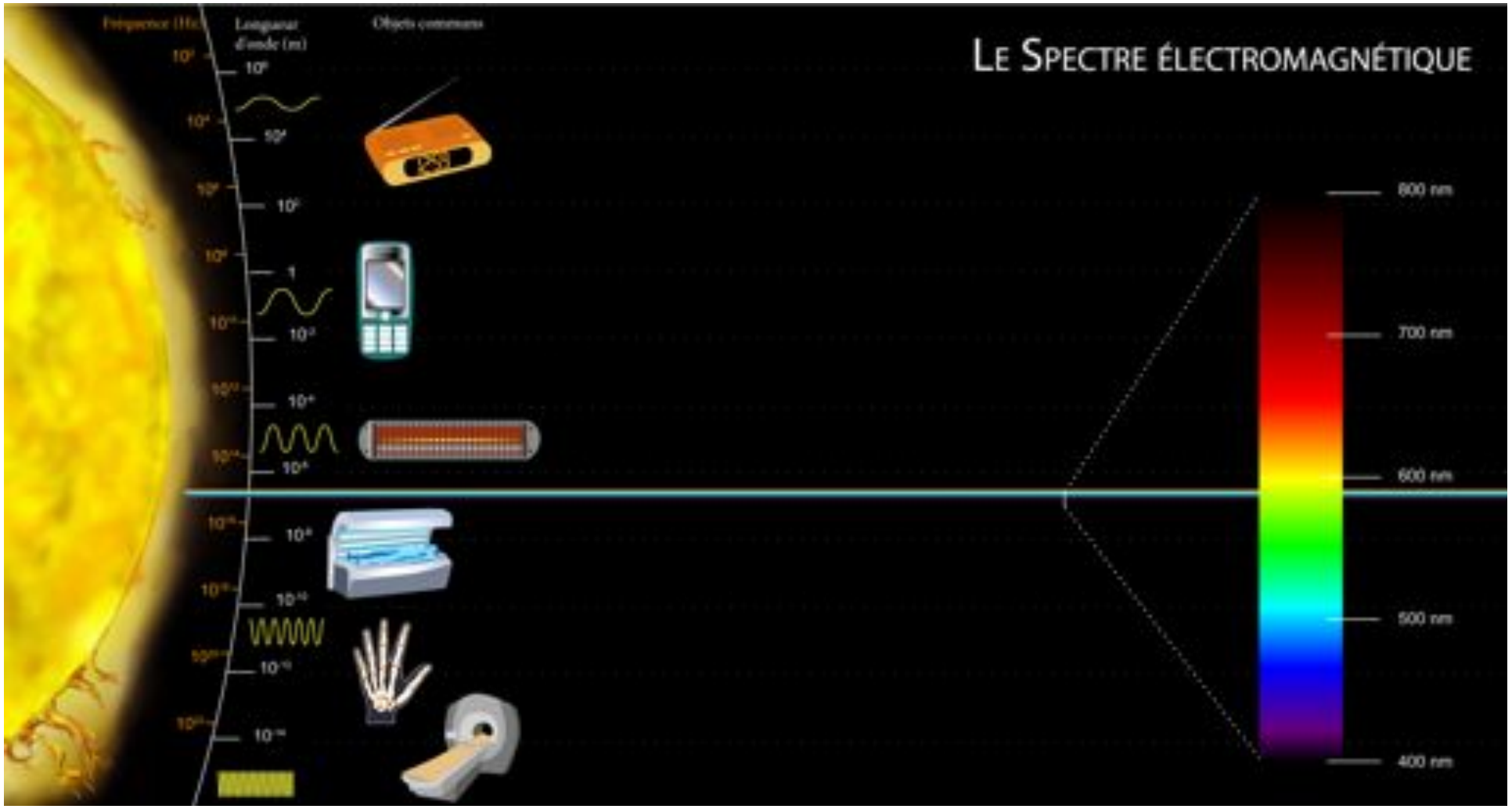
Ondes électromagnétiques



http://www.herschel.fr/fr/galerie/animations/lumiere_onde_energie.htm

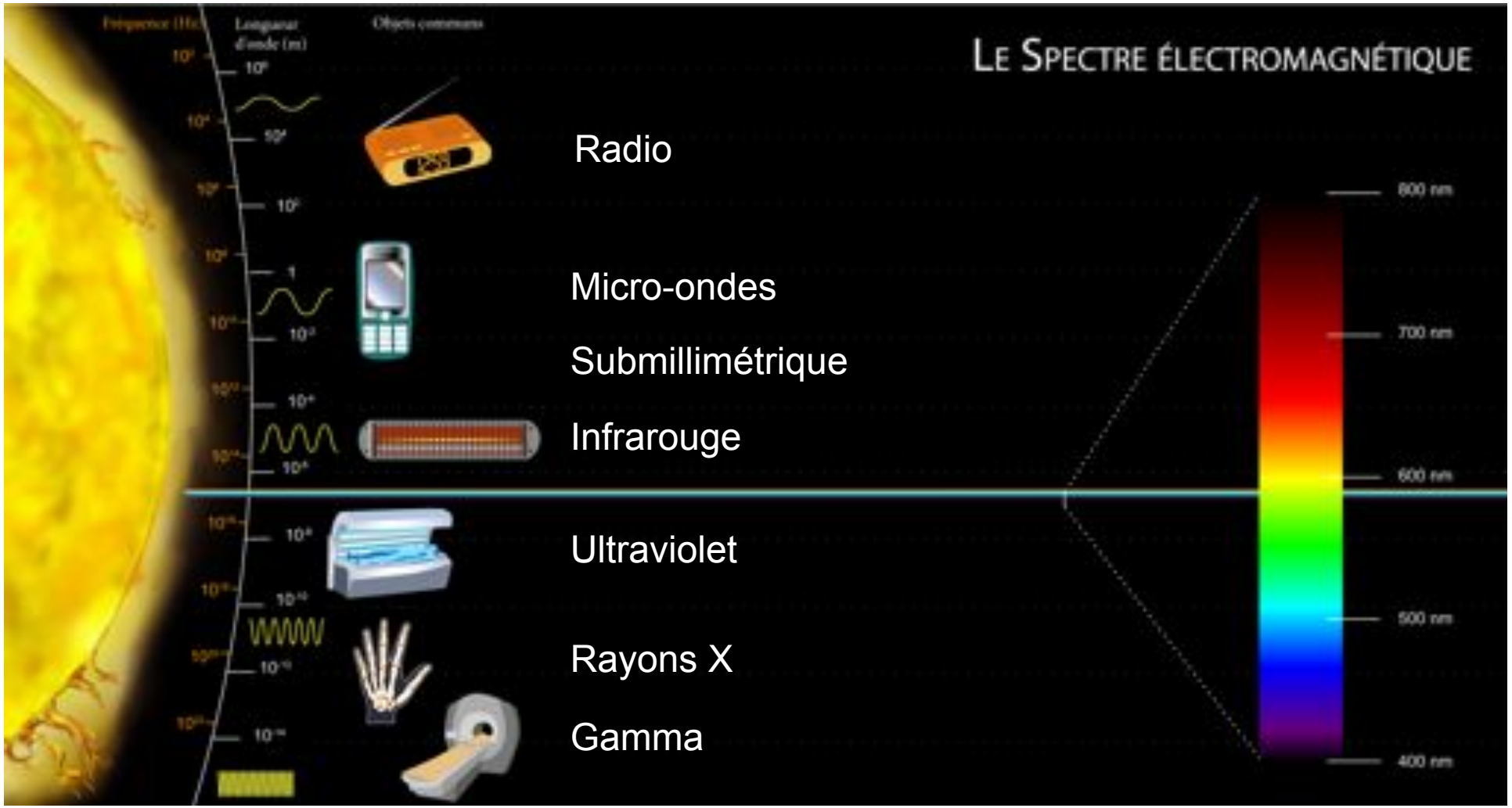
Tuner de radio: régler la fréquence





Crédit image: CEA

La lumière est plus vaste que les seules couleurs de l'arc-en-ciel. Il existe des lumières invisibles qu'on utilise dans notre quotidien.

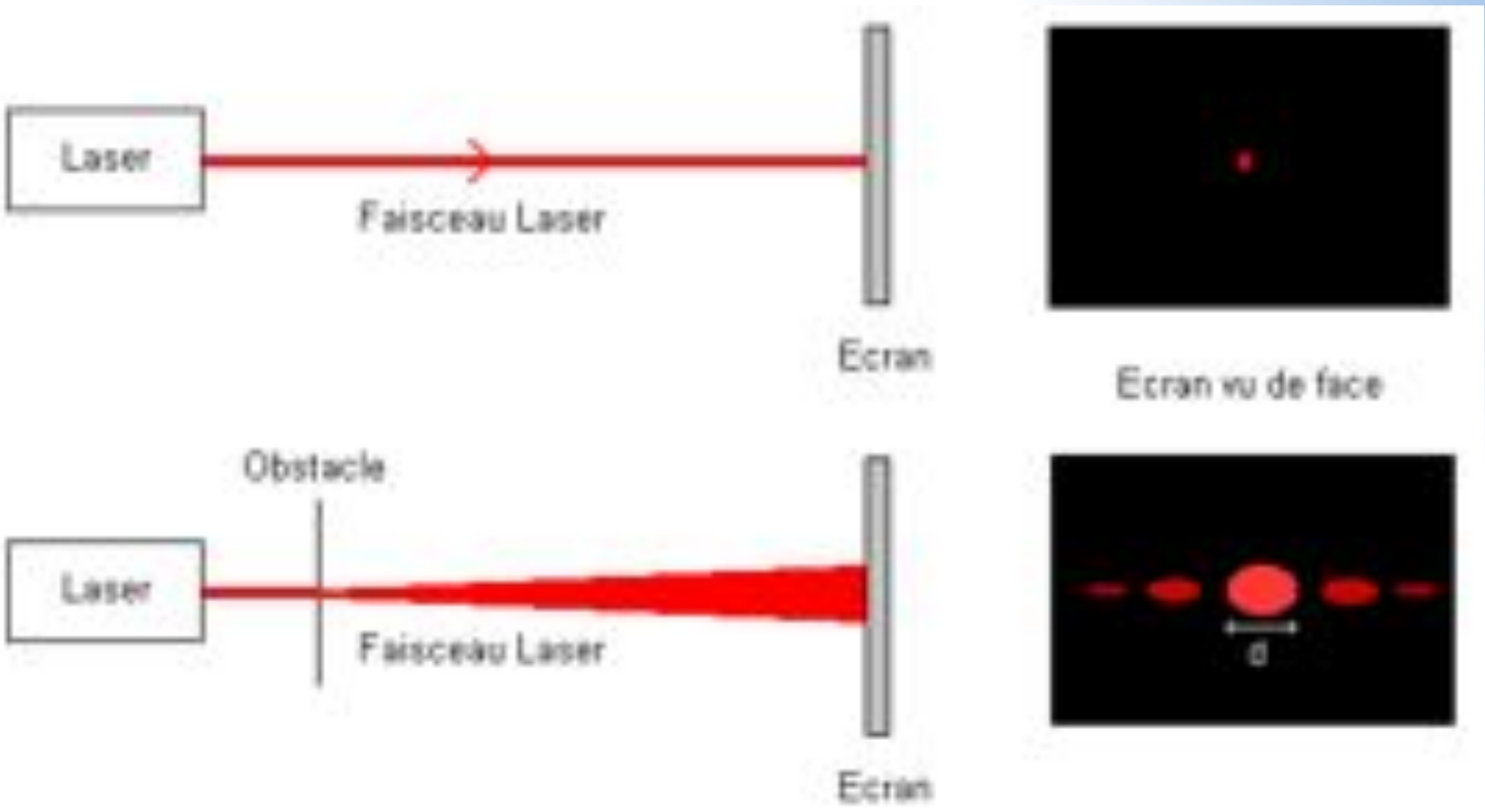


Crédit image: CEA

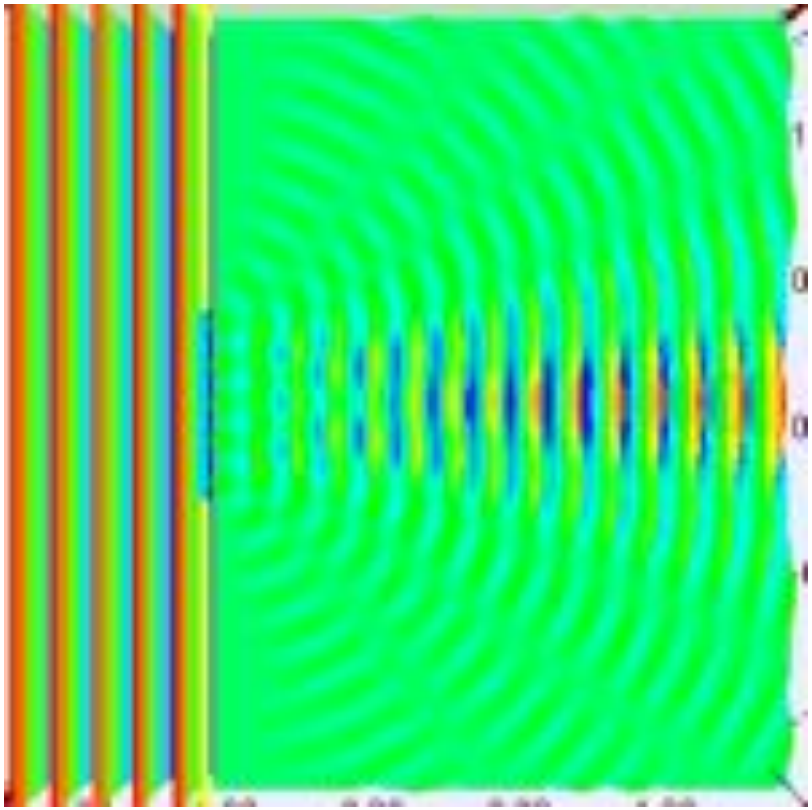
D’autres lumières, invisibles à l’œil… Elles voyagent à la vitesse de la lumière soit c=300 000 km/s dans le vide. Ce sont également des ondes électromagnétiques dont la fréquence et la longueur d’onde sont reliées ainsi $\nu = c/\lambda$.

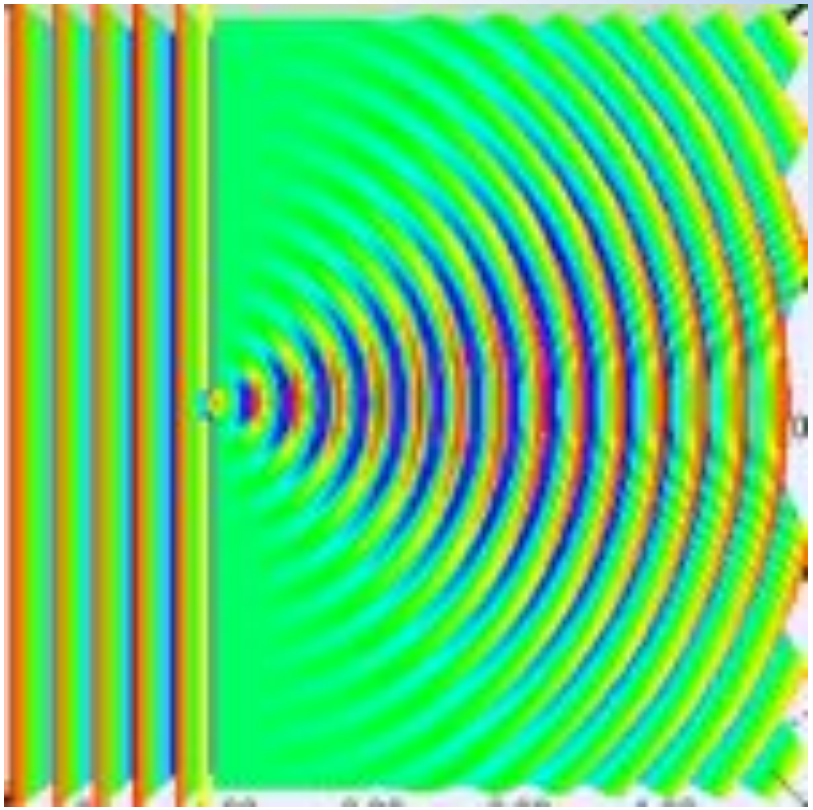
Diffraction par un obstacle

Diffraction de la lumière

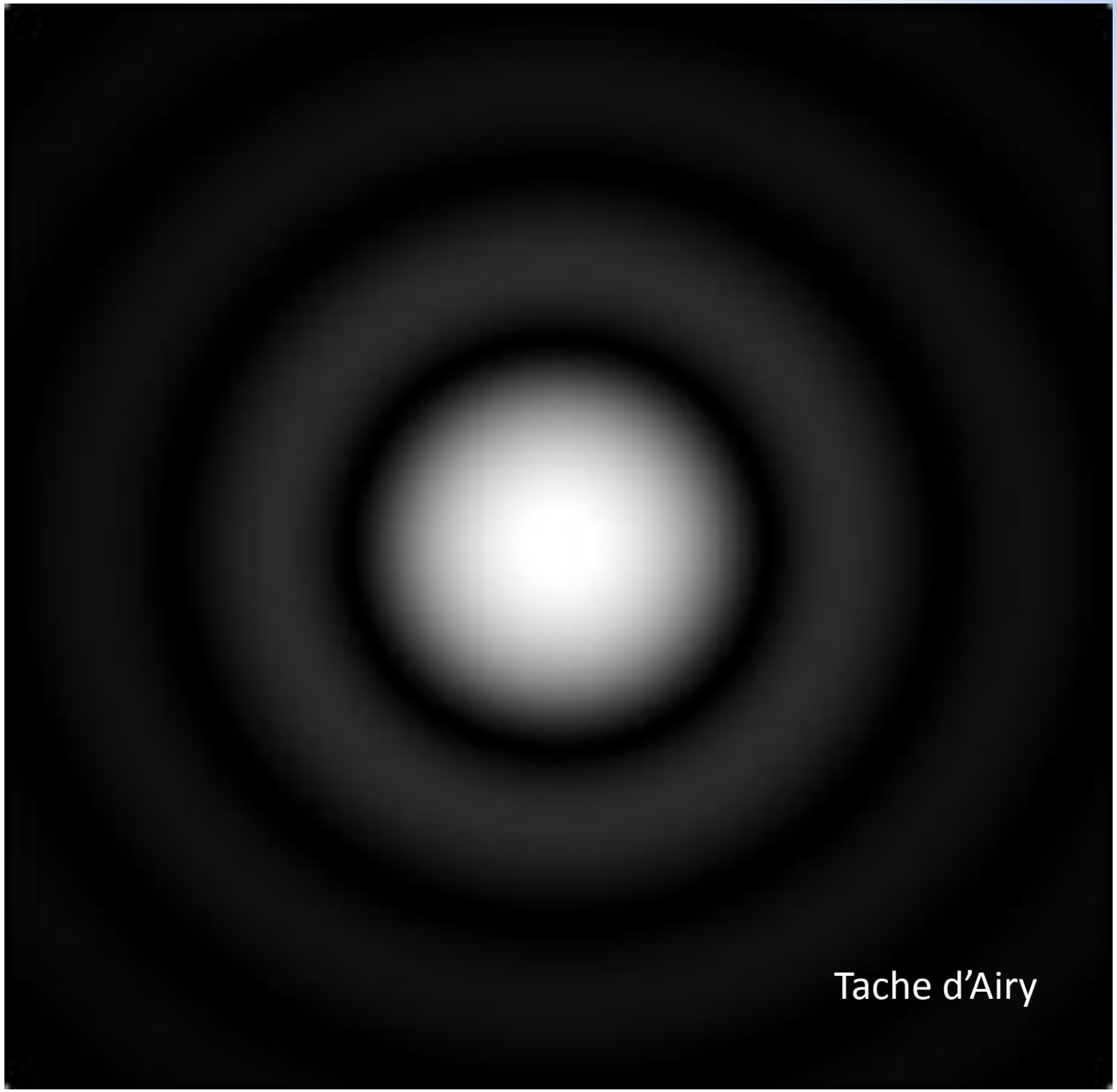


Diffraction varie en fonction de la taille de l'ouverture

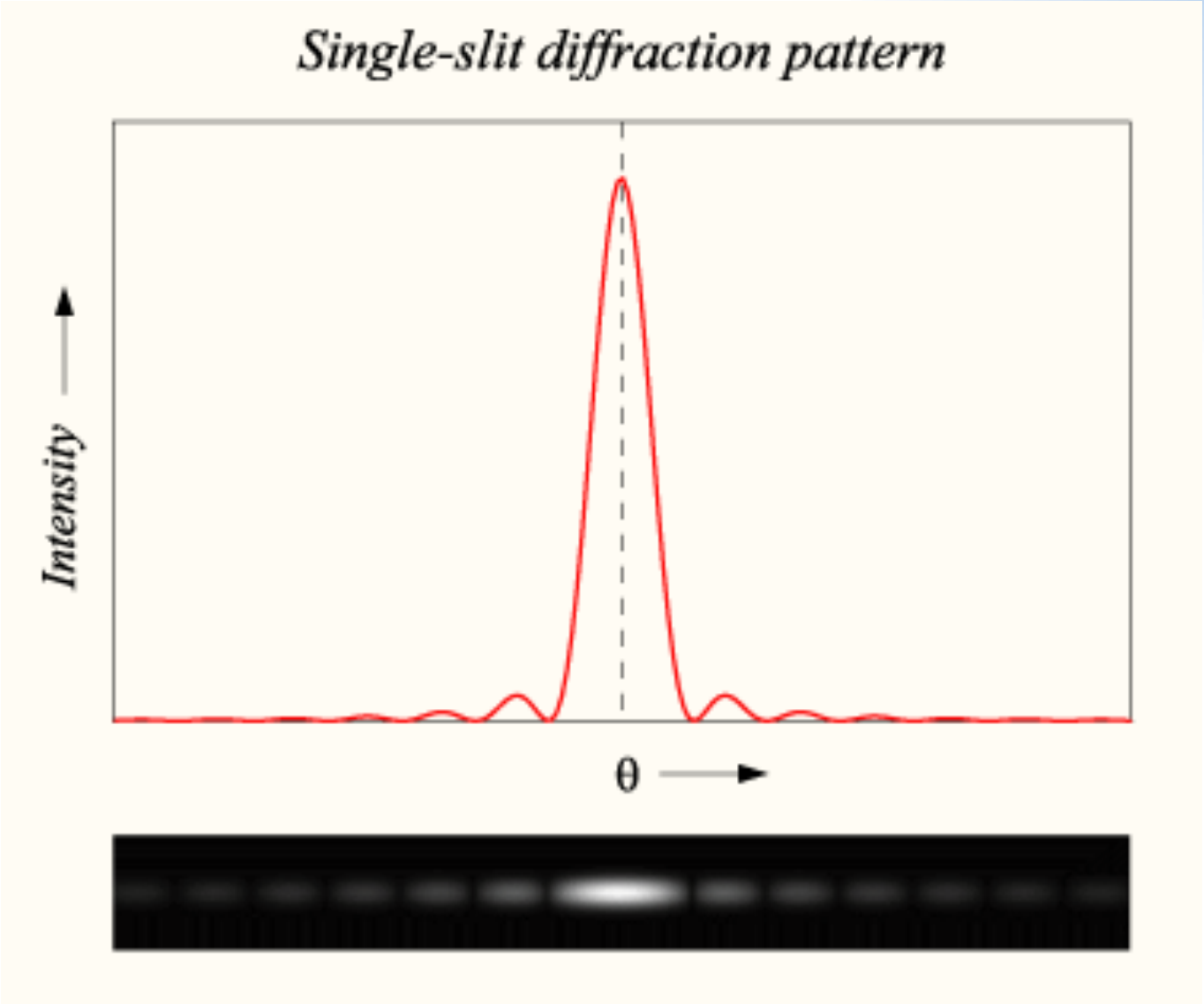




Diffraction par une ouverture circulaire



Diffraction de la lumière



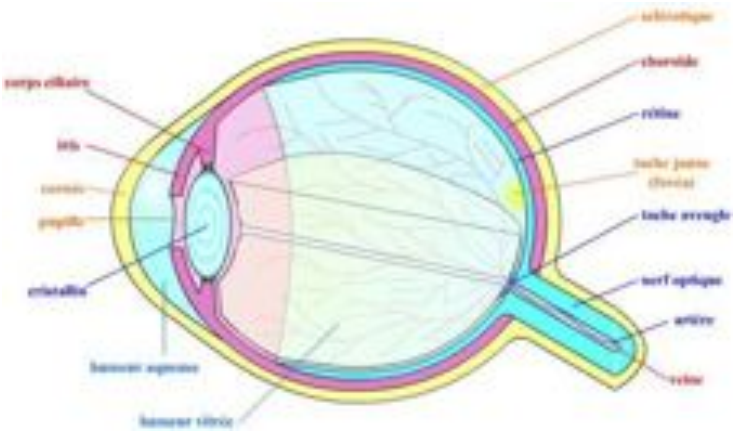
Résolution angulaire

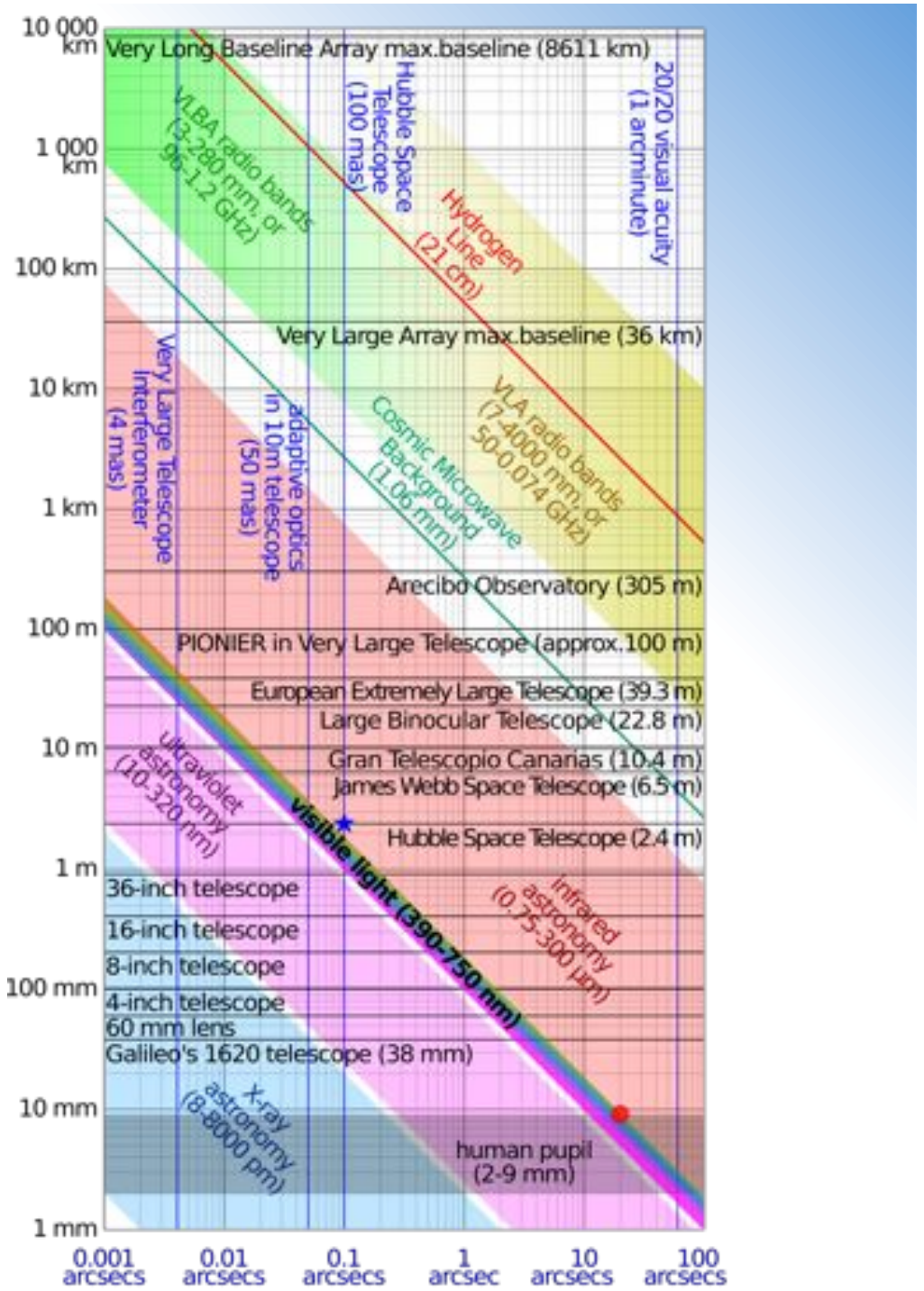
Diamètre angulaire de la Tache d'Airy

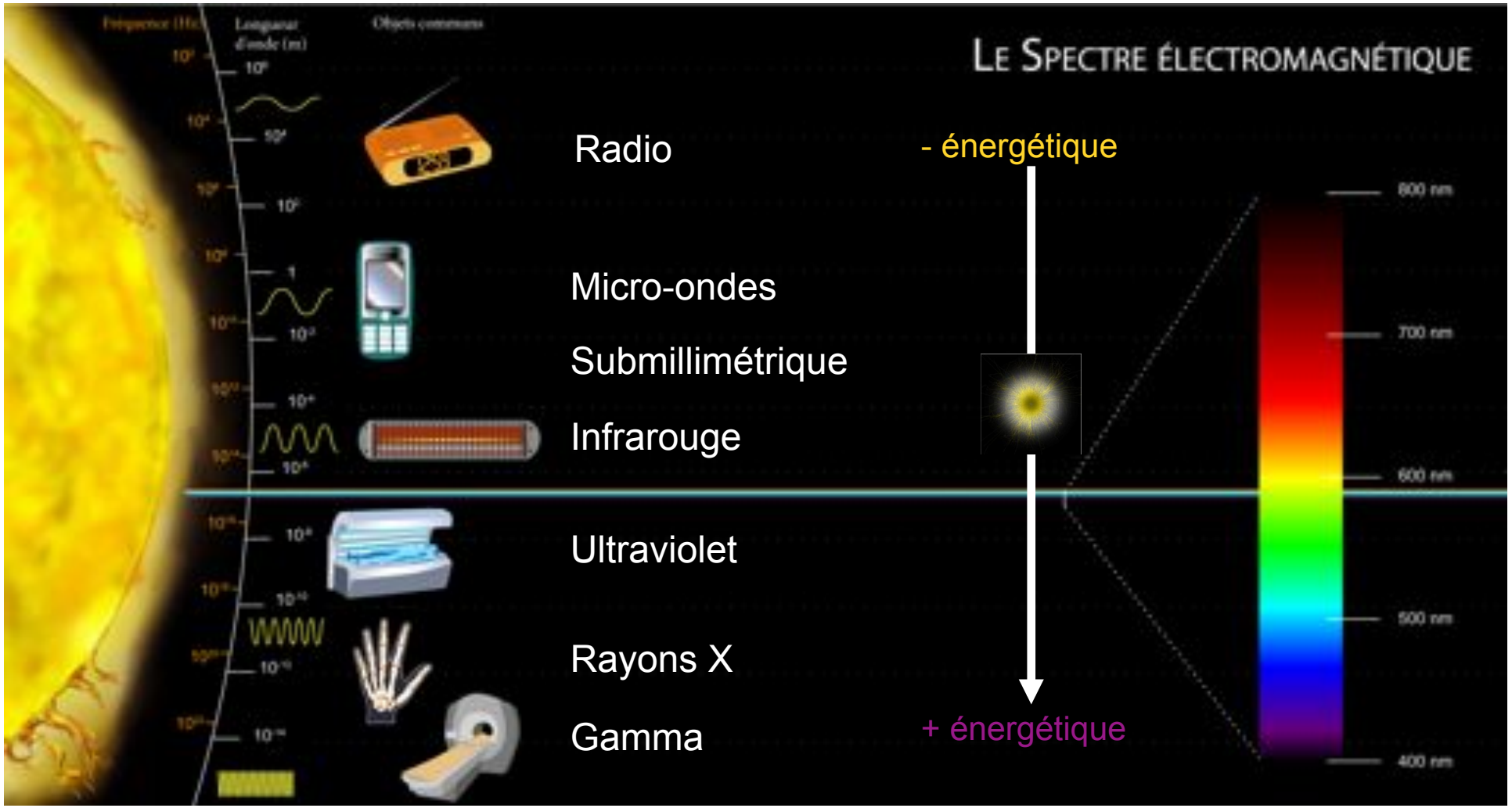
$\Theta = 1{,}22\ \lambda / D$

λ = longueur d'onde

D = diamètre de l'ouverture

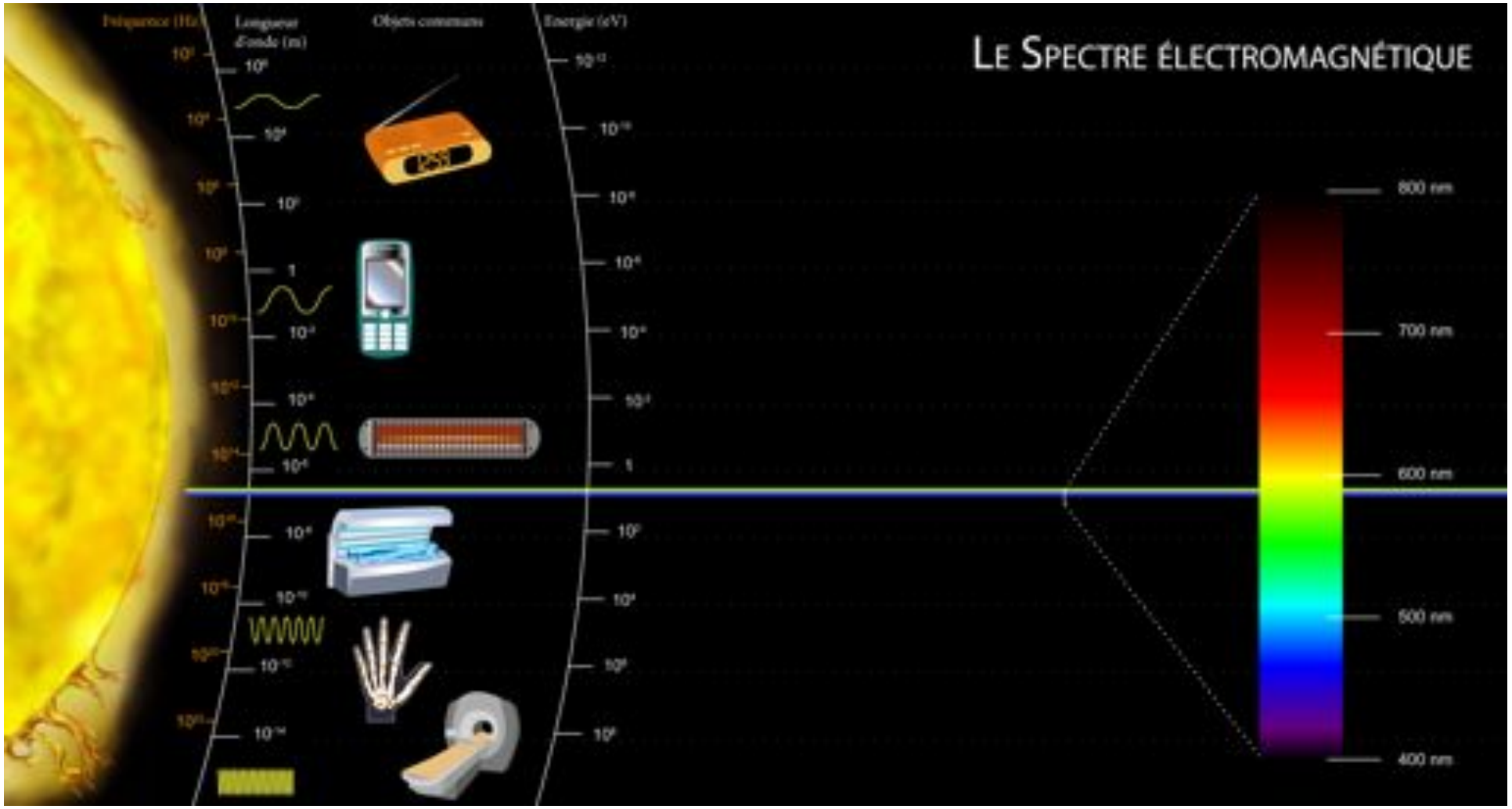






Crédit image: CEA

La lumière peut être également décrite par les propriétés physiques (vitesse, énergie) d'une particule, le photon ou quantum de lumière ayant une quantité de mouvement égale à h/λ, où h est la constante de Planck.



Crédit image: CEA

Il existe une correspondance entre l'énergie du photon et la fréquence (ou la longueur d'onde) de la lumière. Plus la fréquence est grande, plus la longueur d'onde est petite, plus l'énergie transportée par le photon est grande.

Energie d'un photon

$$E = h \times \nu$$

- E = énergie du photon
- h = constante de Planck = $6{,}6 \times 10^{-34}$ J.s
- ν = fréquence de l'onde électromagnétique

A quoi sert la lumière en astronomie ?

- Tout phénomène cosmique ou tout objet émet potentiellement de la lumière directement ou indirectement.

- Utiliser la lumière de l'univers comme un messager des phénomènes physiques qui le structurent et un moyen de les cartographier, de les quantifier et de les qualifier.

- L'observable est un flux d'énergie, émis ou absorbé par de la matière.

- Le flux d'énergie peut dépendre de la taille, de la masse, de la température, de la vitesse et de la distance de la matière qui rayonne.

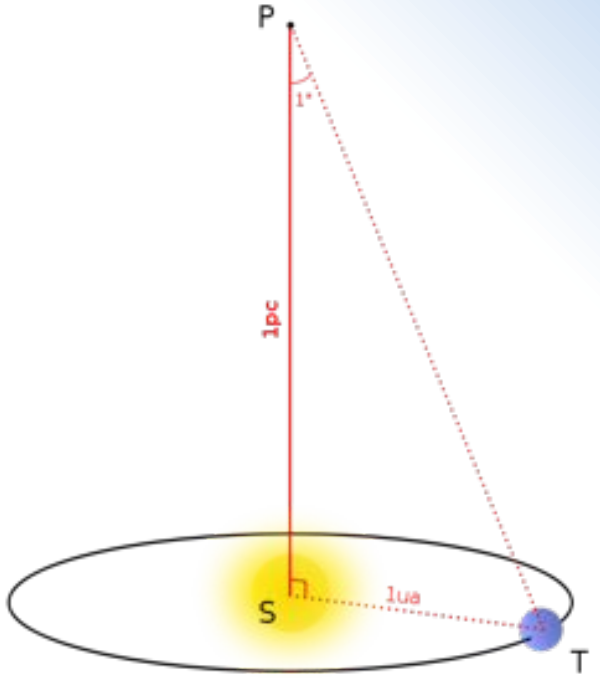
Unités de distance

- Années-lumière (al): distance parcourue par la lumière en 1 année, soit: 300 000 km/s x 365 x 24 x 3600 s ≈ 10^{16} m = 1 milliard Paris - Pékin
- Parsec (pc) = 3,08 x 10^{16} m

  ≈ 3 al
- 1 unité astronomique (ua)

  = distance Soleil – Terre

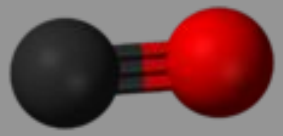
  = 1,5 x 10^{11} m
- 1 pc ≈ 200 000 ua



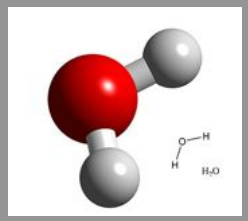
Les sources de lumière dans l’univers

Milieu interstellaire: gaz + poussière

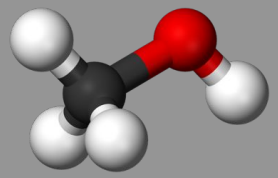
- Gaz: H, H_2



CO [10^{-4}]
Monoxyde de carbone



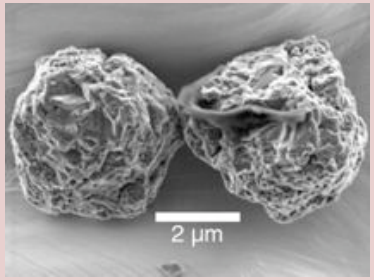
H_2O [10^{-5}]
Eau



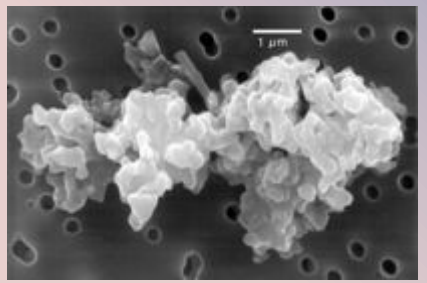
CH_3OH [10^{-6}]
Méthanol

H_2O^+, HCO^+, C_4H^-, H_3^+…

- Poussière: petits solides

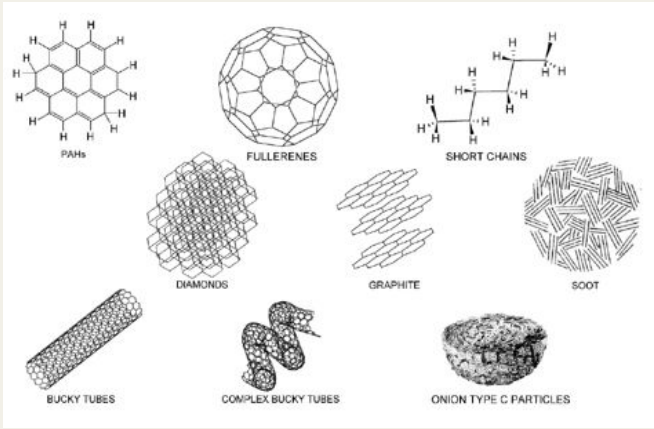


Sur la météorite de Murchison



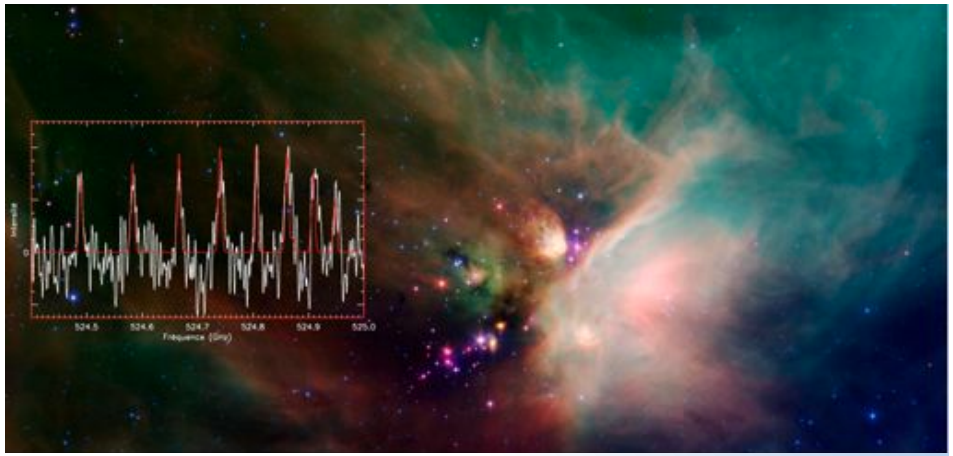
Grains de poussière interplanétaires

- Molécules carbonacées

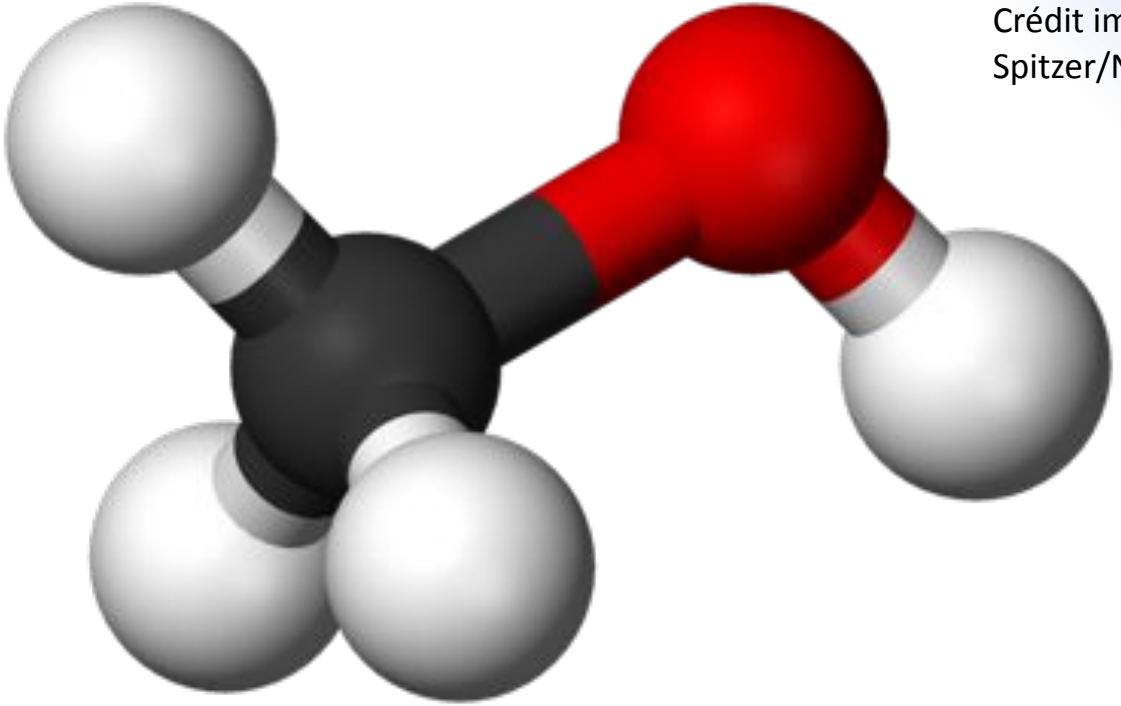


Ehrenfreund & Charnley 2000

Niveaux d'énergies rotationnelles et vibrationnelles



Crédit image: Herschel/ESA, Spitzer/NASA



≈150 molécules interstellaires détectées à ce jour dont de nombreuses molécules organiques

Table 1 Complex organic interstellar molecules (≥ 6 atoms)

Species	Name	Source	Species	Name	Source
Hydrocarbons			**N-Containing**		
C_2H_4	Ethene	circ	CH_3CN	Acetonitrile	cc, hc, of
HC_4H	Butadiyne	circ	CH_3NC	Methylisocyanide	hc
H_2C_4	Butatrienylidene	circ, cc, lc	CH_2CNH	Ketenecimine	hc
C_5H	Pentadiynyl	circ, cc	HC_3NH^+	Prot. cyanoacetylene	cc
CH_3C_2H	Propyne	cc, lc	C_3N	Cyanobutadiynyl	circ, cc
C_6H	Hexatriynyl	circ, cc, lc	HC_4N	Cyanopropynylidene	circ
C_6H^-	Hexatriynyl ion	circ, cc, lc	CH_3NH_2	Methylamine	hc, gc
H_2C_6	Hexapentaenylidene	circ, cc, lc	C_2H_3CN	Vinylcyanide	cc, hc
HC_6H	Triacetylene	circ	HC_5N	Cyanodiacetylene	circ, cc
C_7H	Heptatriynyl	circ, cc	CH_3C_3N	Methylcyanoacetylene	cc
CH_3C_4H	Methyldiacetylene	cc	CH_2CCHCN	Cyanoallene	cc
CH_3CHCH_2	Propylene	cc	NH_2CH_2CN	Aminoacetonitrile	hc
C_8H	Octatetraynyl	circ, cc	HC_7N	Cyanotriacetylene	circ, cc
C_8H^-	Octatetraynyl ion	circ, cc	C_2H_5CN	Propionitrile	hc
CH_3C_6H	Methyltriacetylene	cc	CH_3C_5N	Methylcyanodiacetylene	cc
C_6H_6	Benzene	circ	HC_9N	Cyanotetraacetylene	circ, cc
O-Containing			C_3H_7CN	N-propyl cyanide	hc
CH_3OH	Methanol	cc, hc, gc, of	$HC_{11}N$	Cyanopentaacetylene	circ, cc
HC_2CHO	Propynal	hc, gc	**S-Containing**		
c-C_3H_2O	Cyclopropenone	gc	CH_3SH	Methyl mercaptan	hc
CH_3CHO	Acetaldehyde	cc, hc, gc	**N,O-Containing**		
C_2H_3OH	Vinyl alcohol	hc	NH_2CHO	Formamide	hc
c-CH_2OCH_2	Ethylene oxide	hc, gc	CH_3CONH_2	Acetamide	hc, gc
$HCOOCH_3$	Methyl formate	hc, gc, of			
CH_3COOH	Acetic acid	hc, gc			
$HOCH_2CHO$	Glycolaldehyde	hc, gc			
C_2H_3CHO	Propenal	hc, gc			
C_2H_5OH	Ethanol	hc, of			
CH_3OCH_3	Methyl ether	hc, gc			
CH_3COCH_3	Acetone	hc			
$HOCH_2CH_2OH$	Ethylene glycol	hc, gc			
C_2H_5CHO	Propanal	hc, gc			
$HCOOC_2H_5$	Ethyl formate	hc			

50 molécules interstellaires constituées de 6 à 13 atomes

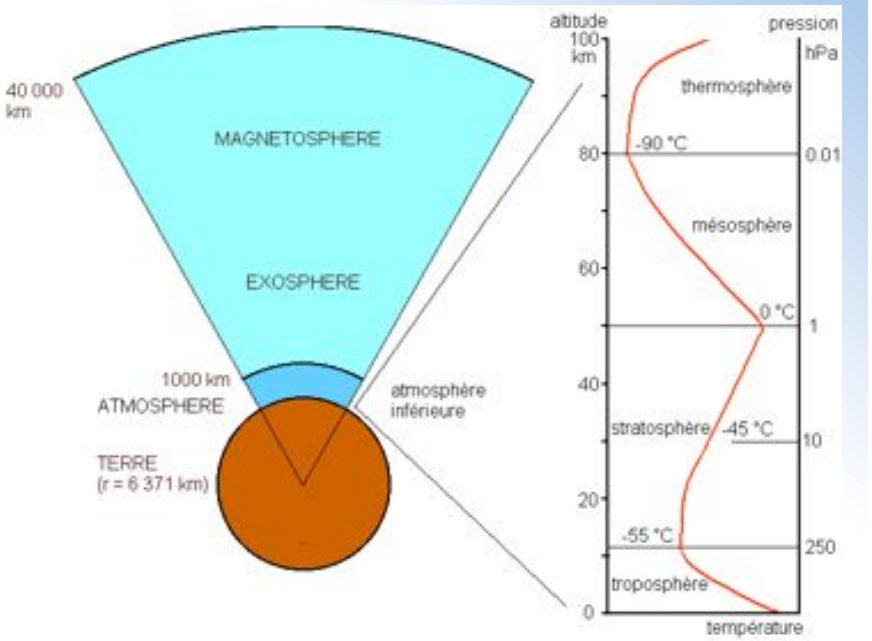
Abbreviations: circ, circumstellar envelope around evolved star/protoplanetary nebula; cc, cold cloud core; hc, hot core/corino; lc, lukewarm corino; gc, galactic center cloud; of, outflow. Not all of these molecules fulfill the strict criteria for identification listed in Section 3.3.

Herbst & van Dishoeck 2010

Séance #1

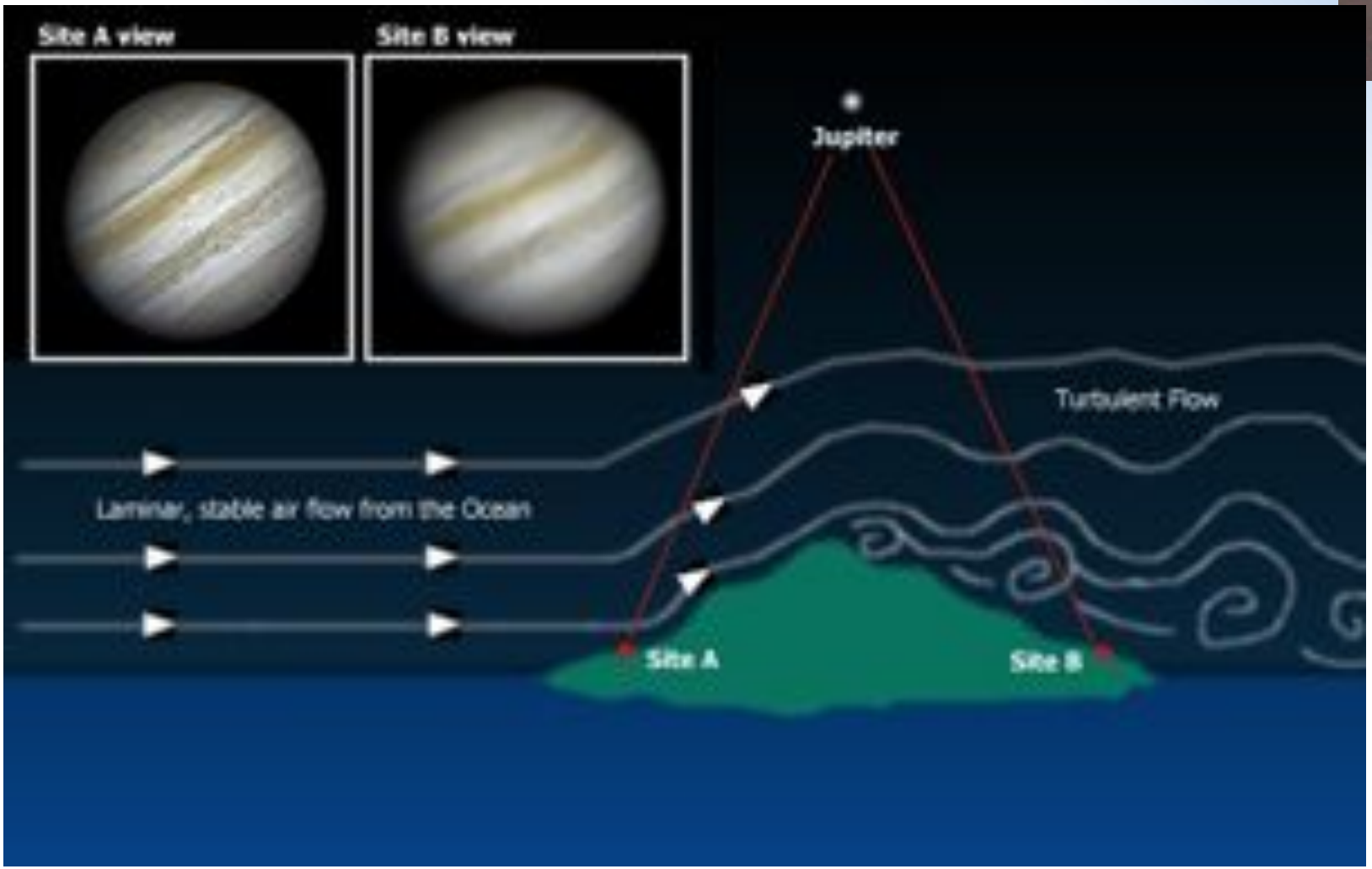
1. Introduction sur les images de l'astronomie
2. La lumière
3. Les limites de l'atmosphère
4. Les grands instruments de l'astrophysique

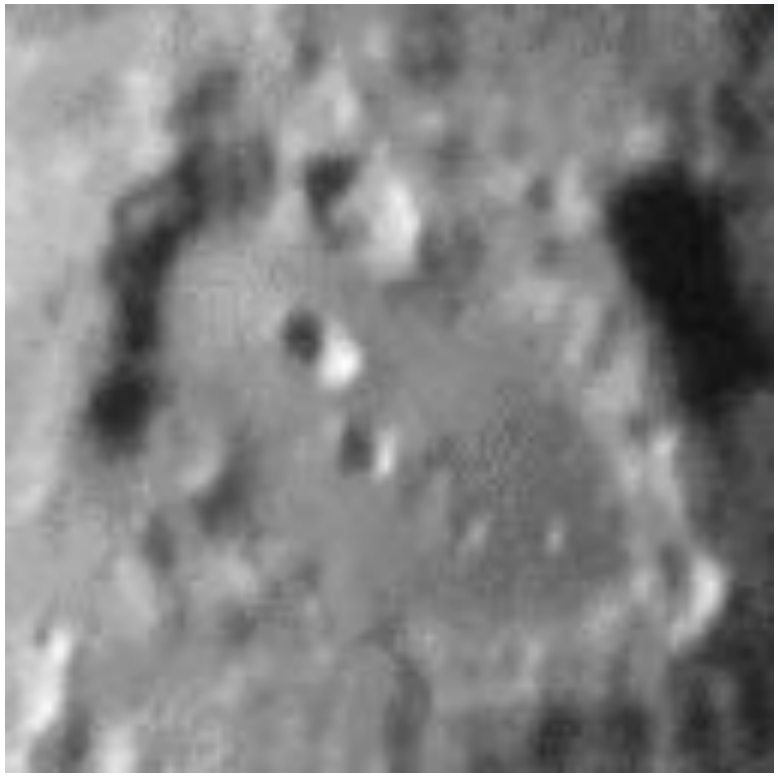
L’atmosphère terrestre



Crédit image: Ifremer

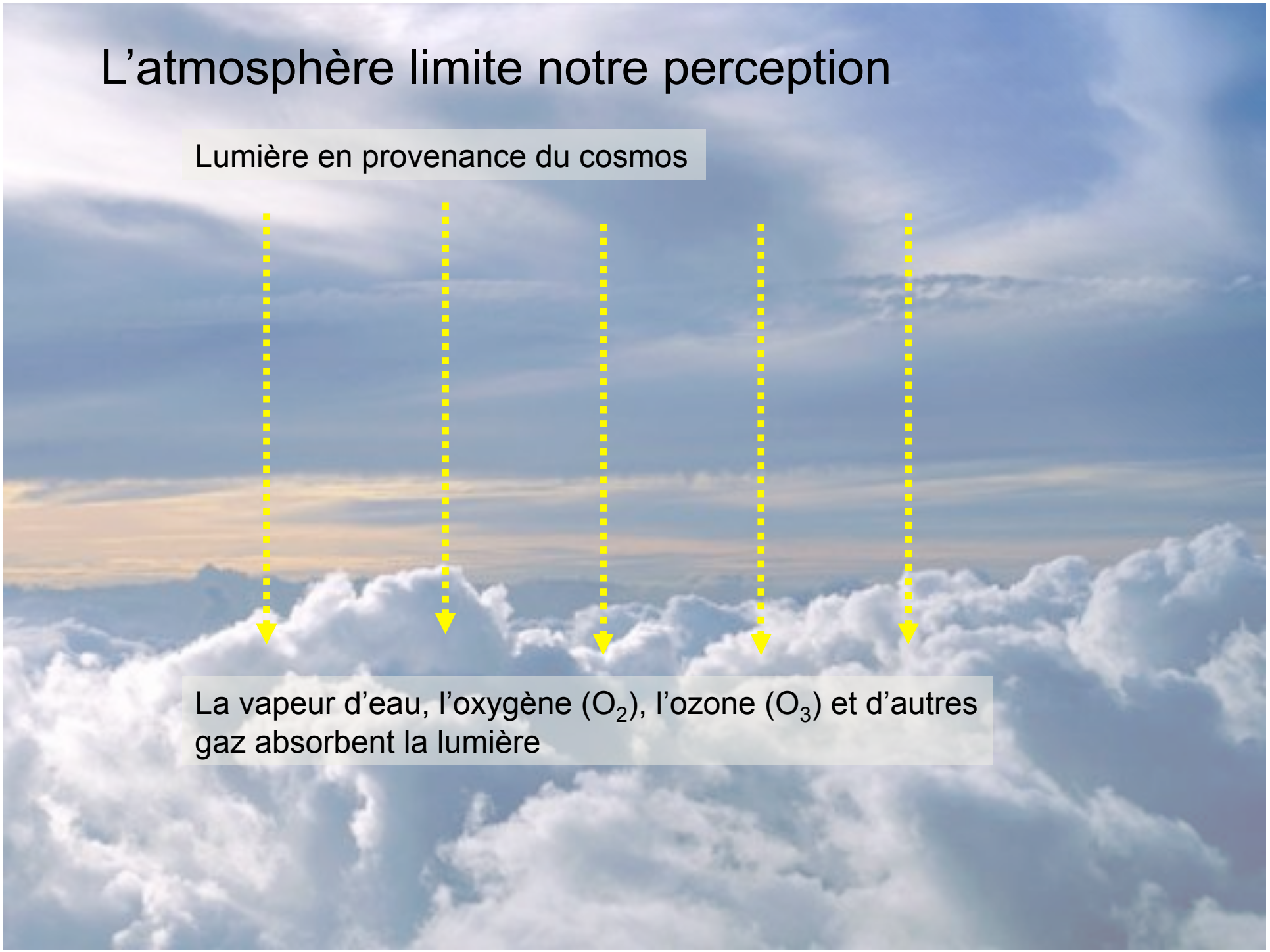
Le « seeing »

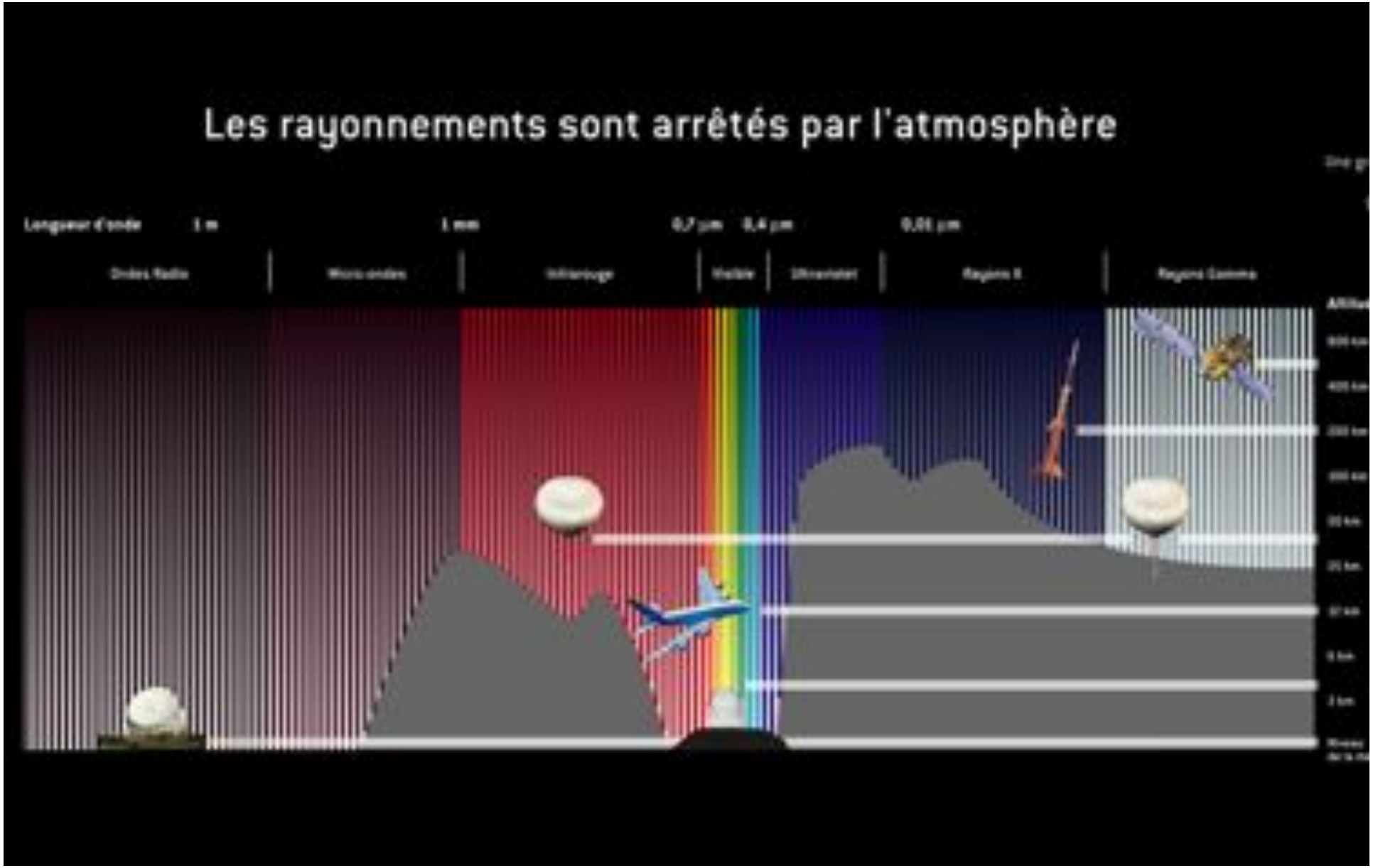

Site A view
Site B view
Jupiter
Turbulent Flow
Laminar, stable air flow from the Ocean
Site A
Site B



Crédit image: http://salzgeber.at/astro/moon/seeing.html

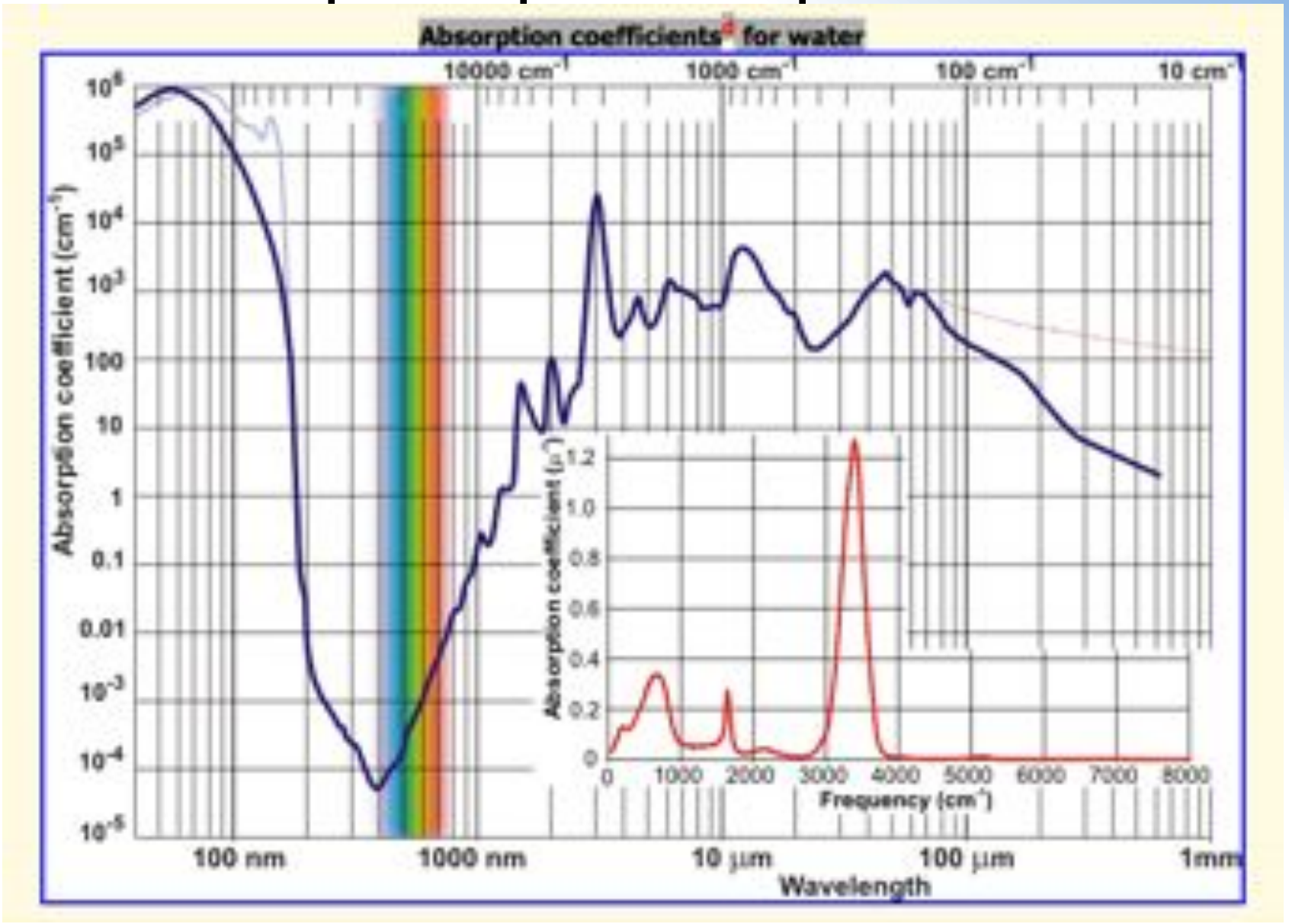
L’atmosphère limite notre perception





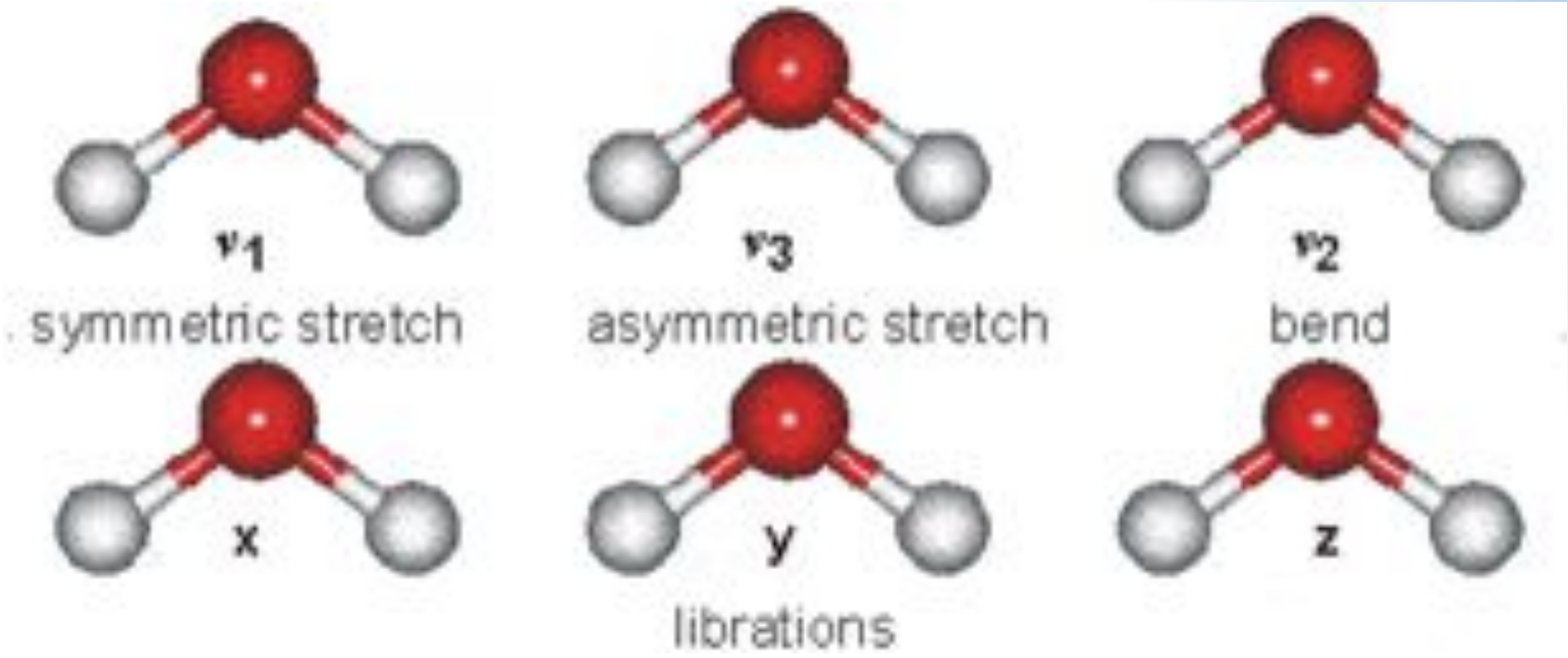
Crédit image: CEA & BCBG

Absorption par la vapeur d'eau



Sources: http://www.dartmouth.edu/~etrnsfer/water.htm
http://www.lsbu.ac.uk/water/vibrat.html

Vibrations de la molécule d'eau



Sources: http://www.lsbu.ac.uk/water/vibrat.html

On observe depuis l'espace

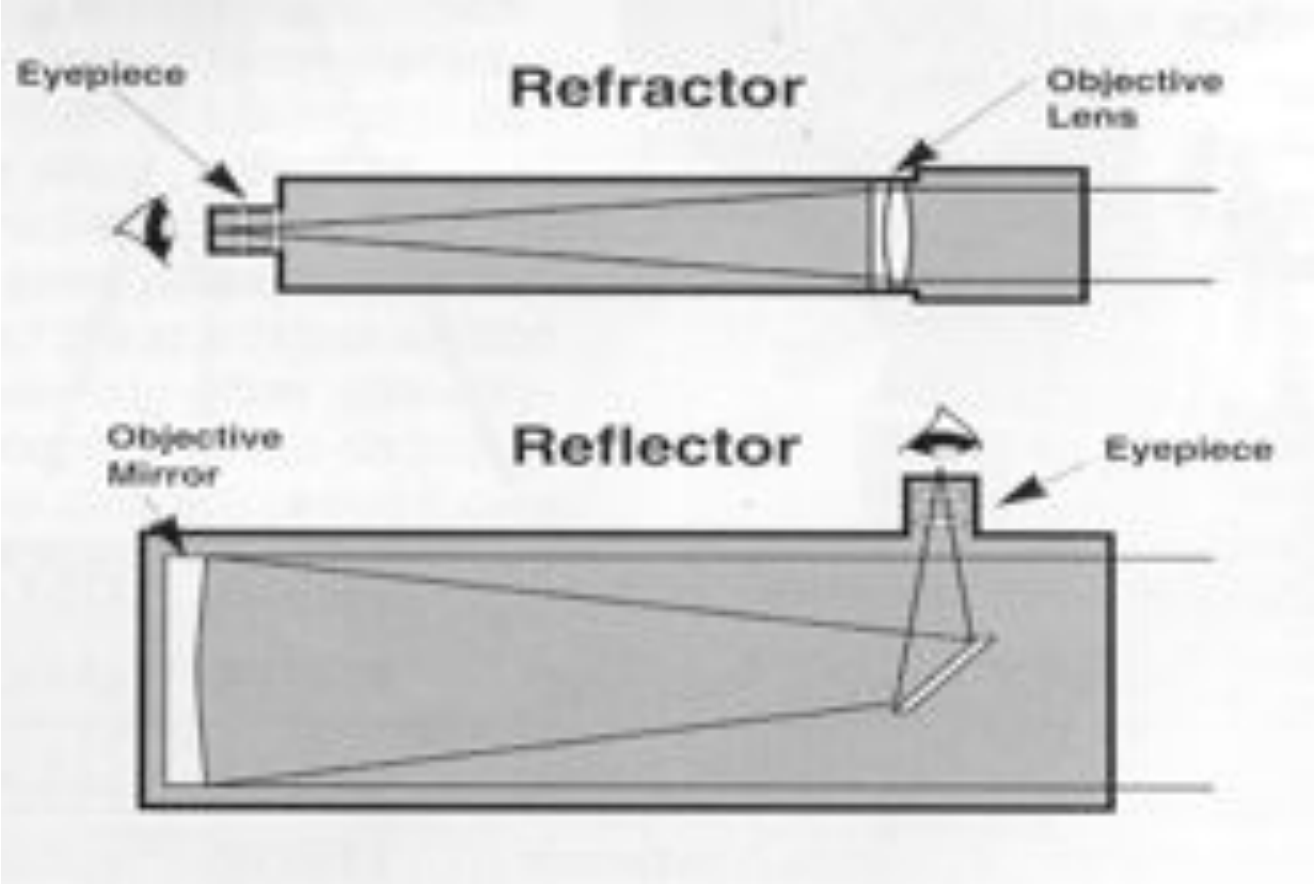
- Non pas pour être plus proche des étoiles.
- Mais pour s'affranchir des limites naturelles de notre atmosphère.
- Rq: seules les sondes spatiales permettent un véritable rapprochement mais uniquement pour des astres « à proximité » de la Terre, donc dans le système solaire proche.

Crédit image: CNRS

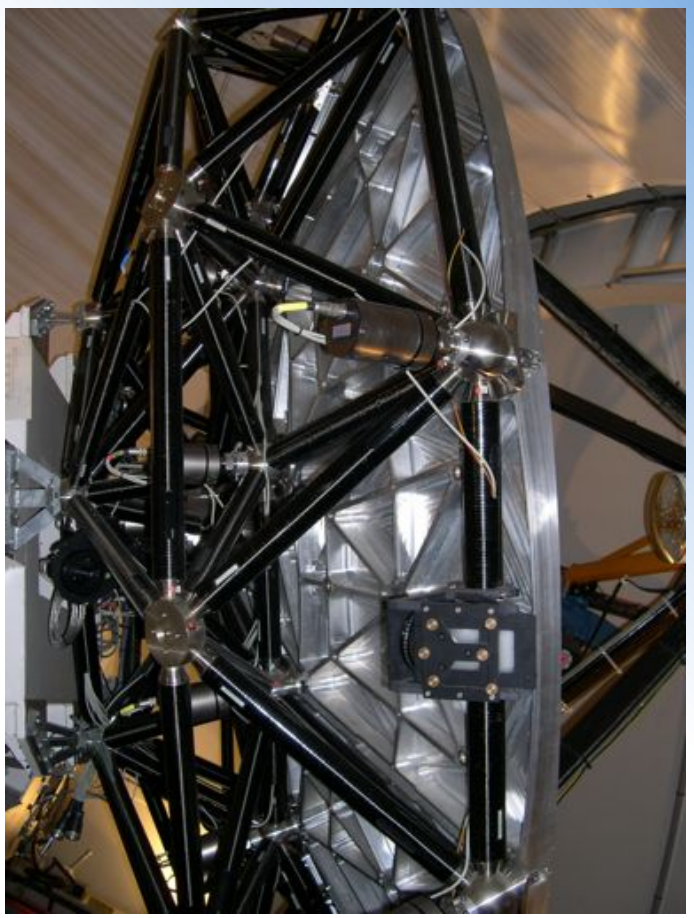
Séance #1

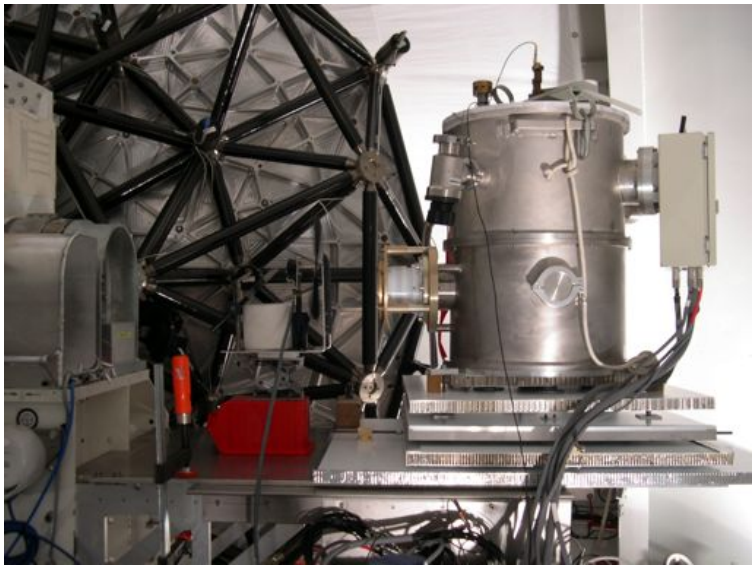
1. Introduction sur les images de l'astronomie
2. La lumière
3. Les limites de l'atmosphère
4. Les grands instruments de l'astrophysique

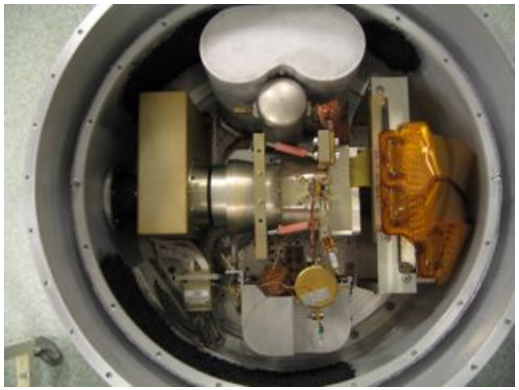
Principe du télescope



Source: http://www.oasi.org.uk/





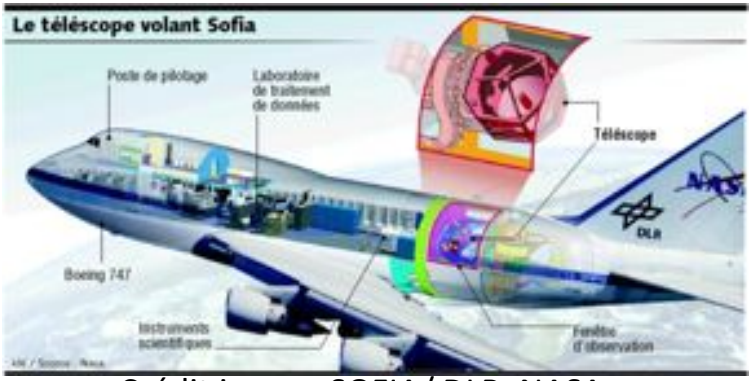


Crédit images: CEA

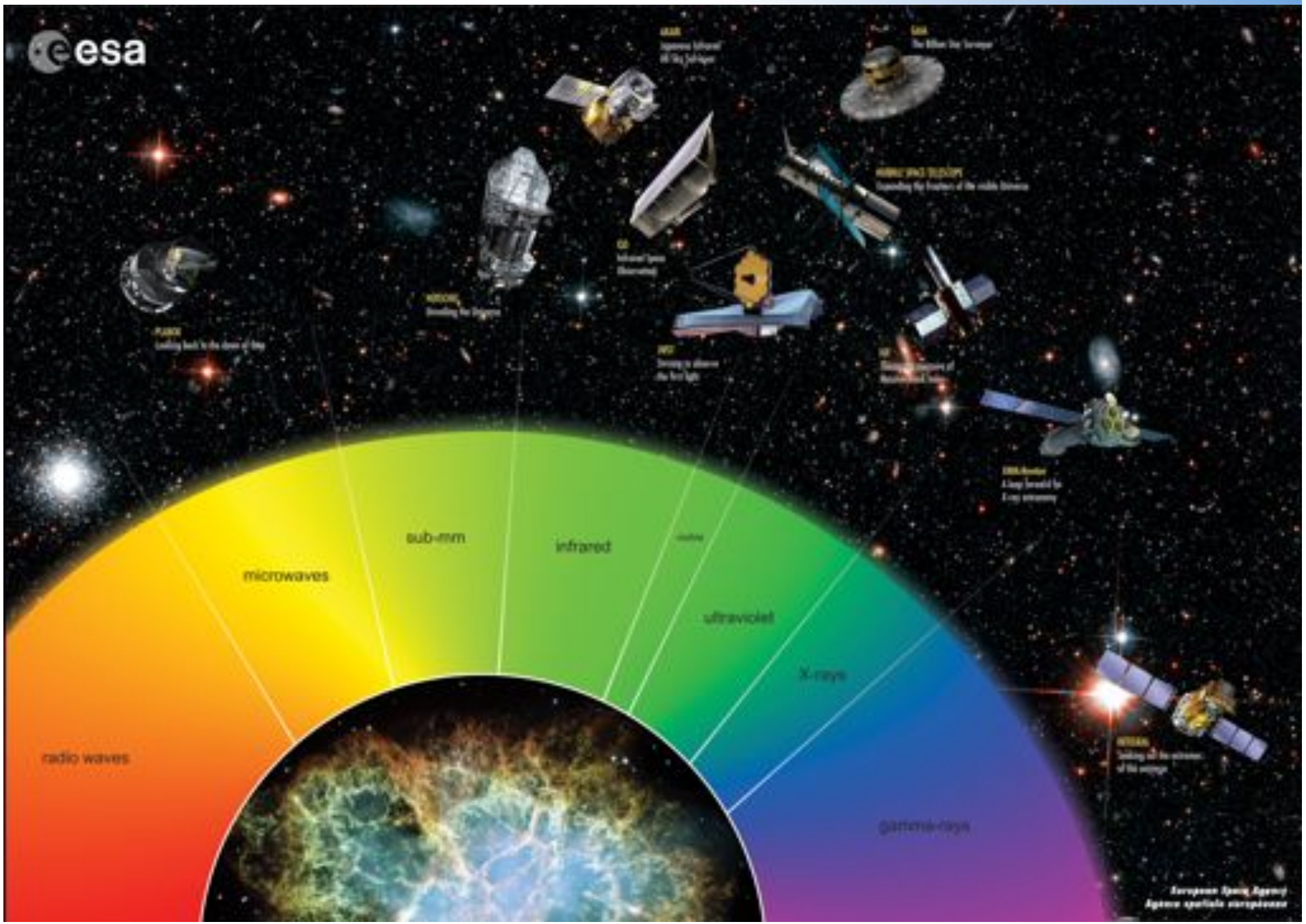
Crédit image: ESO

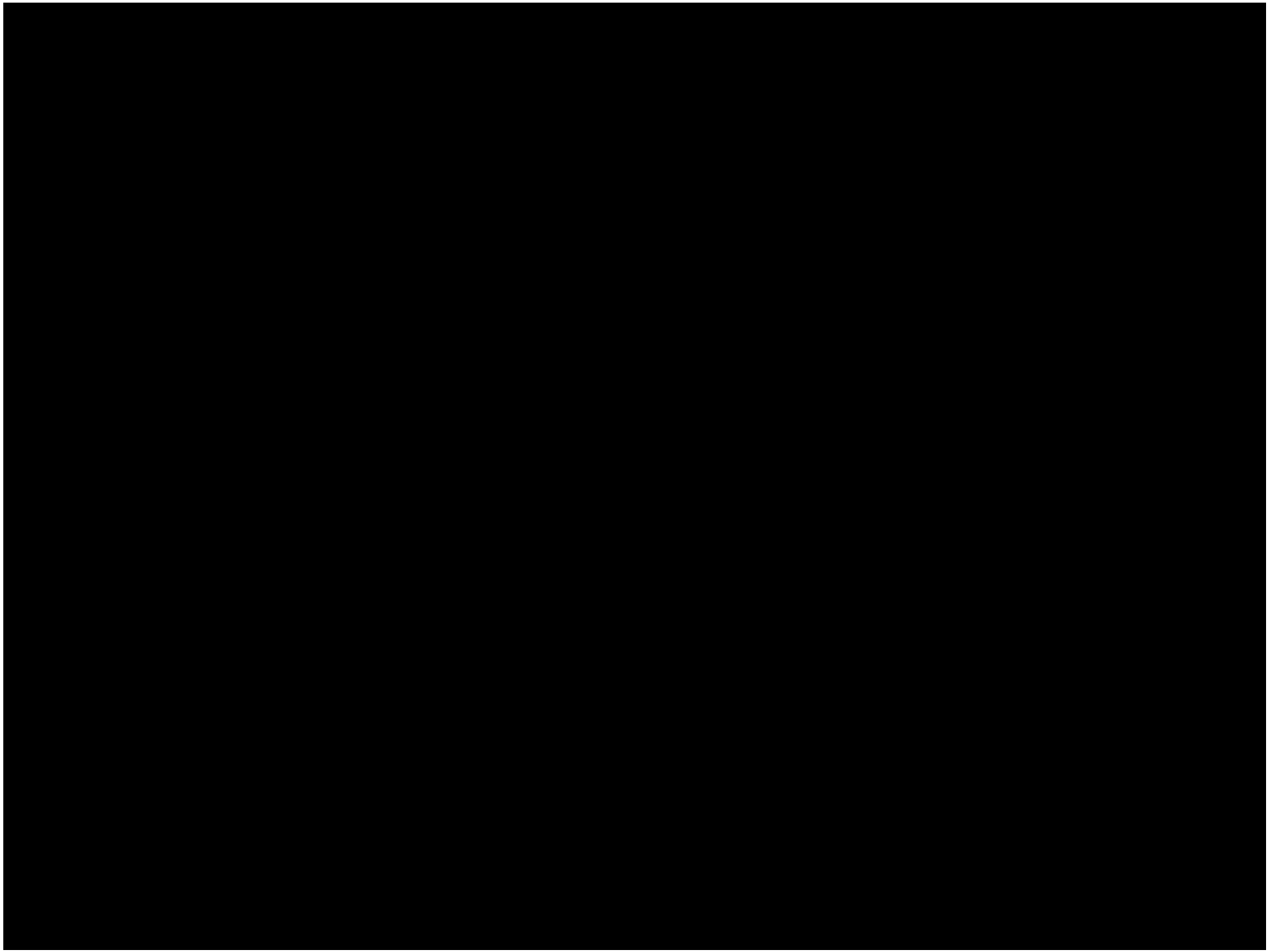
Crédit image: ESO

Crédit image: OSO



Crédit image: SOFIA/ DLR, NASA


esa
sub-mm
infrared
microwaves
ultraviolet
X-rays
radio waves
gamma-rays
European Space Agency
Agence spatiale européenne



« Nous vivons entourés des produits de la technique, nos têtes sont pleines de résultats de la science. Pourtant, nous savons fort peu de choses sur la production des machines et sur la **construction des découvertes**, que nous recevons toutes faites », Bruno Latour, La science en action

« Nous vivons entourés des produits de la technique, nos têtes sont pleines de résultats de la science. Pourtant, nous savons fort peu de choses sur la production des machines et sur la **construction des images scientifiques**, que nous recevons toutes faites », L'objet de ce cours.

Crédits images

- ESO
- NASA
- ESA
- CEA
- Et références précisées