L'exploration de l'univers: quels sens ?

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 (28/11/2011)
2. La construction d'une mission spatiale (12/12/2011)
3. Les grandes découvertes (16/01/2012)
4. La synergie entre les instruments au sol et dans l'espace (30/01/2012)

Séance #1

1. La lumière
2. Les limites de l'atmosphère
3. Les grandes questions astrophysiques au 21e siècle.
4. Les grands instruments de l'astrophysique
5. Les acteurs de l'astrophysique moderne et leur motivation

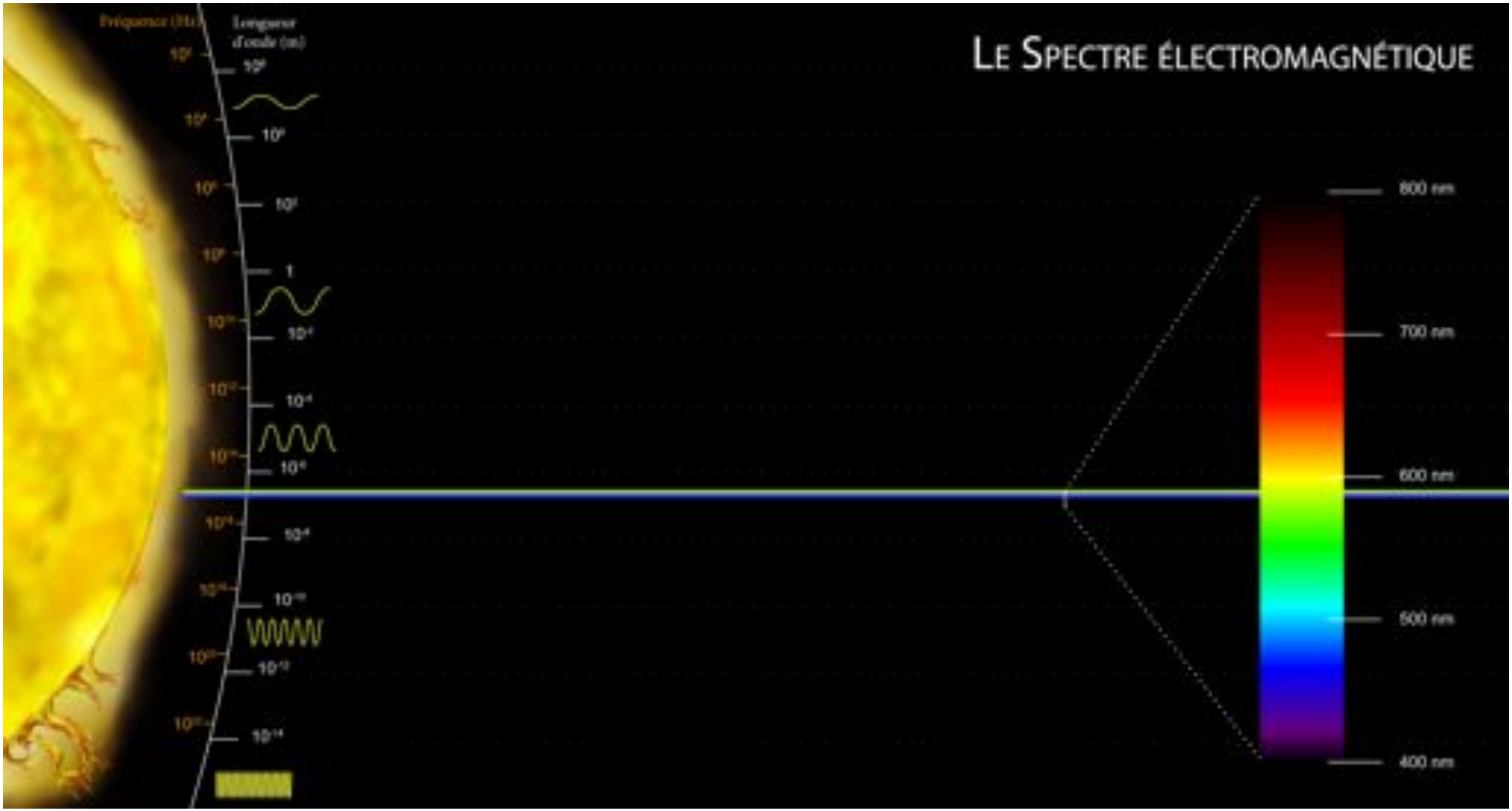
Séance #1

1. La lumière
2. Les limites de l'atmosphère
3. Les grandes questions astrophysiques au 21e siècle.
4. Les grands instruments de l'astrophysique
5. Les acteurs de l'astrophysique moderne et leur motivation

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

Crédit image: CEA

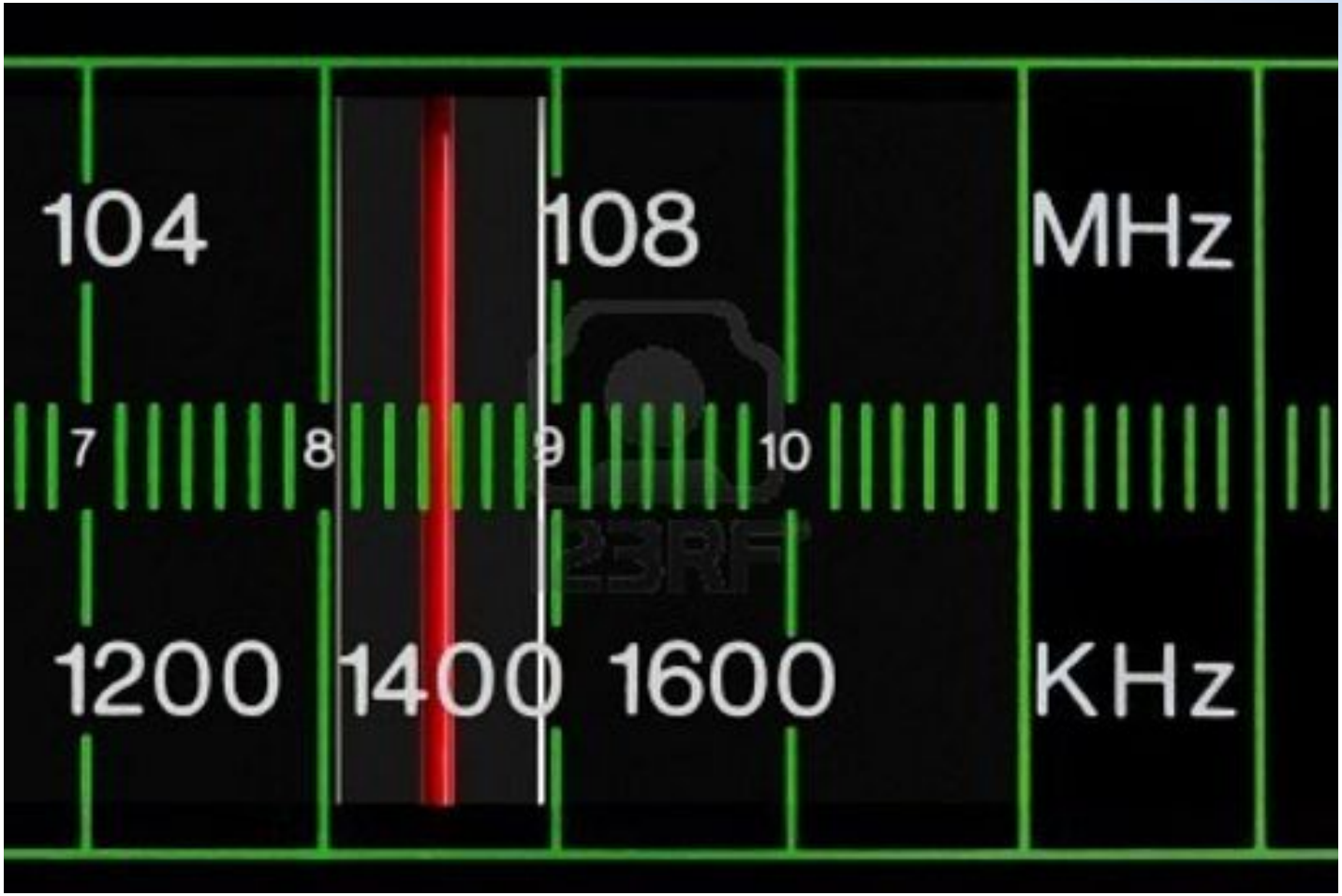
La lumière naturelle se décompose en couleurs.

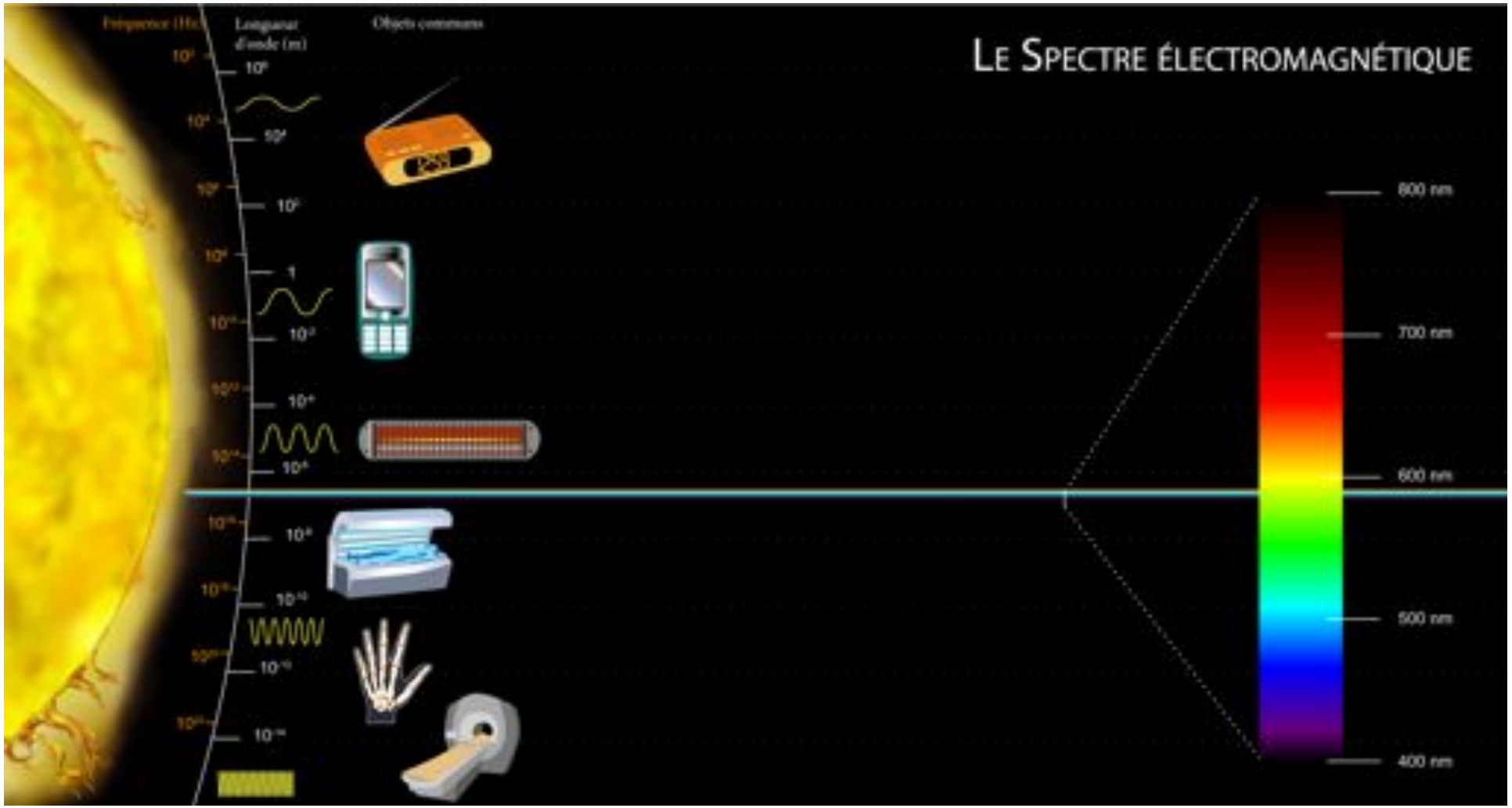


Crédit image: CEA

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 (ν) ou par une longueur d'onde (λ).

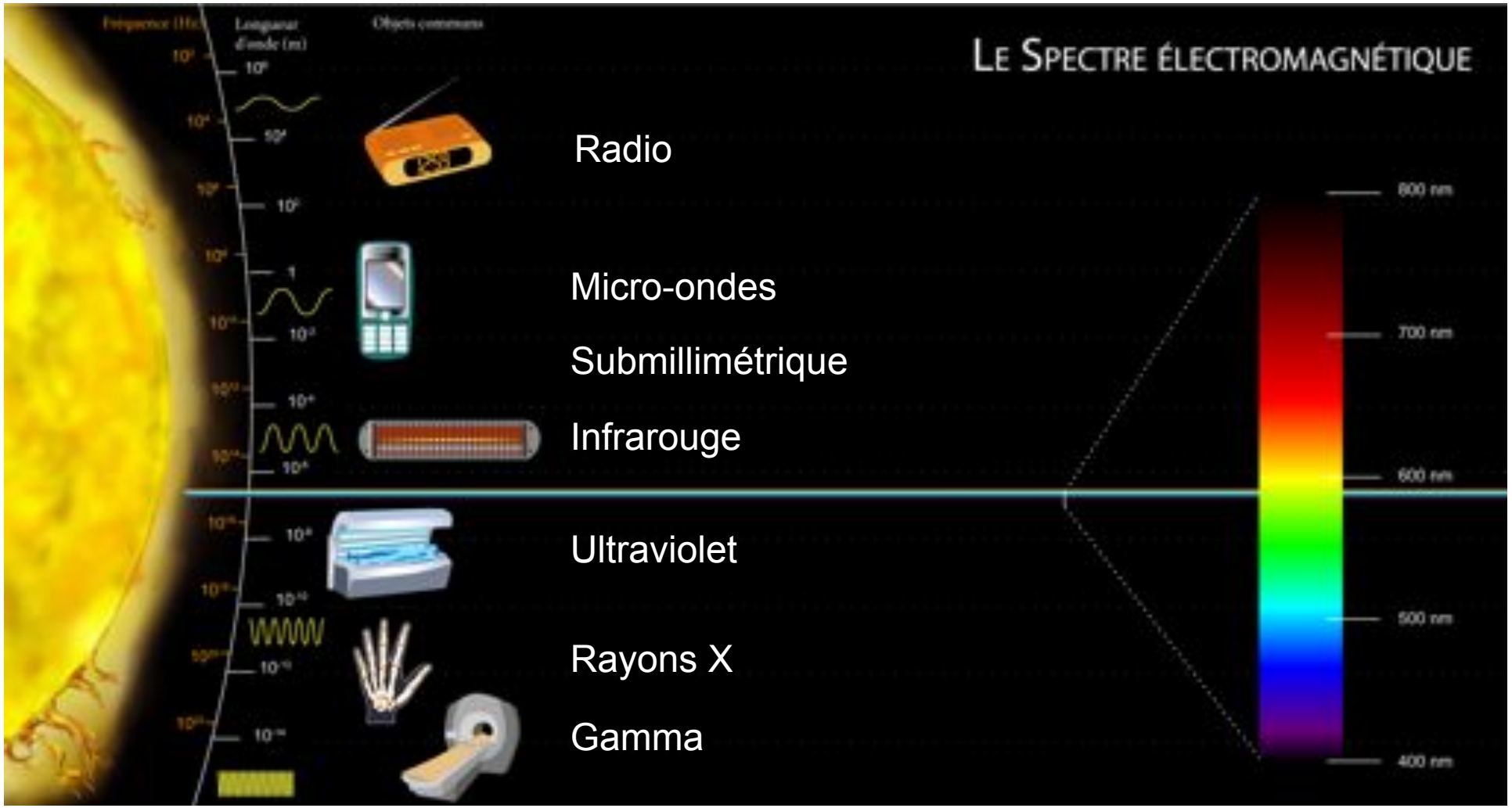
Tuner de radio: régler la fréquence





Crédit image: CEA

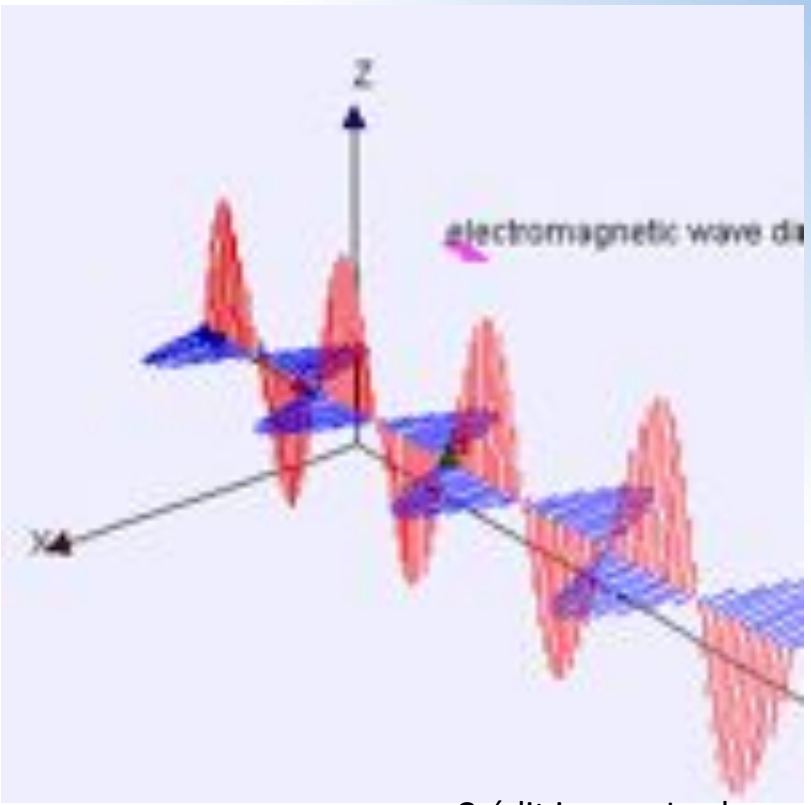
La lumière est plus vaste que les seules couleurs de l'arc-en-ciel. Il existe des lumières invisibles qu'on utilise dans notre quotidien.



Crédit image: CEA

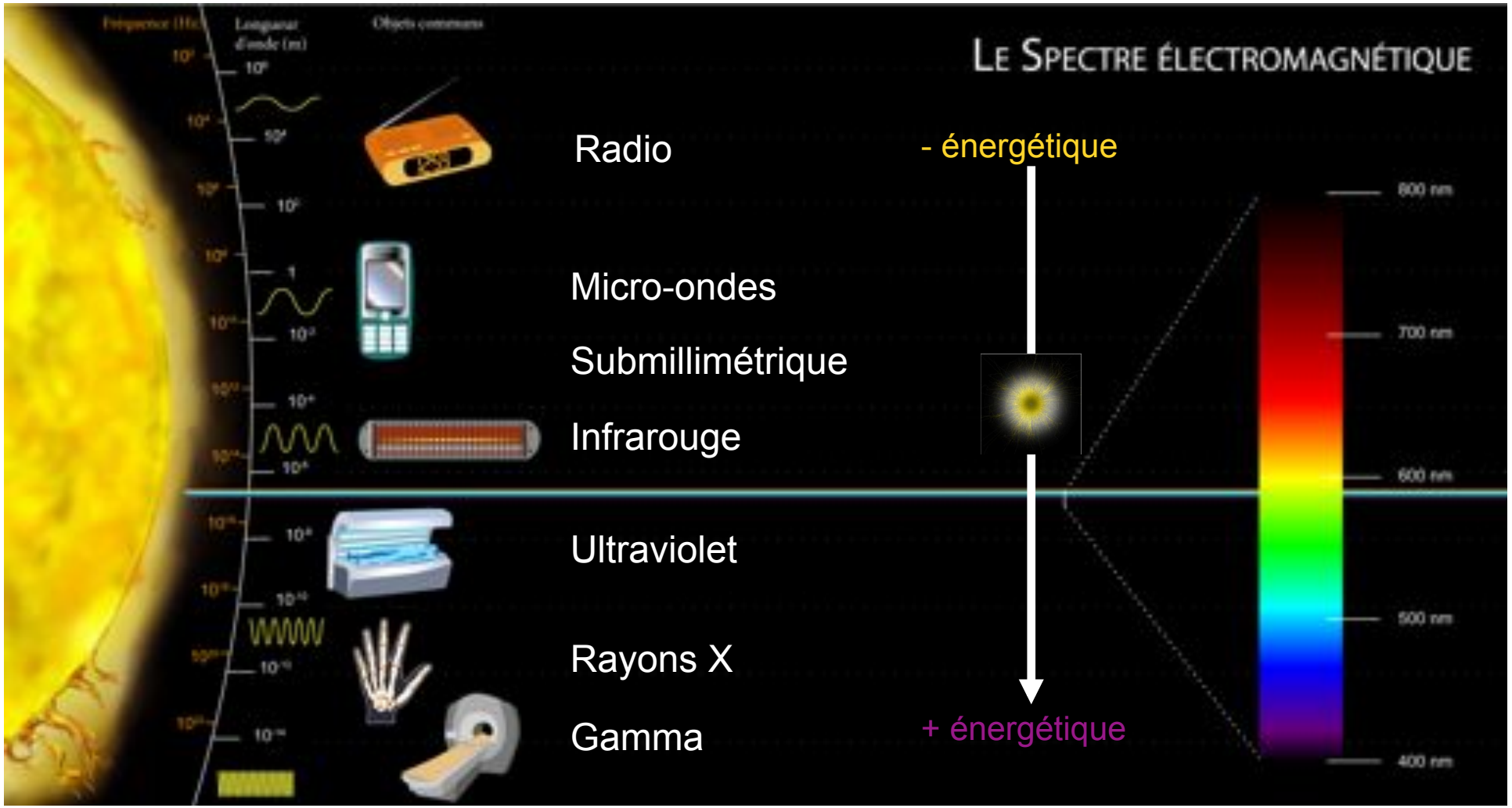
D'autres lumières, invisibles à l'œil… Elles voyagent à la vitesse de la lumière soit c=300 000 km/s dans le vide. Ce sont également des ondes électromagnétiques dont la fréquence et la longueur d'onde sont reliées ainsi $\nu=c/\lambda$.

Animation



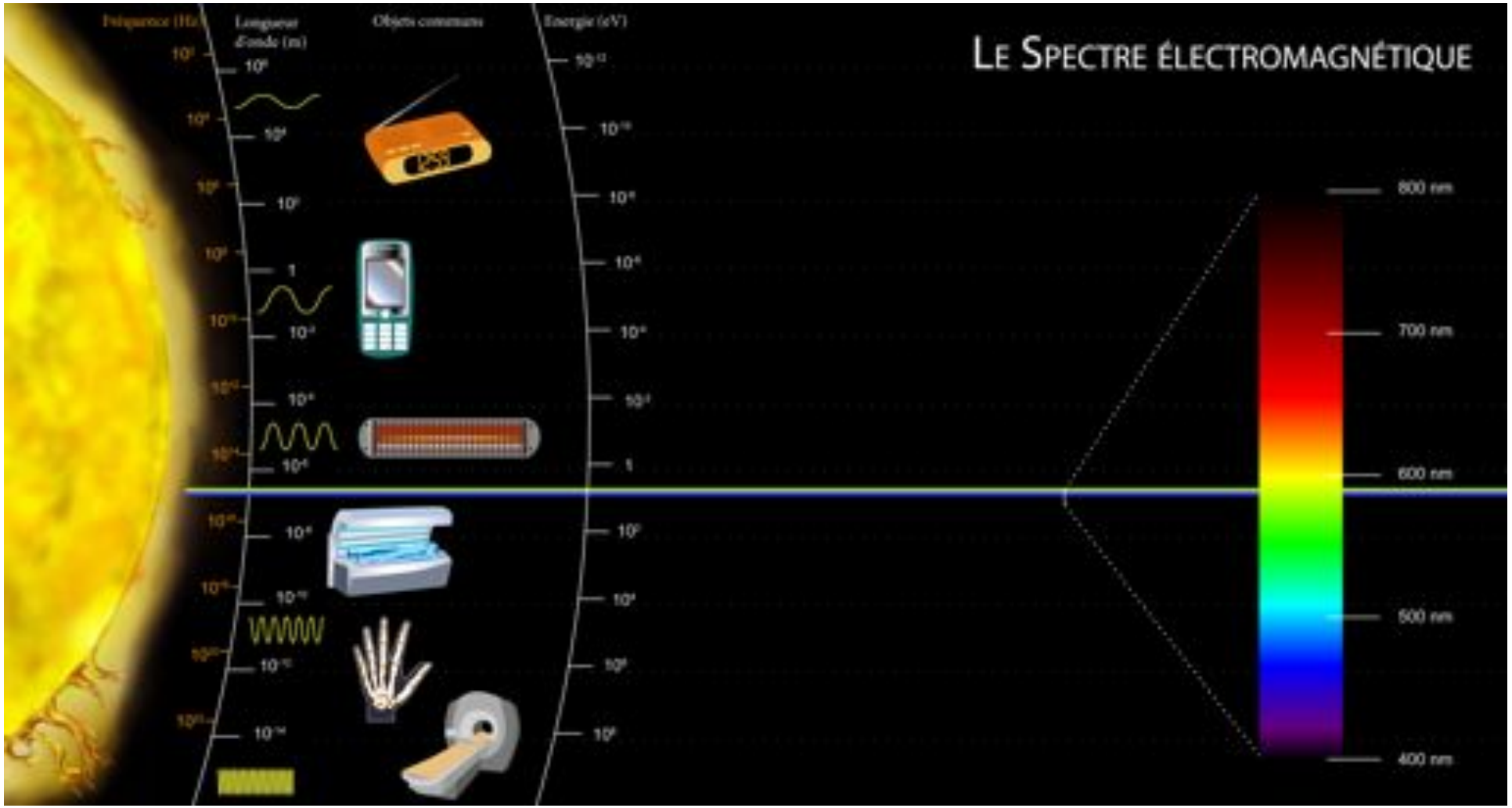
Crédit image: Lookang

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



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.

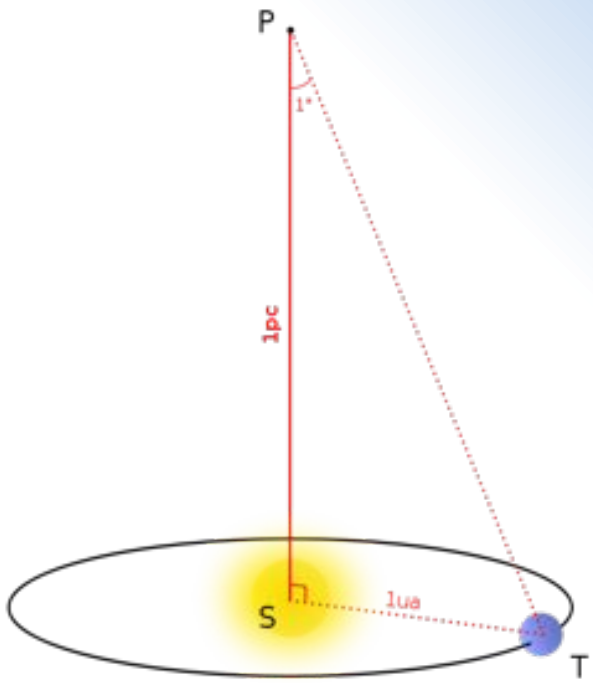
Unités de distance

- 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
- 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

- Astres
- Gaz
- Poussière

Galaxie Andromède (M31). Crédit image: T. Hallas
Distance: 2 900 000 années-lumière

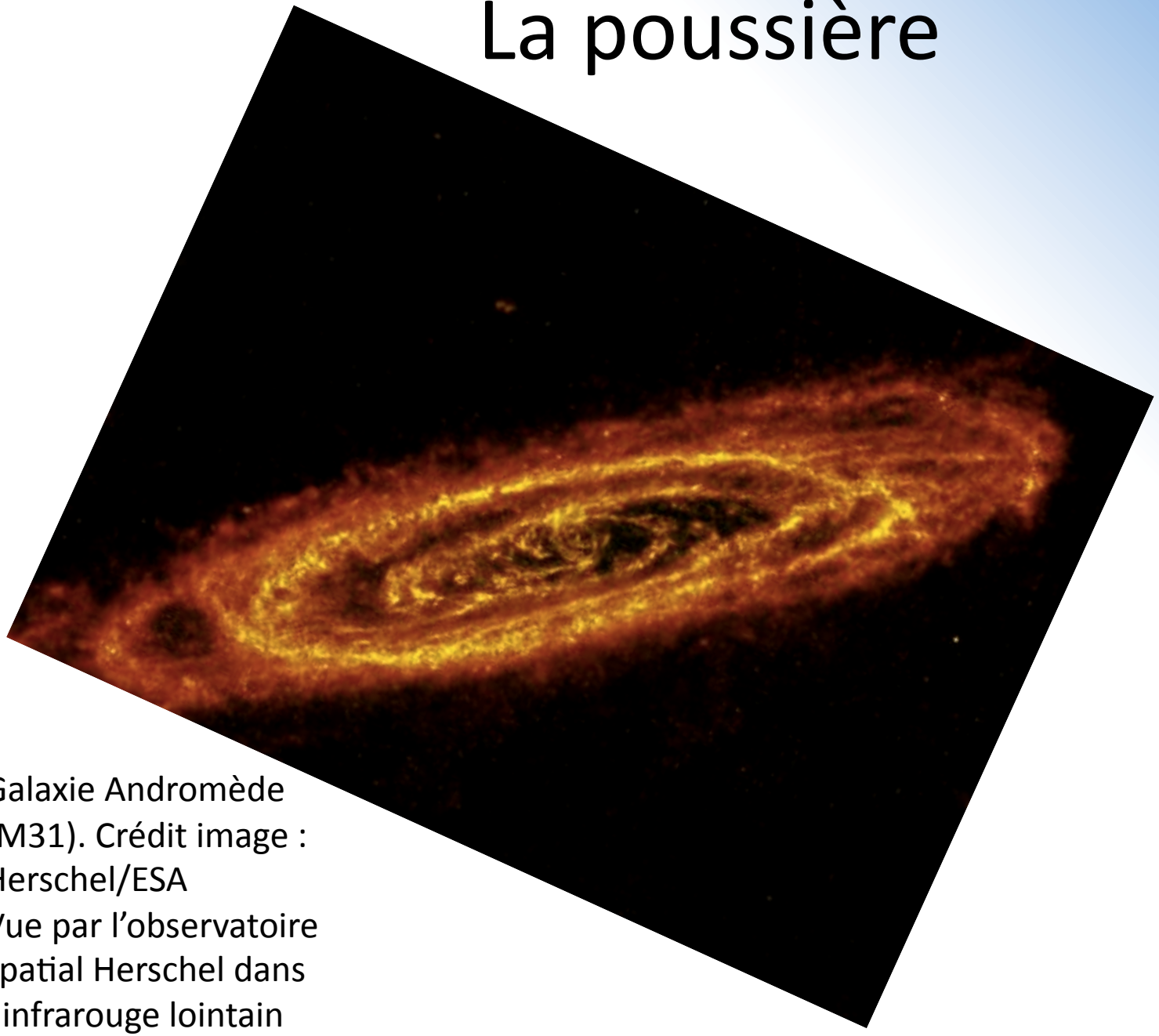
Crédit image: Brunier & Tapissier

Source: http://www.sergebrunier.com/gallerie/pleinciel/voyage.html

Les sources de lumière dans l'univers

Galaxie Andromède (M31). Crédit image: T. Hallas
Distance: 2 900 000 années-lumière

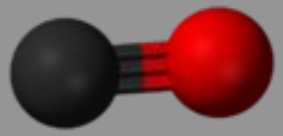
La poussière



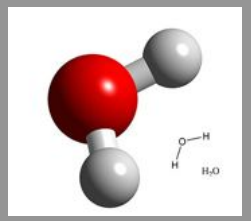
Galaxie Andromède (M31). Crédit image : Herschel/ESA
Vue par l'observatoire spatial Herschel dans l'infrarouge lointain

Milieu interstellaire: gaz + poussière

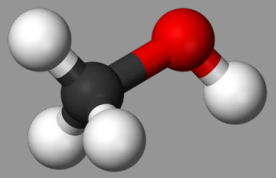
- Gaz: H, H_2



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



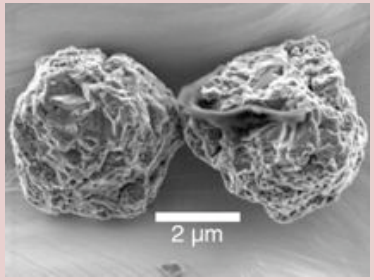
H_2O [10^{-5}]
Eau



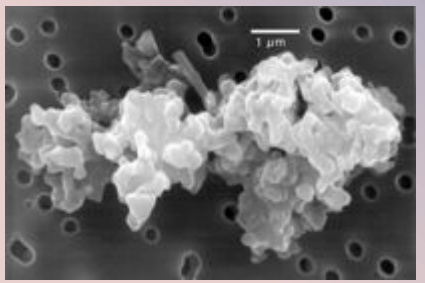
CH_3OH [10^{-6}]
Méthanol

H_2O^+, HCO^+, C_4H^-, H_3^+...

- Poussière: petits solides

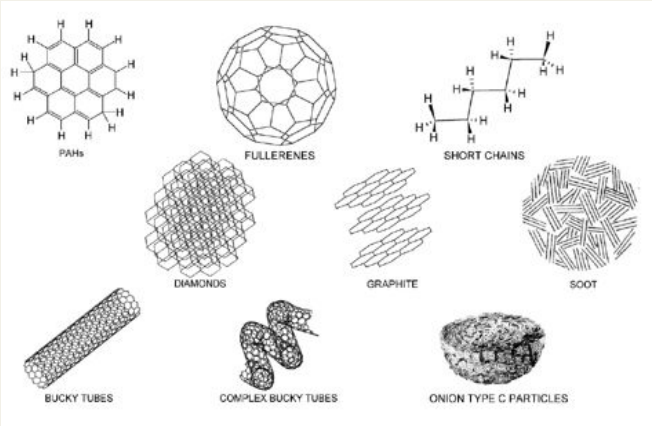


Sur la météorite de Murchison



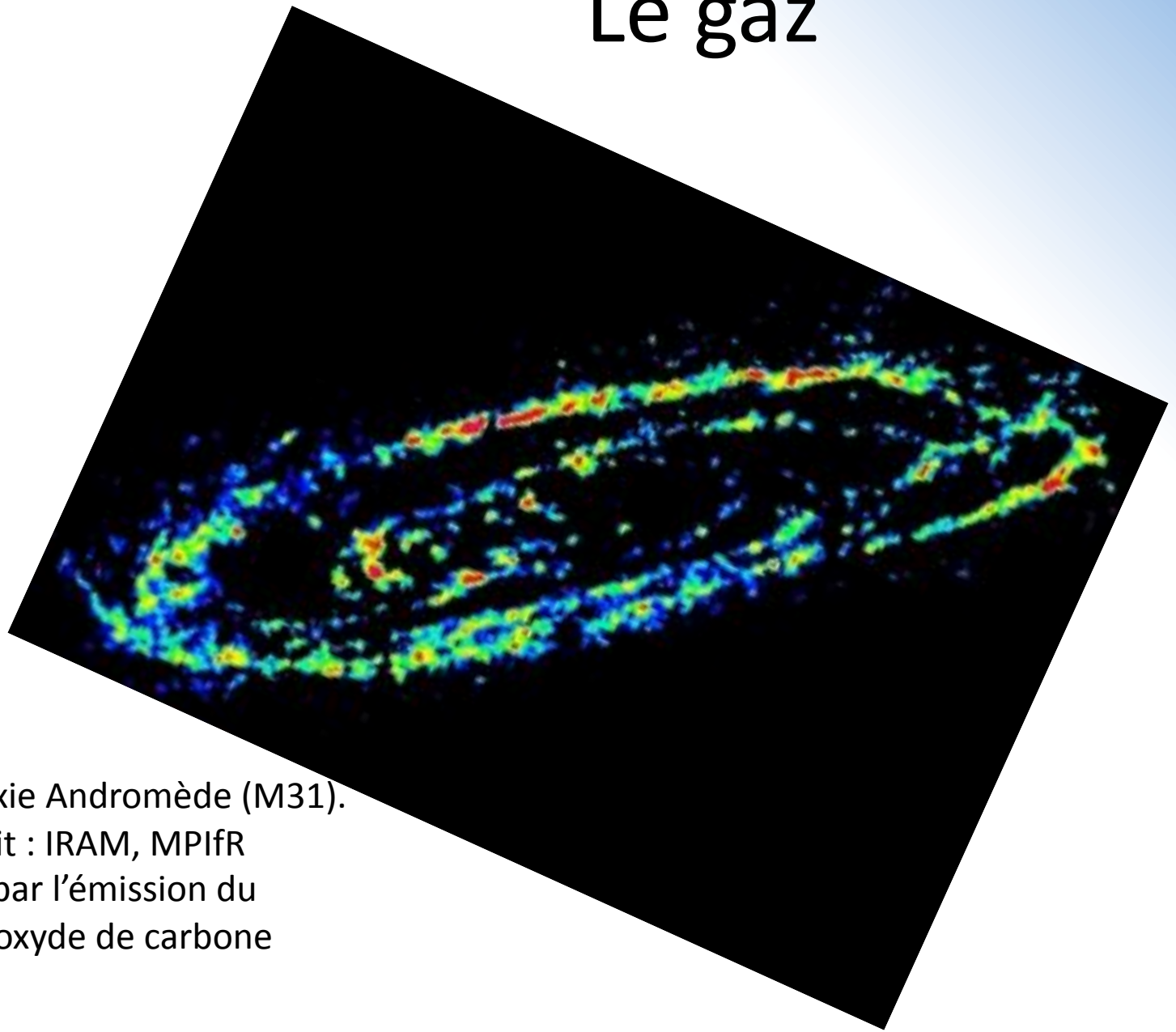
Grains de poussière interplanétaires

- Molécules carbonacées



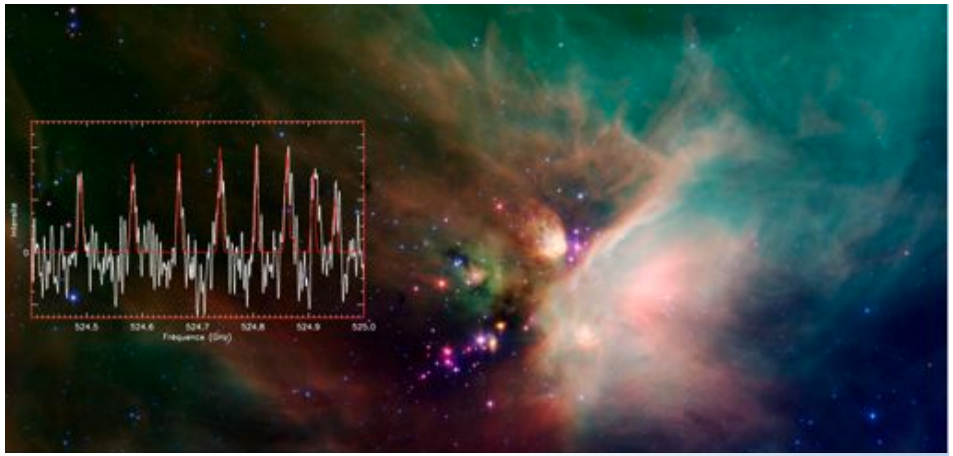
Ehrenfreund & Charnley 2000

Le gaz

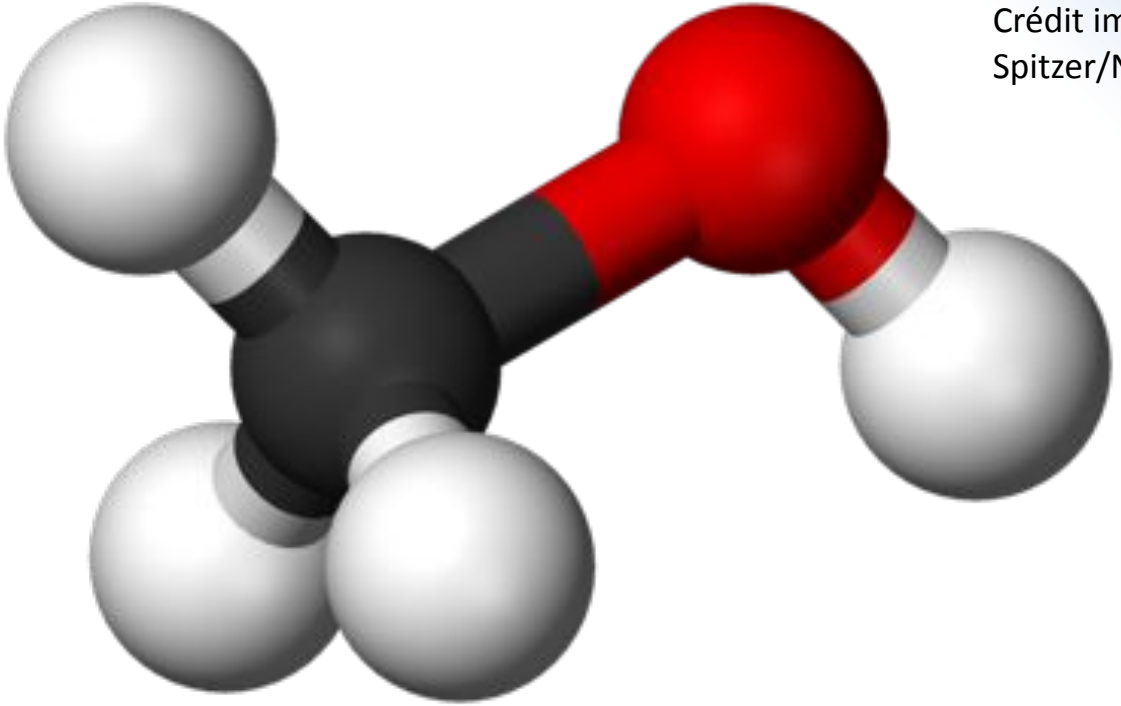


Galaxie Andromède (M31).
Crédit : IRAM, MPIfR
Vue par l'émission du monoxyde de carbone (CO).

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	Ketenimine	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_3N	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_5N	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_6N	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			

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 1.3.

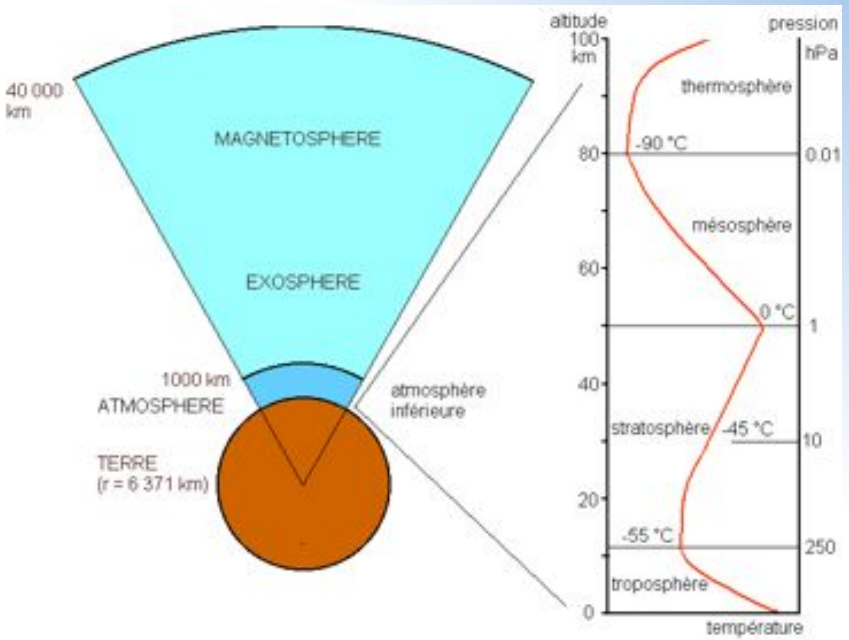
50 molécules interstellaires constituées de 6 à 13 atomes

Herbst & van Dishoeck 2010

Séance #1

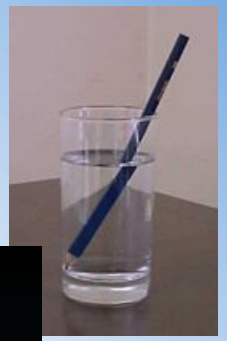
1. La lumière
2. Les limites de l'atmosphère
3. Les grandes questions astrophysiques au 21e siècle.
4. Les grands instruments de l'astrophysique
5. Les acteurs de l'astrophysique moderne et leur motivation

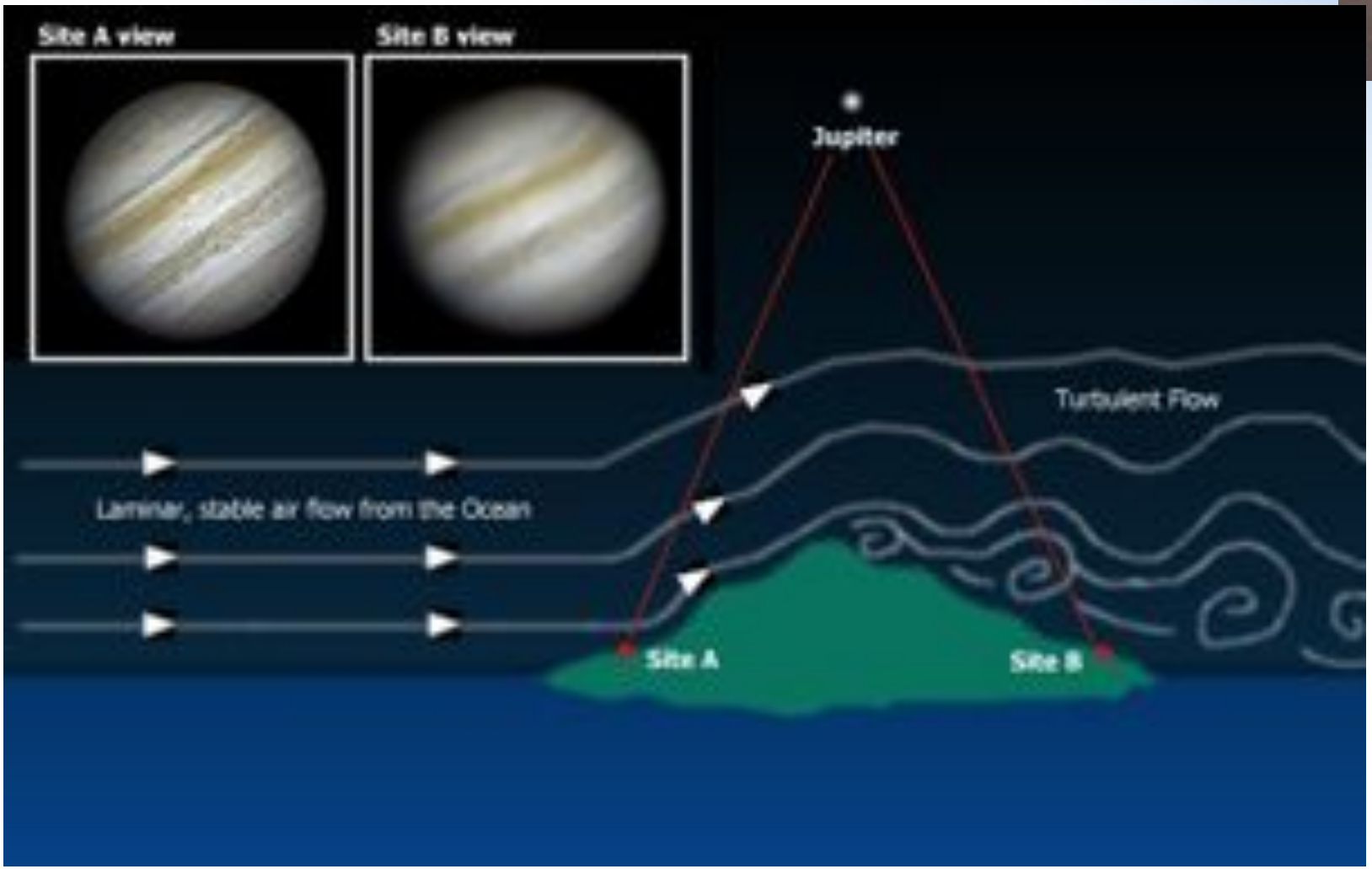
L’atmosphère terrestre



Crédit image: Ifremer

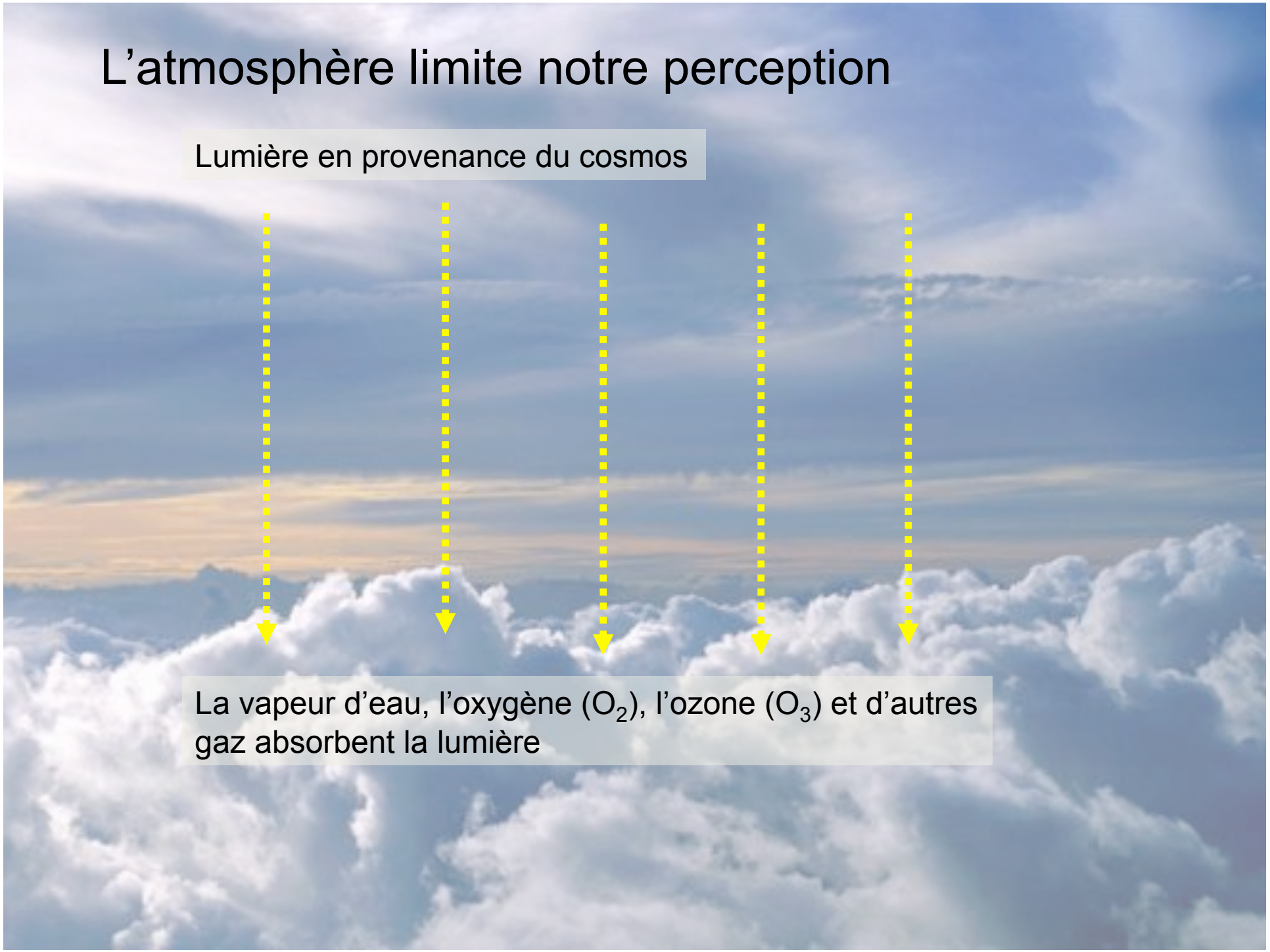
Le « seeing »

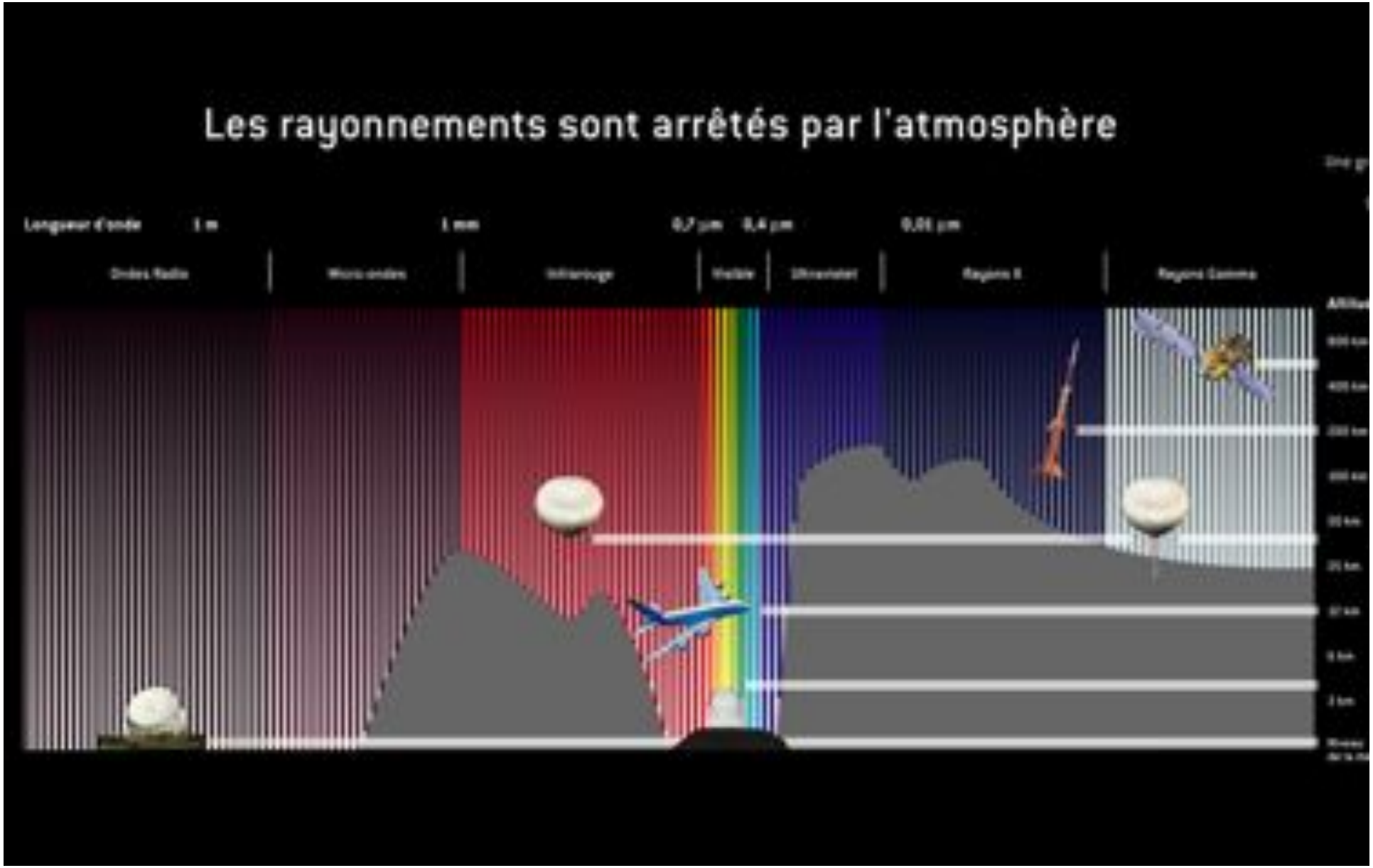



Site A view
Site B view
Jupiter
Turbulent Flow
Laminar, stable air flow from the Ocean
Site A
Site B

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

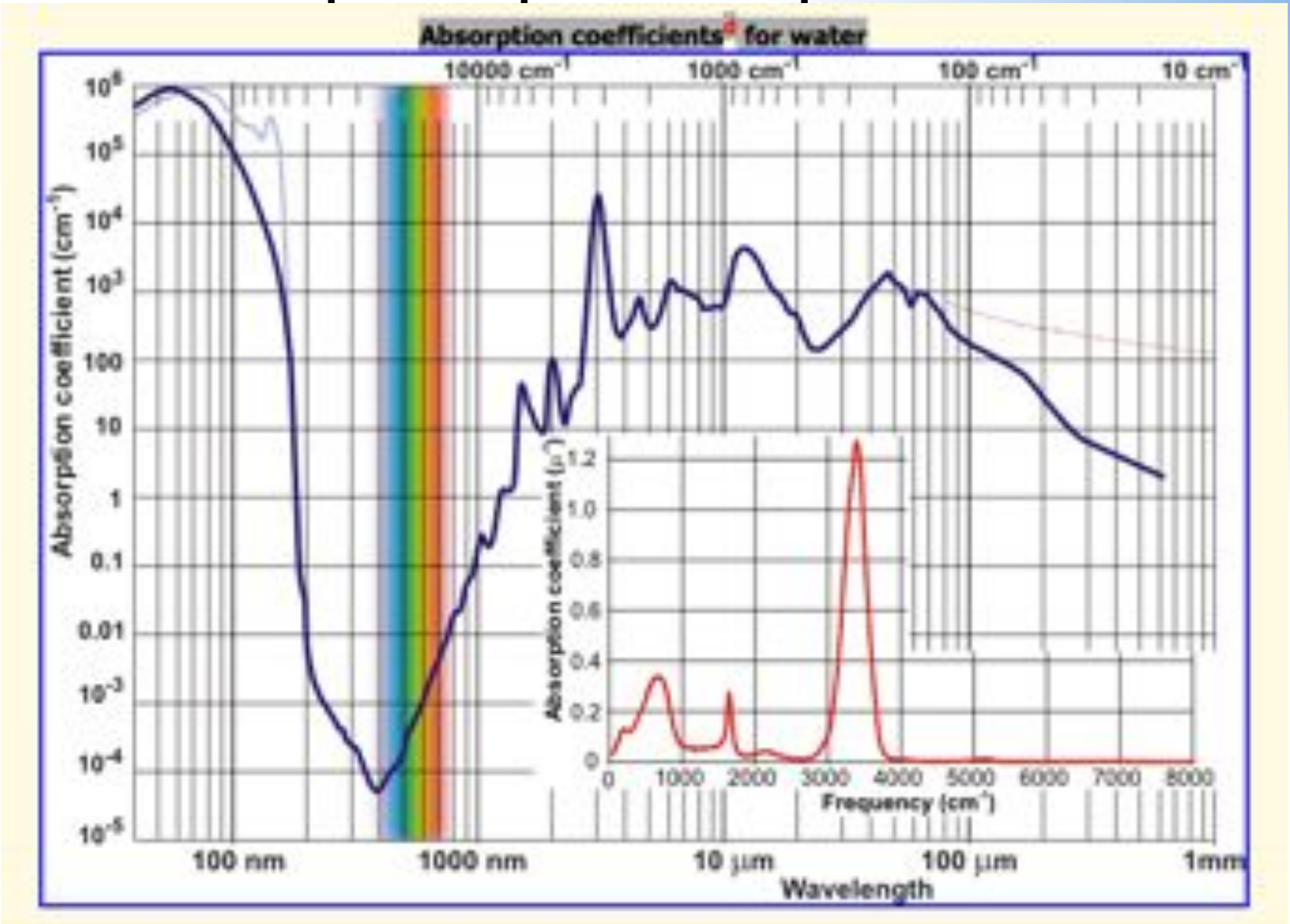
L’atmosphère limite notre perception





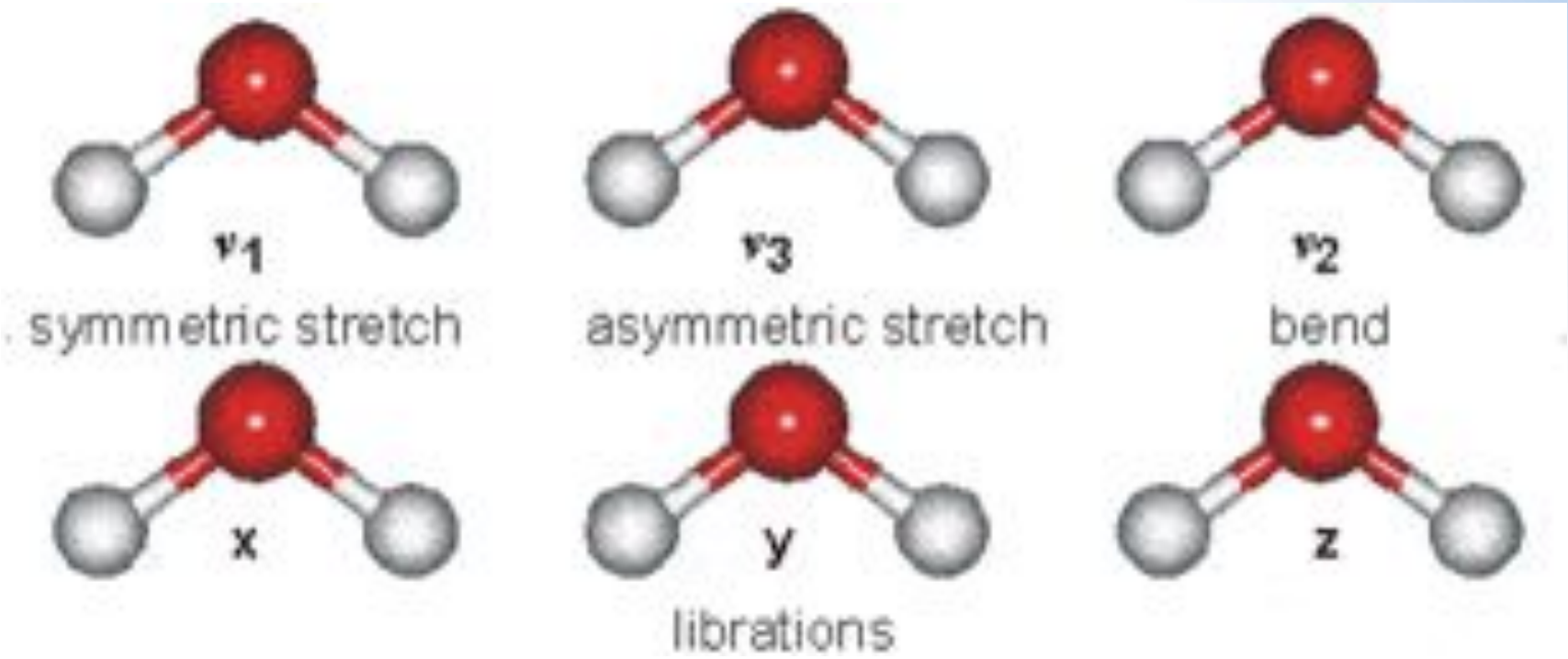
Crédit image: CEA & BCBG

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

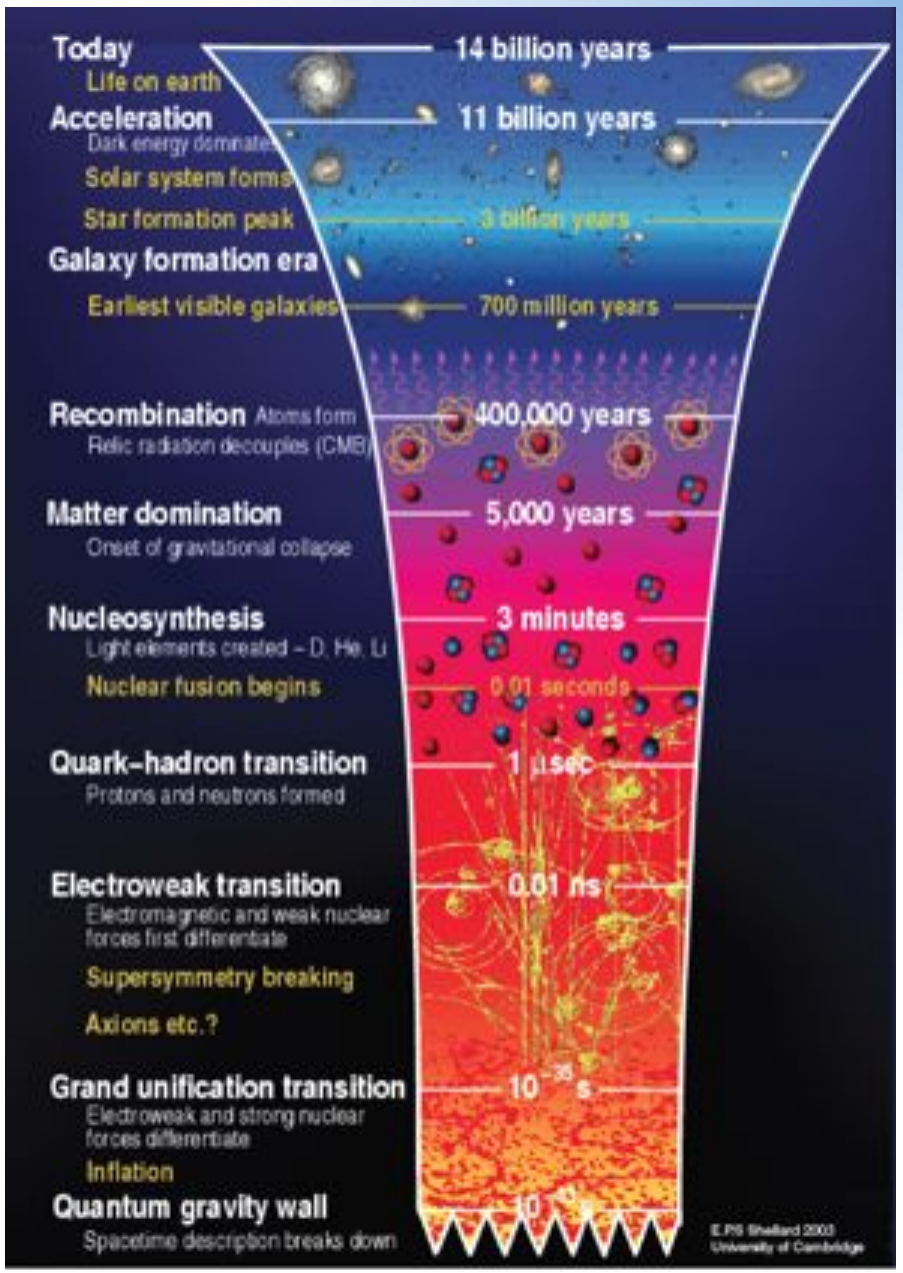
- Non pas pour être plus proche des étoiles.
- Mais pour s'affranchir des limites naturelles de notre atmosphère.
- Rq: seules les sondes spatiales permettent un véritable rapprochement mais uniquement pour des astres « à proximité » de la Terre, donc dans le système solaire proche.

Crédit image: CNRS

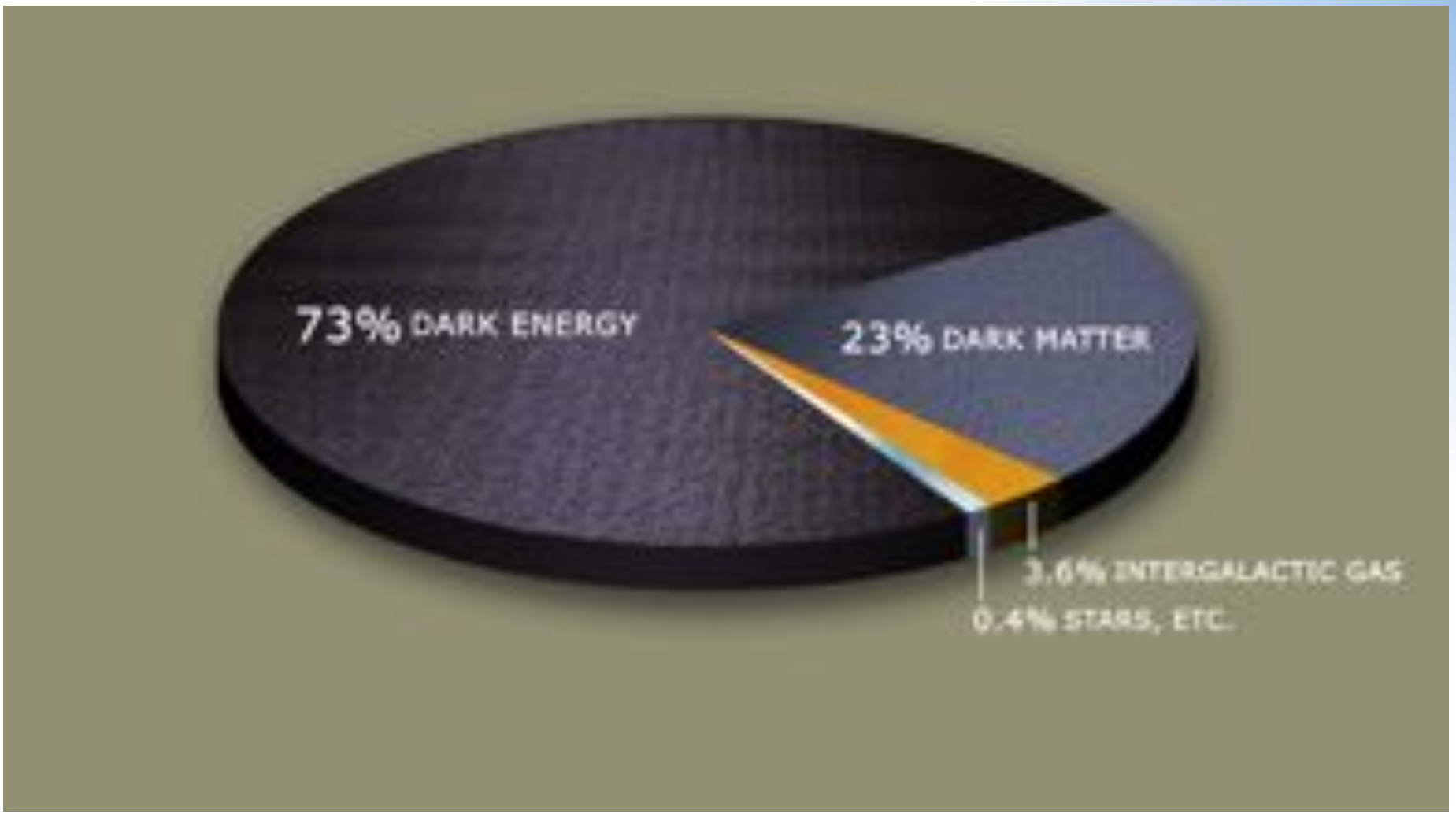
Séance #1

1. La lumière
2. Les limites de l'atmosphère
3. Les grandes questions astrophysiques au 21e siècle.
4. Les grands instruments de l'astrophysique
5. Les acteurs de l'astrophysique moderne et leur motivation

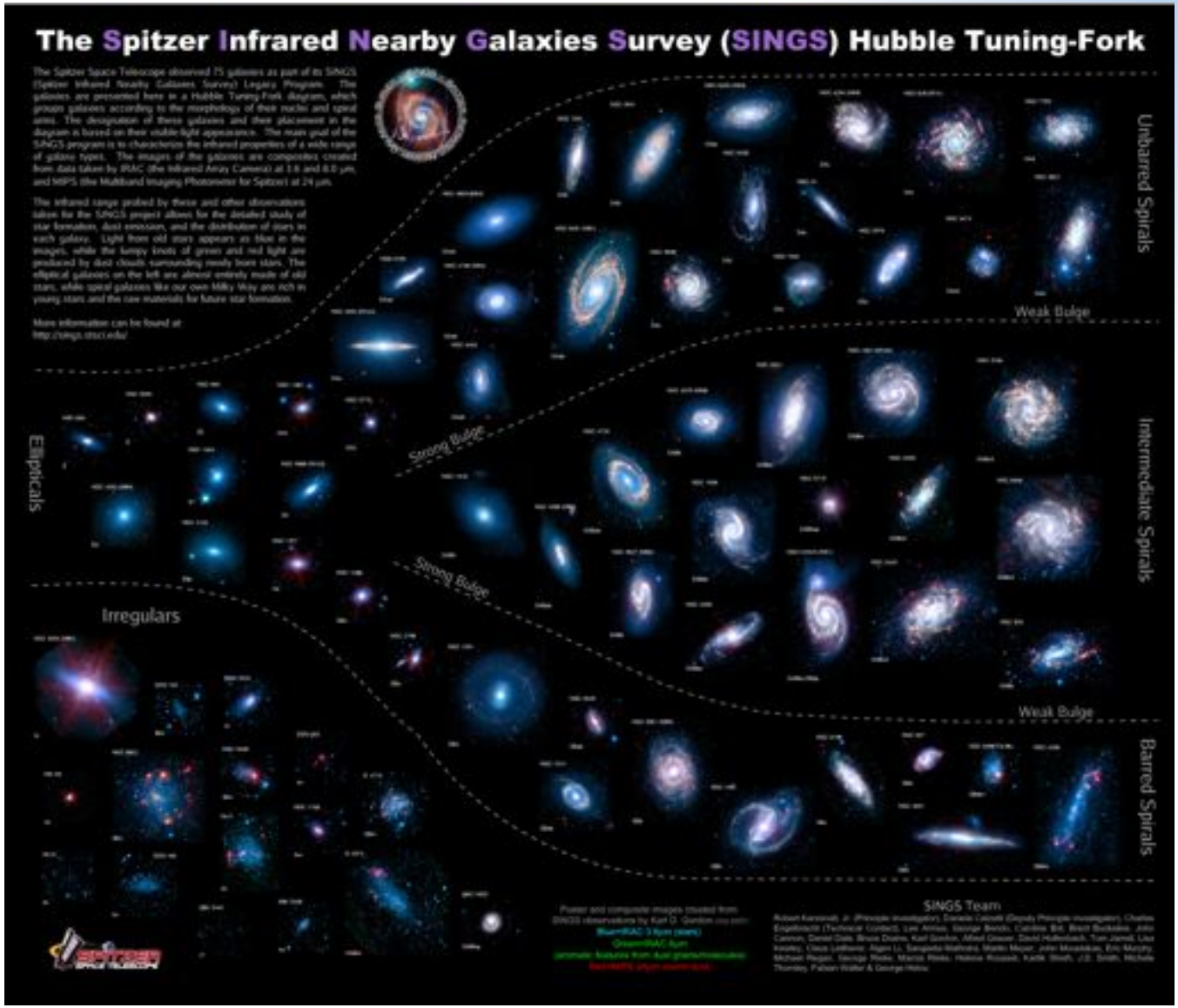
Histoire et évolution de l'univers



Contenu de l'univers



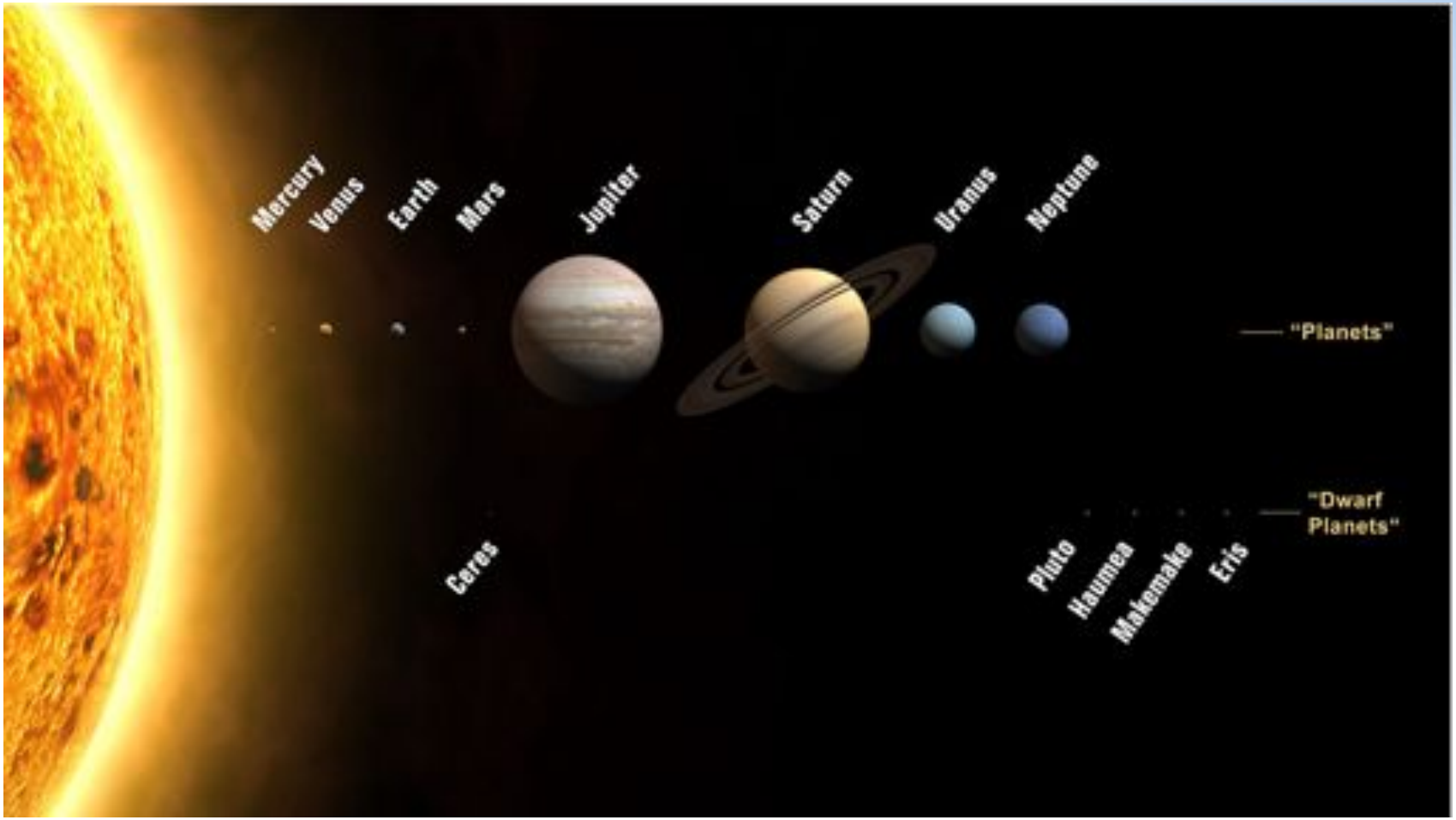
L'évolution des galaxies



Naissance des étoiles

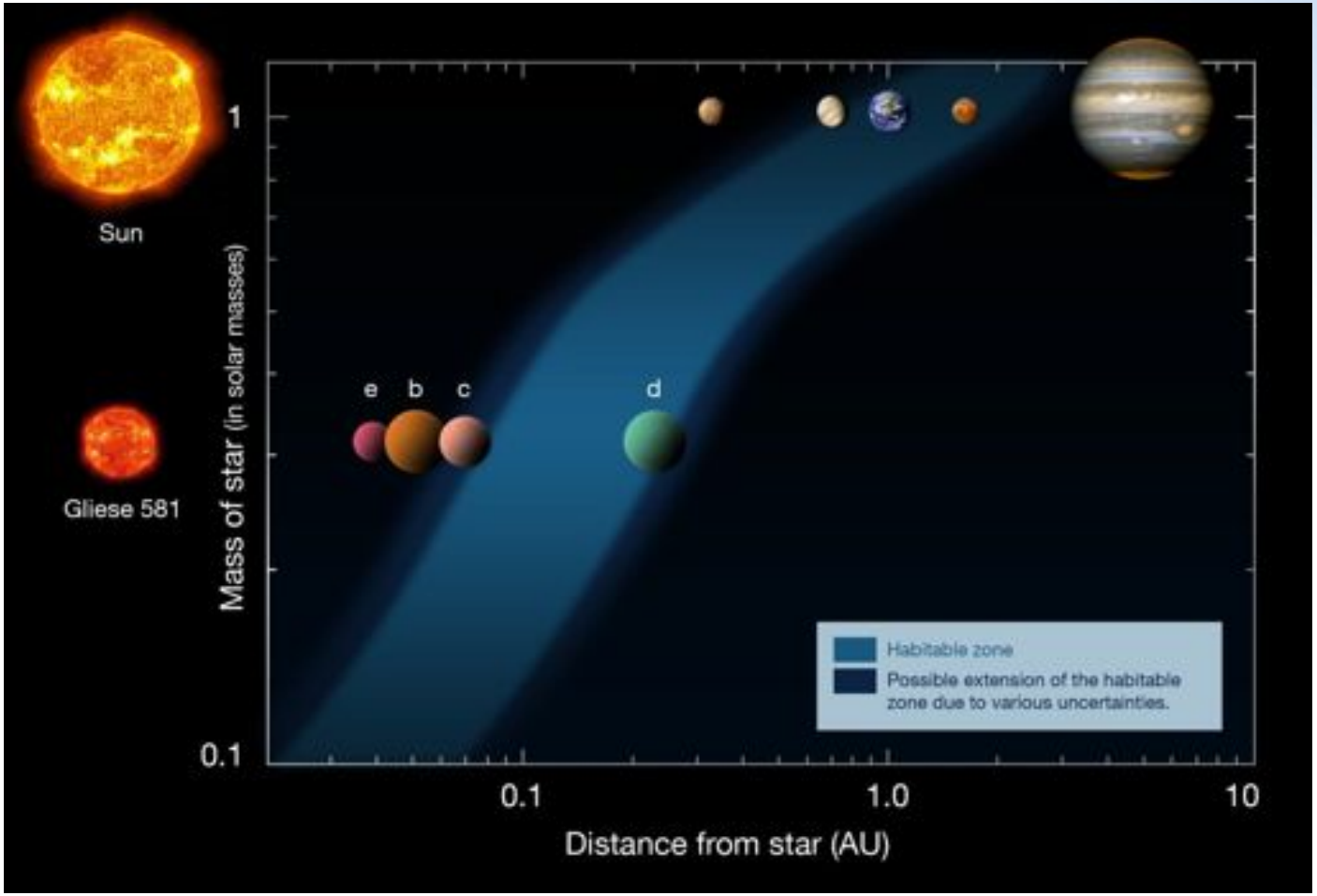
Crédit image: ESA

Formation des planètes



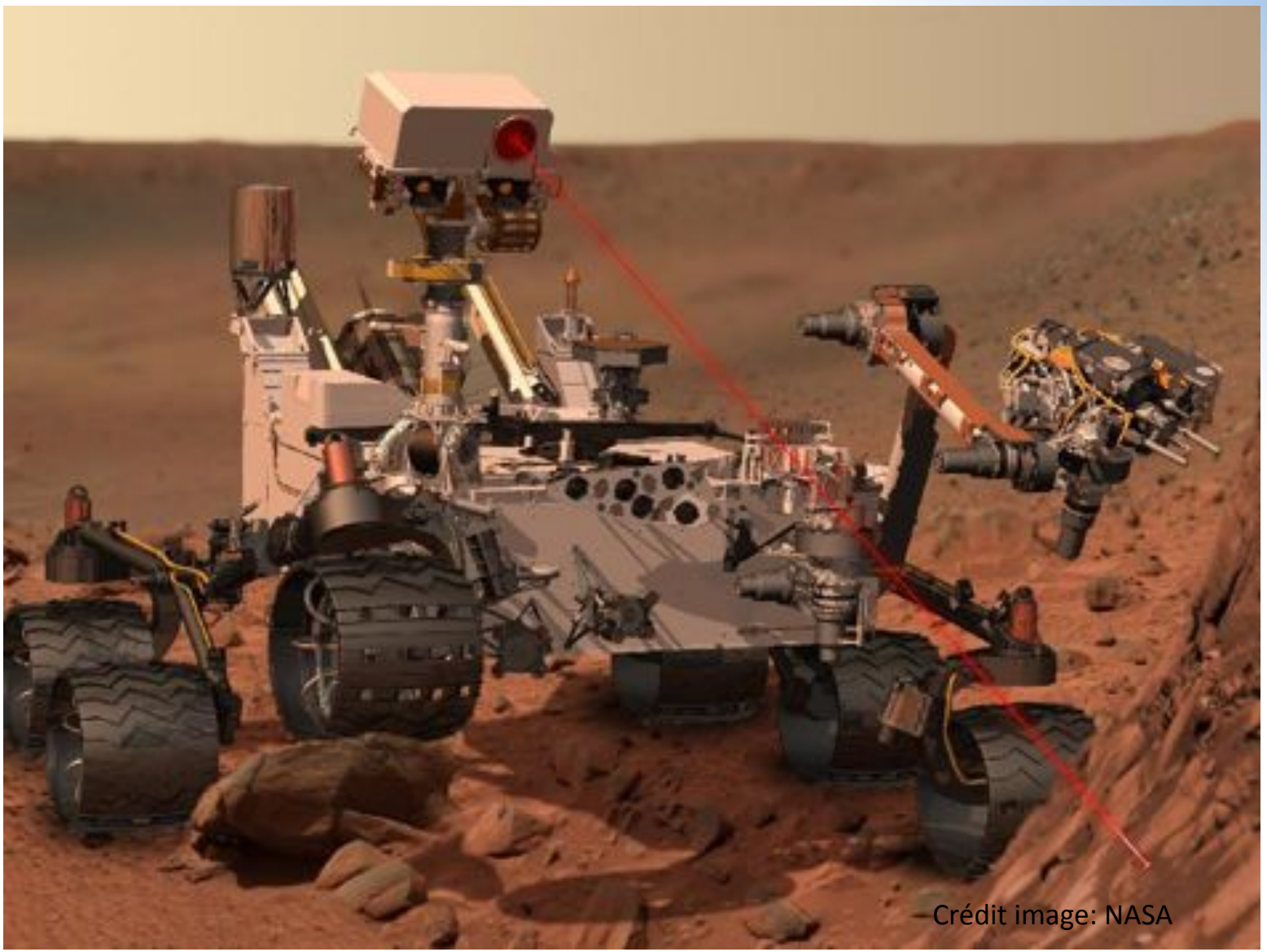
Crédit image: NASA

Habitabilité de l'univers



Crédit image: Selsis & co

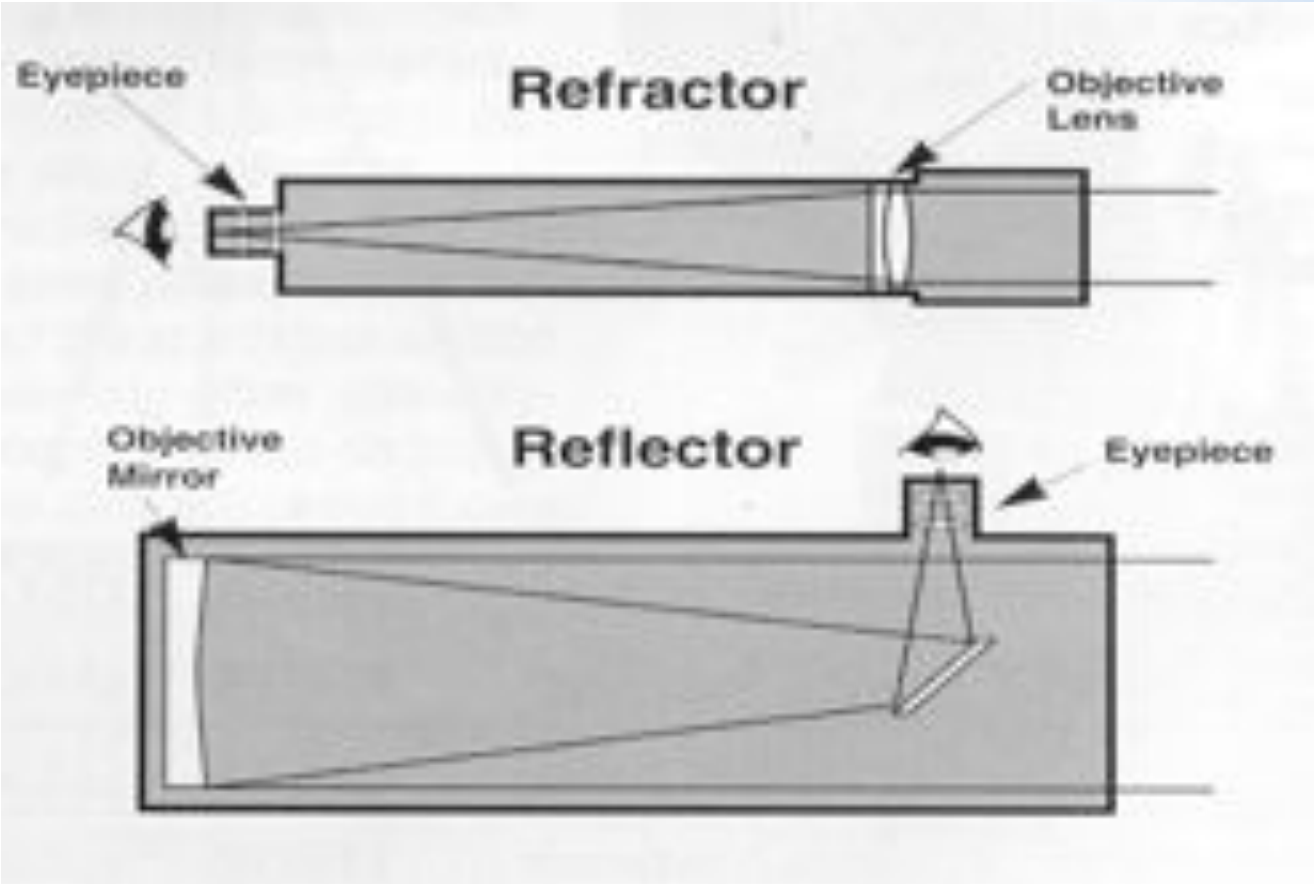
Et la place de l'homme dans tout cela ?



Séance #1

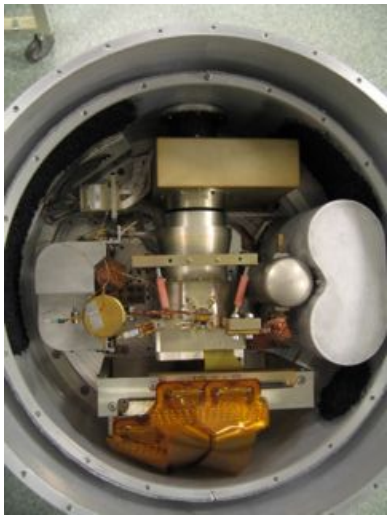
1. La lumière
2. Les limites de l'atmosphère
3. Les grandes questions astrophysiques au 21e siècle.
4. Les grands instruments de l'astrophysique
5. Les acteurs de l'astrophysique moderne et leur motivation

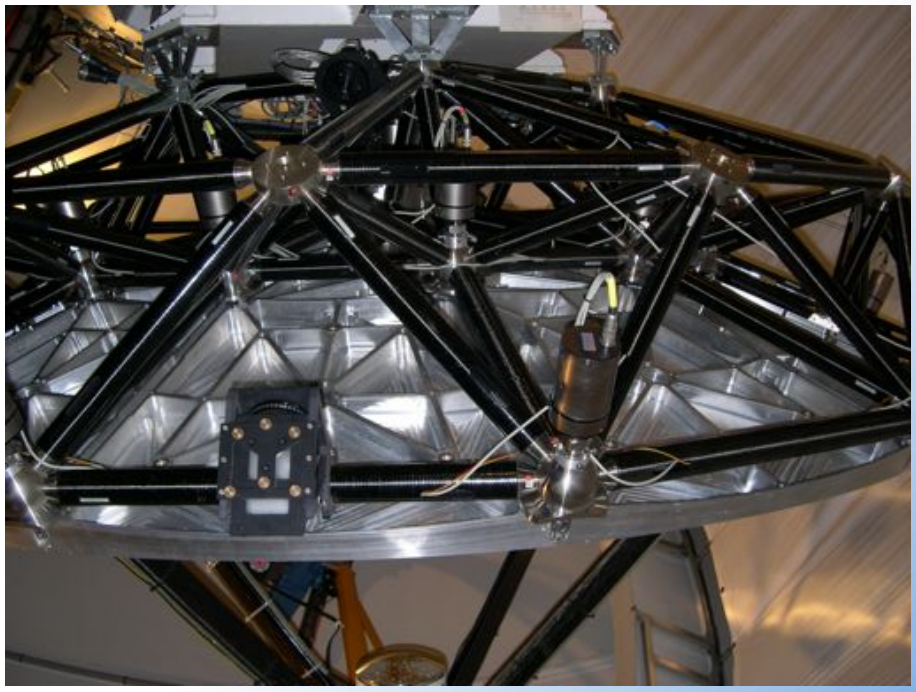
Principe du télescope



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

Crédit images: CEA

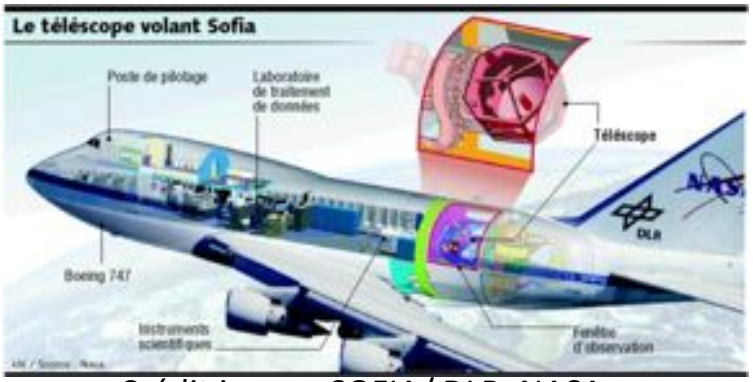




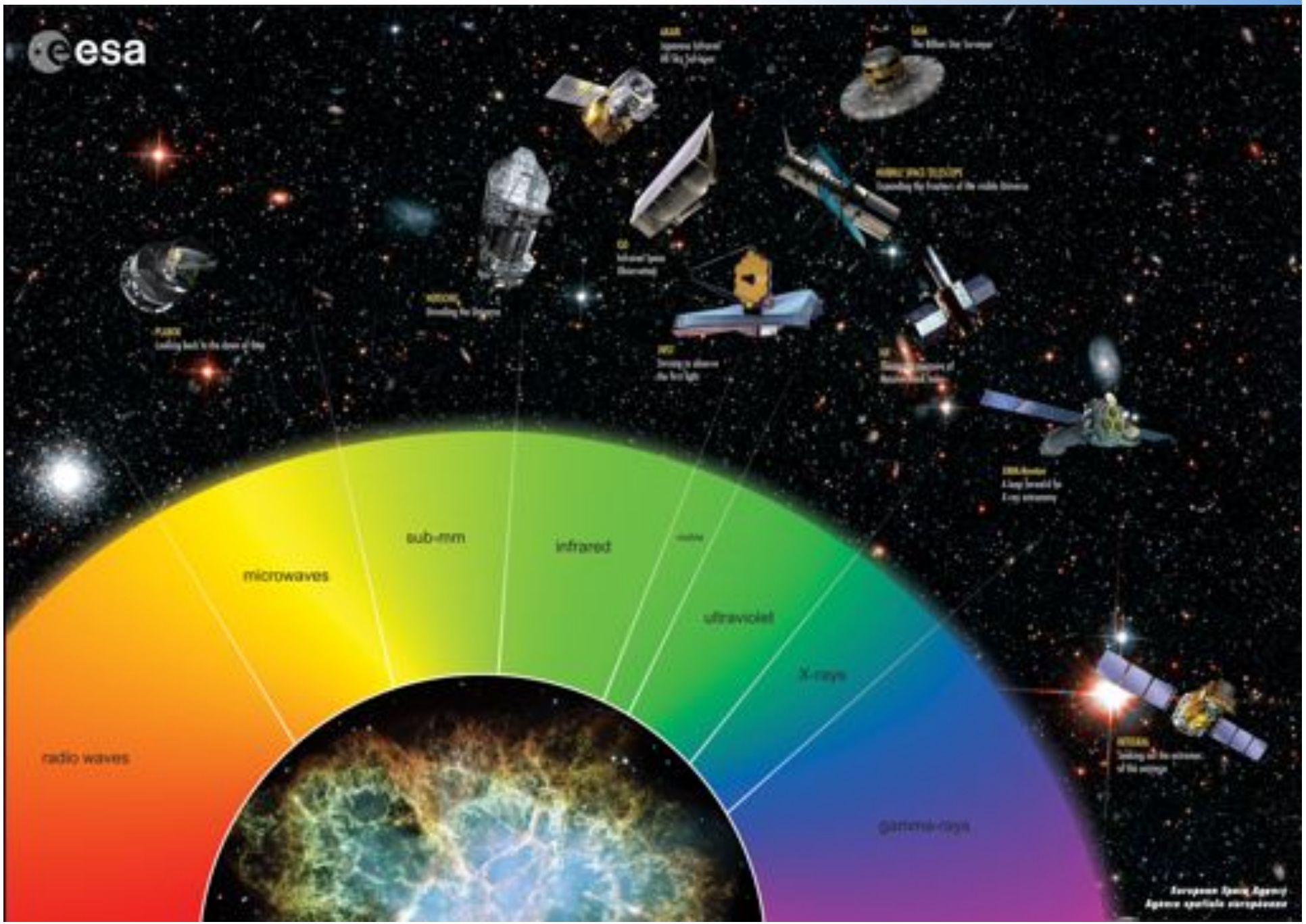
Crédit image: ESO

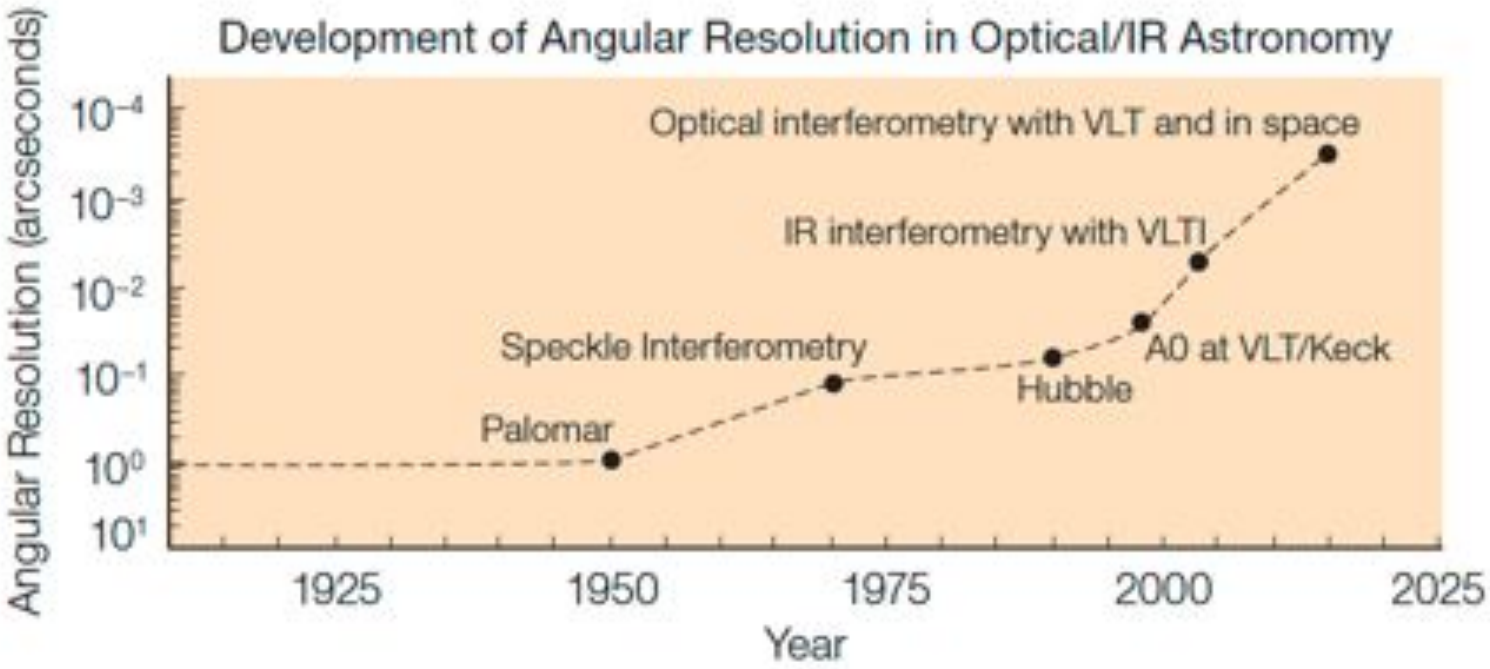
Crédit image: ESO

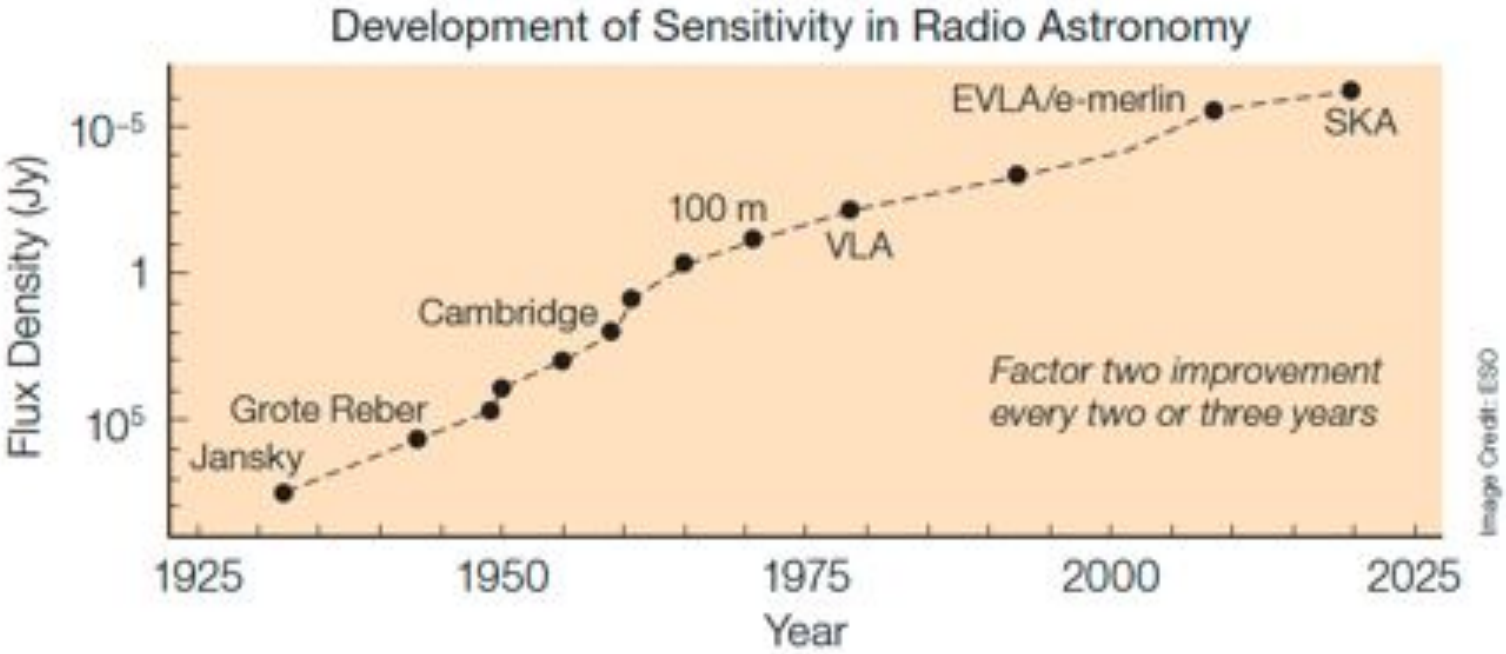
Crédit image: OSO



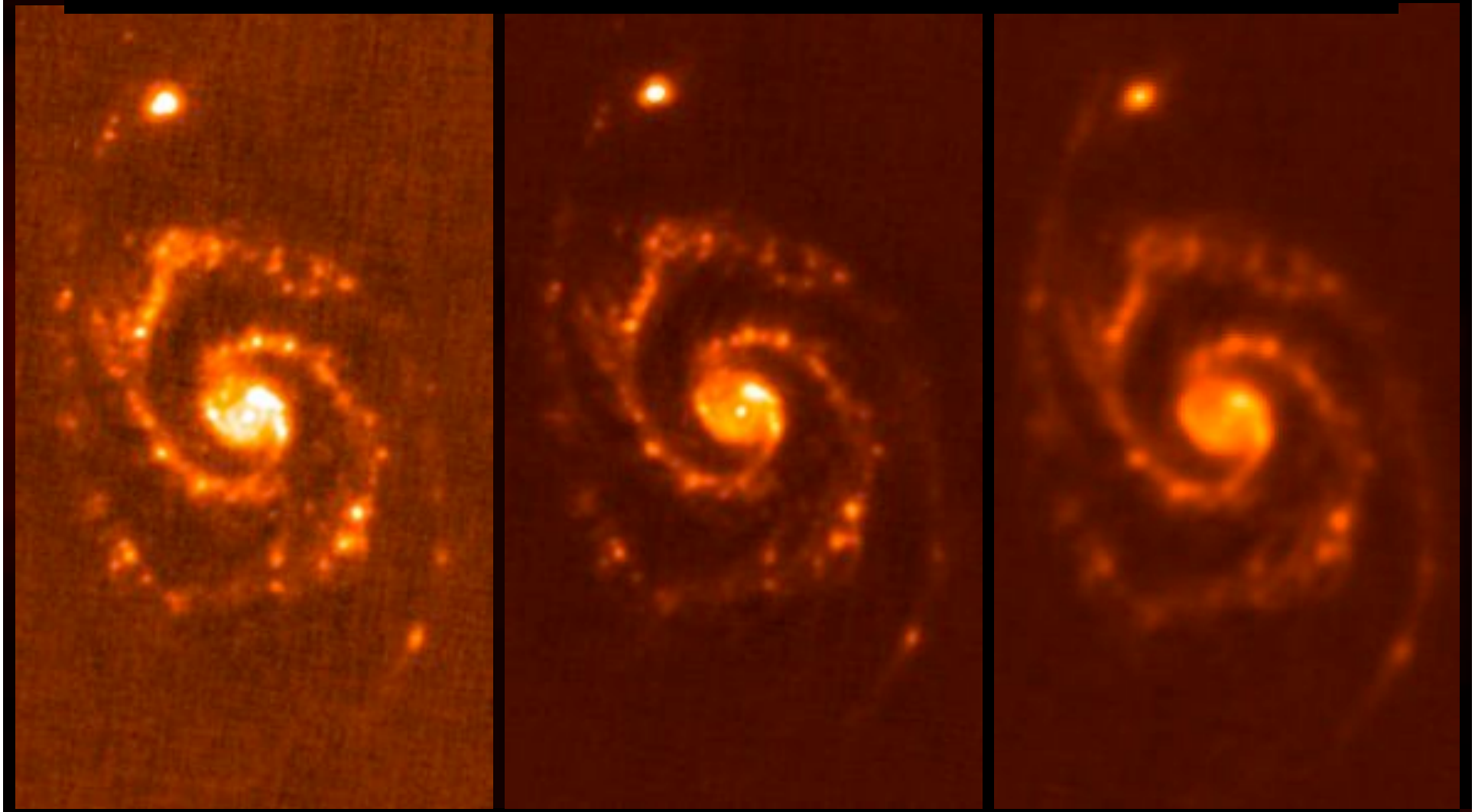
Crédit image: SOFIA/ DLR, NASA


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


Development of Angular Resolution in Optical/IR Astronomy
Angular Resolution (arcseconds)
10^{-4}
10^{-3}
10^{-2}
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
Optical interferometry with VLT and in space
IR interferometry with VLTI
AO at VLT/Keck
Hubble
Speckle Interferometry
Palomar
1925
1950
1975
2000
2025
Year


Development of Sensitivity in Radio Astronomy
Flux Density (Jy)
10^{-5}
1
10^{5}
EVLA/e-merlin
SKA
100 m
VLA
Cambridge
Grote Reber
Jansky
Factor two improvement
every two or three years
1925
1950
1975
2000
2025
Year
Image Credit: ESO

IRAS (1983) / ISO (1995) / Spitzer (2001) / Herschel (2009)

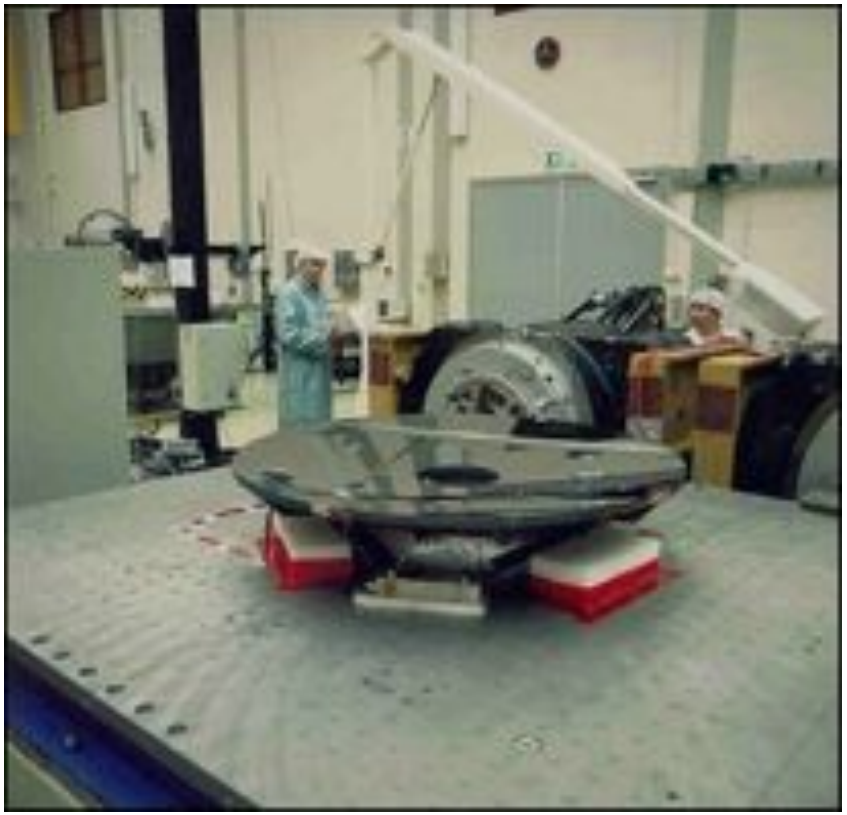


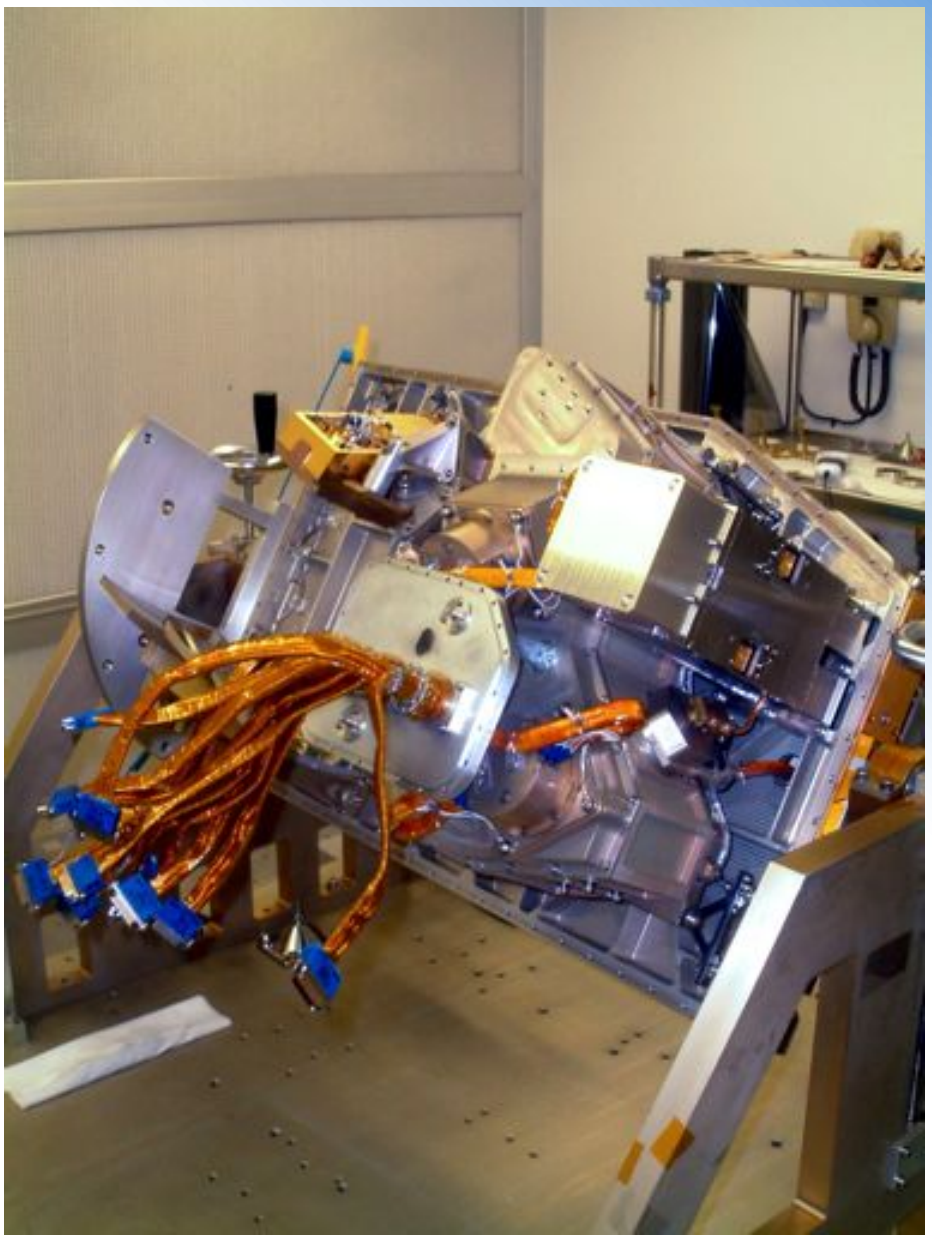
Herschel - PACS

70 µm 100 µm 160 µm

Présentation idéalisée de la science ?

« 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





Crédit image: ESA

Séance #1

1. La lumière
2. Les limites de l'atmosphère
3. Les grandes questions astrophysiques au 21e siècle.
4. Les grands instruments de l'astrophysique
5. Les acteurs de l'astrophysique moderne et leur motivation

La science selon Robert K. Merton

- Norme CUDOS en 1942
- C pour « communalism » (mise en commun, publications des résultats…)
- U pour universalité (évaluation des vérités scientifiques en des termes objectifs)
- D pour désintéressement (l'argent n'est pas une motivation…)
- OS pour « organised skepticism » (scepticisme organisé = test, expertise, vérification, scrutation des propositions scientifiques)

➔ Assez proches du point de vue des scientifiques sur eux-mêmes ? Logique internaliste: l'enchainement logique des idées, à partir d'idées précédentes, explique le développement des sciences.

« Big Science »

- D'autres acteurs en plus des scientifiques: industries, les agences, les organisations internationales, le public ….
- L'astrophysique est-elle une construction sociale ?

Crédit image: NASA

La science, construction sociale ?

- Une découverte, est-elle toujours un acte rationnel, solitaire, isolé, sans relation avec le monde extérieur à la science… ?
- Quel est le rôle des controverses scientifiques dans la science ?
- Quel est le rôle des pratiques locales et des savoir-faire tacites (non publiés) dans la production scientifique ?
- Une interprétation scientifique peut-elle être négociée ?

➔Les énoncés scientifiques dépendent fortement des pratiques des chercheurs qui ne sont pas universelles (socio-constructivisme). Les énoncés scientifiques sont purement des productions sociales (relativisme social). La science a ses propres normes dans la production de vérités scientifiques, mais elle se nourrit également de sources externes… (cf. Sciences et société, D. Vinck, p. 200)

La science selon Pierre Bourdieu

- « L'univers "pur" de la science la plus "pure" est un champ social comme un autre, avec ses rapports de forces et ses monopoles, ses luttes et ses stratégies, ses intérêts et ses profits, mais où tous ces invariants revêtent des formes spécifiques ». Bourdieu, Le champ scientifique, 1976
- Le champ scientifique = le lieu (c'est-à-dire l'espace de jeu) d'une lutte de concurrence qui a pour enjeu spécifique le monopole de l'autorité scientifique.
- « Capitalisme scientifique »: le crédit scientifique se gagne au cours de luttes, qui ne se limitent pas au combat cognitif. Accumulation de capital symbolique (=crédit scientifique) pour le contrôle de l'autorité en science (≠ reconnaissance).
- Bourdieu admet que les vérités scientifiques existent et sont des produits très particuliers, relativement indépendants de leurs conditions sociales de production.

L'exploration de l'univers: les acteurs

- Les scientifiques
- Les laboratoires publiques
- Les organisations de recherche et d'enseignement supérieur
- Les industries
- Les agences de financement
- Les organisations internationales
- Les média
- Le « grand public »

➔ Un capital « astrophysique », comme grande valeur culturelle et sociale est-il la rétribution commune des acteurs ?

Le rôle des agences

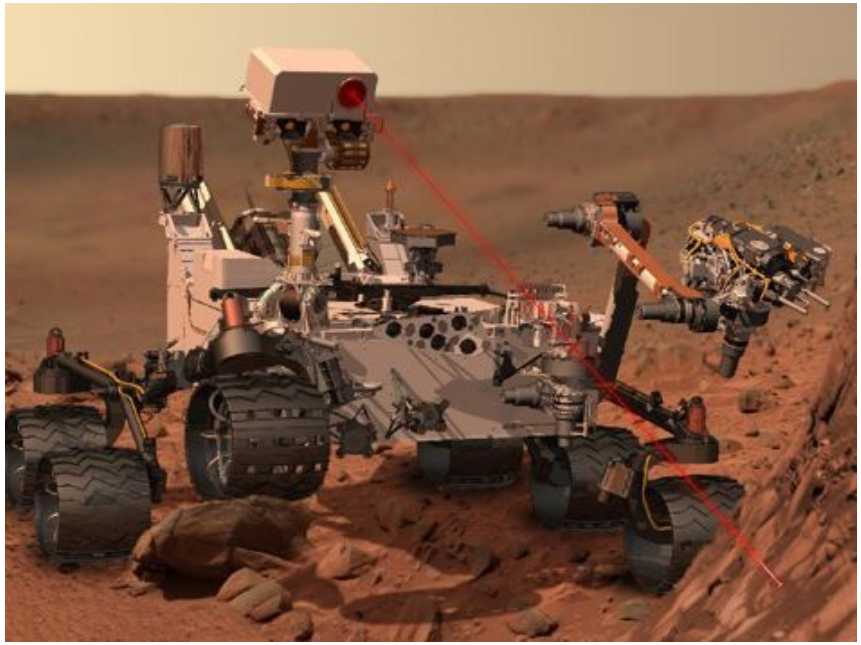
- Management des projets (techniques et scientifiques)
- Financement
- Accompagnement des laboratoires
- Définir une stratégie de recherche
- Opération
- Production d'archives ouvertes

Durée moyenne pour la réalisation d'un grand instrument de l'astrophysique

- Observatoire spatial Herschel: 1982-2009
- Very Large Telescope: 1987-1998
- Hubble space telescope: 1977-1990
- ALMA: 1995-2012 ?
- …

➔ durée de l'ordre de 10 à 30 ans

Le halo de la Nasa



Crédit image: NASA

Le rôle des laboratoires

- Définir un besoin scientifique
- R&D sur la technologie
- Réalisation des détecteurs et autres systèmes
- Définition des programmes d'observation
- Préparation des observations
- Réduction et analyse des données
- Publications des résultats

Le rôle de l'industrie

- Etude de faisabilité
- Construction des grands systèmes (miroirs, cryostat, coupole, fusée …)
- R&D sur les détecteurs
- Sol (ALMA)
- Espace (Herschel)

Pourquoi les industriels travaillent-ils pour la science ?

Groupe EADS		2010	2009	2008
Chiffre d'affaires	M€	45 752	42 822	43 265
R&D autofinancée	M€	2 939	2 825	2 669
Résultat opérationnel (EBIT*)	M€	1 231	- 322	2 830
Résultat net[1]	M€	553	- 763	1 572
Bénéfice par action[1]	€	0,68	- 0,94	1,95
Dividende par action[2]	€	0,22[2]	—	0,20
Position de trésorerie nette	M€	11 918	9 797	9 193
Prises de commandes[3]	M€	83 147	45 847	98 648
Carnet de commandes[3]	M€	448 493	389 067	400 248
Effectifs		121 691	119 506	118 349

AIRBUS[1)]

(M€)	2010	2009
Chiffre d'affaires	29 978	28 067
R&D autofinancée	2 321	2 306
EBIT*	305	- 1 371
Prises de commandes	68 223	23 904

La Division Airbus comprend Airbus Commercial et Airbus Military. Le chiffre d'affaires consolidé d'Airbus atteint 29 978 millions d'euros, soit une augmentation de 7 % par rapport à l'exercice précédent.

Nombre d'avions	2010	2009	*Variation*	2010	2009	*Variation*
Livraisons	510	498	+ 2 %	20	16	+ 25 %
Carnet de commandes	3 552	3 488	+ 2 %	241	250	- 4 %

Airbus Commercial
Le chiffre d'affaires d'Airbus Commercial s'est élevé à 27 673 millions d'euros, bénéficiant d'un effet favorable en termes de volume et de mix. Les livraisons ont augmenté et atteignent 510 avions.

Airbus Military
Le chiffre d'affaires d'Airbus Military atteint 2 684 millions d'euros, grâce à une meilleure comptabilisation au titre de l'A400M et malgré une baisse du chiffre d'affaires des avions militaires moyens et légers et des ravitailleurs.

Table 1. Costs of astronomical projects in comparison with non-astronomical projects

Approximate costs (M€) of large astronomical facilities		
ALMA	750	Ground-based mm interferometer
Herschel + Planck (ESA)	1100	Cost for ESA only
European Extremely Large Telescope (ESO)	900	Cost for ESO only
Indicative costs for comparison		
Aircraft carrier	300	
Fighter aircraft	300	Fully operational
Airbus A380	250	
Airbus A320	60	
Highway (100 km)	600	

Crédit image: Vigroux 2011

L'astrophysique stimule-t-elle la croissance ?

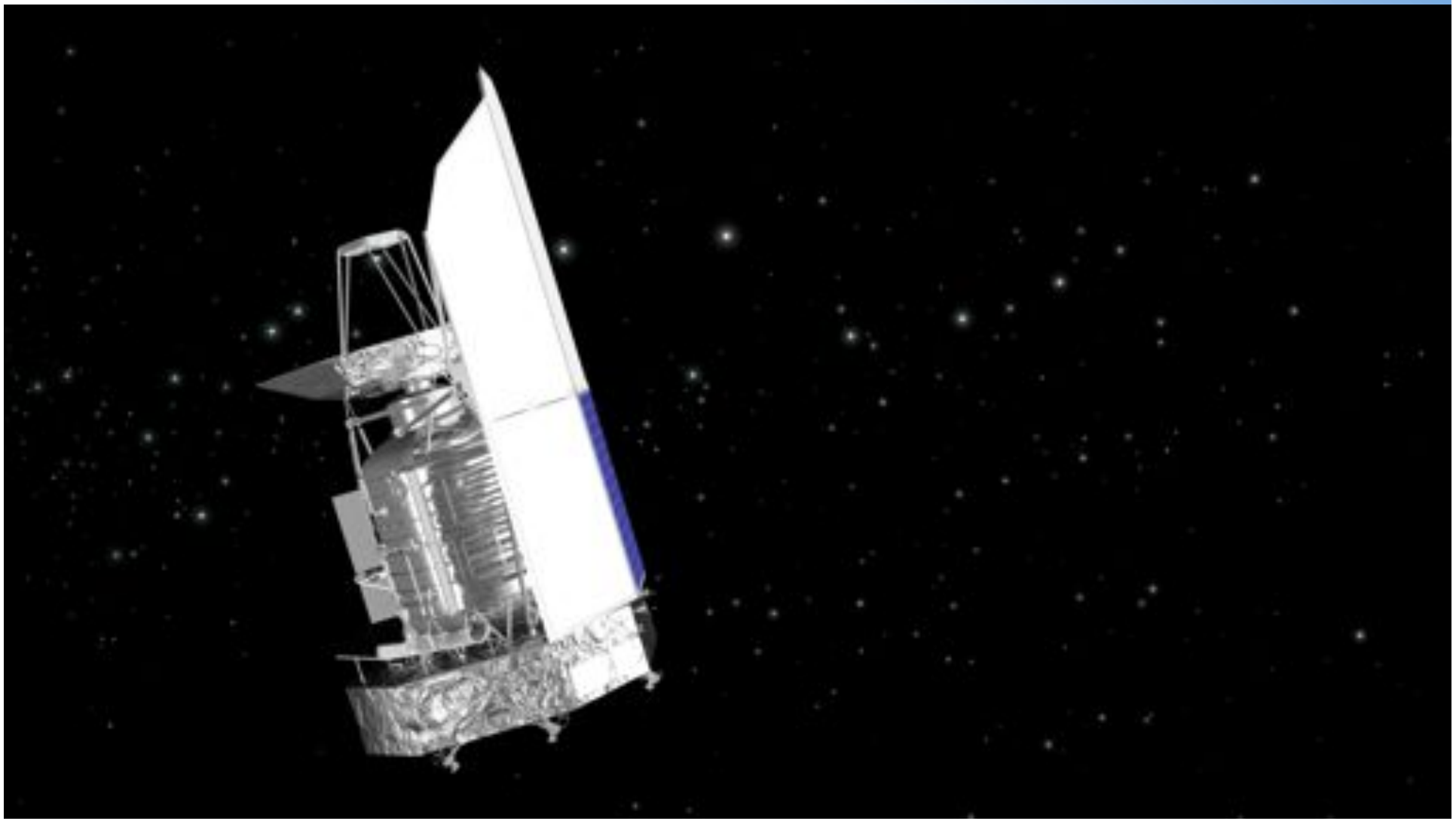
Table 2. Annual budget for European astronomy (M€/year)

European Southern Observatory (ESO) (member state contribution)	150
Cost of national ground-based facilities	250
European Space Agency (ESA) scientific program (member state contribution)	400
Cost of national contribution to ESA payload and national space projects	200
Cost of scientific staff and laboratories	1000
Total	2000
Expenses in industrial contracts	500

qui génère à son tour environ 1000 M€/an

Crédit image: Vigroux 2011

Prochain cours: étude de l'observatoire spatiale Herschel



Crédit image: ESA