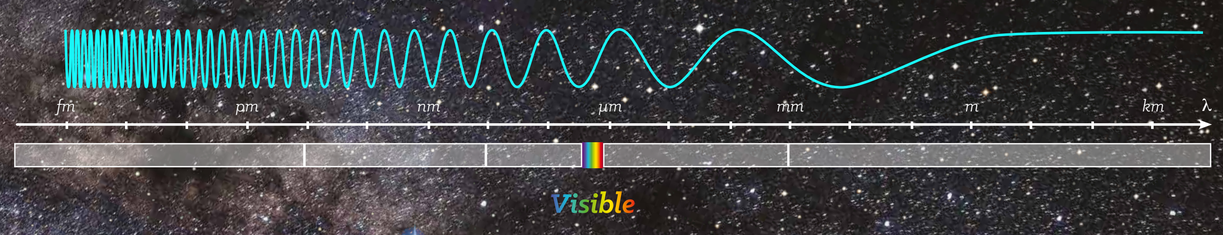
QUAND LES ASTRONOMES DÉCORTIQUENT LA LUMIÈRE

Du laboratoire à l'univers

L'astronome étudie des objets très lointains : il est impossible de s'en rapprocher, sauf pour ceux du Système solaire. Et même pour ceux-là, l'exploration est très difficile. La seule chose ou presque que l'on peut connaitre de l'Univers est donc la lumière qui nous en parvient.

La lumière a de nombreuses propriétés qui sont étudiées en laboratoire. Pendant longtemps, certaines autres propriétés n'ont été connues que par la théorie. L'astronome sait utiliser toutes ces propriétés de la lumière pour mieux comprendre les objets célestes qui nous l'envoient. Et il sait aussi donner les preuves que les théories sont justes.

Mais c'est quoi la lumière ?
La lumière est un transport d'énergie sans transport de matière. C'est un champ électrique associé à un champ magnétique qui voyagent ensemble dans l'espace : une onde électromagnétique. Comme les ondes sonores, ou les ondes de surface d'un caillou qu'on jette dans l'eau, cette onde peut être caractérisée par 2 nombres : son amplitude (de faible à intense) et la distance entre deux crêtes (la longueur d'onde). Cette longueur d'onde peut être kilométrique ou plus petite que la taille d'un atome. L'œil humain n'est sensible qu'à une toute petite fraction de ces ondes. Ce qu'on appelle la lumière visible.
Et originalité de la lumière, cette onde est liée à une particule élémentaire : le photon. C'est lui qui « porte » l'énergie de cette onde électromagnétique. Il a la particularité de ne pas avoir de masse.



Nous allons regarder comment l'astronome utilise chaque loi physique de la lumière pour explorer et mieux connaitre l'Univers.

ESO / C. Malin

Si la lumière est le principal messager des astres, il y a quelques autres possibilités pour l'astronome :

- ***les missions d'exploration spatiales***
- ***la récolte des météorites tombées sur Terre***
- ***la détection des particules cosmiques (noyaux atomiques et neutrinos)***
- ***la détection des ondes gravitationnelles (première détection le 14 septembre 2015)***

Exposition conçue et réalisée par l'Observatoire de Paris - PSL, avec le soutien de la SF2A
Conception et réalisation : Nicolas Lesté-Lasserre, Laurent Pagani, Sabrina Thiéry, Julien Dassa-Terrier
Graphisme et illustration : Camille Dégardin

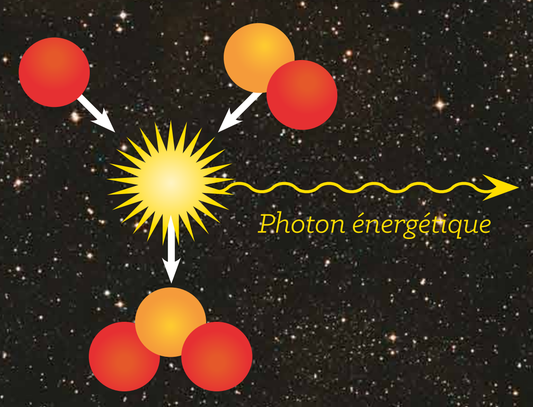
Photo de fond : Digitized Sky Survey 2 and ESA/Hubble. ESA/Hubble and Digitized Sky Survey 2. Acknowledgement: Davide De Martin (ESA/Hubble).

QUAND UN PHOTON ET UN ATOME SE RENCONTRENT

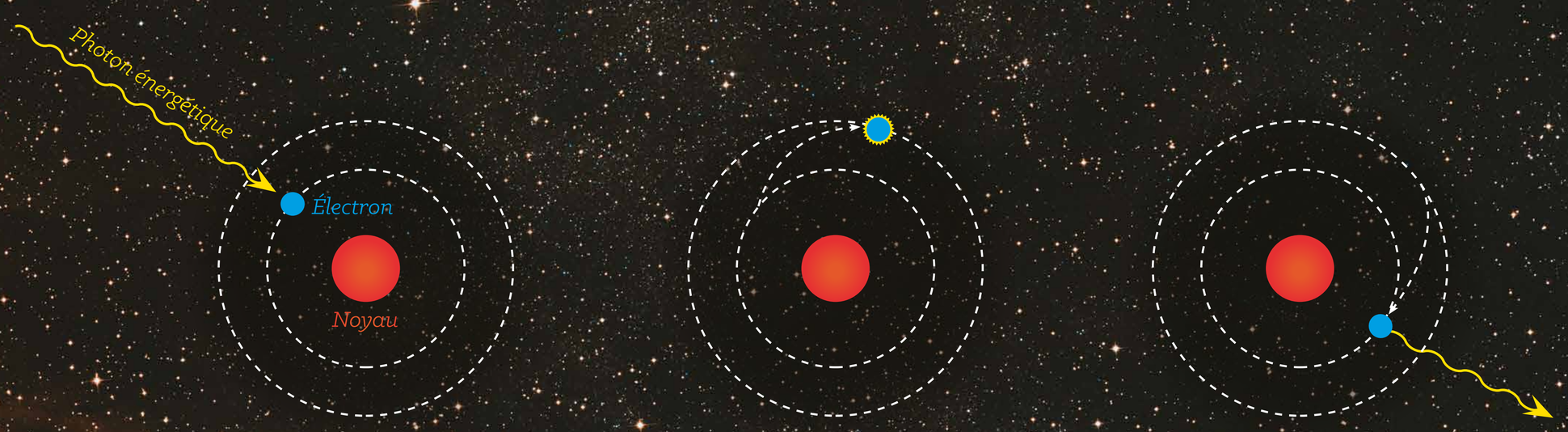
Le dialogue de la lumière et de la matière

Que dit la théorie ?
Autour du noyau de son atome, l'électron peut basculer sur une couche plus énergétique quand l'atome reçoit de l'énergie. L'électron cherche toujours à retrouver sa place. Pour ce faire, il libère alors le trop-plein d'énergie, sous la forme d'un photon. Le photon est une particule, sans masse, mais énergétique.

L'énergie de ce photon est égale à la différence d'énergie entre les deux couches de l'atome entre lesquelles saute l'électron. Cette énergie détermine la fréquence (ou la longueur d'onde) de l'émission d'énergie. C'est cette énergie qui donne la couleur de la lumière.
Pour simplifier, un photon « bleu » aura plus d'énergie qu'un photon « rouge ».



La majorité des photons visibles (ceux que l'œil peut voir) vient des étoiles. Mais pourquoi les étoiles brillent-elles ? Quand deux noyaux atomiques s'assemblent – la fusion nucléaire – il y a une formidable libération de particules, dont les photons. Au cœur du Soleil, les atomes d'hydrogène fusionnent pour produire des atomes d'hélium, et dégagent ainsi une énergie phénoménale.



Un photon (énergétique) percute un atome.

L'électron qui a absorbé l'énergie saute alors à une couche d'énergie plus forte. On dit que l'atome est « excité ».

L'atome cherche à se stabiliser. L'électron va rendre l'énergie (un photon) et retrouver son orbite d'origine.

Étudier les fréquences associées aux photons qui arrivent jusqu'à nous (leur couleur), c'est étudier à distance les atomes qui ont libéré ces photons. On peut donc étudier les atomes des étoiles et faire plein d'autres analyses.

Mais c'est quoi un atome ?
Tout élément de notre Univers, du Soleil à notre corps, qu'il soit solide, liquide ou gazeux, est composé d'atomes. Leur taille est très petite : un dixième de millionième de millimètre. Un atome contient un noyau situé en son centre et des électrons qui «tournent autour» du noyau. Ces électrons occupent des zones autour du noyau qui sont appelées couches électroniques. Les différentes couches correspondent chacune à un niveau d'énergie.

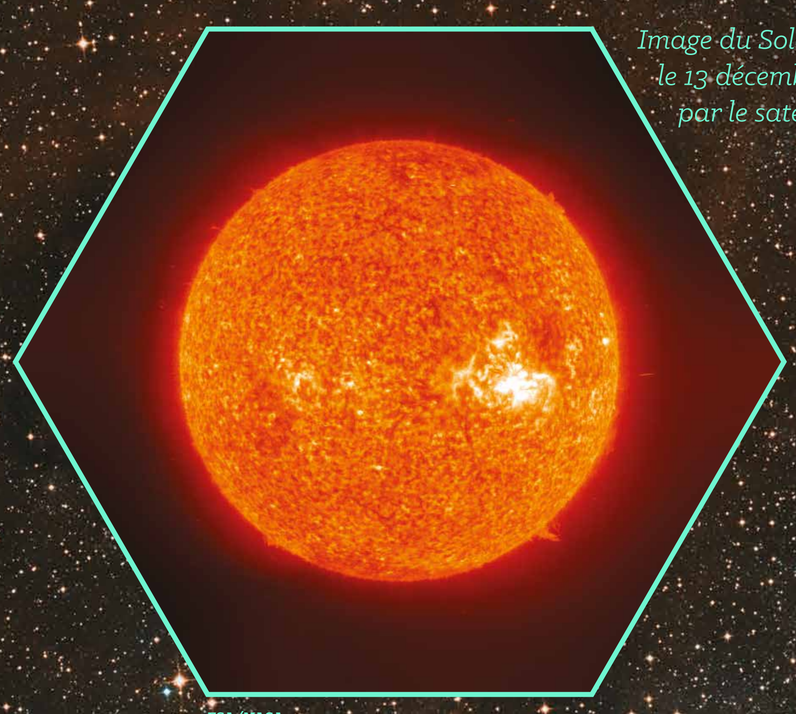


Image du Soleil prise le 13 décembre 2006 par le satellite SOHO

ESA/NASA

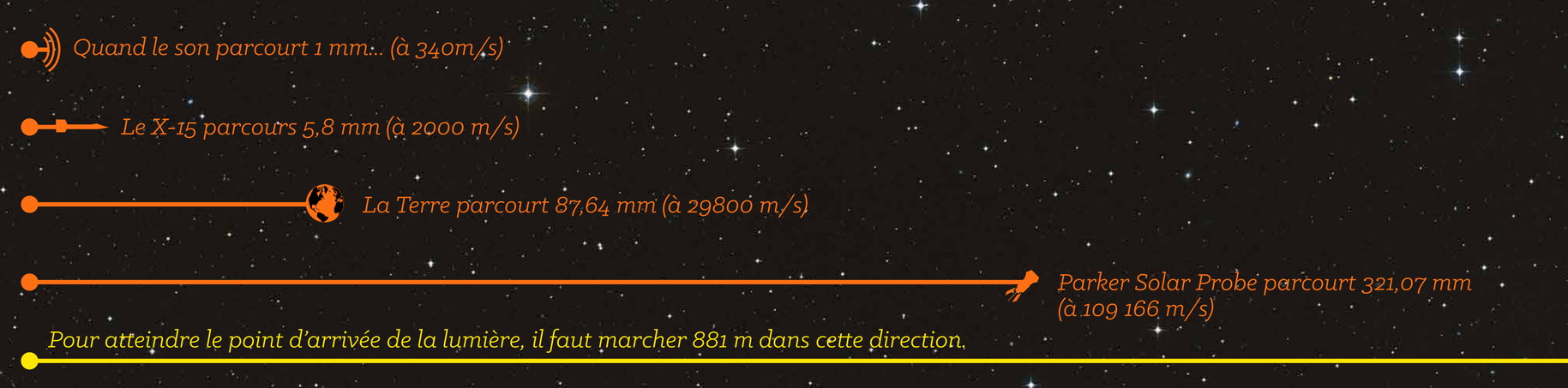
Il y a d'autres façons de fabriquer des photons : la rotation et la vibration des molécules, l'émission thermique des corps, l'accélération des électrons en présence de champ électrique ou magnétique, la conversion de matière en énergie (fusion nucléaire, annihilation matière-antimatière), etc. Ces énergies peuvent être très faibles ou très élevées.

Digital sky survey 2, Acknowledgment: David De Martin
ESO/Digitized Sky Survey 2

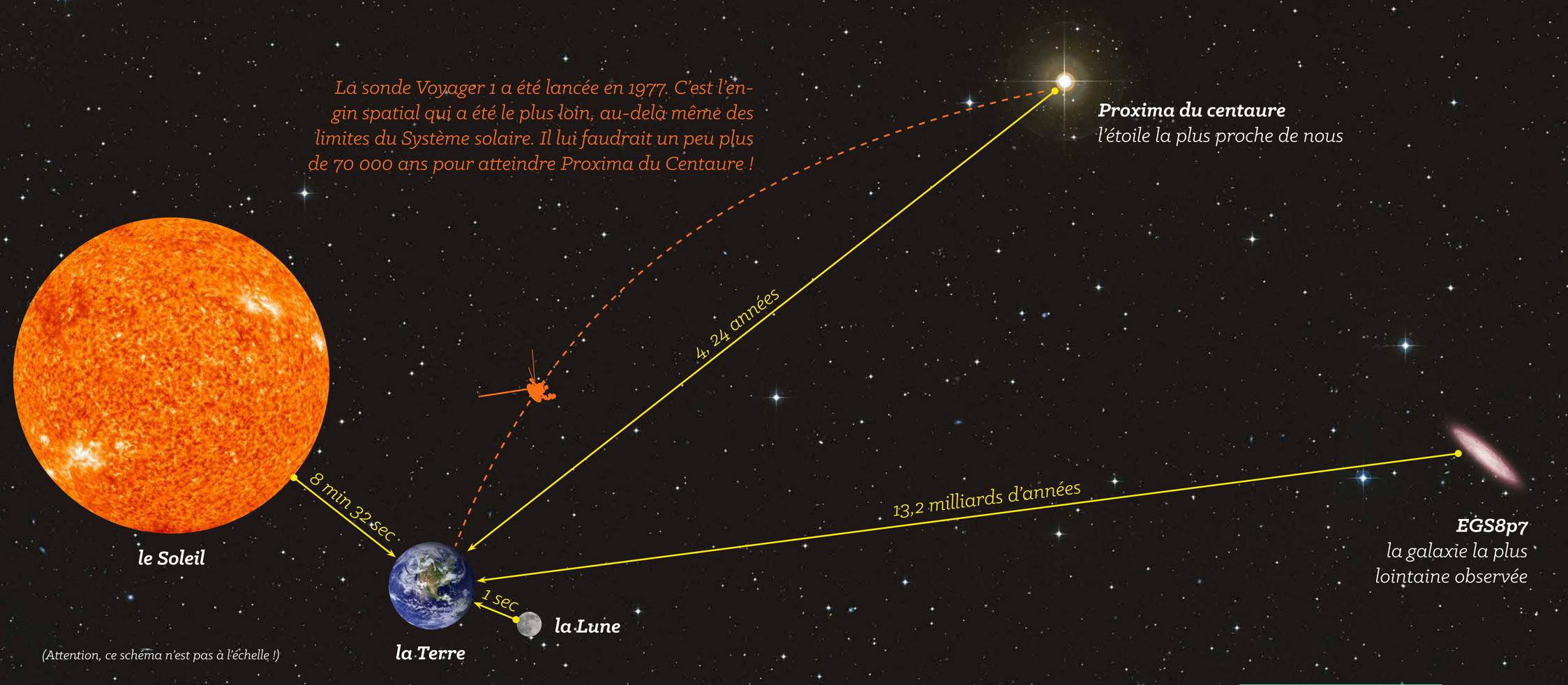
ELLE VA VITE ET LOIN, MAIS À SON RYTHME

La vitesse de la lumière

Que dit la théorie ?
La lumière voyage à une certaine vitesse. Dans le vide : 299 792 458 m/s. C'est la vitesse maximale de toutes choses dans l'Univers. Elle ne peut être atteinte que par des objets sans masse (les photons). Les objets massifs peuvent l'approcher mais jamais l'atteindre.



La sonde Voyager 1 a été lancée en 1977. C'est l'engin spatial qui a été le plus loin, au-delà même des limites du Système solaire. Il lui faudrait un peu plus de 70 000 ans pour atteindre Proxima du Centaure !

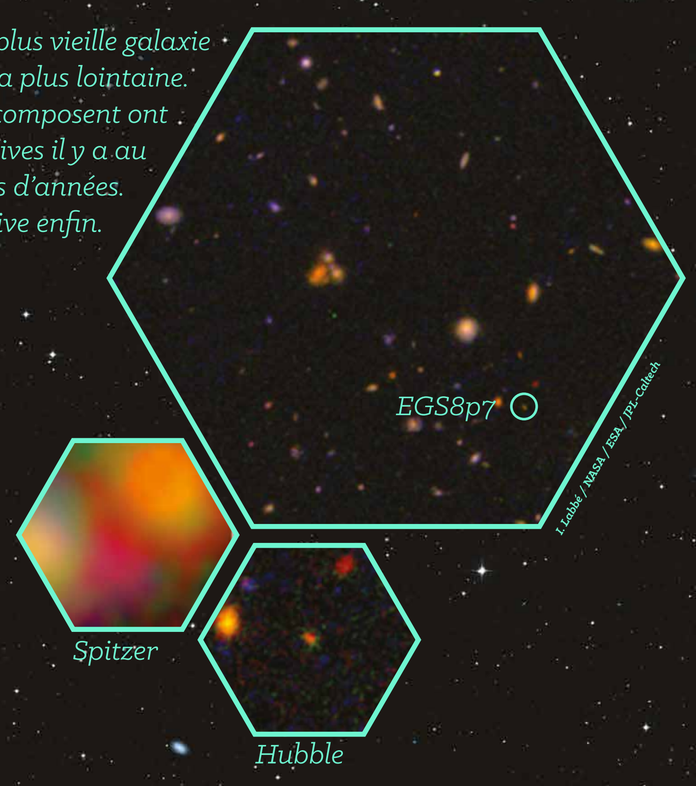


(Attention, ce schéma n'est pas à l'échelle !)

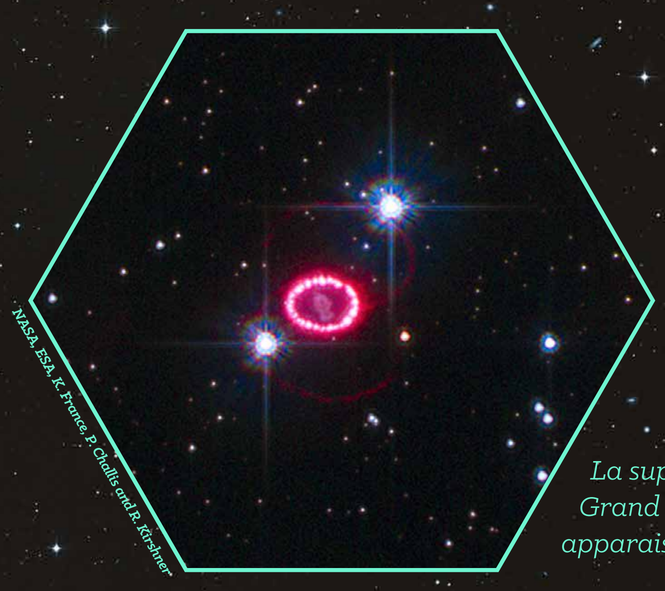
La lune tourne autour de la Terre à une vitesse de 3680 km/h mais on ne la voit quasiment pas bouger parce qu'elle est loin.

Observer les étoiles les plus lointaines, c'est les observer telles qu'elles étaient il y a très longtemps ; plusieurs années pour les étoiles proches, plusieurs milliards d'années pour les plus lointaines. On peut donc voir aujourd'hui l'explosion d'une supernova qui s'est produite il y a des milliards d'années.

EGS8p7 est la plus vieille galaxie identifiée, mais aussi la plus lointaine. Les étoiles qui la composent ont commencé à être actives il y a au moins 13,2 milliards d'années. Leur lumière nous arrive enfin.



Une année-lumière est une unité de longueur utilisée en astronomie. Son symbole est al. Une année-lumière est égale à la distance parcourue par la lumière dans le vide pendant une année, soit environ 10 000 milliards de kilomètres.



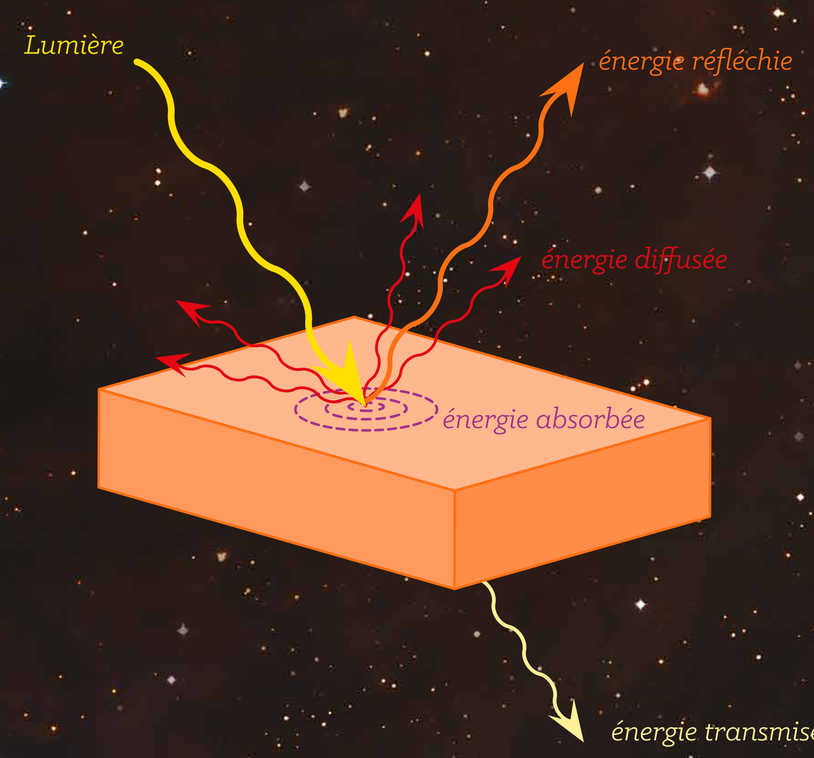
La supernova aperçue très récemment (en 1987) dans le Grand Nuage de Magellan a explosé alors que l'homo sapiens apparaissait sur la Terre.

Photo de fond : ESO/Digitized Sky Survey 2. Acknowledgment: Davide De Martin

DES PLANÈTES QUI BRILLENT... GRÂCE AU SOLEIL

Propagation de la lumière

Que dit la théorie ?
La lumière peut interagir avec la matière de quatre façons : par réflexion, par diffusion, par transmission et par absorption. La totalité de l'énergie reçue se retrouve dans ces énergies.



La totalité de l'énergie reçue se retrouve dans les énergies réfléchies, diffusées, transmises et absorbées

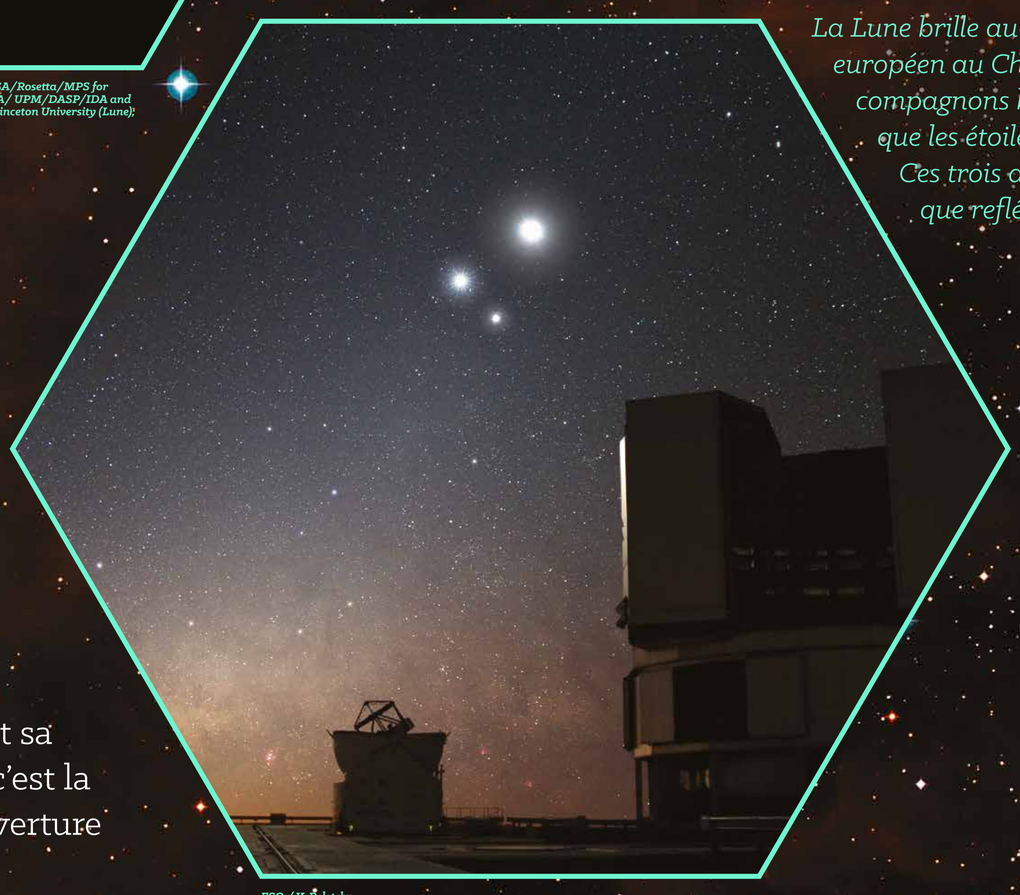
La Lune n'émet pas de photons visibles par elle-même. Mais les photons provenant du Soleil interagissent avec la poussière de la surface de la Lune. Une partie de ces photons sont diffusés et réfléchis. Nous pouvons donc voir la Lune, même si elle ne reflète que 8,3% à 13,6% de la lumière reçue. Chauffée par les 91,7% à 86,4% restants, la Lune brille... dans l'infrarouge que nous ne voyons pas.

Images d'Encelade, la Terre, la Lune, et la comète 67P/C-G (Tchoury), avec leur luminosité respective. Encelade, lune de Saturne, est très lumineuse parce qu'elle est recouverte de glace. La comète Tchoury est noire comme du charbon.

NASA/JPL/Space Science Institute (Encelade); ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/RSSD/INTA/ UPM/DASP/IDA and Gordan Ugarkovich (Terre); Robert Vanderbei, Princeton University (Lune); ESA/Rosetta/NAVCAM (67P/C-G)

Les astéroïdes peuvent être très différents les uns des autres. Certains sont faits principalement de carbone, et ne reflètent pas plus de lumière que la Lune. Et comme ils sont petits, ils passent très facilement inaperçus. D'autres sont composés d'un mélange de fer et nickel, et reflètent jusqu'à 20% de la lumière reçue.

La Lune brille au-dessus de l'observatoire européen au Chili, avec deux compagnons bien plus brillants que les étoiles : Vénus et Jupiter. Ces trois astres ne font pourtant que refléter la lumière du Soleil.



ESO / Y. Beletsky

La planète Vénus est recouverte d'une atmosphère principalement faite d'acide sulfurique. Ces nuages reflètent beaucoup de lumière, environ 75%. De part sa proximité à la Terre et au Soleil et de part sa taille, c'est la planète la plus brillante du Système solaire. Sa couverture nuageuse renforce encore plus sa brillance.

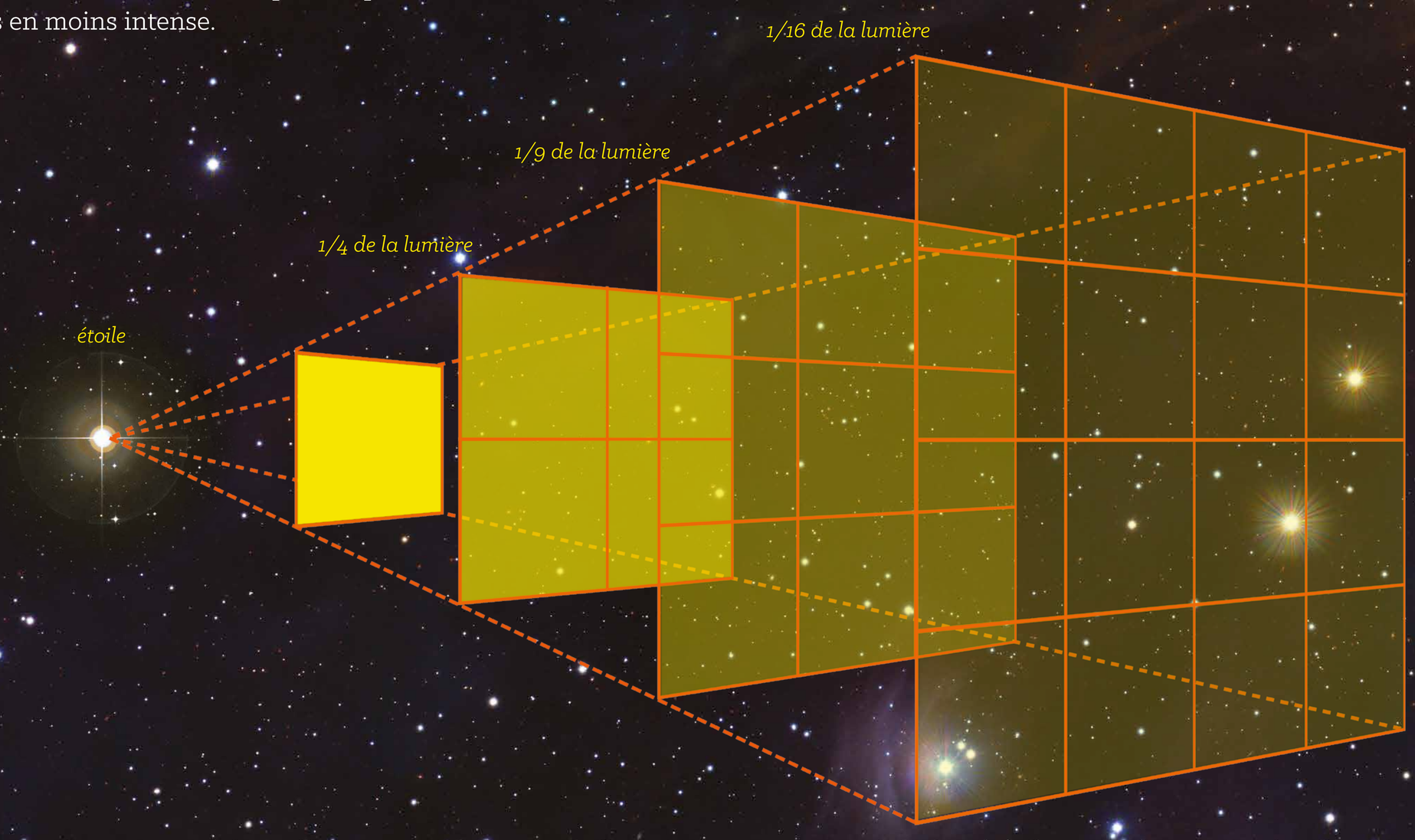
Photo de fond : ESO/Digitized Sky Survey 2. Acknowledgement: Davide De Martin

UNE PETITE LUEUR AU LOIN

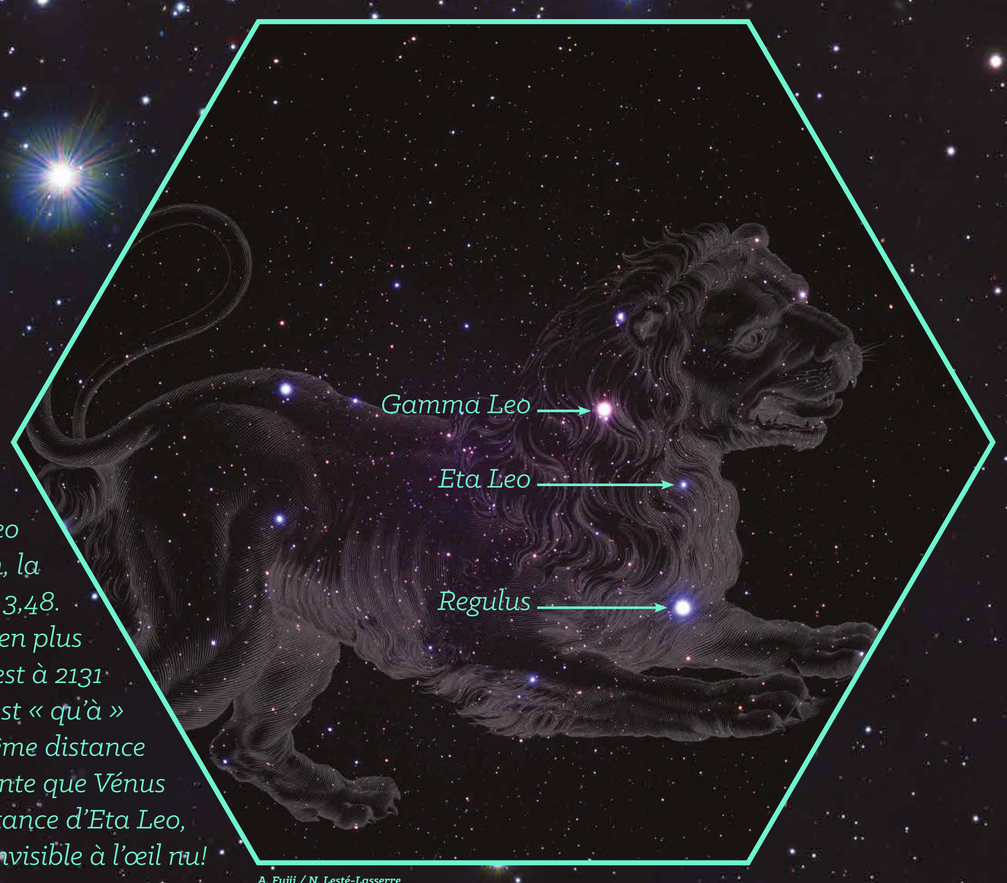
Intensité et magnitude

Que dit la théorie ?
L'intensité de la lumière diminue avec la distance parcourue, selon une loi mathématique bien connue : elle décroît comme l'inverse du carré de la distance parcourue

La lumière émise par une étoile va se répartir sur une surface de plus en plus grande au fur et à mesure qu'elle s'éloigne de l'étoile. Cette lumière sera de plus en plus diluée, et donc de moins en moins intense.



La brillance observée (magnitude apparente) d'un astre dépend donc de la brillance réelle de l'astre (magnitude absolue) et de la distance qui nous en sépare. Plus le chiffre de la magnitude est faible, plus l'astre apparaît brillant.
La Lune qui reflète moins de lumière que Vénus est quand même vue plus brillante parce qu'elle est plus près.



Dans la constellation du Lion, l'étoile Regulus apparaît comme la plus brillante avec une magnitude de 1,36. Gamma Leo est presque aussi brillante avec 2,1. Enfin, la magnitude apparente d'Eta Leo n'est que de 3,48. Pourtant, Eta Leo est intrinsèquement bien plus brillante. Eta Leo, une étoile super-géante, est à 2131 années-lumière, alors que Regulus n'est « qu'à » 77 années-lumière. Si Eta Leo était à la même distance que Regulus, elle apparaitrait aussi brillante que Vénus alors que si Regulus était à la distance d'Eta Leo, elle serait invisible à l'œil nu!

A. Fujii / N. Lesté-Lasserre

La supernova SN1994D (en bas à gauche), bien que très excentrée, fait partie de la galaxie NGC 4526. Elle permet d'en mesurer la distance : 50 millions d'années lumière.

NASA / ESA

Un certain type de supernovæ (des étoiles qui ont explosé à la fin de leur vie) est connu pour avoir une luminosité (la magnitude absolue) relativement constante et très bien déterminée par les astrophysiciens. Comparer la luminosité connue (théorique) et la luminosité observée permet d'en déduire la distance. Elles servent alors de références pour calculer les distances des galaxies lointaines.

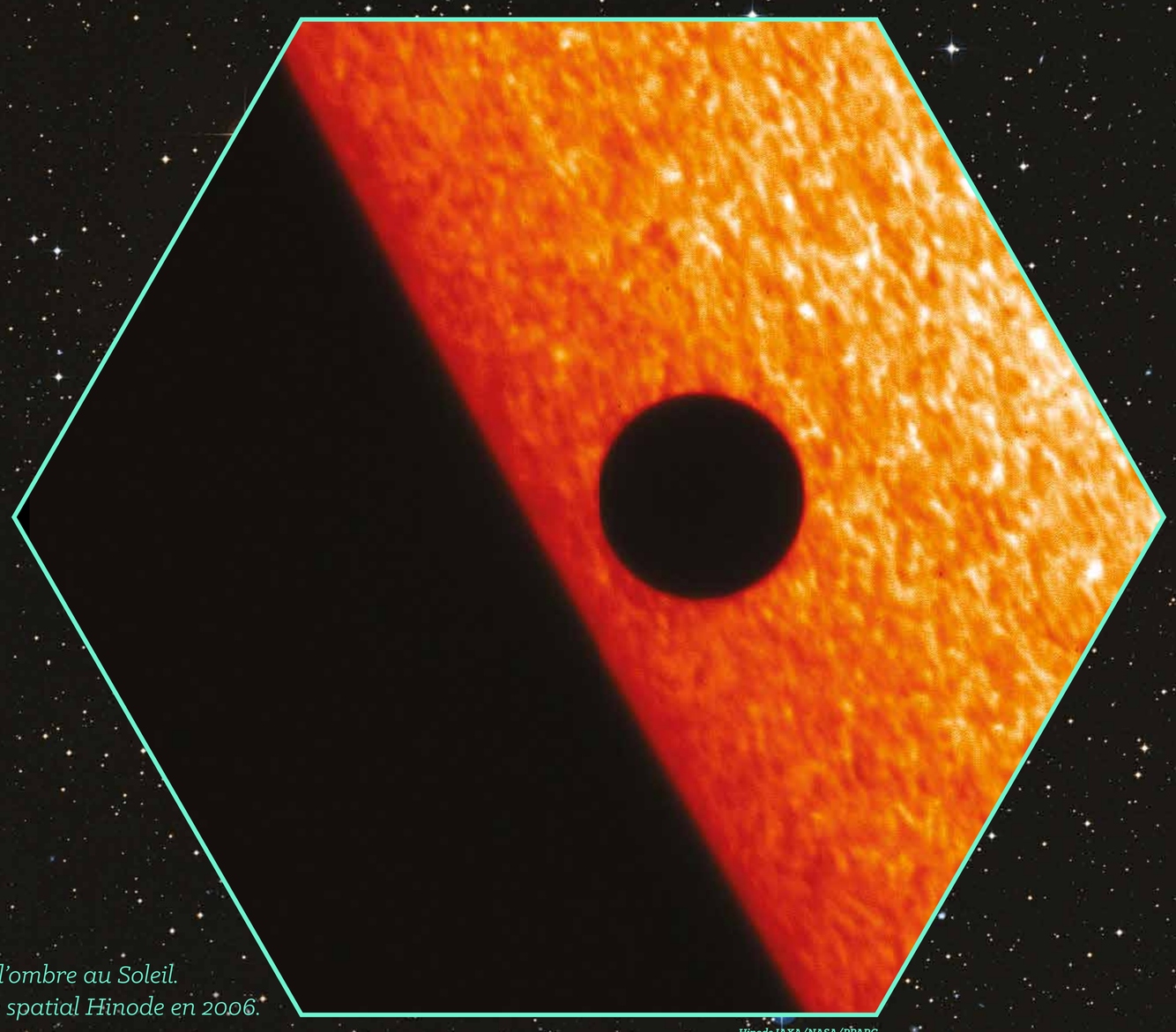
Photo de fond : ESO/J. Emerson/VISTA. Acknowledgment: Cambridge Astronomical Survey Unit

FAIRE DE L'OMBRE AUX ÉTOILES

Variation de l'intensité

Que dit la théorie ?
Si un objet est placé sur le chemin de la lumière, il fait de l'ombre.
On observe alors une baisse de luminosité.

Dans le cas du passage d'une petite planète devant le Soleil, la baisse de luminosité est infime mais mesurable.



La planète Mercure fait de l'ombre au Soleil.
Image prise par le télescope spatial Hinode en 2006.

Hinode JAXA/NASA/PPARC

Si une planète passe devant une étoile très lointaine, les télescopes sont capables de détecter la baisse de luminosité. La variation de luminosité renseigne sur le rapport entre le diamètre apparent de la planète et le diamètre de l'étoile.
La durée de la baisse de luminosité renseigne sur la période de révolution de la planète autour de l'étoile.
C'est l'une des méthodes employées pour détecter les exoplanètes.

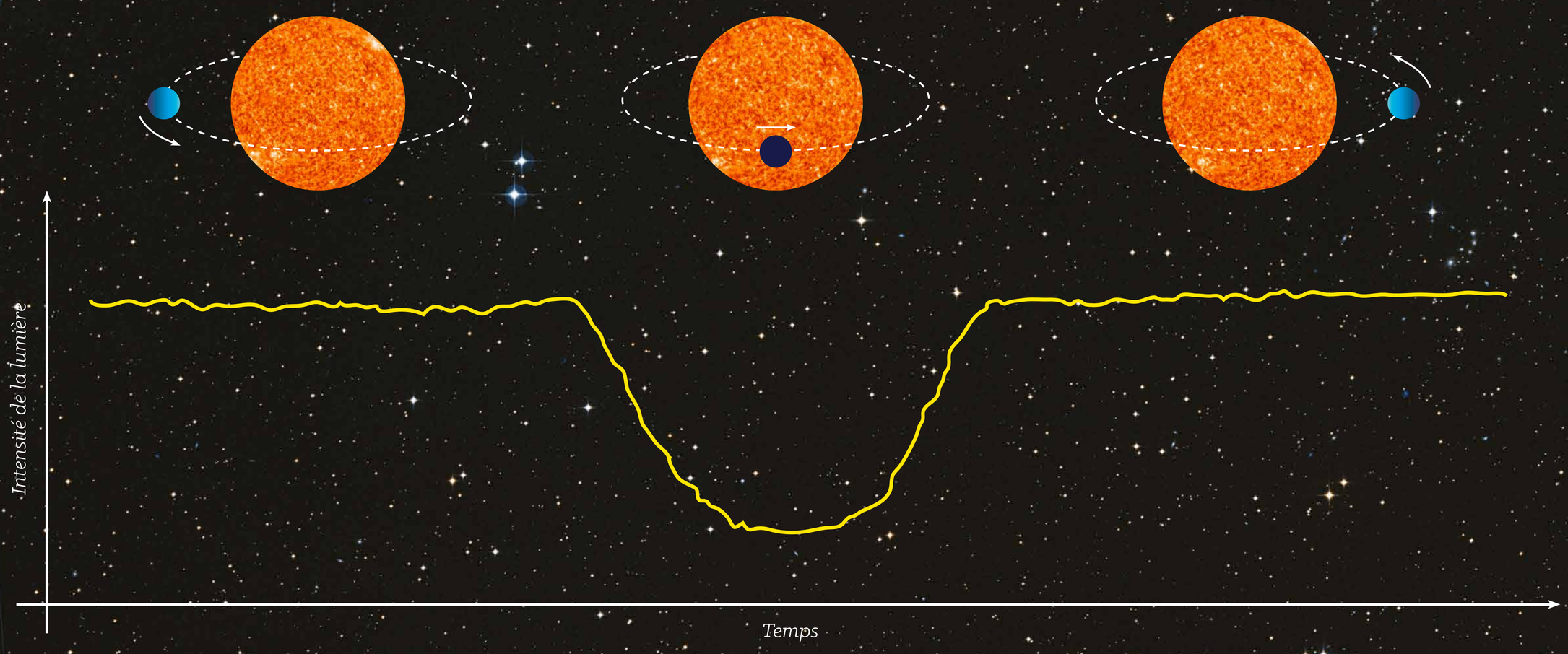


Photo de fond :
Digitized Sky Survey 2 and ESA/Hubble, ESA/Hubble and Digitized Sky Survey 2. Acknowledgement: Davide De Martin (ESA/Hubble)

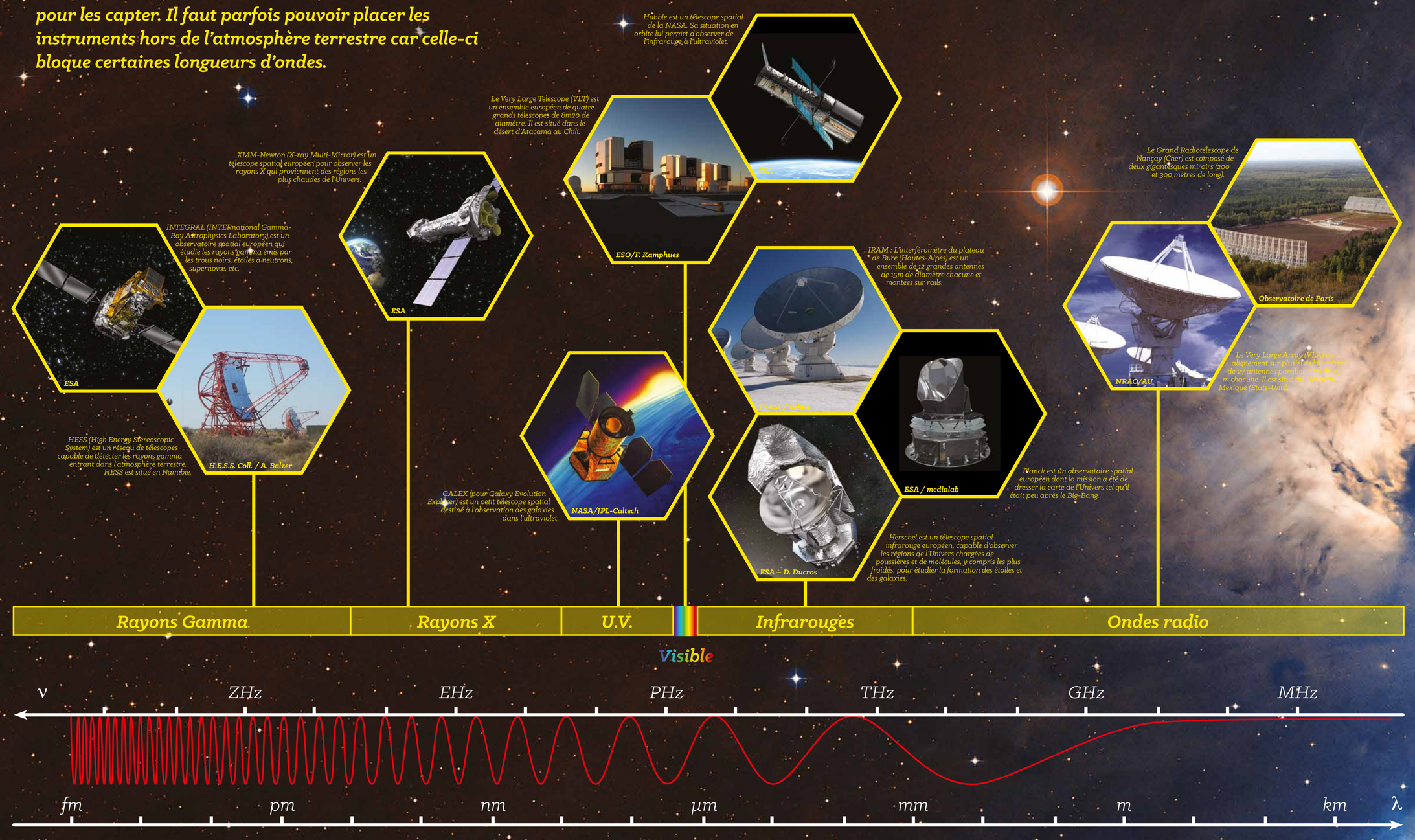
LES LUMIÈRES QUE L'ON NE VOIT PAS

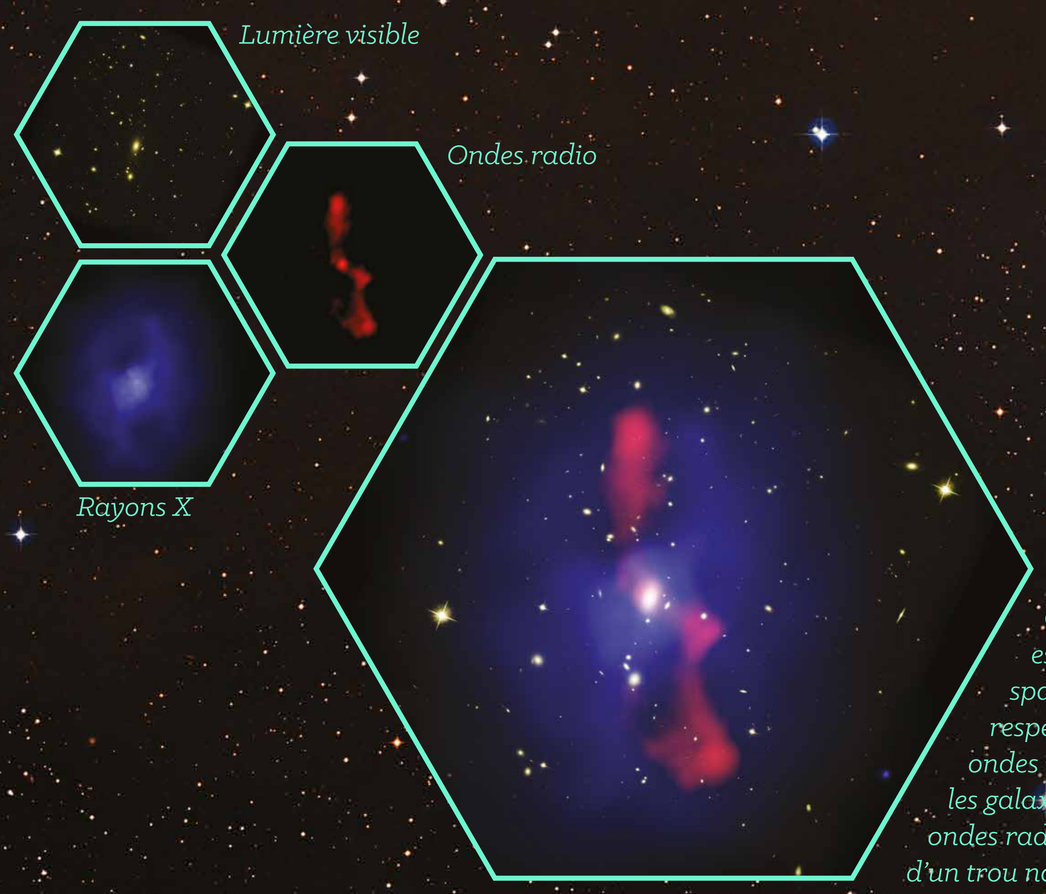
Le spectre électromagnétique

Que dit la théorie ?
Si l'on décompose la lumière, par exemple à travers un prisme, on en voit le spectre. Ce spectre ne se limite pas aux couleurs de l'arc-en-ciel, la partie visible de la lumière. Le spectre lumineux va des très petites ondes (rayons gamma) aux très grandes (ondes radio). On parle alors de spectre électromagnétique. Si l'œil ne voit que la partie visible de la lumière, on sait réaliser des instruments qui peuvent détecter les autres longueurs d'ondes.

Les étoiles, avec leurs atomes soumis à de très fortes températures, émettent de la lumière à toutes les longueurs d'ondes. On dit alors que le spectre est continu.

Les différentes longueurs d'onde (ou fréquences) de la lumière nécessitent des instruments très variés pour les capter. Il faut parfois pouvoir placer les instruments hors de l'atmosphère terrestre car celle-ci bloque certaines longueurs d'ondes.





NASA / ESA / CXC / STScI / B. McNamara / NRAO / L. Birzan and team

Cette image de l'amas de galaxies MS 0735.6+7421 est composée avec les images prises par les télescopes spatiaux Hubble et Chandra et le radiotélescope VLA, respectivement dans les rayons X, la lumière visible et les ondes radio. La lumière visible ne montre que les étoiles et les galaxies, les rayons X montrent le gaz chaud de l'amas, les ondes radio montrent les jets de particules énergétiques issus d'un trou noir supermassif central.

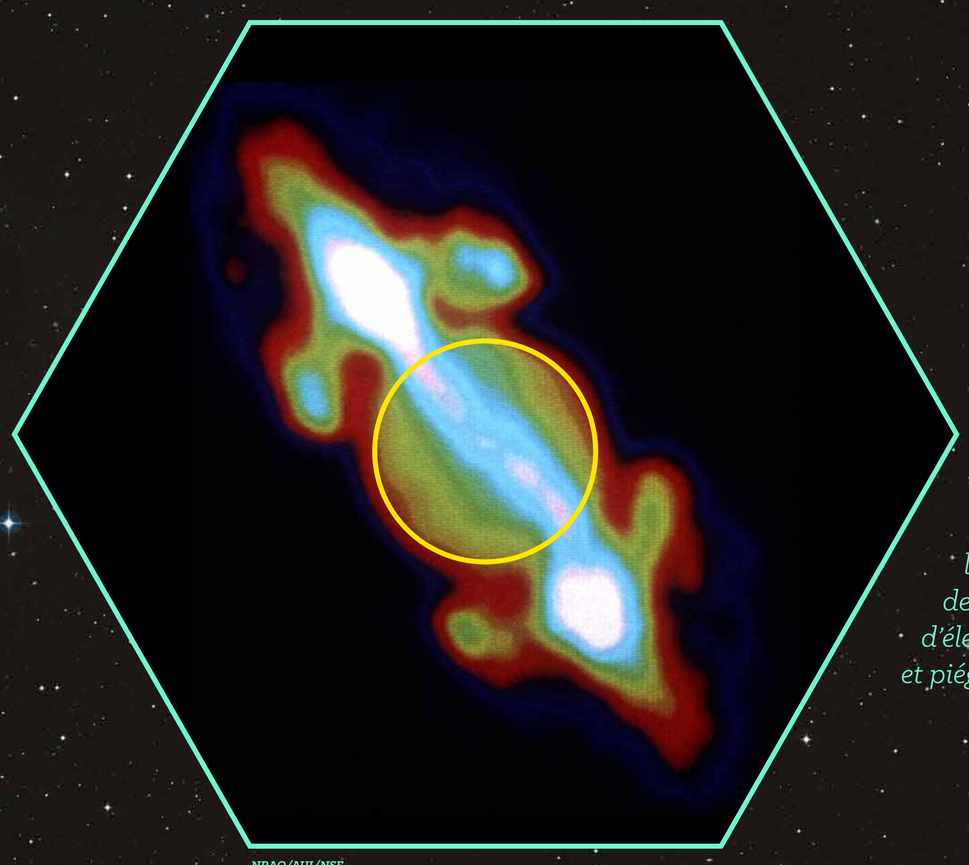
Un astre ou même une partie de l'espace apparemment vide observé dans différentes longueurs d'ondes, va montrer des choses très différentes.

Photo de fond : ESO and Digitized Sky Survey 2. Acknowledgment: Davide De Martin

AU-DELÀ DU VISIBLE

Les très petites et très grandes fréquences du spectre électromagnétique

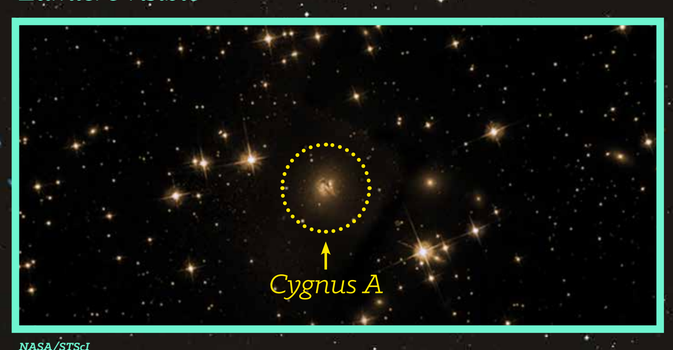
Observer dans toutes les longueurs d'ondes est essentiel pour bien comprendre la physique des astres. De notre Soleil, des planètes, aux galaxies lointaines, tous les astres ont quelque chose à révéler au-delà de la lumière visible. La multiplicité des sources à observer et des techniques à utiliser demande de grandes innovations technologiques pour réaliser les instruments.



NRAO/AUI/NSF

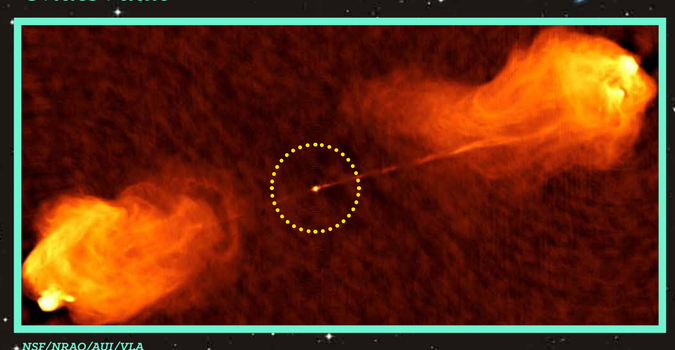
Image radio révélant les ceintures de radiations de Jupiter, superposées à l'émission thermique de la planète. Le cercle jaune marque la taille optique de Jupiter. Les ceintures de radiation sont formées d'électrons et protons énergétiques issus du vent solaire et piégés dans le champ magnétique de Jupiter.

Lumière visible



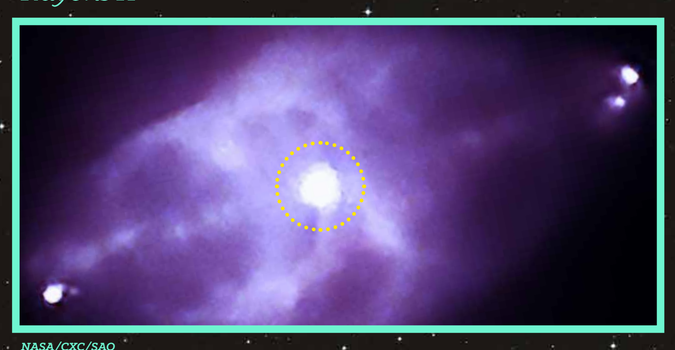
NASA/STScI

Ondes radio



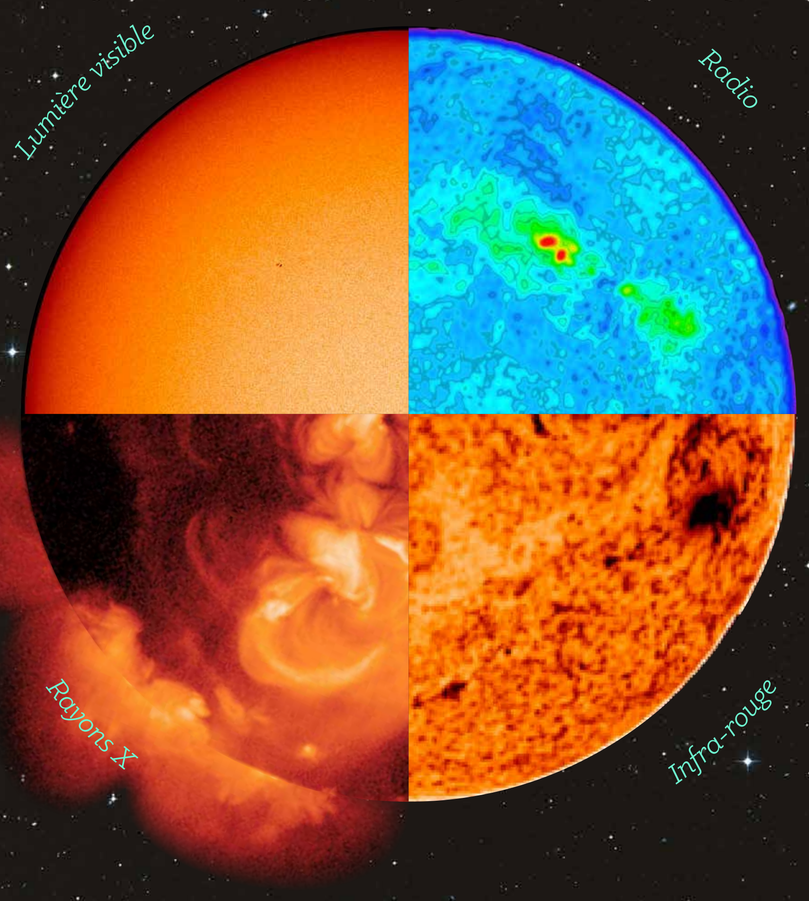
NSF/NRAO/AUI/VLA

Rayons X



NASA/CXC/SAO

La galaxie Cygnus A toute petite au centre de l'image optique contient un trou noir super-massif en son centre.
La lumière visible ne le révèle pas.
C'est en observant en rayons X ou en ondes radio (les trois images sont à l'échelle) que l'on découvre l'existence de ce trou noir par son impact sur l'environnement à grande échelle de cette galaxie.



Observation dans différentes gammes de lumière (visible, infra-rouge, rayons X et radio) permettant d'étudier les structures présentes dans les différentes couches de l'atmosphère solaire : taches au niveau de l'atmosphère basse, filaments et régions actives dans la couronne.

X-ray: ISAS/Yohkoh team/Lockheed Palo Alto Research Laboratory
Radio : NRAO/AUI and Stephen White
Infrared : NSO/AURA/NSF
Visible : NASA/SDO

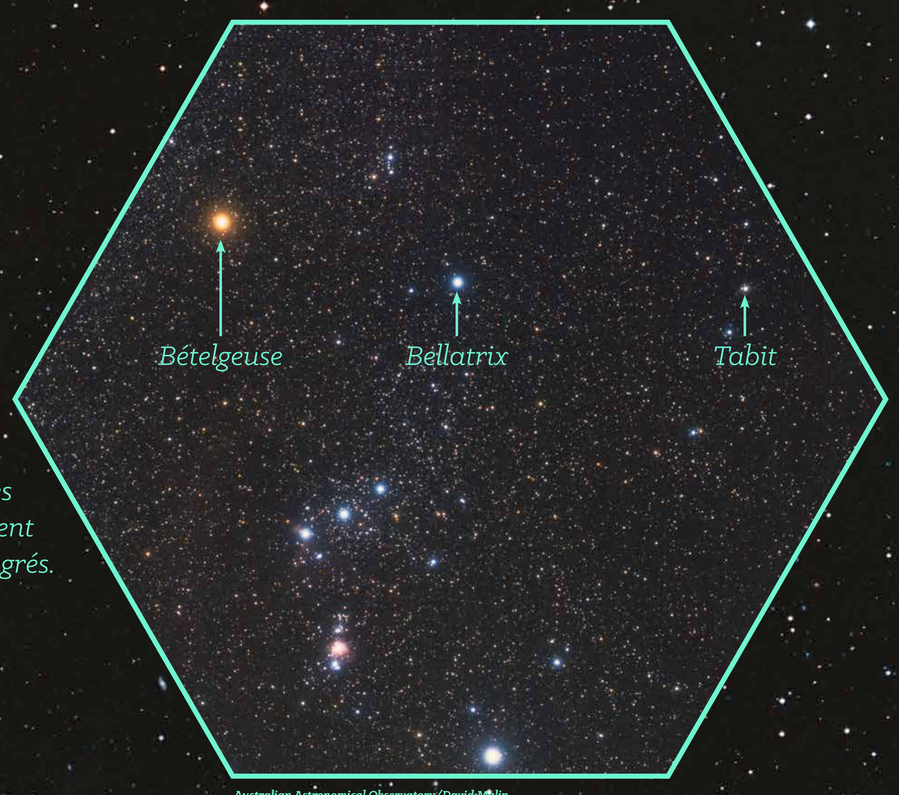
Photo de fond :
ESO/Digitized Sky Survey 2. Acknowledgment: Davide De Martin

PLUS C'EST BLEU, PLUS C'EST CHAUD

Longueur d'onde et chaleur

Que dit la théorie ?
Il y a une relation entre la longueur d'onde de la lumière qu'un objet émet principalement et sa température. Une flamme bleue est plus chaude qu'une flamme rouge.

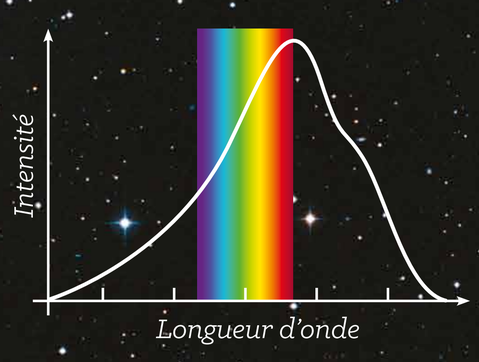
Pour mesurer la température d'une étoile, il faut pouvoir décomposer sa lumière pour en obtenir le spectre : faire de la spectroscopie. Ce spectre montre des intensités variables aux différentes longueurs d'ondes. Mesurer ces intensités permet de déduire la température de l'étoile.

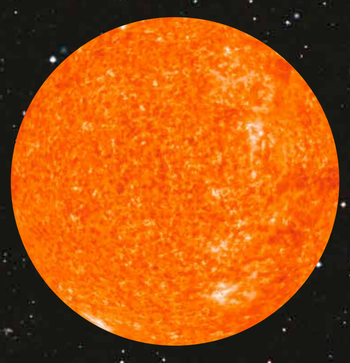


Les étoiles les plus « froides » sont rouges (c'est leur couleur dominante) et ont une température proche de 3000 degrés. Les étoiles les plus chaudes sont bleues et peuvent atteindre 50 000 degrés.

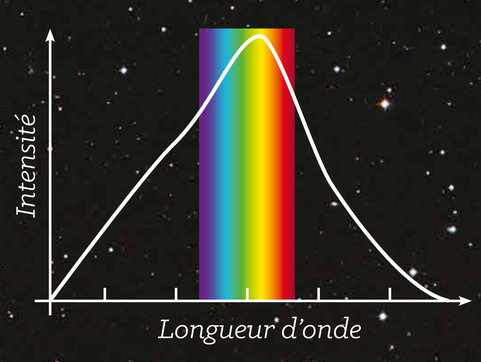
Australian Astronomical Observatory/David Malin

Ces trois étoiles de la constellation d'Orion montrent des couleurs différentes. C'est parce qu'elles ont des températures très inégales (en surface).

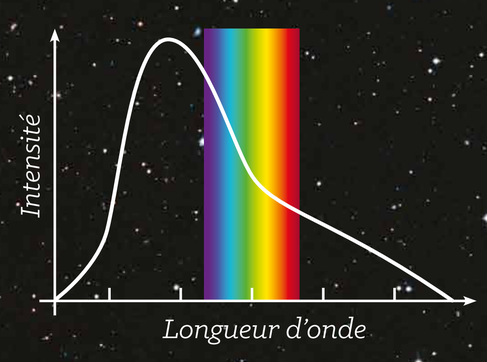


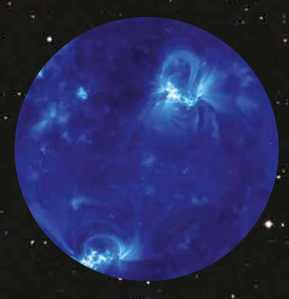


Bételgeuse *est une supergéante rouge, à 3500 degrés. Elle rayonne beaucoup dans la couleur rouge.*

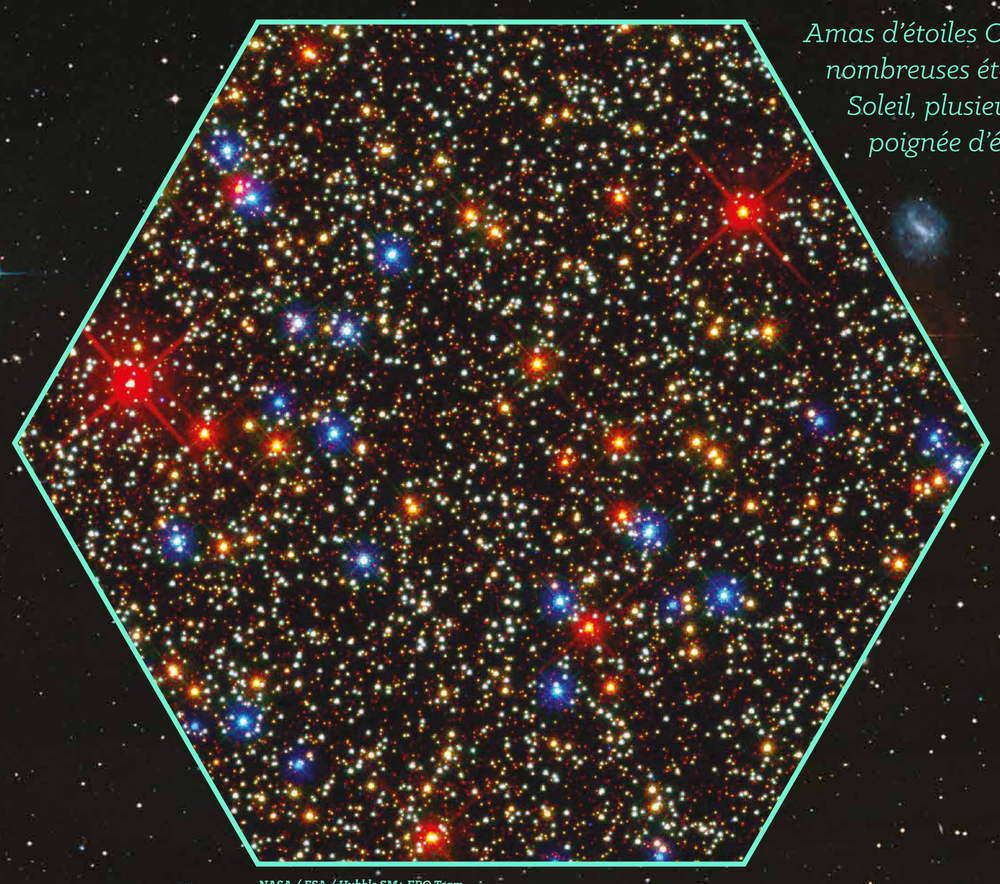


Tabit *est une naine jaune, à 6600 degrés.*





Bellatrix *est une géante bleue, à 21 500 degrés. Elle rayonne surtout dans l'ultra-violet.*



Amas d'étoiles Omega du Centaure. On y voit de nombreuses étoiles blanches ou jaunes comme notre Soleil, plusieurs étoiles rouges ou orangées, et une poignée d'étoiles bleues, les plus chaudes.

NASA / ESA / Hubble SM4 ERO Team

La chaleur déduite de l'observation du spectre d'une étoile est celle de la surface de l'étoile. Pour notre Soleil, la température de sa surface (la photosphère) est d'environ 5800 degrés, la température de son cœur est estimée à 16 millions de degrés.

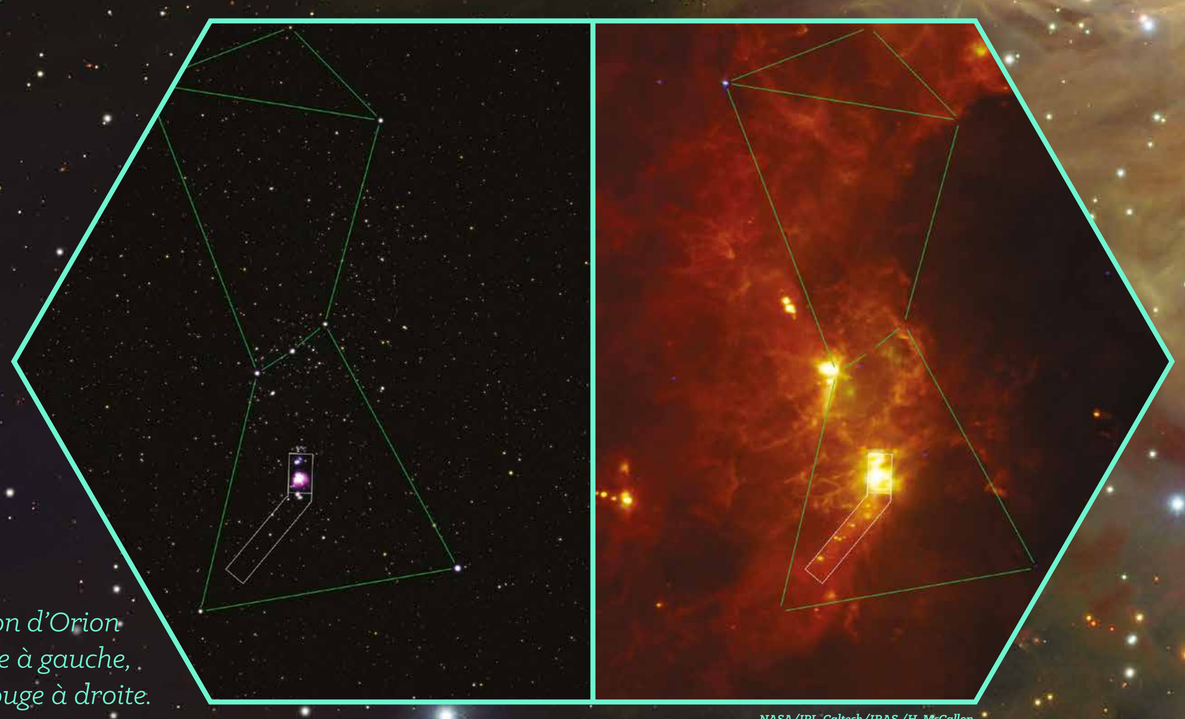
Photo de fond : ESO and Digitized Sky Survey 2. Acknowledgment: Davide De Martin / Images Bételgeuse, Tabit, Bellatrix : Droits réservés

COMMENT ILLUMINER LES POUSSIÈRES

Le ciel en infrarouge

Que dit la théorie ?
L'infrarouge est la partie du spectre électromagnétique qui s'étend de la frontière de la lumière visible (frontière rouge) à celle des ondes radio submillimétriques.

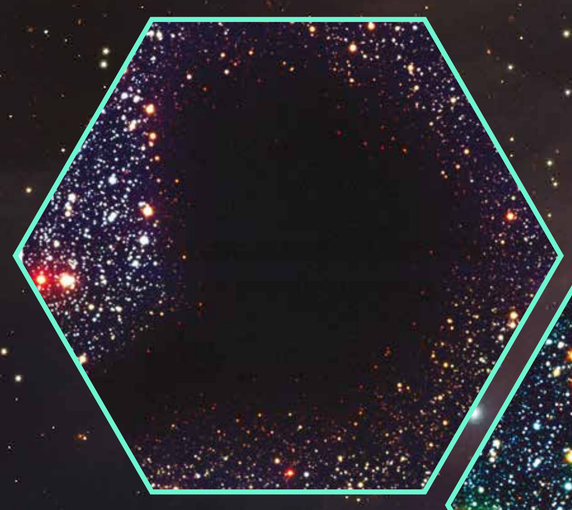
Les poussières qui flottent dans l'espace absorbent la lumière visible. Dans la Voie Lactée, ces bandes opaques de poussières forment des trainées noires. Observées dans l'infrarouge, ces bandes révèlent la lumière qui interagit avec cette poussière interstellaire – les grains de poussière chauffés réémettent principalement dans les fréquences de l'infrarouge.

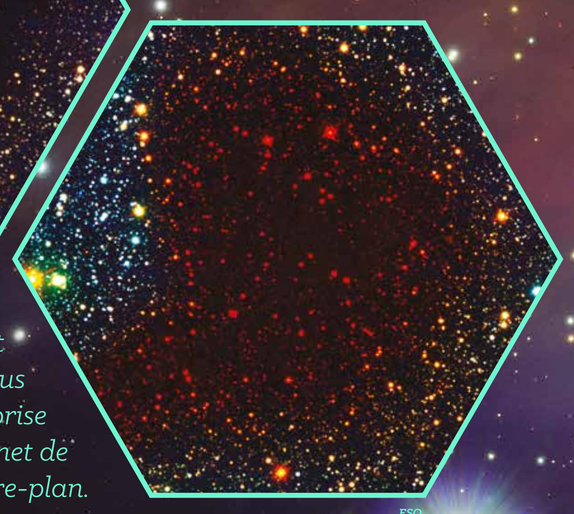


Vue de la constellation d'Orion en lumière visible à gauche, en infrarouge à droite.

NASA/JPL-Caltech/IRAS /H. McCallon

Observer dans la longueur d'onde des infrarouges permet de voir la lumière des étoiles qui interagit avec les nuages moléculaires mais qui est absorbée dans la partie visible du spectre. Les nuages apparemment opaques révèlent en infrarouge les étoiles cachées derrière. Opaque à la lumière visible ne veut pas dire opaque à toutes les longueurs d'ondes.

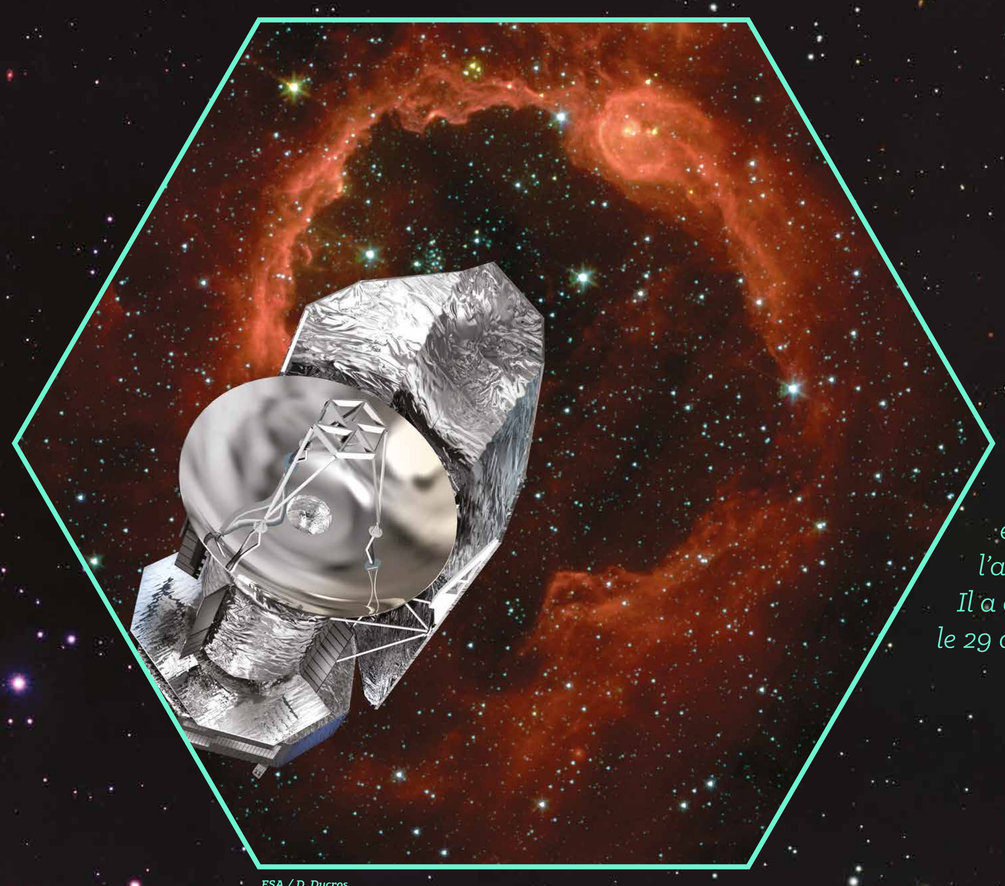




Le nuage moléculaire appelé Barnard 68, dans la constellation du Serpentaire. Sur l'image de gauche, en lumière visible, l'éclat des étoiles sur le bord du nuage est diminué et rougi. Au centre, plus aucune étoile n'est visible à cause de ce nuage. L'image de droite, prise en infrarouge où les poussières absorbent moins la lumière, permet de percer le rideau de poussière et nous dévoile les étoiles d'arrière-plan.

ESO

Une grande partie de la lumière infrarouge est absorbée par la vapeur d'eau de notre atmosphère. Les télescopes infrarouges sont installés à des altitudes élevées, ou mieux en orbite.



ESA / D. Ducros

Le télescope spatial Herschel doit son nom au physicien William Herschel qui découvrit l'infrarouge en 1800. C'est le plus grand télescope spatial pour l'astronomie dans l'infrarouge et le submillimétrique. Il a été lancé le 14 mai 2009 et a arrêté de fonctionner le 29 avril 2013.

Photo de fond : ESO/J. Emerson/VISTA. Acknowledgment: Cambridge Astronomical Survey Unit

UNE LUMIÈRE CODÉE

Les raies d'émission et d'absorption

Que dit la théorie ?
Les gaz ne réagissent à la lumière que dans de toutes petites portions du spectre, les raies. Ils bloquent la lumière uniquement dans ces raies, ou au contraire émettent uniquement dans ces raies quand ils ont été chauffés. Les spectres montrant ces raies sont appelés les spectres d'absorption et d'émission.
En comparant les spectres de gaz obtenus en laboratoire au spectre d'un astre, on peut retrouver les mêmes raies et donc déduire la présence de tel ou tel atome dans l'étoile. Les raies d'absorption et d'émission sont les codes-barres identitaires des atomes.

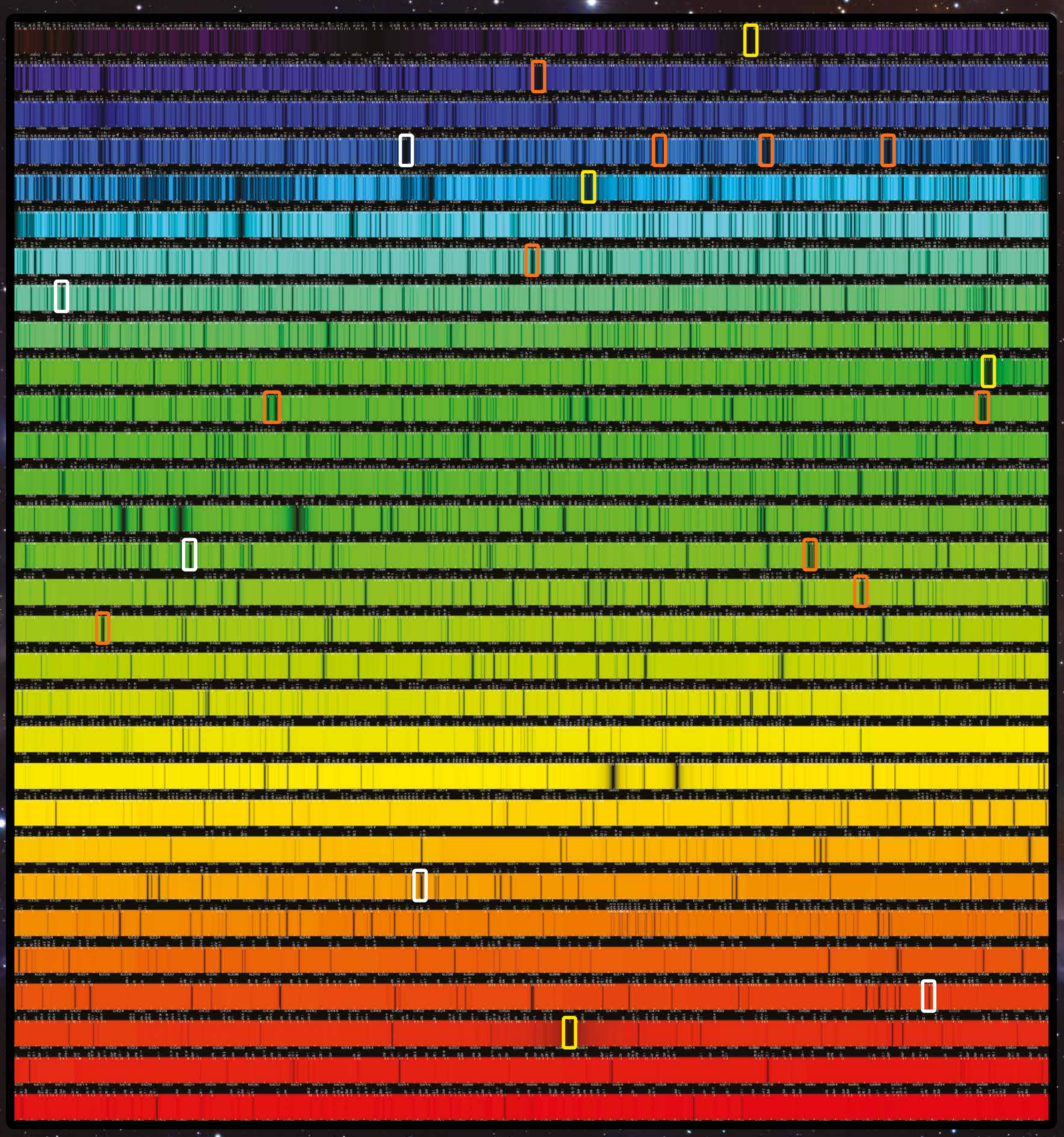
Les raies caractéristiques de presque tous les atomes présents dans l'Univers se retrouvent dans le spectre du Soleil. Ces raies nous renseignent sur les atomes présents dans les couches externes du Soleil, sur les poussières et gaz situés entre le Soleil et nous, mais également sur les atomes présents dans l'atmosphère terrestre.

La partie visible du spectre du Soleil

Les spectres d'émission et d'absorption de l'hydrogène

Les spectres d'émission et d'absorption du calcium

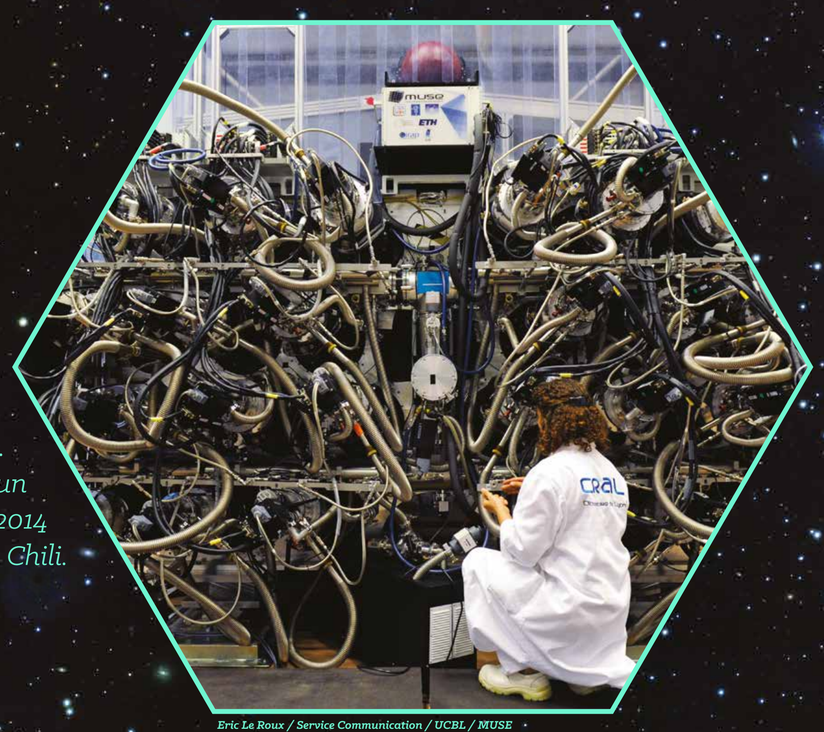
Les spectres d'émission et d'absorption du fer



Observatoire de Paris

En étudiant son spectre, on trouve dans le Soleil de l'hydrogène, du sodium, du magnésium, du calcium, du fer, du chrome, du vanadium, du fluor, du titane, du baryum, du manganèse, du nickel, de l'europium, du scandium, etc.

Un spectrographe est nécessaire pour décomposer la lumière et obtenir son spectre. L'impressionnant instrument MUSE est un ensemble de 24 spectrographes installé depuis 2014 sur un des télescopes du VLT, au Chili.



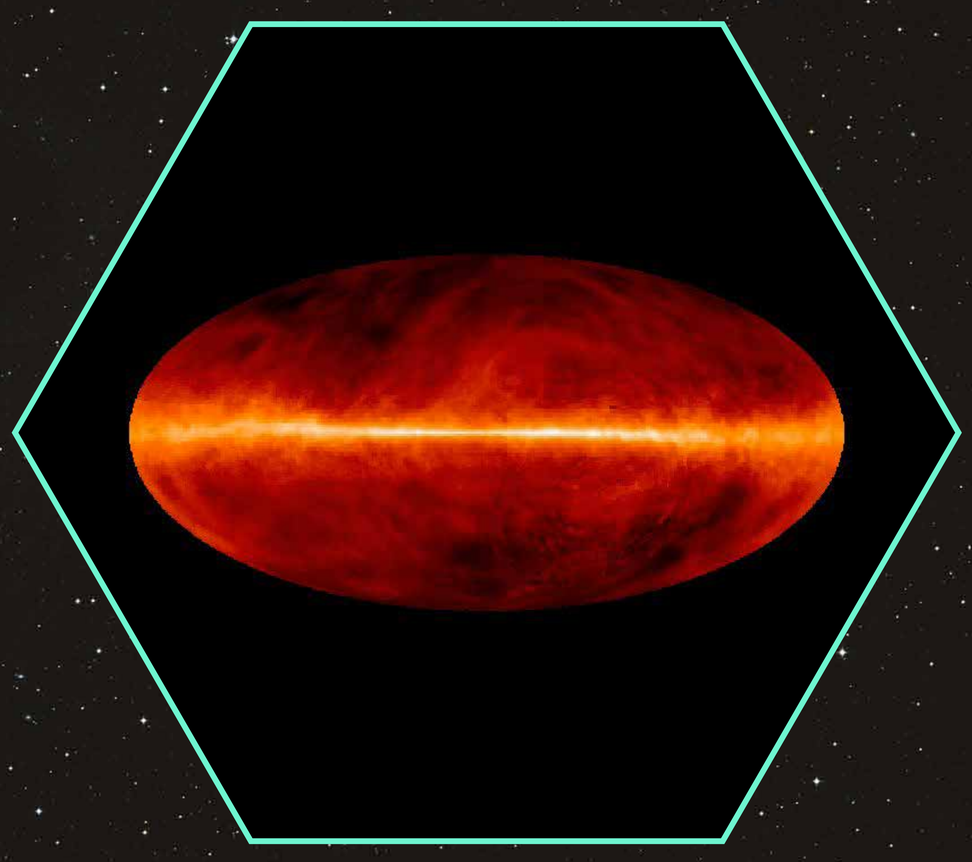
Eric Le Roux / Service Communication / UCBL / MUSE

Photo de fond : ESO/J. Emerson/VISTA. Acknowledgment: Cambridge Astronomical Survey Unit

LE CODE-BARRES DE L'UNIVERS

Les raies d'émission et d'absorption (suite)

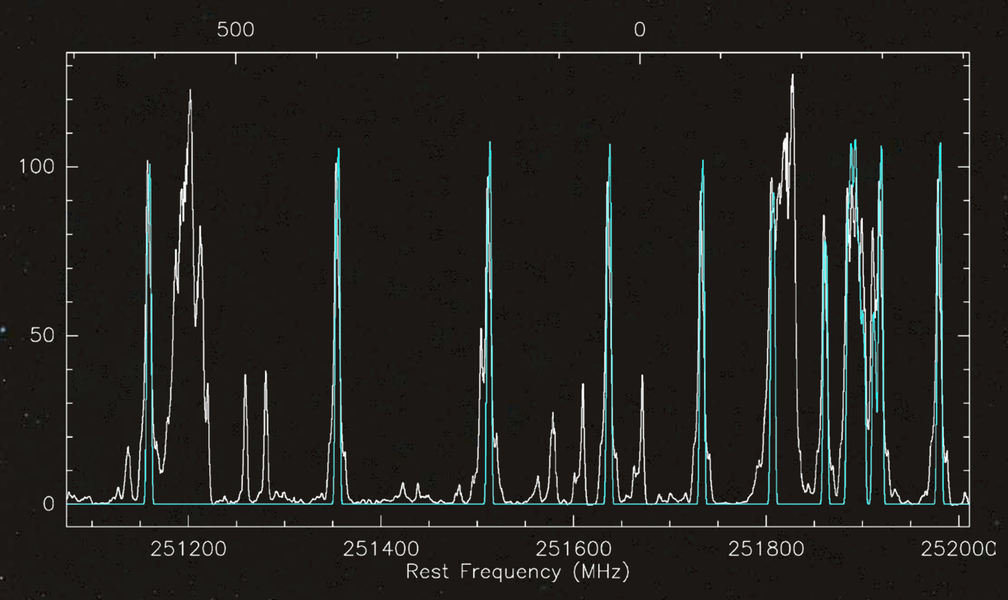
L'étude des spectres peut sembler aride, mais c'est une source essentielle pour déterminer la composition des astres observés, la composition et la température du gaz de l'espace intersidéral ainsi que la cinématique de tous les objets par la mesure de l'effet Fizeau-Doppler sur ces raies. Les spectromètres, toujours plus sophistiqués, font partie intégrante de tous les observatoires astronomiques et de toutes les missions spatiales.



Cette image est la cartographie de l'hydrogène dans tout le ciel visible. Un atome d'hydrogène montre des raies d'émission, provoquées lors du déplacement de l'électron autour de son noyau, dont une, très isolée dans les ondes radio, à la longueur d'onde précise de 21cm (soit une fréquence de 1420 MHz).
Détecter cette raie très reconnaissable permet d'en déduire la présence d'hydrogène partout où on l'observe.
Cette méthode a permis aux astronomes d'en conclure que l'hydrogène est l'élément le plus présent dans l'Univers.

L'espace intersidéral n'est pas vide ; il est constitué d'un mélange extrêmement dilué de gaz et de poussières : le milieu interstellaire. Cepheus B est un nuage d'hydrogène moléculaire, cocon idéal pour la formation des étoiles. Ce nuage filtre la lumière des étoiles derrière lui. Mais les atomes de ce nuage émettent aussi de la lumière car ils ont été chauffés.

NASA/CXC/PSU/K. Getman et al. /JPL-Caltech/CfA/J. Wang et al.



En observant en ondes radio les régions de formation d'étoiles comme ici Orion, on peut détecter la présence de nombreuses molécules par leurs raies d'émission bien spécifiques. Ainsi le méthanol (surligné en bleu) nous montre sa présence. L'intensité des raies permet de mesurer la quantité de méthanol présent.

Alcool éthylique dans la queue de la comète Lovejoy

Les poussières qui s'évaporent d'une comète reflètent la lumière du Soleil et forment la queue bien visible. Mais les molécules issues de l'évaporation des glaces de la comète émettent aussi de la lumière en se désexcitant. Cette émission n'est visible qu'en ondes radio. De l'alcool éthylique a été ainsi détecté dans l'atmosphère autour du noyau de la comète Lovejoy en étudiant ses spectres d'émission.

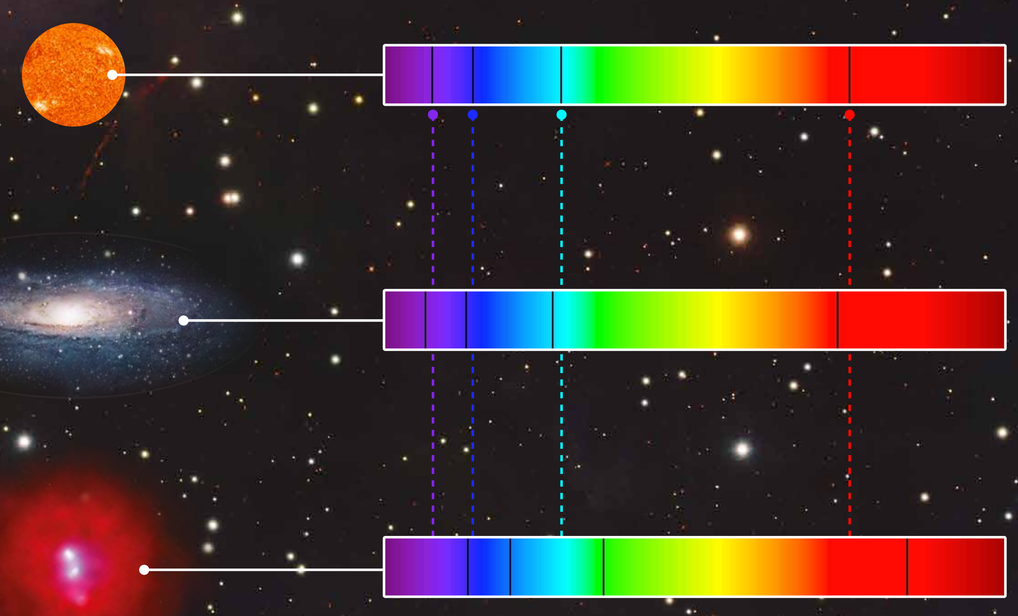
Photo de fond : ESO/Digitized Sky Survey 2. Acknowledgment: Davide De Martin

DES GALAXIES ROUGES, DES GALAXIES BLEUES

Le décalage du spectre

Que dit la théorie ?
La lumière d'une source émettrice qui se rapproche de nous va se décaler vers le bleu. La lumière d'une source qui s'éloigne de nous va se décaler vers le rouge. C'est l'effet Fizeau-Doppler.
Facile à entendre pour le son (la sirène d'une ambulance qui se rapproche de nous va être plus aigüe puis plus grave quand elle s'éloigne), cet effet est également visible pour la lumière quand on observe le spectre lumineux d'un astre ou de toute une galaxie.

L'observation des raies dans le spectre montre parfois des surprises. Dans cet exemple, nous ne gardons que les raies les plus remarquables de l'hydrogène, facilement reconnaissables.

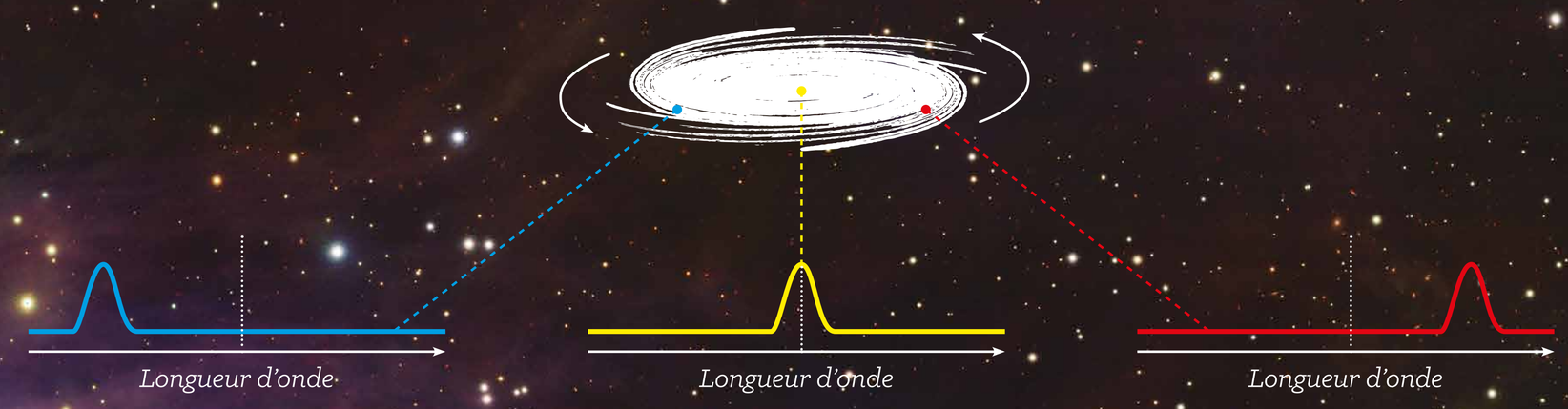


Le Soleil, spectre de référence.

Le spectre de la galaxie Andromède (la grande galaxie la plus proche de nous) montre des raies décalées vers le bleu. Andromède se rapproche de nous à une vitesse estimée à 300 km/s.
Crédit photo : R. Gendler

Le spectre de l'amas de galaxies 3C 295, objet très lointain (à 4,6 milliards d'années-lumière), montre des raies fortement décalées vers le rouge. Cet amas s'éloigne de nous à une vitesse de 108 508 km/s.
Crédit photo : NASA / CXC / SAO

Quand une galaxie tourne sur elle-même, l'un des bords se rapproche de nous, l'autre s'éloigne. Du côté qui se rapproche le spectre sera décalé vers le bleu. Du côté qui s'éloigne, le spectre sera décalé vers le rouge.
On peut faire les mêmes observations sur la rotation des étoiles, des planètes ou des nuages interstellaires.



L'observation du bord gauche de la galaxie montre un spectre décalé vers le bleu par rapport au centre.

Au centre, le spectre montre la vitesse globale de la galaxie par rapport à la Terre.

Du côté droit, le spectre est décalé vers le rouge par rapport au centre.

Plus la galaxie s'éloigne vite de nous, plus elle est rouge. Les astronomes ont remarqué que ce sont les plus lointaines qui s'éloignent le plus vite. Ces galaxies avec un spectre lumineux décalé vers le rouge de manière croissante sont des preuves de l'expansion de l'Univers.

NASA / ESA / G. Illingworth / M. Magee / P. Oesch / R. Bouwens / HUDF09 Team

Cette image est l'assemblage de 2000 photos, après un travail de 10 ans. On peut y voir de très nombreuses galaxies rouges. C'est la vue la plus profonde de l'espace, avec, notamment des galaxies datant de 500 millions d'années après le Big Bang, obtenue avec le télescope spatial Hubble.

Photo de fond : ESO/J. Emerson/VISTA. Acknowledgment: Cambridge Astronomical Survey Unit

DES MIRAGES DANS L'ESPACE

Les lentilles gravitationnelles

Que dit la théorie ?
La lumière est déviée quand un objet très massif se situe entre la source et l'observateur.

Le champ de gravitation d'un astre très massif (un trou noir, un amas de galaxies, une galaxie ou même une étoile) déforme les images. On observe alors un mirage gravitationnel. Cet astre très massif se comporte comme une lentille optique. On parle de lentille gravitationnelle.

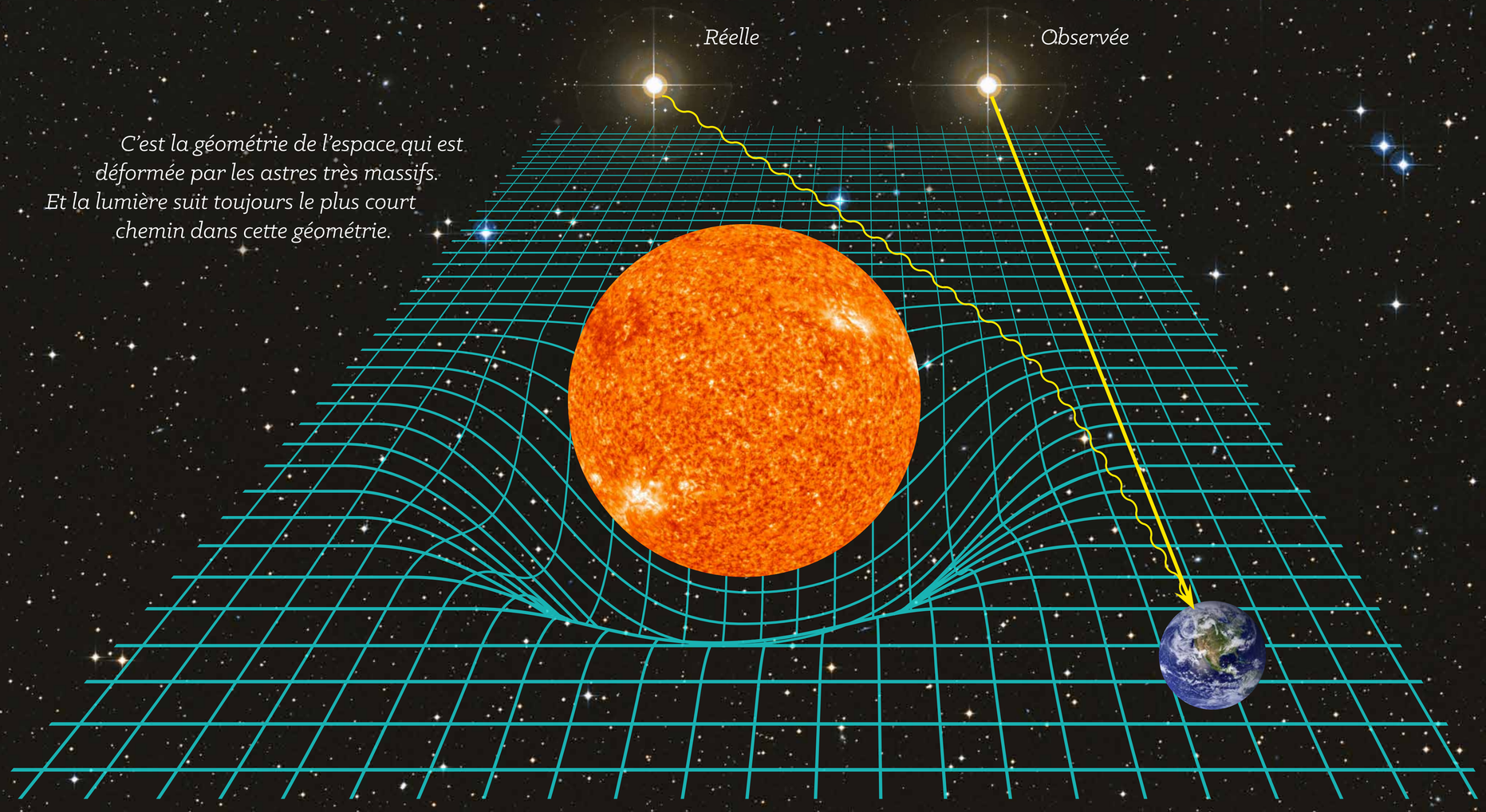
Les lentilles gravitationnelles dévient la lumière mais l'amplifient aussi, ce qui permet d'observer des astres très lointains et donc très faibles en luminosité, repoussant encore plus loin les possibilités d'observation que nous donnent les télescopes actuels.

Lentilles gravitationnelles dans l'amas de galaxies Abell 2218.

Un quasar (orange, au centre) a son image dupliquée quatre fois (les quatre astres brillants autour du quasar central) par l'effet d'une lentille gravitationnelle.

Mirage gravitationnel de type « anneau d'Einstein ». Les deux yeux du « smiley » sont deux galaxies.

La déviation de la lumière est plus ou moins forte. Elle dépend de la masse de l'astre formant la lentille gravitationnelle. Voir des mirages gravitationnels nous renseigne donc sur la masse des astres qui les ont créés.



C'est la géométrie de l'espace qui est déformée par les astres très massifs. Et la lumière suit toujours le plus court chemin dans cette géométrie.

La matière noire, invisible mais avec une masse, est présente dans les galaxies. Cette matière noire est à l'origine de certains mirages gravitationnels. Les astronomes peuvent ainsi détecter la présence de matière noire dans et autour des galaxies malgré son absence totale d'interaction avec la lumière au sens électromagnétique du terme de l'émission et de l'absorption.

Photo de fond : Digitized Sky Survey 2 and ESA/Hubble. ESA/Hubble and Digitized Sky Survey 2. Acknowledgement: Davide De Martin (ESA/Hubble)