



La Terre est une planète rocheuse qui tourne autour de son étoile, le Soleil, à une distance d'environ 150 millions de kilomètres.

UN CŒUR CHAUD

La Terre est une planète complexe dotée, notamment, d'une atmosphère et d'un champ magnétique. En son centre, la radioactivité des roches maintient une température proche de 5 000 degrés.

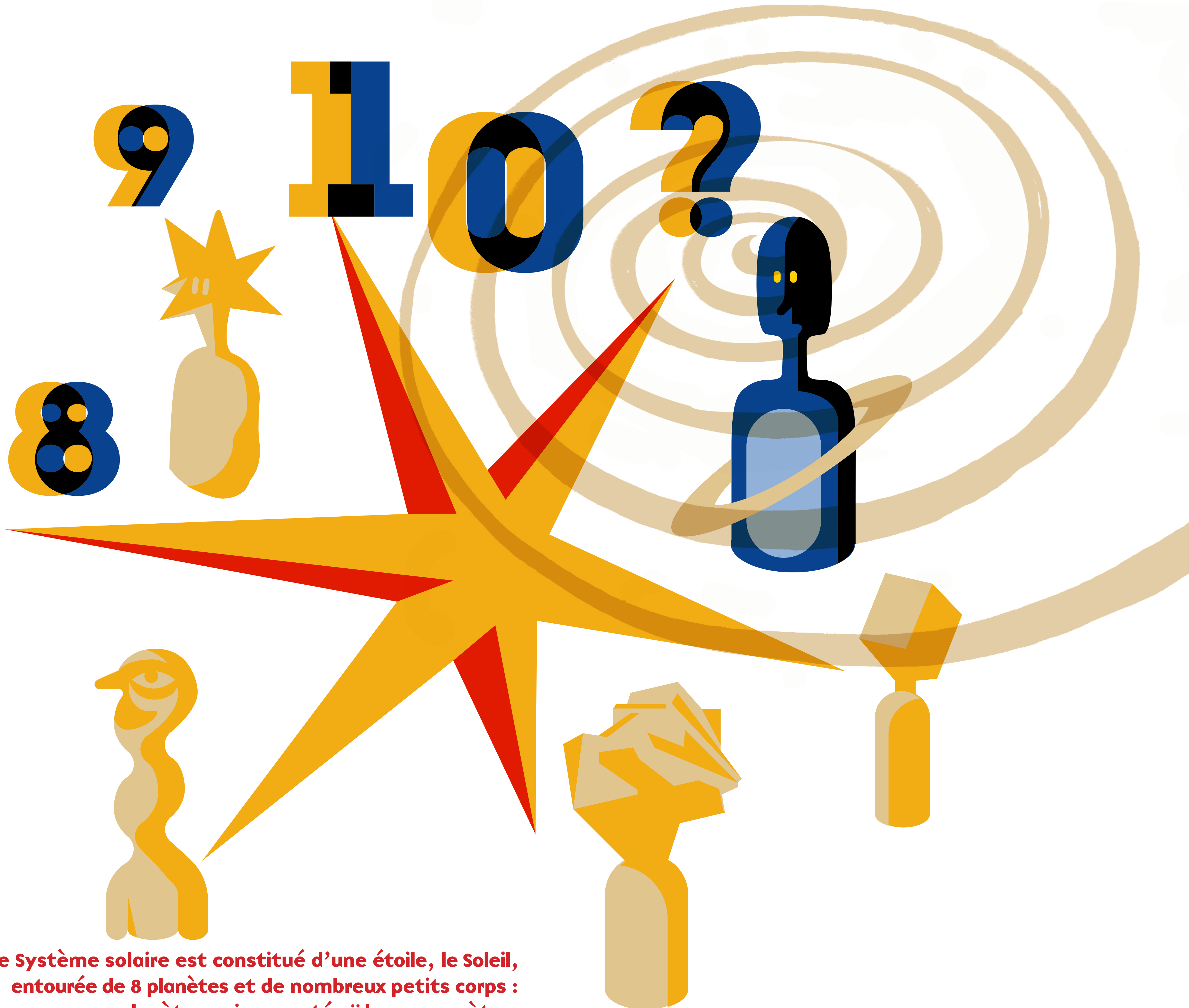
EFFET DE SERRE

L'atmosphère est une mince couche gazeuse qui recouvre la surface de la Terre. En alliance avec l'énergie reçue du Soleil, elle permet de maintenir une température moyenne de 15 degrés. Sans cet effet de serre, la Terre serait glacée. L'atmosphère protège aussi la surface des rayonnements de haute énergie venus de l'espace. Elle protège donc la vie.

UN BOUCLIER MAGNÉTIQUE

Les mouvements internes au sein de la Terre produisent un champ magnétique qui se déploie dans l'espace, bien au-delà de l'atmosphère. Il forme un gigantesque bouclier qui dévie le torrent de particules chargées qui sont expulsées à grande vitesse du Soleil.

DE QUOI EST FAITE LA TERRE ?



Le Système solaire est constitué d'une étoile, le Soleil, entourée de 8 planètes et de nombreux petits corps : planètes naines, astéroïdes ou comètes.

EN ORBITE

Les planètes du Système solaire sont, dans l'ordre d'éloignement au Soleil : Mercure, Mars, la Terre et Vénus constituées de roches et Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune qui sont des géantes gazeuses. Elles orbitent toutes dans le même plan.

QUESTION DE TAILLE

Aujourd'hui, Pluton n'est plus considérée comme une planète car elle est semblable à d'autres corps plus lointains récemment découverts : les « planètes naines ». Au-delà de Neptune, dans la ceinture de Kuiper, près d'une dizaine de planètes naines a été répertoriée depuis l'an 2000.

COMBIEN DE PLANÈTES AUTOUR DU SOLEIL ?

RÉSERVOIR DE COMÈTES

Plus loin encore se trouvent de nombreux petits corps, résidus de la formation du Système solaire. Ce sont les comètes, petits blocs de glace et de poussières. Le grand nombre de comètes qui traversent le Système solaire proviendrait d'un réservoir qui encercle le Soleil, dans un hypothétique nuage sphérique, le nuage de Oort.



EXISTE-T-IL UNE AUTRE TERRE ?

PREMIÈRE D'UNE LONGUE SÉRIE

La première planète orbitant autour d'une autre étoile que le Soleil a été découverte en 1995. Aujourd'hui, plus de 3 000 de ces exoplanètes sont connues et on en découvre plus de 100 par an.

Dans la galaxie, il existe d'autres planètes semblables à la Terre, mais nul ne sait si elles abritent la vie.

DES SŒURS DE LA TERRE

On estime que notre galaxie pourrait abriter des milliards de planètes situées dans la zone d'habitabilité de leur étoile. À ce jour, plusieurs candidates sont connues parmi lesquelles Kepler 452b, grosse comme 2 fois la Terre, et qui orbite autour de son étoile en 385 jours.

HISTOIRE D'EAU

Parmi les exoplanètes déjà connues, certaines ont une taille comparable à la Terre. On suppose que, pour abriter la vie, elles doivent aussi posséder de l'eau liquide à leur surface. Pour cela, l'exoplanète doit être dotée d'une atmosphère et se situer ni trop près, ni trop loin de son étoile, pour n'être ni glacée, ni grillée !



Le Soleil est une énorme sphère de gaz, 330 000 fois plus massif que la Terre. Il brille car il est chaud : à sa surface, la température atteint 6 000 degrés.

UNE QUESTION D'ÉQUILIBRE

La matière du Soleil est confinée par sa propre gravité et c'est grâce à la pression du gaz qu'il ne s'effondre pas sur lui-même. Au cœur du Soleil, la matière est comprimée par le poids des couches supérieures et devient de plus en plus chaude : la température y atteint 15 millions de degrés !

POURQUOI LE SOLEIL BRILLE-T-IL ?

UN RÉACTEUR NUCLÉAIRE

Au centre, les conditions sont telles que les noyaux d'hydrogène se rencontrent avec force. Parfois, deux d'entre eux fusionnent pour former un nouveau noyau, le deutérium. D'autres réactions de fusion nucléaire s'enchaînent jusqu'à former le noyau d'hélium.

UNE DÉBAUCHE D'ÉNERGIE

Les réactions de fusion produisent de l'énergie, notamment sous forme de lumière très énergétique, les rayons gamma. Transportée des régions chaudes centrales vers les régions froides extérieures, cette énergie compense celle qui est rayonnée par l'étoile. Les réserves d'hydrogène du Soleil sont suffisantes pour qu'il brille encore 5 milliards d'années.

**Les étoiles sont des soleils situés
à des distances considérables
de la Terre.**

DES ÉTOILES HAUTES EN COULEURS

Les étoiles sont toutes différentes : les plus massives sont les plus chaudes, les plus brillantes mais ont la vie la plus courte. Leur couleur dépend de leur température. Vers 3 000 degrés, l'étoile est franchement rouge. Vers 6 000 degrés, elle apparaît jaune pâle comme notre Soleil, tandis qu'à 10 000 degrés elle est bleutée.

DÉBUT DE CHÂÎNE

Au début de sa vie, une étoile transforme l'hydrogène en hélium, comme le Soleil. Quand l'hydrogène s'épuise, le cœur se contracte sous l'effet de la gravité. Alors, température et densité centrales augmentent et l'hélium entre en fusion pour former du carbone.



**TOUTES
LES ÉTOILES
SONT-ELLES
IDENTIQUES ?**

GÉANTE ROUGE DEVIENDRA NAINE BLANCHE

Dans le même temps, l'étoile commence à gonfler et devient une géante rouge. Ensuite, si elle n'est pas trop massive, elle perdra l'essentiel de sa matière, éjectée dans l'espace interstellaire. Il ne subsistera plus qu'un petit astre, de la taille de la Terre, très dense et très chaud : une naine blanche.



Certaines étoiles, les plus massives, finissent leur évolution en gigantesques explosions, les supernovas.

DES FUSIONS EN CASCADE

Pour briller durablement, une étoile puise dans ses réserves d'énergie nucléaire. A chaque étape, l'épuisement des ressources provoque une contraction et un échauffement du cœur. Cela déclenche un nouveau cycle de fusion qui forge de nouveaux noyaux atomiques.

EXPLOSION EN SUPERNOVA

Les étoiles dont la masse dépasse huit fois celle de notre Soleil fabriquent les noyaux jusqu'au fer. Lors de leur explosion en supernovas, des noyaux plus lourds que le fer sont synthétisés. Tous ces nouveaux éléments sont éjectés et dispersés dans le milieu interstellaire.

LES ÉTOILES EXPLOSENT-ELLES ?

POUSSIÈRES D'ÉTOILES

Tous les atomes qui nous constituent ont été fabriqués par des étoiles massives qui, en explosant, les ont disséminés dans la galaxie avant que le Soleil et la Terre ne se forment. La matière qui nous constitue a donc plusieurs milliards d'années !



Les étoiles se rassemblent au sein de vastes structures, les galaxies. Ainsi, le Soleil est l'une des 200 milliards d'étoiles qui composent la Voie lactée.

BERCEAUX D'ÉTOILES

Une galaxie contient aussi du gaz et des poussières. Les nuages de gaz, opaques à la lumière visible, sont les réservoirs de matière au sein desquels vont se former les étoiles. Ils se fragmentent sous l'effet de leur gravitation, formant de fins filaments, berceaux des futures étoiles.

LE ZOO DES GALAXIES

Certaines galaxies, comme la Voie lactée, ont la forme d'un disque plat, bombé en son centre et dont les bras dessinent des spirales. D'autres ont un aspect plus sphérique, elliptique ou une forme irrégulière. Ces morphologies résultent de différents processus de formation.

C'EST QUOI UNE GALAXIE ?

LES GALAXIES ENTRE ELLES

Les galaxies interagissent entre elles *via* leur gravitation. Dans certains cas, la collision de deux galaxies peut, après plusieurs centaines de millions d'années, aboutir à une fusion complète ne laissant plus qu'une seule galaxie, de forme parfois étrange.



QU'EST-CE QUE LA MATIÈRE NOIRE ?

Pour comprendre la dynamique des galaxies, il faut invoquer une matière non lumineuse : la matière noire.

CACHE-CACHE COSMIQUE

La masse de la matière visible – étoiles, gaz et poussières – ne peut à elle seule expliquer la rotation d'une galaxie. Il faut pour cela une composante supplémentaire, invisible à nos instruments mais sensible à la gravitation. Cette « matière noire » joue un rôle majeur au sein des galaxies et semble présente dans l'ensemble de l'Univers.

UNE MATIÈRE OMNIPRÉSENTE

D'autres observations justifient cette matière noire. Par exemple, l'effet de lentille gravitationnelle, déviation de la lumière provenant d'un objet lointain lors de son passage proche d'une galaxie massive, ne peut s'expliquer sans elle.

QUE DE MYSTÈRE !

La présence de matière noire est aussi appuyée par des simulations numériques qui la nécessitent pour rendre compte de la formation des galaxies. Elle est activement recherchée sous forme de particules nouvelles, notamment dans les grands accélérateurs. Pour l'instant, sa nature reste un mystère.



QUE PEUT-ON VOIR DANS L'UNIVERS ?

Les galaxies sont réparties le long d'immenses filaments de matière. À leur intersection se trouvent les plus grandes structures de l'Univers, les amas de galaxies.

SOUPE COSMIQUE

L'observation du fond diffus cosmologique, lumière fossile trace de la soupe cosmique initiale, montre un Univers plutôt homogène. Mais les infimes fluctuations qu'il contient ont formé, sous l'effet de la gravitation, les grandes structures observées aujourd'hui.

MATIÈRE NOIRE

Pour rendre compte de la formation des amas de galaxies et de leur dynamique, il faut aussi invoquer cette matière invisible à nos instruments mais sensible à la gravité : la matière noire. Elle est cinq fois plus abondante que la matière ordinaire.

LOINTAINS ET ANCIENS

En captant la lumière émise par des objets lointains, il est possible d'observer les galaxies très anciennes, âgées de seulement quelques centaines de millions d'années. L'étude de ces galaxies primordiales et de leurs premières générations d'étoiles est au cœur de nombreux programmes de recherche.

VERS L'EXPANSION

QUEL EST L'AVENIR DE L'UNIVERS ?

ÂGE DE L'UNIVERS

En mesurant le rythme de l'expansion, il est possible de déterminer l'âge de l'Univers, c'est-à-dire la durée écoulée depuis les époques où l'Univers était très dense et très chaud. Cet âge est aujourd'hui estimé à 13,7 milliards d'années.

ÉNERGIE NOIRE

Les observations montrent que l'expansion de l'Univers accélère sous l'effet d'une composante inconnue, l'énergie noire. Si cette hypothèse se confirme, l'espace entre les amas de galaxies augmentera à un rythme croissant. L'Univers s'assombriera lentement et inexorablement en quelques centaines de milliards d'années.

L'Univers est en expansion accélérée et deviendra très dilué et très froid.

L'ESPACE SE DILATE

Les galaxies ne sont pas fixes. Elles s'éloignent les unes des autres à une vitesse d'autant plus élevée qu'elles sont distantes. Ce mouvement d'ensemble fut découvert en 1929 et montre que l'Univers est en expansion. Il se dilue progressivement et fut donc, dans un passé lointain, plus dense et plus chaud.



**La lumière porte l'essentiel de
l'information qui nous parvient
de l'Univers.**

A L'ŒIL NU

L'œil fut le premier instrument d'astronomie. En braquant sa lunette vers le ciel, il y a près de quatre cents ans, Galilée ouvrait l'ère de l'observation instrumentée. L'invention du spectroscope au début du XIX^e siècle marqua la naissance de l'astrophysique : l'analyse de la lumière des astres permit d'en comprendre la nature.

DE TOUTES LES COULEURS

Au XX^e siècle sont apparus des instruments capables de capter des rayonnements situés hors du spectre visible. Il est désormais courant d'observer le ciel en infrarouge, en ultraviolet, en onde radio, en rayons X et gamma. L'observation dans toutes les longueurs d'onde doit beaucoup à la mise en orbite de satellites qui permettent de s'affranchir du filtre atmosphérique.

COMMENT OBSERVER L'UNIVERS ?

LES NOUVEAUX MESSAGERS

Aujourd'hui, d'autres vecteurs d'informations comme les particules cosmiques, les neutrinos et les ondes gravitationnelles viennent se joindre à la lumière pour mieux comprendre l'Univers.



VOYAGER DANS L'ESPACE ET DANS LE TEMPS ?

**Notre perception de l'Univers
est bornée par un horizon.**

VITESSE DE LA LUMIÈRE

Depuis les observations des satellites de Jupiter menées par l'astronome danois Olaus Römer en 1676, les savants savent que la vitesse de la lumière est finie. En 1849, Hippolyte Fizeau mesure cette vitesse en laboratoire. Elle est désormais fixée à 299 792 458 mètres par seconde.

VOIR DANS LE PASSÉ

Puisque la vitesse de la lumière est finie, il lui faut un certain temps pour nous parvenir des astres. En raison des grandes distances qui nous séparent des étoiles et des galaxies, nous ne les voyons pas comme elles sont maintenant, mais comment elles étaient au moment où leur lumière a été émise, des milliers voire des millions d'années dans le passé.

UNIVERS OBSERVABLE

L'observation des astres lointains permet donc une formidable remontée dans le temps. Pourtant, l'âge fini de l'Univers et la vitesse finie de la lumière se conjuguent pour ne rendre directement visible qu'une partie finie de l'Univers : un horizon limite nos observations.