



LES MAINS DANS LES ETOILES

**Dictionnaire encyclopédique d'astronomie
pour la Langue des Signes Française (LSF)**

/ Sous la direction de Dominique Proust /

Daniel Abbou
Nasro Chab
Yves Delaporte
Carole Marion
Blandine Proust
Dominique Proust

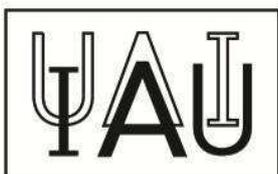
Nouvelle édition

Dominique Proust, Amelia Ortiz Gil, Beatriz García

Travail effectué avec la subvention: IAU-OAD TF3 fund
project: 2015/12/24 Global Sign Language Universal
Encyclopedic Dictionary

Design graphique
Silvina Perez Álvarez

Avec l'auspice



PROLOGUE

Prendre les étoiles par la main

Je ne suis pas sourd, juste un peu dur d'oreille ! Cette récrimination du célèbre professeur Tournesol jalonne l'œuvre d'Hergé, et on peut se demander comment, dans un contexte scolaire et universitaire peu enclin à intégrer la communauté sourde, Tournesol a pu mener le cursus scientifique l'élevant au grade de Professeur¹. Dans un enseignement dont les structures sont établies presque exclusivement pour des élèves et des étudiants entendants, on imagine mal le jeune Tryphon Tournesol appréhendant sans problème la balistique ou la physique nucléaire : on peut d'ailleurs en conclure qu'il n'est probablement pas sourd de naissance ; à moins d'avoir été gavé d'un oralisme forcené, son élocution semble suffisamment claire pour être comprise des personnages de son entourage, même aussi peu attentifs que peuvent l'être les Dupon(d)(t). On notera aussi que le nom *Haddock* étant constamment écorché par Bianca Castafiore, celle-ci doit avoir également des problèmes d'audition dans les basses fréquences du spectre auditif (Haddock est probablement baryton-basse, registre qu'une grande consommation de whisky a sans doute consolidé), ce qui ne l'empêche pourtant pas d'atteindre le contre-ut dièse de l'air des *Bijoux*, du Faust de Charles Gounod (1818-1893). Mais au-delà de la fiction du tintinologue, une société soucieuse de ses minorités doit rendre la culture scientifique accessible à tous, y compris la communauté sourde. Nombreux sont d'ailleurs ceux qui seraient étonnés de constater qu'avec quatre sens, un sourd sait aussi apprécier la musique de Saint-Saëns (Camille, 1835-1921).

Dans le domaine scientifique en général et l'astronomie en particulier, la Langue des Signes Française (notée par la suite LSF), permet d'établir remarquablement la communication, à la fois par la connaissance de la culture sourde et par une sémiologie appropriée, offrant un dialogue sans barrière entre sourds et entendants.

¹ Algoud Albert, *Le Tournesol illustré*, Casterman, 1994.



Un dialogue de sourds

La LSF possède son vocabulaire, sa grammaire et s'exprime dans tous les registres de la communication. Cependant, si des pays comme la Suède l'intègrent complètement à leur culture, la France a, sur ce point, un retard intellectuel encore important. Dans un contexte historique, les sourds ont été marginalisés et tenus à l'écart dans la majorité des civilisations, et les témoignages les concernant ne nous sont parvenus qu'à travers de trop rares documents. Malgré la légende qui persiste à attribuer à l'abbé de l'Epée (Charles-Michel, 1712-1789) la paternité d'une langue des signes structurée, il est bien évident que la transcription des idées par la gestuelle existait bien avant au sein des groupes de sourds, au même titre que dans les ordres religieux cloîtrés respectant la règle du silence tels les trappistes, ou bien les tribus indiennes utilisant le corps pour communiquer à distance.

A la suite de l'abbé de l'Epée, la LSF devait connaître bien des vicissitudes au cours de son histoire. L'abbé Sicard (1742-1822), premier directeur de l'Institution nationale des sourds-muets créée après la mort de l'abbé de l'Epée, échappe de justesse en 1793 à la guillotine du Tribunal révolutionnaire grâce à la pression de ses élèves sourds témoignant en sa faveur. C'est surtout Bébien (1789-1839) qui contribue à l'instauration d'un véritable bilinguisme, dispensé à l'Institution royale des sourds-muets. Mais deux écoles vont progressivement s'opposer, la française maintenant la tradition gestuelle, et une nouvelle tendance provenant de Leipzig s'appuyant sur l'enseignement de la parole et la lecture labiale. Ferdinand Berthier (1803-1886), Doyen des professeurs sourds à l'Institut de Paris (et sourd lui-même), défend avec virulence la langue des signes, quand les lois d'instruction obligatoire de Jules Ferry vont agir dans le sens d'une uniformisation de l'enseignement, accentuée par le credo du positivisme et du scientisme prônant que l'homme, par son génie, doit domestiquer tous les problèmes pouvant survenir (y compris la surdité). Sous ces différentes pressions, et le contexte d'une industrialisation devant aussi résoudre par la technique toutes sortes de problèmes (appareillage des sourds), l'usage des signes disparaît progressivement en France. Pourtant, Victor Hugo dans une lettre adressée à Berthier écrivait le 12 novembre 1845: *Qu'importe la surdité de l'oreille quand l'esprit entend? La seule surdité, la vraie surdité, la surdité incurable, c'est celle de l'intelligence.* Entre-temps, la langue des signes connaît un très vif succès aux USA et au Canada, exportée dès 1816 par Laurent Clerc, professeur à l'Institut de Paris.

Le coup de grâce aux langues des signes est donné d'abord à l'occasion de l'Exposition Universelle de Paris en 1878, réunissant une phalange d'enseignants oralistes qui mettent en pièces tout l'acquis pratique et culturel ;

cette condamnation est ratifiée lors du Congrès de Milan en 1880. Ce mouvement est soutenu par l'Eglise et la bourgeoisie qui s'opposent farouchement à une gestuelle qui dérange (*on ne doit pas montrer du doigt*, air connu). En outre, la miniaturisation des prothèses et l'orthophonie prétendent tout naturellement pallier les déficiences d'individus soigneusement maintenus à l'écart de la réalité du monde. Ainsi, à la différence culturelle et socio-linguistique, vient se substituer un rapport de force, réduisant autoritairement toute une communauté au silence. L'acharnement du Congrès de Milan à rejeter toutes les langues des signes reflète des siècles de préjugés religieux et sociaux. Par exemple, le célèbre adage : *la masturbation rend sourd*, œuvre d'un médecin Lausannois, Auguste Tissot (1728-1797), soucieux de moraliser ses patients dans le cadre intransigeant d'un calvinisme fondamentaliste, revient en force dans la liste des méfaits, culpabilisant d'autant plus la communauté sourde. De cette manière, la récupération de tels codes sociaux aussi rigides qu'arbitraires permet d'imposer des règles frustrantes et castratrices à des dizaines de générations, pour asseoir un terrorisme moralisateur.

En 1887 les derniers professeurs sourds sont mis autoritairement à la retraite au cours d'une mémorable cérémonie, où le nouveau directeur de l'Institution des sourds-muets fait un brillant discours : *Aujourd'hui même, la mimique sortira, pour ne plus y rentrer, de cette Institution et la parole y règnera désormais seule*². Bien entendu, la conséquence de ces mesures est une rapide détérioration de la communication. Pour consacrer l'oralisme triomphant, les enseignants utilisent d'astucieux stratagèmes, en particulier en punissant toutes tentatives de gestes en attachant les mains ; cela devait perdurer jusque dans les années 1970. Cette disparition de la LSF au profit de l'oralisme va avoir des conséquences dramatiques, non seulement en France, mais dans toute l'Europe : de nombreux mots homophones ne peuvent être perçus par un interlocuteur sourd, et encore plus si celui-ci a un accent, n'articule pas, ou porte une moustache. Rapidement, l'oralisme provoque en France une désertification culturelle au sein de la communauté sourde, au même titre que les mathématiques dites « modernes » ont plombé des générations de potaches dans les années 1960.

Les régimes autoritaires ont d'ailleurs toujours cherché à se débarrasser des minorités en général et des sourds en particulier au nom de l'eugénisme ; ainsi les nazis ont stérilisé d'autorité plusieurs dizaines de milliers de femmes sourdes en Allemagne entre 1933 et 1945. Aussi cet isolement de la communauté sourde va susciter une réaction normale vis-à-vis des actions opprimant une population : un mouvement de résistance. En particulier la volonté de communication entre les jeunes passe tout naturellement par les

² Girod, Michel (sous la direction de), *La Langue des Signes*, Editions IVT, 1997.

signes. On assiste donc à deux formes d'expression, l'une se voulant un oralisme discipliné afin de répondre aux exigences d'une structure officielle, et l'autre privée, faite de signes, souvent réinventés. Beaucoup de sourds ayant connu cette époque témoignent aujourd'hui avec tristesse du désert culturel qu'ils ont pu éprouver pendant tant d'années. Quelques intellectuels s'élèvent contre cet ostracisme, en particulier Henri Gaillard (1866-1939), journaliste et rédacteur de la *Gazette des Sourds-Muets* qui prend ouvertement le parti de la langue des signes. En 1924 ont lieu les premiers Jeux Olympiques des sourds, et en 1926 est créé le Salon des Artistes Silencieux. La majorité des sourds n'a cependant que peu d'espoir de dépasser le niveau d'un CAP (Certificat d'Aptitude Professionnelle), et les bacheliers se comptent sur les doigts d'une main ; le taux de chômage atteint 30%, frappant essentiellement les sourds profonds.

Cependant, la langue des signes n'a pas disparu partout, puisque depuis 1817 elle s'est développée dans les pays anglo-saxons, notamment par la création de l'institut de Hartford par Thomas-Hopkins Gallaudet (1787-1851) et Laurent Clerc (1785-1869). Progressivement, la France découvre avec quel succès les sourds sont intégrés aux USA, au Canada, en Grande-Bretagne et en Suède. Fin 1970, l'expression « langue des signes française » et son sigle « LSF » sont introduits par le sociologue Bernard Mottez, et en 1973 *l'Union Nationale pour l'Intégration Sociale des Déficiants Auditifs* agite la classe politique et obtient enfin des résultats, en particulier la traduction du journal télévisé. Il faut cependant attendre 1977 pour que, sous les pressions multiples et les réussites obtenues à l'étranger, le ministère de la Santé abroge l'interdit de la LSF, et 1991 pour que l'Assemblée Nationale admette l'éducation des enfants par la LSF (loi Fabius). Dans ce long combat mené pour que la LSF soit reconnue comme une langue à part entière, il faut cependant signaler qu'en 1998, un regrettable ministre de l'Education Nationale lui refusait encore le droit d'être étudiée pour son seul objet. De nos jours, la LSF a enfin acquis son statut de langue à part entière. Elle est enseignée dans toutes les régions (avec des variantes qui correspondent à autant de patois régionaux), bien que des bastions oralistes subsistent encore, notamment dans le milieu médical où on trouve des aficionados de l'implant cochléaire, malgré les traumatismes consécutifs et les risques post-opératoires importants.

La LSF continue patiemment de se diffuser pour retrouver son statut de langue à part entière. Il y a cependant encore beaucoup de retards, voire de résistances vis-à-vis des sourds, en particulier dans le cadre des démarches administratives, juridiques, médicales, etc. C'est d'autant plus regrettable qu'en une trentaine d'heures d'apprentissage, il est déjà possible de dialoguer avec un sourd sur des thèmes généraux. Dans le domaine scientifique, il est intéressant de voir avec quelle facilité la communication peut s'effectuer. Les exemples du Musée des Arts et Métiers et de la Cité des Sciences à la Villette sont très

révélateurs : les principales expositions et les conférences sont signées par des scientifiques sourds hautement compétents.

A l'écoute des sourds célèbres

De nombreux sourds se sont illustrés dans les domaines des lettres, des arts et des sciences. Parmi les plus célèbres, Pierre de Ronsard (1524-1585) dédiait ses sonnets à Cassandre, à Marie et à Hélène, mais il aurait été bien en peine de répondre à leur appel ; Francisco Goya (1746-1828) est l'un des plus grands peintres, mais il ne risquait pas d'entendre les critiques de ses tableaux. Enfin Beethoven (1770-1827) n'entendit que dans sa tête *l'Ode à la Joie* de la Neuvième Symphonie, ainsi que ses derniers quatuors à corde.

En science, Joseph Sauveur (1653-1716), mathématicien et physicien français, professeur au Collège de France en 1686 aurait été *sourd dans l'enfance*. Malgré une brève existence, John Goodricke (1767-1786) fut un astronome sourd menant une brillante carrière. Ses observations d'étoiles variables comme *Algol* dans la constellation de Persée, β Lyre et δ Céphée lui ont permis de mettre en évidence la famille des *Céphéides*, étoiles géantes froides dont les pulsations périodiques associées à leur luminosité intrinsèque en font des calibrateurs de distance particulièrement efficaces. Deux inventions d'importance majeure sont l'œuvre de personnes liées à la surdité. Alexander Graham Bell (1847-1922) a grandi dans le contexte familial d'une mère sourde et d'un père qui avait mis au point un système de « langage visuel » traduisant les sons par des symboles. Professeur à Boston auprès d'enfants sourds et ayant épousé une femme sourde, Bell a développé des moyens permettant la communication entre sourds et entendants, dont le plus célèbre est le téléphone en 1877. Le second, Thomas Edison (1847-1931), ne disposait que de 10% d'audition à une oreille. On lui doit l'invention d'un « procédé d'enregistrement et de reproduction sonore » (le gramophone), mais aussi les premiers projecteurs cinématographiques, la lampe à incandescence et l'amélioration du télégraphe. L'effet Edison est connu comme l'émission d'électrons par des métaux chauffés.

La science fait signe

La LSF est une langue complète, parfaitement structurée qui dispose d'un vocabulaire et d'une grammaire ; elle s'exprime suivant des règles précises associées à une expression corporelle fondamentale. Comme toutes les langues, elle est évolutive, et le vocabulaire scientifique et technique s'actualise en permanence par de nouveaux signes tels que NUMERIQUE, INTERNET, DVD, MICROPROCESSEUR, etc.



En mathématiques, les nombres s'enchaînent suivant une suite de signes ; 1515 se signe MILLE + CINQ CENTS + QUINZE. Les grands nombres (millions, milliards) ont leurs propres signes ainsi que les opérateurs. A titre d'exemple $\sqrt{\quad}$ se signe à l'identique avec les mains (voir le glossaire). Toutes les quantités sont signées, poids, surface, volume, distance. Le théorème de Pythagore s'énonce de façon similaire à sa version orale, si ce n'est que l'hypoténuse est signé « le coté qui fait face à l'angle droit ». La géométrie s'expose de manière identique, les mains décrivant au préalable une droite, un plan ou un espace. On indique avec précision l'origine d'un système de coordonnées.

La physique comprend un ensemble de signes très explicites pour chaque domaine. Les constantes se désignent par les même lettres : c est la vitesse de la lumière (VITESSE + LUMIERE) avec $c = 300\,000$ km/s. On signe « électricité » avec les poings qui se font face devant soi, index incurvés orientés vers le haut tels des électrodes. L'« énergie nucléaire » comprend deux signes, le premier étant le générique de toutes les formes d'énergie et le second symbolisant la puissance du nucléaire. En chimie, les éléments se signent, soit spécifiquement, soit par leur symbole.

L'astronomie est un des domaines où l'expression en LSF est à la fois rigoureuse et poétique. Les signes attribués aux différentes planètes du Système solaire recourent à leurs caractéristiques propres : Mercure est très proche du Soleil, Mars est rouge, Jupiter se représente par la célèbre tache rouge observée au télescope depuis plus d'un siècle et Saturne se caractérise par son anneau. La représentation du ciel est aisée puisque la majorité des constellations évoquent des animaux ou des objets qui ont déjà un signe : ourse (grande ou petite), cygne, poissons, baleine, etc. Les noms mythologiques respectent les traditions légendaires ; ainsi *Orion* est un chasseur, et le *Centaure* un être au torse d'homme monté sur un corps de cheval.

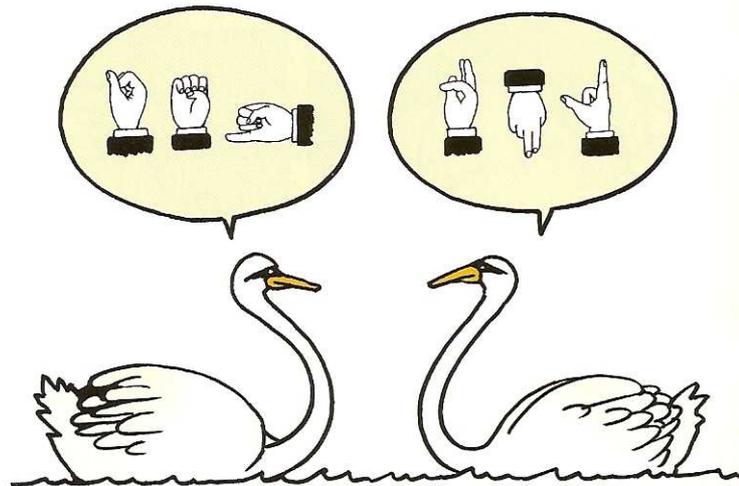
La technologie scientifique se signe également, que ce soient les ordinateurs qui se déclinent en LSF suivant les modèles (PC, portables, etc.). Certains termes trouvent très souvent un équivalent signé judicieux comme « numérique » qui devient : 1-0-1-0-1-0. De même, les domaines de la médecine et de la biologie disposent d'un vocabulaire très complet et très technique.

Cet aperçu ne peut évidemment donner qu'une idée à peine esquissée de la communication scientifique en LSF. L'expression du visage revêt toute son importance que ce soit pour exprimer qu'une suite mathématique tend vers moins l'infini, c'est alors « très petit », ou que l'étoile Véga de la Lyre a une température de surface de 35 000 degrés, c'est alors « très chaud ». Outre la rigueur du discours scientifique, le signeur accompagne son propos d'une



gestuelle dont l'enchaînement des signes relève d'une interprétation, au sens musical du terme. Cette dualité interprétariat – interprétation transcende le propos le plus strict en un propos non seulement compris, mais aussi ressenti. De cette manière, l'association de l'expression corporelle à l'académisme fréquent du discours scientifique, apporte sa touche d'humanité et de partage dans un monde quelque peu brut.

LE LANGAGE DES CYGNES



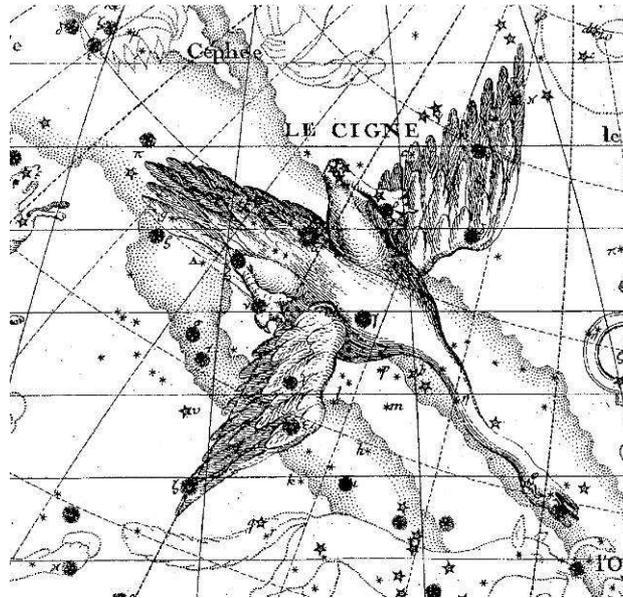
Le langage des cygnes, extrait de *La Marque du Chat*, Philippe Geluck © Casterman.
Avec l'aimable autorisation de l'auteur et des Editions Casterman.

Un dictionnaire LSF d'astronomie

L'idée d'un dictionnaire d'astronomie a vu le jour à la suite d'une émission en LSF de la série télévisée *L'Œil et la Main* consacrée à cette science, réalisée par Philippe Quinconneau et Daniel Abbou, avec la participation des auteurs de ce dictionnaire, et diffusée en octobre 2007³. En outre, depuis 2000, une formation mensuelle à l'astronomie est organisée à l'Observatoire de Meudon, dans le cadre de la structure *Astronomie vers Tous* (AvT), ayant pour but de diffuser les connaissances liées à l'astronomie, à l'astrophysique et aux sciences connexes (planétologie, climatologie, exobiologie...) auprès de publics rencontrant des difficultés d'accès à la culture scientifique en général. Cette formation réunit à chaque séance douze à quinze participants sourds. Si les conditions météo le permettent, des observations sont effectuées avec un des télescopes de l'observatoire en décrivant au préalable les objets choisis, Lune, planètes, étoiles, galaxies, etc., puis en les observant dans l'obscurité. Si le ciel

³ www.france5.fr/oeil-et-main/archives/35220934-fr.php

est couvert, outre une visite de l'observatoire, une conférence thématique est donnée, avec un support visuel adapté. Ces soirées, très appréciées par la communauté sourde, permettent des échanges particulièrement fructueux dépassant le cadre formel de la science, dont chacun tire profit. Pour l'animateur, elles sont l'occasion d'un approfondissement du monde et de la culture des sourds, ainsi que des progrès continus dans la pratique de l'exposé en langue des signes. L'expérience acquise est à l'origine de ce dictionnaire.



La langue des signes dans le ciel : la constellation du Cygne de l'atlas de *Flamsteed* (1776).

Ce dictionnaire est le premier établissant un lien détaillé entre l'astronomie et la communauté sourde. Si l'astronomie est probablement la plus ancienne des sciences, les difficultés de perception pour l'homme d'un univers immense où l'espace et le temps entrent en jeu rejoignent certaines des préoccupations des sourds dans un monde sonore. Ainsi, la représentation signée des termes essentiels à l'astronomie a abouti à proposer des néologismes, notamment pour les termes empruntés à la tradition. A titre d'exemple, trouver un équivalent signé pour les noms des constellations est aisé lorsqu'il s'agit d'animaux ou d'objets ; inversement, les noms des constellations remontant à l'époque de Ptolémée et de la Grèce Antique ont nécessité davantage d'imagination. Céphée a été représenté par le signe composé ROI BARBU, Cassiopée par le signe REINE, et leur fille, la princesse Andromède, par le signe composé FEMME ATTACHEE, en référence à la mythologie qui nous la montre attachée à un rocher, après s'être attiré la colère de Poséidon.

Nous avons veillé à éviter les homonymies ou paronymies : il était par exemple indispensable d'éviter toute confusion entre Saturne avec son anneau et



une galaxie avec son disque. Cette recherche d'équivalents signés a suscité de longues réflexions lorsque le terme astronomique est lui-même d'apparition récente et réfère à des objets d'une grande complexité. Un exemple caractéristique concerne le quasar, ce nom étant une contraction de l'anglais *quasi stellar radiosource*. Il a fallu attendre les années 1960 pour comprendre qu'un quasar n'est pas une étoile, même s'il en a les dimensions apparentes, mais un objet beaucoup plus lointain dont l'énergie de rayonnement, identique à celle de toute une galaxie, est confinée dans un noyau de petite taille. Une description signée proposée par les collaborateurs sourds de ce dictionnaire a été : « j'observe une petite source brillante dans le ciel ; je l'ouvre pour en voir l'intérieur ; j'observe avec stupéfaction la région centrale d'une galaxie confinée dans cet espace avec une énergie considérable ». Finalement, nous proposons le signe composé : MEME + GALAXIE + ENERGIE + PUISSANT.

Il faut s'attendre à ce que de telles constructions évoluent dans les mains des sourds, soit parce que de nouvelles connaissances permettront une meilleure adaptation sémiologique, soit parce que, comme toutes les langues vivantes, la LSF tend à se modifier au cours du temps, généralement par réduction de signes composés à des formulations plus simples. Nous sommes les premiers à souhaiter de telles évolutions.

Ce dictionnaire propose à la fois de rassembler les connaissances essentielles en astronomie et de les transmettre en LSF, d'où sa structure encyclopédique. Pour le lecteur ne pratiquant pas la LSF, il est recommandé de suivre en parallèle une formation de base. Celle-ci est dispensée au sein de différents organismes et associations, généralement par des formateurs sourds. Nous avons souhaité réaliser un outil de travail, aussi bien destiné aux enseignants qu'à tous ceux que la culture sourde et l'astronomie intéressent.

Chaque entrée est accompagnée d'un dessin du signe correspondant, ainsi que d'un commentaire précisant ce que symbolisent les différents paramètres de chaque signe. Lorsque le signe est ancien, ce commentaire a également une visée étymologique. Les dessins sont dus au talent de Carole Marion ; le mouvement est représenté par des flèches, selon des conventions depuis longtemps établies par les éditions d'IVT. De nombreuses illustrations proviennent de Wikimedia Commons; sauf spécification, ces documents sont utilisables sous licence libre.

Les mots **en caractère gras** mettent l'accent sur les repères et les idées essentielles. Les noms techniques, géographiques et étrangers sont *en italique*. Les traductions en français des signes de la LSF sont EN PETITES CAPITALES.

Dominique Proust



Dominique Proust est entendant, ingénieur de recherche au CNRS, astrophysicien à l'Observatoire de Paris-Meudon. Il a suivi les enseignements de l'Académie de la Langue des Signes Française et de l'International Visual Theatre, et pratique la Langue des Signes Française. Il a développé un partenariat culturel en astronomie auprès de la communauté sourde dans le cadre du programme « Astronomie vers Tous ».

Daniel Abbou est sourd, enseignant, pédagogue, co-réalisateur et présentateur de l'émission hebdomadaire « L'Œil et la Main » à la télévision (La 5). Il est également conseiller en communication à l'ESAT Jean Moulin (Paris 14^e). Après avoir été l'un des protagonistes de la renaissance de la langue des signes en France, il participe à de nombreux programmes culturels, aussi bien en France qu'à l'étranger, en tant que pédagogue et expert.

Nasro Chab est sourd, chargé de conférences en LSF au Musée des Arts et Métiers, ainsi qu'au Palais de la Découverte. Il est spécialisé en communication scientifique en LSF auprès de la communauté sourde et développe une pédagogie adaptée. Il participe activement au développement de la langue des signes à l'étranger où il est fréquemment invité comme expert.

Yves Delaporte est entendant. Ethnologue, directeur de recherche au CNRS, il a publié plusieurs livres sur le monde des sourds : *Les sourds, c'est comme ça* (Maison des sciences de l'homme, 2002), *Moi, Armand, né sourd et muet* (Plon, 2002, avec Armand Pelletier), *Dictionnaire étymologique et historique de la langue des signes française* (Editions du Fox, 2007). Il pratique l'astronomie en amateur.

Carole Marion est sourde, artiste professionnelle, diplômée de l'École des Beaux-Arts de Lyon, ancienne formatrice LSF de l'université de Lyon à Bron et enseignante LSF à l'Institut Gustave Bagueur à Asnières (92).

Blandine Proust est entendante. Elle a suivi les enseignements de l'Académie de la Langue des Signes Française et de l'International Visual Theatre, et pratique la Langue des Signes Française, notamment dans son activité professionnelle pour une grande compagnie aérienne.



INDEX

Alphabet	15
Amas (globulaire)	17
Amas (ouvert)	19
Année	21
Année-lumière	23
Astéroïdes	24
Astrologie	27
Astronomie - Astrophysique	29
Astronomie (histoire)	31
Big Bang	35
Calendrier	37
Comète	40
Constellation	43
Coordonnées célestes	46
Degré (température)	47
Diamètre	48
Distance	49
Eclipse	51
Ecliptique	54
Éléments (chimiques)	55
Ellipse	57
Energie	58
Equateur	59
Equinoxe	60
Etoile (binaire)	62
Etoile (de Noël)	64
Etoile (Distance)	66
Etoile (évolution)	68
Etoile (généralités)	70
Etoile (types)	72
Etoile (variable)	75
Force ou Interaction	78
Galaxie (amas)	82
Galaxie (évolution)	85
Galaxie (généralités)	87
Galaxie (structure)	91
Galaxie (types)	93
Groupe local, Amas local et Superamas local	97
Horloge astronomique	100
Imagerie	102
Jupiter	104
Lumière (vitesse)	107
Lune	109
Lunette astronomique	112
Magnitude (photométrie)	114
Mars	116
Masse	119
Mécanique céleste	120



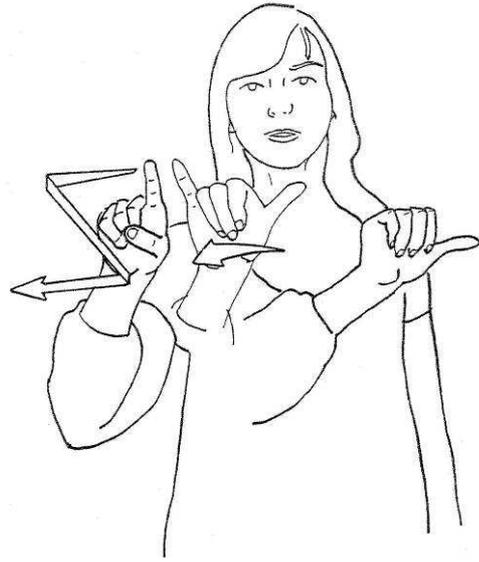
Mercure	122
Météorites (Météores)	124
Nébuleuse planétaire	126
Neptune	128
Nova	130
Nuages de Magellan	132
Nucléaire (réactions)	134
Observatoire	136
Parsec	139
Pluton	140
Pollution lumineuse	142
Puissance	144
Pulsar	145
Quasar	147
Racine	149
Radiotélescope	150
Relativité	152
Révolution (orbite)	155
Rotation	156
Satellite artificiel – Sonde spatiale	157
Saturne	159
Science	161
Soleil	163
Solstice	166
Spectre électromagnétique	168
Supernova	171
Système solaire	173
Télescope	176
Terre	179
Transneptuniens (objets)	183
Tropique	185
Trou noir	186
Unité Astronomique	188
Univers (expansion)	189
Univers (histoire)	191
Univers (rayonnement fossile)	194
Uranus	196
Vénus	198
Vie (dans l'univers)	200
Voie Lactée	203
Voûte céleste	206
Zénith et Nadir	207
BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE	208



Alphabet

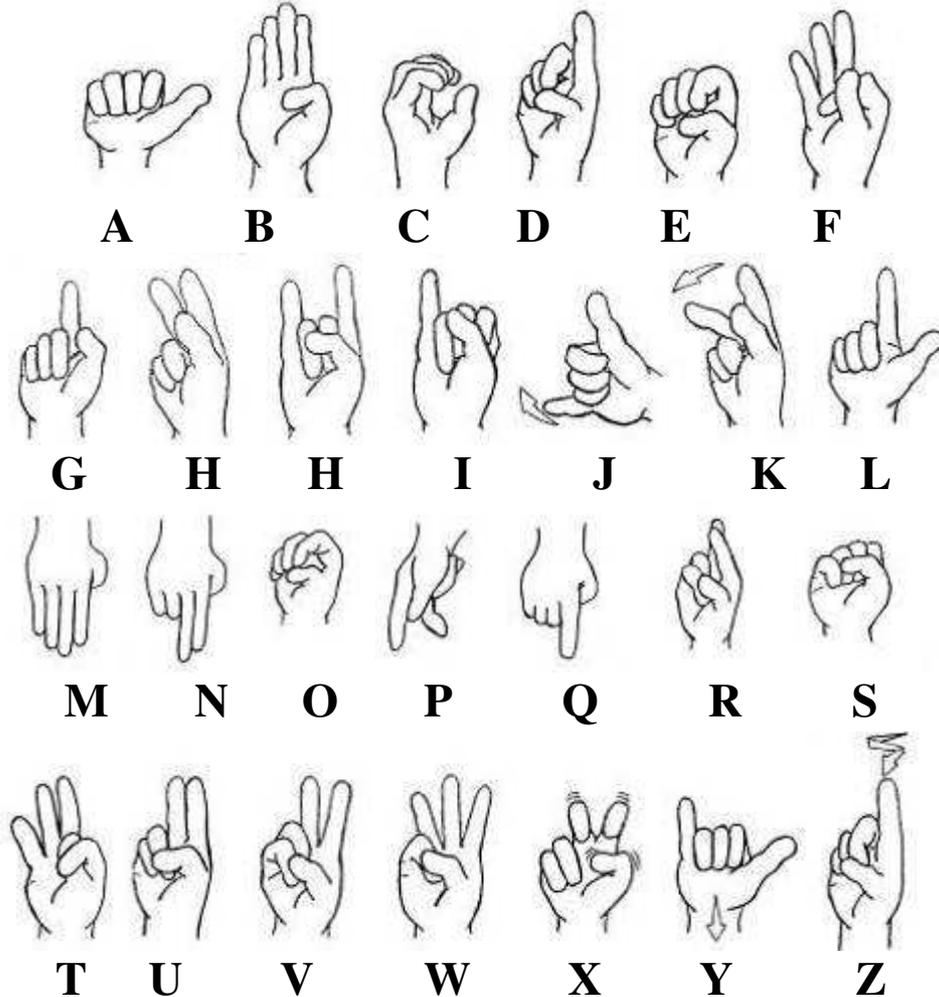
En LSF, l'astronomie fait appel à deux alphabets différents mais complémentaires : l'**alphabet manuel** et l'**alphabet grec**.

L'alphabet manuel ou **dactylogogie** a pour rôle essentiel d'épeler les noms propres pour lesquels il n'existe pas encore de signe en LSF. Ainsi, différentes entrées du présent dictionnaire font-elles appel à un signe suivi d'un nom propre épelé, par exemple la ceinture de Kuiper (voir l'entrée *Transneptuniens*) ou la comète de Halley (voir l'entrée *Comète*).



ALPHABET MANUEL

Le signe ALPHABET MANUEL montre les deux premières lettres de l'alphabet, A et B, et se poursuit par un déplacement latéral de la main et une oscillation des doigts qui suggèrent une longue suite.

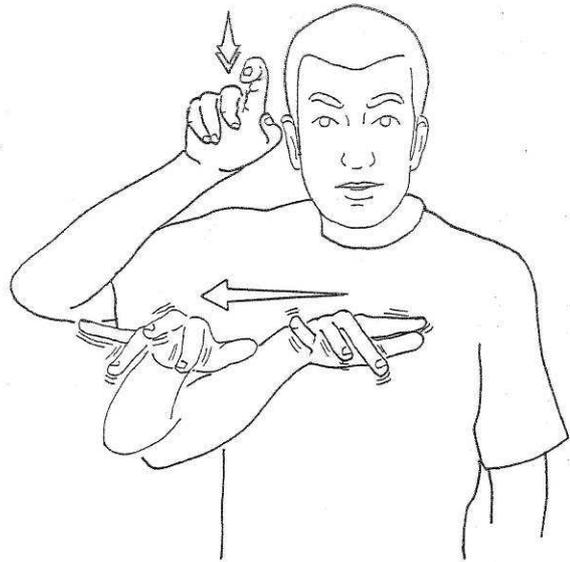


L'alphabet manuel.



L'**alphabet grec** est utilisé en astronomie depuis plusieurs siècles.

Il se représente en LSF par le signe ALPHABET D'UNE LANGUE VOCALE, suivi du signe GREC. Pour pouvoir représenter n'importe quel alphabet, qu'il soit français, grec ou cyrillique, le premier composant abandonne toute référence à des lettres concrètes et ne symbolise que l'épellation d'une longue suite de choses. Le signe GREC dérive du signe GRECE qui, par un jeu de mots sur l'homophonie des mots *Grèce* et *graisse*, représente un visage bouffi. Le dérivé GREC se réduit à la lettre manuelle G, initiale du mot *grec* ; seule, sa réalisation à proximité au visage garde la trace de l'étymon GRECE.



ALPHABET GREC

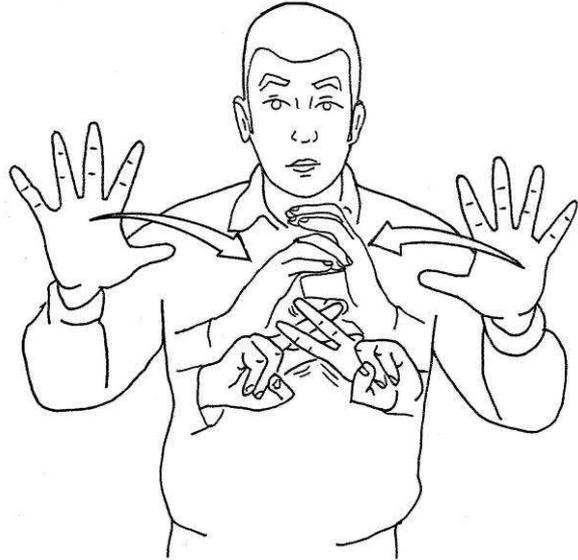
Chaque lettre désigne une étoile dans une constellation donnée, même si les étoiles les plus brillantes portent souvent un nom. Ainsi, l'étoile « alpha » de la constellation de la Lyre, notée « α Lyr », est-elle la magnifique étoile *Véga*.

Le tableau ci-dessous donne la liste des 24 lettres grecques, accompagnées de leur nom en français.

Lettre	Nom	Lettre	Nom	Lettre	Nom
α	alpha	ι	iota	ρ	rho
β	bêta	κ	kappa	σ	sigma
γ	gamma	λ	lambda	τ	tau
δ	delta	μ	mu	υ	upsilon
ϵ	epsilon	ν	nu	ϕ	phi
ζ	zêta	ξ	xi	χ	khi
η	êta	\omicron	omicron	ψ	psi
θ	thêta	π	pi	ω	oméga

Amas (globulaire)

La notion d'amas globulaire se traduit par le signe ETOILES, suivi des mains ouvertes qui se referment pour représenter un noyau sphérique. Pour l'étymologie de ETOILES, voir l'entrée *Voûte céleste*.



Mots et expressions associés: Etoile - Etoile (évolution) - Géante rouge - Naine blanche - Galaxie - Spectroscopie - Année-lumière.

Les étoiles ne sont pas uniformément réparties dans notre Galaxie; on remarque de temps en temps avec un petit instrument des taches floues circulaires, contrastant avec l'aspect ponctuel des étoiles. Ces régions, de forme à peu près sphérique, sont des **amas globulaires**, composés de plusieurs dizaines de milliers d'étoiles. Plusieurs sont visibles à l'œil nu ou avec une paire de jumelles, comme l'amas M13 dans la constellation d'Hercule, l'amas ω (Omega) dans la constellation australe du Centaure, ou encore l'amas 47 dans la constellation du Toucan.

Le premier amas globulaire, M22 dans la constellation du Sagittaire, fut découvert en 1665. Par la suite, les astronomes en observent beaucoup, mais les confondent souvent avec des galaxies: ils les baptisent *nébuleuses rondes*. C'est pourquoi le catalogue de *Charles Messier* (1730-1817) contient 29 amas globulaires sur 110 objets au total. Au XXe siècle, les astronomes ont d'ailleurs montré que l'amas M54 observé par *Messier* est le plus lointain de son catalogue, à une distance de 87 000 années-lumière. Il est associé à une galaxie naine. Les grands télescopes actuels permettent d'observer de nombreux amas globulaires répartis autour d'autres galaxies ou dans l'environnement d'amas de galaxies, comme celui de la constellation du Fourneau, à une distance de 60 millions d'années-lumière.



L'amas globulaire 47 dans la constellation du Toucan. © ESO

Les amas globulaires sont d'énormes agglomérations de forme sphérique, composés de dizaines de milliers d'étoiles. Ils sont situés à des distances allant de 10 000 à 200 000 années-lumière de la Terre, et sont répartis tout autour de la Galaxie. On en connaît plusieurs centaines, avec un diamètre compris entre 25 et 400 années-lumière. A de telles distances, il est difficile d'identifier individuellement les étoiles qui les composent ; cependant les études effectuées par spectroscopie montrent que la majorité de ces étoiles sont âgées. Ce sont des géantes rouges et naines blanches mélangées, dont la teneur en éléments lourds est relativement faible. Les amas globulaires ont approximativement l'âge de notre Galaxie, soit au moins dix milliards d'années.

Il y a dix milliards d'années, notre Galaxie était une énorme bulle de gaz qui s'est ensuite lentement aplatie pour former un disque dans lequel sont nées les dizaines de milliards d'étoiles que nous observons aujourd'hui. Cependant, des résidus de cette bulle initiale sont restés autour de la Galaxie : ils constituent les amas globulaires, de véritables petits satellites dans lesquels les étoiles ont lentement évolué.



L'amas globulaire NGC1916. © ESO

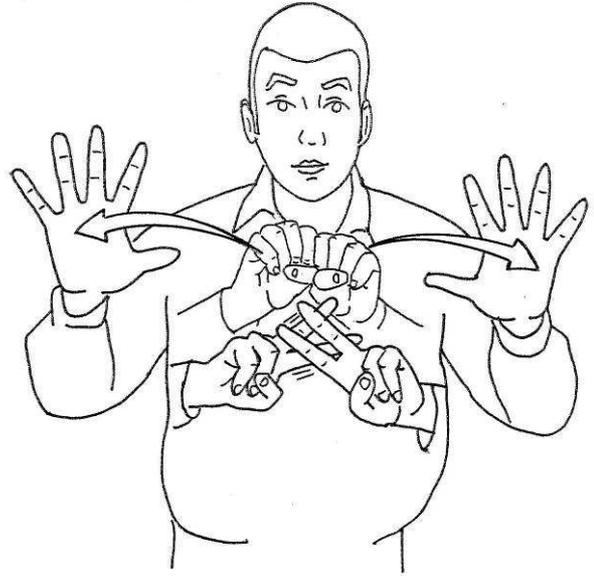


L'amas globulaire NGC6397. © ESO



Amas (ouvert)

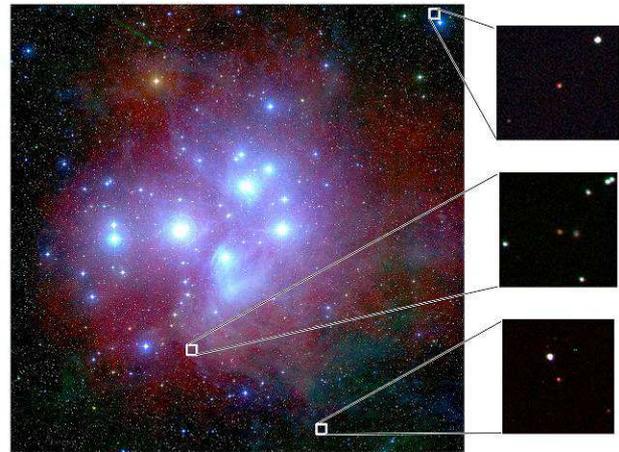
La notion d'amas ouvert se traduit par le signe ETOILES, suivi d'un mouvement d'écartement des mains qui représente leur caractère dispersé. Voir l'entrée *Amas globulaire*.



Mots et expressions associés: Année-lumière - Etoile - Etoile (évolution) - Force (de gravitation) - Galaxie - Géante rouge - Naine blanche - Spectroscopie.

Les étoiles ne sont pas réparties uniformément dans notre Galaxie, pas plus que dans les autres galaxies. Elles forment des groupes ou des amas plus ou moins concentrés dont font partie les **amas ouverts** et les amas globulaires. Les premiers ont une faible concentration d'étoiles, tandis que celle-ci est importante pour les seconds.

Les amas ouverts sont constitués de groupes de quelques centaines à quelques milliers d'étoiles liées entre elles par la force de gravitation. Ils sont situés dans le disque de notre Galaxie. Leur dimension moyenne est d'environ une centaine d'années-lumière, mais chaque étoile est suffisamment éloignée des autres pour pouvoir être vue individuellement dans un télescope. Les plus brillantes sont souvent visibles avec une paire de jumelles. L'analyse chimique effectuée par spectroscopie indique que ces étoiles sont relativement jeunes. Le plus célèbre de ces amas est celui des *Pléiades*, bien visible à l'œil nu dans la constellation du Taureau ; son existence est déjà mentionnée par les Chinois en 2357 avant notre ère. Situées à une distance d'environ 350 années-lumière, les étoiles qui le composent sont « jeunes », tout au plus une trentaine de millions d'années. Très près des *Pléiades*, l'amas des *Hyades* se distingue par sa forme en « V » couché, dominé par l'étoile géante rouge *Aldebaran*. Distant d'environ



Cover: UKIDSS and ESO/Very Large Telescope Survey

Brown Dwarf Candidates in the Pleiades Cluster (UKIDSS)

ESO Press Photo 28b/06 (21 July 2006)

ESO

Les Pléiades dans la constellation du Taureau. © ESO

150 années-lumière, ses étoiles sont âgées de moins d'un milliard d'années. Il comprend toutes les catégories d'étoiles, des géantes rouges aux naines blanches ; comme pour la population humaine, chacune d'elle a une « espérance de vie » différente (voir l'entrée *Etoile-évolution*).



L'amas ouvert Haffner 18, composé d'étoiles jeunes encore plongées dans du gaz chaud. © ESO

Haffner 18 and Its Surroundings
(FORS/VLT)

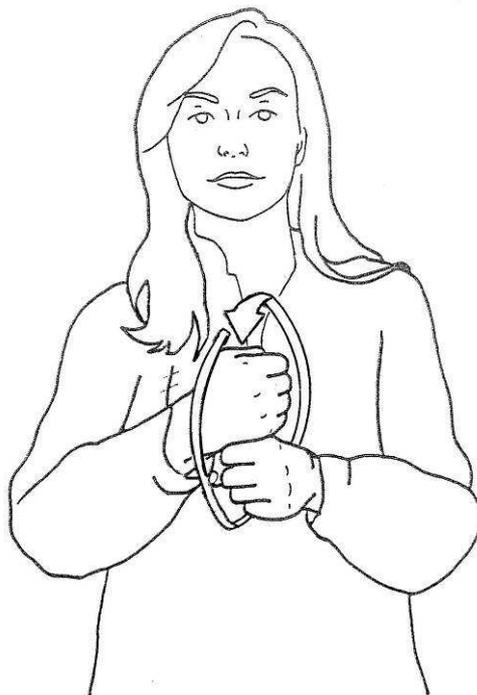
ESO PR Photo 42a/05 (December 26, 2005)

© ESO



Année

Le signe ANNEE, un poing tournant autour de l'autre, représente la trajectoire annuelle de la Terre autour du Soleil. Ce signe est attesté dès le début du XIX^e siècle.

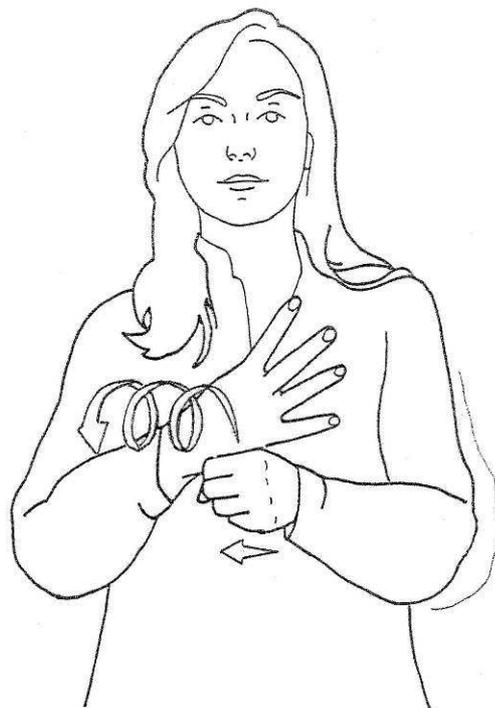


Mots et expressions associés: Année - Calendrier - Etoile - Exoplanète - Lumière - Planète - Révolution - Soleil - Système solaire - Terre.

L'**année** est le temps que met une planète à effectuer une révolution complète autour du Soleil ou d'une étoile. La Terre tourne autour du Soleil en 365 jours, 6 heures, 9 minutes et 9,5 secondes. Pour les autres planètes du Système solaire et les exoplanètes, elle se compte souvent en années et jours de la Terre.

Pour l'année terrestre, les six heures qui sont en trop par rapport aux 365 jours du calendrier sont ajoutées au bout de quatre ans, soit $6 \times 4 = 24$ heures, ou encore une journée. C'est pour cette raison que tous les quatre ans, on ajoute un jour supplémentaire au calendrier, le 29 février : c'est une **année bissextile**. L'année 2008 était bissextile ; il en sera de même de 2012, 2016, 2020, 2024, etc.

L'année bissextile est désignée par le signe TOUS LES QUATRE ANS, dérivé de ANNEE. La main qui représentait la Terre prend la forme du chiffre QUATRE, avec un mouvement répété vers l'avant qui symbolise le caractère cyclique du phénomène.



ANNEE BISSEXTILE



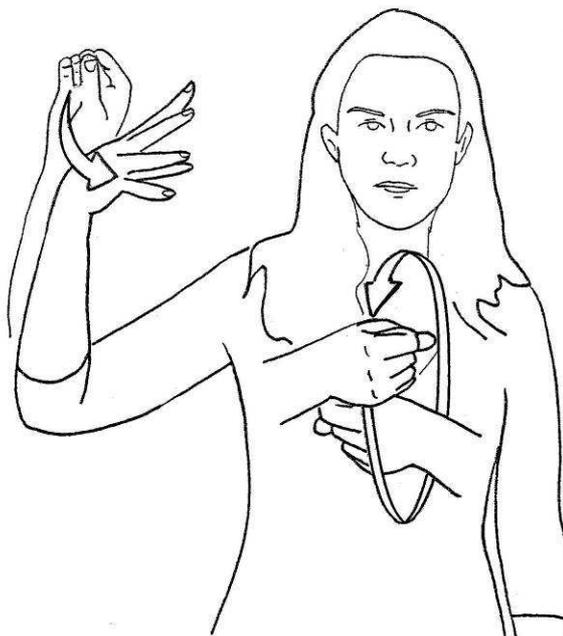
En astronomie, on distingue d'autres types d'années : l'**année sidérale** qui correspond au temps que met le Soleil pour retrouver exactement la même position par rapport aux étoiles, observé d'un point fixe sur la Terre. Dans la vie courante, l'**année civile** comprend 365 jours et 366 jours tous les quatre ans lorsqu'elle est bissextile. Chaque planète du Système solaire a ainsi son année ; correspondant à la durée de sa révolution autour du Soleil : 686,96 jours pour Mars, 4 335,355 jours (11,87 ans) pour Jupiter, 10 757,737 jours (29,45 ans) pour Saturne etc.

L'**année-lumière** (voir cette entrée) est une unité utilisée en astronomie pour mesurer les très grandes distances.



Année-lumière

Le concept d'année-lumière se traduit par le signe ANNEE suivi du signe LUMIERE (voir cette entrée). Le signe ANNEE reproduit le mouvement de rotation de la Terre autour du Soleil ; il était déjà en usage dans les institutions pour enfants sourds au début du XIX^e siècle. Pour ne pas rendre fastidieuse la répétition du signe composé ANNEE-LUMIERE au cours d'une conférence signée d'astronomie, on peut adopter l'abréviation A-L en alphabet manuel.



Mots associés: Astronomie - Distance - Étoile - Galaxie - Jupiter - Lune - Particule - Planète - Photon - Soleil - Télescope - Terre - Vitesse.

L'**année-lumière** est une unité utilisée en astronomie, bien plus pratique que le kilomètre pour mesurer les très grandes distances. Les *photons*, particules qui composent la lumière, se déplacent à une vitesse de 300 000 km/s dans le vide ; l'année-lumière représente donc la distance parcourue en un an par ces particules.

Puisqu'une année comprend 365 jours, qu'un jour a 24 heures, qu'une heure a 60 minutes et qu'une minute a 60 secondes, l'année-lumière (AL) vaut donc :

$300\,000 \text{ km/s} \times 60 \text{ secondes} \times 60 \text{ minutes} \times 24 \text{ heures} \times 365 \text{ jours}$, soit :

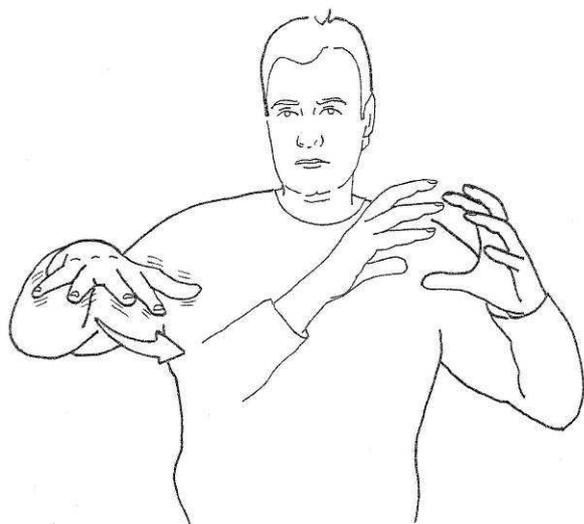
$$\mathbf{1 \text{ A.L} = 9\,460\,800\,000 \text{ km}}$$

La Lune se trouve ainsi à 1,25 seconde-lumière de la Terre, le Soleil à huit minutes-lumière, la planète Jupiter à une heure-lumière, et l'étoile polaire à 300 années-lumière ; on voit donc cette étoile telle qu'elle était il y a 300 ans, le temps que sa lumière parvienne jusqu'à nous. Les galaxies les plus lointaines actuellement observées avec les grands télescopes sont situées à une distance de huit milliards d'années-lumière.

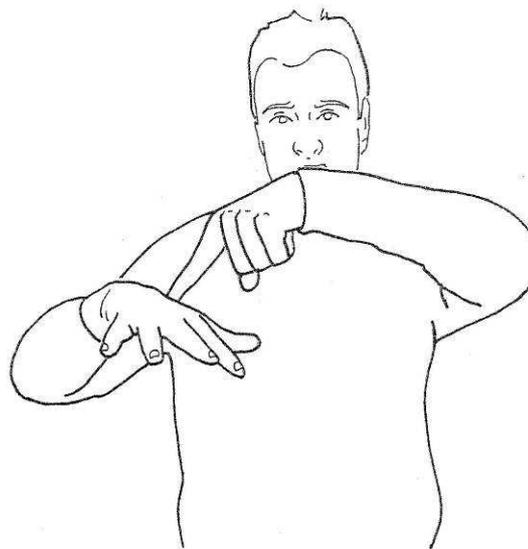


Astéroïdes

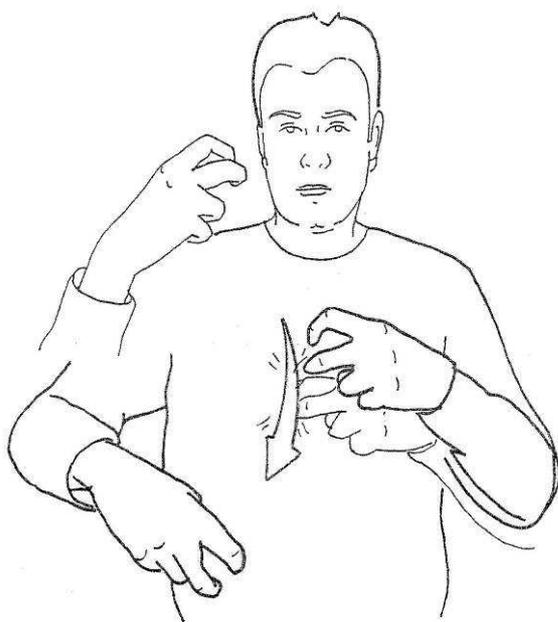
Le concept d'astéroïdes se traduit par une succession de trois signes. Le premier signe montre une vaste zone circulaire autour du Soleil représenté par un poing fermé, remplie d'une multitude de choses symbolisées par les doigts écartés de l'autre main. Un pointage par l'index informe ensuite que l'on va apporter des précisions sur le contenu de cette zone. Il est suivi du signe PIERRE / ROCHE. Pour l'étymologie de ce dernier signe, voir l'entrée *Transneptuniens*. Dans le contexte d'une conférence d'astronomie où le concept d'astéroïdes a été explicité par ces trois signes, le premier d'entre eux suffit par la suite.



1



2



3

Mots et expressions associés: Astronome - Comète - Diamètre - Jupiter - Lune - Mars - Masse - Planète - Soleil - Système solaire - Terre - Vie.

Les **astéroïdes** sont des gros blocs de rochers dont la taille varie entre quelques dizaines de mètres et quelques dizaines de kilomètres. Contrairement aux comètes, la majorité des astéroïdes circule sagement dans une région située entre les orbites de Mars et Jupiter, formant la **ceinture des astéroïdes**.



Cette ceinture d'astéroïdes correspond à une région du Système solaire où l'attraction conjuguée des grosses planètes provoque une **résonance gravitationnelle** qui empêche les petits objets situés dans cette zone de s'agglomérer pour former une nouvelle planète (voir l'entrée *Système solaire*). Les astéroïdes sont constitués de matériaux similaires à ceux des planètes les plus proches du Soleil : Mercure, Vénus, la Terre et Mars. Les astronomes estiment qu'un à deux millions d'entre eux ont un diamètre inférieur à un kilomètre (soit une masse individuelle de vingt milliards de tonnes), tandis qu'environ deux cents ont un diamètre supérieur à cent kilomètres. Ils tournent autour du Soleil à une vitesse moyenne d'environ 65 000 km/h (presque deux fois moins vite que la Terre), avec une masse totale équivalente à celle de la Lune.



L'astéroïde *Gaspra* qui mesure 19 km de long et 12 km de diamètre. © NASA/JPL

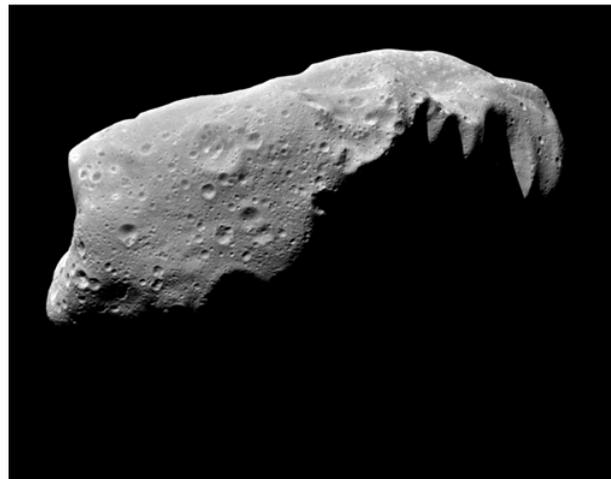
Découverte des astéroïdes

En 1788, *Johann Elert Bode* (1747-1826), directeur de l'Observatoire de Berlin, reprend à son compte une relation numérique liant les distances des planètes au Soleil, découverte en 1741 par l'astronome allemand *Wolf* et précisée par son compatriote *Daniel von Tietz* (1729-1796) :

$$D = 0,4 + (0,3 \times 2^n)$$

Dans cette formule, n prend les valeurs $-\infty$ (moins l'infini) pour Mercure, 0 pour Vénus, 1 pour la Terre, 2 pour Mars, etc. Le tableau ci-dessous montre les correspondances entre les valeurs déduites de la relation de Bode et les distances réelles, la distance de la Terre au Soleil étant prise pour unité. Ce tableau est étendu aux corps célestes découverts après Bode : les planètes Uranus et Neptune, ainsi que les astéroïdes.

Planète	n	Relation de Bode	Distance réelle
Mercure	$-\infty$	0,4	0,39
Vénus	0	0,7	0,72
Terre	1	1,0	1
Mars	2	1,6	1,52
Astéroïdes	3	2,8	2,80
Jupiter	4	5,2	5,20
Saturne	5	10,0	9,55
Uranus	6	19,6	19,2
Neptune	7	38,8	30,1



L'astéroïde *Ida*, de 56 km de long et 23 km de diamètre. © NASA/JPL

L'absence de planète entre Mars et Jupiter (correspondant à $n = 3$) incite les astronomes de la fin du XVIII^e siècle à scruter le ciel à la recherche d'un monde nouveau. En 1801, l'abbé *Piazzi* découvre **Cérès**, le plus gros des astéroïdes avec un diamètre de 350 km. Par la suite, de nombreux petits corps seront trouvés, parmi lesquels **Pallas** (230 km de diamètre), **Vesta** (190 km), **Junon** (110 km), jusqu'à **Icare** (700 mètres) et **Adonis** (150 mètres). Le Système solaire dispose ainsi d'une véritable ceinture composée de plus de 400 000 astéroïdes. A titre d'exemple, l'astéroïde n° 4474 s'appelle *Proust*, du nom d'un des auteurs de ce dictionnaire. Il a un diamètre d'environ 19 km et effectue une révolution autour du Soleil en 5,71 ans, à une distance au Soleil comprise entre 402 et 554 millions de km.

Des risques pour la Terre ?

Si la majorité des astéroïdes tourne sagement entre les orbites de Mars et Jupiter, un bon nombre d'entre eux ont une orbite plus excentrique ; ils constituent la famille des **Troyens**, dont les orbites croisent celles de Mars, de la Terre, de Vénus et de Mercure, risquant de percuter ces planètes.

C'est vraisemblablement un astéroïde de dix kilomètres de diamètre qui a percuté la Terre il y a 65 millions d'années ; il serait à l'origine de la formation du Golfe du Mexique et aurait provoqué l'extinction des grands dinosaures. Le 30 juin 1908, dans la région de la *Tunguska* en Sibérie, un astéroïde de 100 000 tonnes explosa dans la haute atmosphère avant de heurter la Terre, couchant les arbres sur des dizaines de kilomètres alentour. Par chance, la région était désertique.

Si la vie sur Terre est apparue grâce aux comètes et aux astéroïdes, la collision avec l'un de ces corps pourrait être aussi une cause majeure de son extinction, partielle ou totale (voir l'entrée *Vie*).



L'astéroïde *Eros*, un cylindre de 33 km de long et 13 km de diamètre. La sonde spatiale *NEAR* s'est posée à sa surface le 12 février 2001. © NASA/JPL



Astrologie

Le signe ASTROLOGIE est l'ancien signe ETOILES tel qu'il était réalisé dans les siècles passés, et tel qu'il se maintient aujourd'hui dans d'autres pays que la France : il consiste à pointer avec les index différents endroits de la voûte céleste. L'apparition de deux autres signes ETOILE (voir les entrées *Etoile-généralités* et *Voûte céleste*) et l'existence d'un signe spécifique ASTRONOMIE ont conduit à conserver cet ancien signe ETOILES en lui attribuant le sens d'« astrologie ».



Mots et expressions associés: Astronomie - Calendrier - Comète - Constellation - Etoile - Planète - Précession des équinoxes - Soleil - Terre - Zodiaque.

C'est bien à tort que l'on confond souvent **astronomie** et **astrologie**. Dans l'histoire ancienne, et jusqu'à la fin du XVII^e siècle, il existait une « science du ciel » consistant à repérer le mouvement des planètes parmi les **douze constellations du zodiaque**, à observer les comètes et les étoiles, à suivre les éclipses de la Lune et du Soleil, à ajuster le calendrier. Ces phénomènes étaient interprétés comme des signes tangibles envoyés par les divinités. Dans les palais, les rois, les empereurs et les dignitaires s'entouraient ainsi d'astrologues, ceux-ci établissant des prédictions et des horoscopes à partir de leurs observations. Cette activité n'était pas sans risque, et des astrologues furent mis à mort parce que leurs prédictions ne s'étaient pas réalisées.

Les douze constellations du zodiaque

Au cours de l'année, le mouvement apparent du Soleil (en réalité c'est la Terre qui tourne autour de lui) lui fait traverser traditionnellement douze constellations qui constituent le zodiaque. Voici leurs noms, en français et en latin : le Verseau (Aquarius), les Poissons (Pisces), le Bélier (Aries), le Taureau (Taurus), les Gémeaux (Gemini), le Cancer (Cancer), le Lion (Leo), la Vierge (Virgo), la Balance (Libra), le Scorpion (Scorpius), le Sagittaire (Sagittarius) et le Capricorne (Capricornus). En réalité, le Soleil passe aussi dans d'autres constellations, comme Ophiuchus ou le Corbeau.



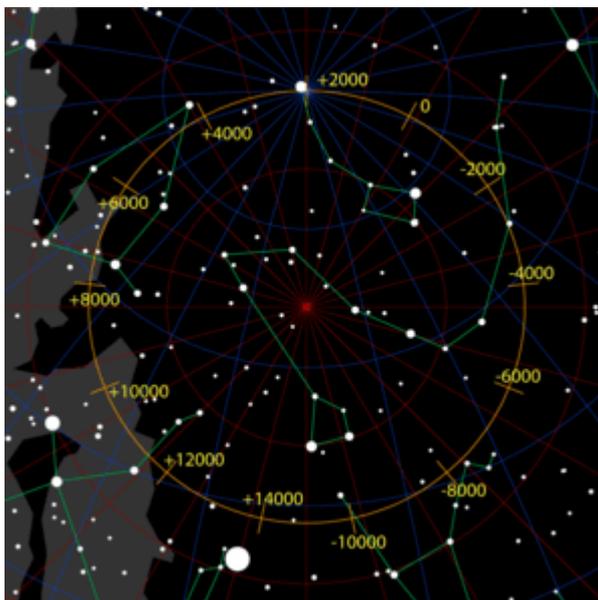
Le symbolisme des douze constellations du zodiaque (traité anonyme du XVII^e siècle).

Comme les planètes sont dans le même plan de révolution que la Terre autour du Soleil, elles traversent aussi plus ou moins rapidement (suivant leur distance au Soleil) ces douze constellations. *Ptolémée*, un astrologue qui vivait à Alexandrie en l'an 140, a rédigé un livre appelé *Tetrabiblos* dans lequel il divise le zodiaque en douze régions égales, auxquelles il donne les noms des douze constellations (comme le cercle complet du zodiaque fait 360°, chaque région fait donc 30°). Il établit ensuite des relations entre les planètes et le zodiaque, qui sont censés influencer la vie terrestre selon que telle planète traverse telle ou telle région. A la suite de Ptolémée et jusqu'à la Renaissance, les astrologues associent ainsi les observations du ciel et les positions des planètes pour dresser des horoscopes et faire des prédictions. On s'est rendu progressivement compte que celles-ci ne reposent sur rien de sérieux, notamment avec la découverte de mouvements particuliers de la Terre comme la **précession des équinoxes**.

La précession des équinoxes

L'axe de la Terre se comporte comme une toupie en fin de course, et change lentement d'orientation. Actuellement, il vise **l'étoile polaire** dans la constellation de la Petite Ourse. Mais il y a 5 000 ans, c'était l'étoile α (alpha) du Dragon qui indiquait le pôle nord, et dans 12 000 ans ce sera α de la Lyre (appelée *Vega*) qui indiquera le nord. L'actuelle étoile polaire visera à nouveau le nord dans 25 800 ans.

Ce mouvement particulier provoque un décalage entre les constellations du zodiaque et les douze régions qui leur ont été associées par Ptolémée. Ainsi, à notre époque, le Soleil et les planètes ne sont plus dans la constellation correspondant à leur région astrologique.



Le déplacement du pôle nord pour les prochains millénaires. ©Tau'olunga.

A partir du XVII^e siècle, les astronomes concluent aisément que l'astrologie ne repose sur aucune loi sérieuse, et qu'il n'y a aucune influence sur Terre qui provient des planètes, mis à part les effets du Soleil (chaleur et lumière, flux de particules issues des éruptions) et ceux de la Lune (notamment les marées). **L'astronomie et l'astrologie n'ont donc rien de commun.** De nos jours, on trouve encore des horoscopes dans de nombreux journaux. Ceux-ci n'ont aucune valeur, mais rapportent beaucoup d'argent à ceux qui les écrivent. Les astronomes ont largement démontré que l'astrologie n'avait aucune réalité, mais les superstitions sont encore très tenaces.

Astronomie - Astrophysique

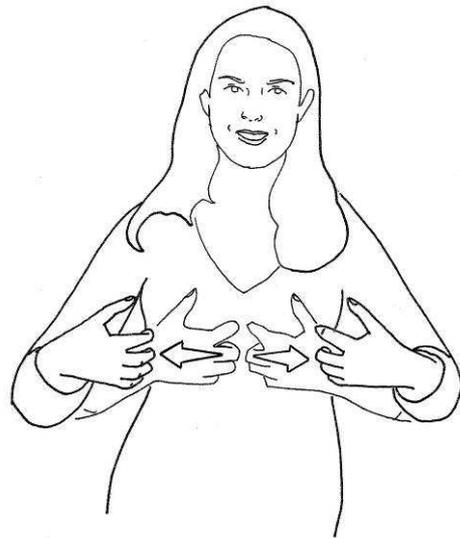
Au XIX^e siècle, le concept d'astronomie se traduisait par « SOLEIL, LUNE, ETOILE, SAVOIR », suivis du signe « placer les deux mains en tuyau devant l'œil droit » (abbé Lambert, 1865). Par économie, c'est ce dernier composant qui est devenu le signe ASTRONOMIE. Pour le distinguer de LUNETTE ASTRONOMIQUE, on le fait suivre de SCIENCE, de même qu'il était précédé de SAVOIR au XIX^e siècle. Pour l'étymologie de SCIENCE, voir l'entrée correspondante.

Si l'astronomie est traditionnellement la science des astres, de leur mouvement, du temps, du calendrier, etc., le même signe s'applique à l'**astrophysique** qui concerne plus particulièrement l'étude physique, chimique et chronologique (évolution dans le temps) des planètes, des étoiles, des galaxies et de l'univers dans son ensemble.

Mots et expressions associés: Astronomie (histoire) - Calendrier - Constellation - Etoile - Galaxie - Imagerie - Lumière - Lune (phases) - Mécanique céleste - Photométrie - Planète - Satellite (artificiel) - Soleil - Spectroscopie - Système solaire - Télescope - Terre - Univers - Voûte céleste - Zodiaque.



LUNETTE ASTRONOMIQUE



SCIENCE

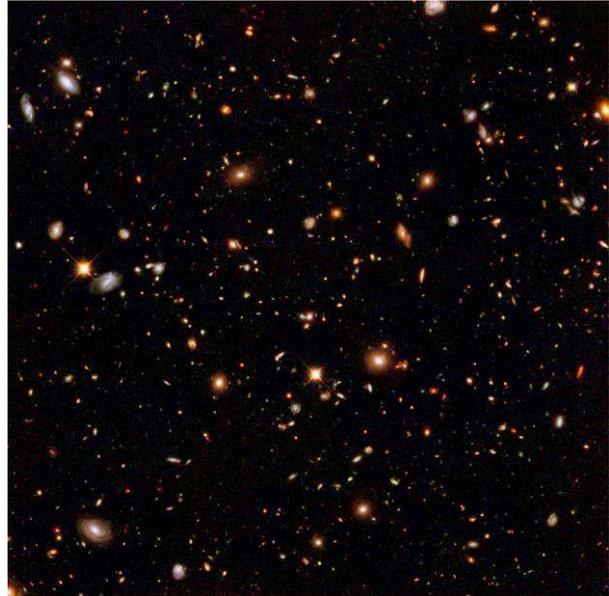
L'**astronomie** est sans doute la plus ancienne des sciences. Elle est née avec la conscience de l'homme, dès que celui-ci fut intellectuellement assez évolué pour remarquer la régularité des phénomènes célestes, le lever et le coucher du Soleil, les phases de la Lune, les mouvements des planètes sur la voûte céleste, etc. Ces phénomènes sont à l'origine des premières lois organisant la vie des civilisations suivant les rythmes du ciel. Dans l'histoire, l'importance de l'astronomie est telle que les rois, les empereurs, les dignitaires, etc., se sont entourés d'astronomes, ceux-ci ayant essentiellement pour tâche d'effectuer des prédictions à partir des mouvements des planètes dans les douze constellations du zodiaque. Cette activité, à l'origine des horoscopes, constitue l'**astrologie** qui connaît encore de nos jours un certain succès, bien qu'elle ne repose sur aucune base solide, ainsi que les astronomes modernes l'ont clairement démontré.



Au cours de l'histoire (voir l'entrée *Astronomie-histoire*), les astronomes ont étudié le mouvement de la Terre, du Soleil, de la Lune et des planètes ; ils ont établi des cartes du ciel en regroupant les configurations d'étoiles en constellations (il y en a 88 dans le ciel). Ils ont découvert le cycle des saisons et ont réglé le déroulement des jours à l'aide des calendriers. Dans l'Antiquité, les planètes ont été considérées comme des divinités ; plus tard, on a essayé de comprendre leur nature, leur origine et de préciser leurs mouvements : ainsi est née la mécanique céleste. L'astronomie a permis au voyageur de s'orienter ; pendant de nombreux siècles, elle a servi aux navigateurs pour se repérer ; elle permet aussi de donner l'heure exacte, avec aujourd'hui une précision du millionième de milliardième de seconde.

L'**astrophysique** est un domaine plus récent de l'astronomie. Elle s'intéresse essentiellement à la nature et à l'histoire des corps qui composent l'univers : planètes, étoiles, galaxies, etc. Les astrophysiciens effectuent des observations avec les télescopes répartis sur la Terre et, depuis quelques dizaines d'années, à l'aide des satellites artificiels en orbite autour de notre planète et des sondes spatiales naviguant dans le Système solaire et en dehors de celui-ci.

Grâce à l'analyse de la lumière qui est faite par imagerie, photométrie et spectroscopie, il est possible de connaître la composition chimique, le mouvement et l'évolution des étoiles et des galaxies, et de pouvoir remonter le temps. Actuellement, les astrophysiciens estiment que l'univers est âgé de 13,7 milliards d'années ; les plus grands télescopes permettent d'observer des galaxies lointaines à une distance de huit milliards d'années-lumière, autrement dit de voir comment était l'univers il y a huit milliards d'années.

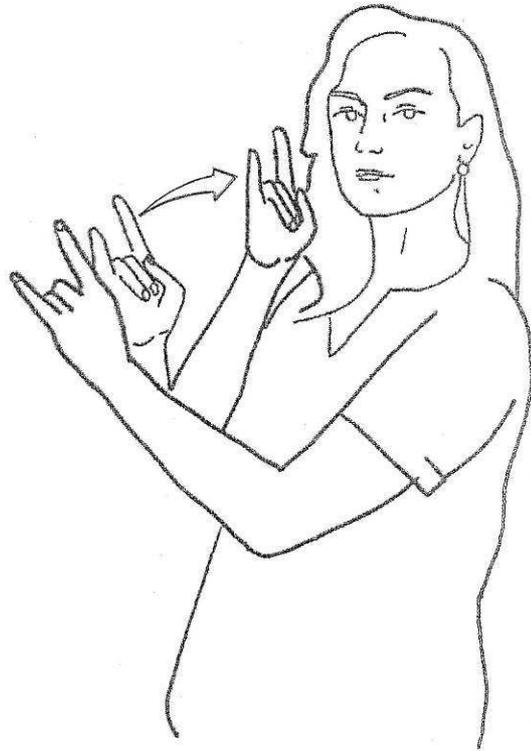


Un champ profond du ciel, mélange d'étoiles et de galaxies très lointaines. © NASA/HST



Astronomie (histoire)

La notion d'histoire de l'astronomie se traduit par le signe HISTOIRE suivi du signe ASTRONOMIE. Dans le premier de ces composants, une main immobile représente le moment présent ; l'autre main part vers l'arrière sur l'axe du temps, c'est-à-dire vers le passé. Les deux mains ont la forme du H de l'alphabet manuel, initiale du mot *histoire*. Pour l'étymologie de ASTRONOMIE, voir l'entrée correspondante.



HISTOIRE

Mots et expressions associés: Année lumière - Astronomie - Big Bang - Calendrier - Comète - Eclipse - Ellipse - Etoile - Etoile double - Etoile variable - Force (attraction) - Galaxie - Jupiter - Lune - Lunette astronomique - Mars - Mécanique céleste - Neptune - Planète - Pollution lumineuse - Rayonnement à 3K - Satellite - Saturne - Soleil - Spectroscopie - Système solaire - Télescope - Terre - Titan - Univers - Uranus - Lumière (vitesse).

Depuis la plus haute Antiquité, l'univers a toujours fasciné les hommes. La double interrogation du **comment** et du **pourquoi** de son origine et de son évolution justifie à elle seule les travaux qui ont permis à l'astronomie d'effectuer des progrès considérables au cours du temps. L'homme est né et vit dans l'univers ; c'est sans doute cette relation intime avec le milieu environnant qui fait de l'astronomie la plus ancienne des sciences, aussi ancienne que l'homme lui-même. Jusqu'à la Renaissance, ce dernier ne dispose pas d'instrument et observe à l'œil nu ; il a cependant l'avantage de ne pas subir de pollution lumineuse et de pouvoir observer le ciel profond en tous points de la Terre, dans des conditions impensables de nos jours.

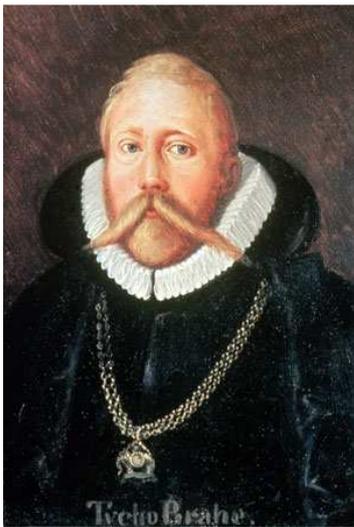
Les recherches archéologiques prouvent que les civilisations de la préhistoire s'intéressaient au ciel. Les phases de la Lune, les mouvements des planètes, l'alternance des saisons sont à l'origine des premiers calendriers. Cependant, les connaissances actuelles trouvent leurs sources dans l'Antiquité grecque. A Babylone (-800), les astronomes savaient déjà prédire les dates des éclipses de Soleil et de Lune. *Anaximandre* (-610, -540) place la Terre dans l'espace et dispose les étoiles à de grandes distances. *Aristarque* (-310, -230) est le premier à penser que la Terre tourne sur elle-même tout en étant en révolution autour du Soleil. Au II^e siècle avant notre ère, *Hipparque* élabore le premier catalogue d'étoiles, qu'il répartit en six classes suivant leur luminosité. *Ptolémée* (96-165) propose un système du monde dans lequel la Terre est au centre de l'univers : c'est le **modèle géocentrique**. Bien que faux, ce modèle sera imposé par l'autorité de l'Eglise jusqu'à la Renaissance.



Dans le haut Moyen-Âge, la science arabe apporte à l'astronomie un ensemble de connaissances fondamentales, notamment grâce au développement des mathématiques. Parmi les grands astronomes arabes, on peut citer *Al Kindi* (801-873), auteur de seize livres d'astronomie, ou encore *Al Farghani* (805-880) qui étudie le mouvement des corps célestes. L'astronomie est progressivement enseignée dans les jeunes universités d'Europe qui maintiennent cependant le modèle géocentrique. Il faut attendre *Nicolas Copernic* (1473-1543) pour que les mouvements des planètes soient expliqués par un **modèle héliocentrique** dans lequel ce sont les planètes qui tournent autour du Soleil. Ce modèle est combattu par l'Eglise qui veut donner à l'homme, création de Dieu, la suprématie sur l'univers. C'est seulement à la fin du XVII^e siècle que le modèle héliocentrique est définitivement adopté.



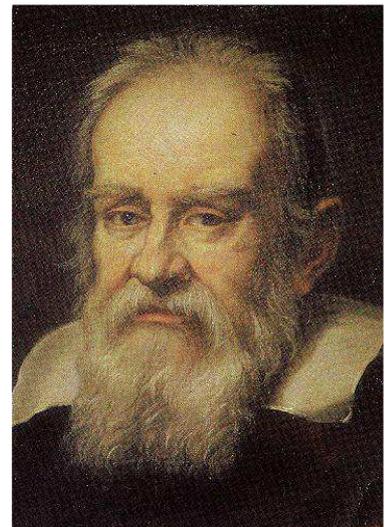
Nicolas Copernic. © Observatoire de Paris



Tycho Brahe



Johannes Kepler



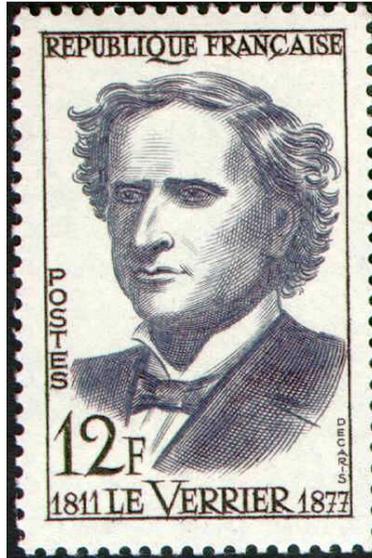
Galileo Galilei

Tycho Brahe (1546-1610) élabore des catalogues d'étoiles, observe les mouvements des planètes et conclut que les comètes sont des corps lointains. Ses observations du mouvement de la planète Mars sont reprises par *Johannes Kepler* (1571-1630) qui découvre les trois lois de la mécanique céleste qui portent aujourd'hui son nom, dont celle qui attribue aux orbites planétaires une forme en ellipse. *Galileo Galilei* (1564-1642) est le premier à diriger vers le ciel la lunette inventée quelques années plus tôt par des opticiens hollandais. Il observe les cratères de la Lune, découvre les quatre principaux satellites de Jupiter et, comme Kepler, défend le modèle héliocentrique. En Hollande, *Christiaan Huygens* (1629-1695) découvre les anneaux de Saturne ainsi que son satellite Titan, et observe la rotation de Mars. *Jean Dominique Cassini* (1625-1712) fonde l'observatoire de Paris, mesure la distance de la Terre au Soleil et découvre quatre nouveaux satellites de Saturne, tandis qu'*Olaus Römer* (1644-1710) mesure la vitesse de la lumière dans le même observatoire. En Angleterre, *Isaac*

Newton (1642-1727) montre que la lumière blanche se décompose en différentes couleurs (voir l'entrée *Spectroscopie*) ; il construit le premier télescope et établit en 1687 la loi de la **gravitation universelle** dans laquelle les corps sont soumis à la force d'attraction en fonction de leur distance mutuelle. Son compatriote *Edmund Halley* (1656-1742) calcule les orbites de vingt-quatre comètes et prédit le retour de l'une d'elles (voir l'entrée *Comète*).



William Herschel



Urbain le Verrier



Albert Einstein et Marie Curie

Le XVIII^e siècle marque une avancée considérable en astronomie. Les télescopes permettent d'observer les étoiles, de découvrir que leur éclat varie (voir l'entrée *Etoile variable*) et que certaines sont multiples (voir l'entrée *Etoile double*). *William Herschel* (1738-1822) découvre Uranus, ainsi que de nombreuses galaxies. *Pierre Simon de Laplace* (1749-1827) étudie la formation du Système solaire. Au XIX^e siècle, *Urbain Le Verrier* (1811-1877) découvre Neptune par le calcul, en analysant les perturbations que cette planète jusqu'alors hypothétique provoque sur l'orbite d'Uranus. Les progrès techniques permettent d'obtenir les premières images photographiques du ciel à partir de 1845, et de grands observatoires sont construits à travers le monde.

Si l'univers a longtemps été considéré comme infini et éternel, les travaux théoriques d'*Albert Einstein* (1879-1955) bouleversent les anciennes conceptions, par la relativité restreinte (1905) puis la relativité générale (1916) : l'univers observable a commencé par un Big Bang. Il se dilate dans un mouvement global d'expansion, ce que confirment les observations d'*Edwin Hubble* (1889-1953) à partir de l'analyse spectroscopique des galaxies. En parallèle, la radioastronomie se développe, permettant de recevoir les émissions des composantes de l'espace dans le domaine des ondes radio. La découverte du rayonnement du fond du ciel à 3K confirme ce modèle cosmologique.



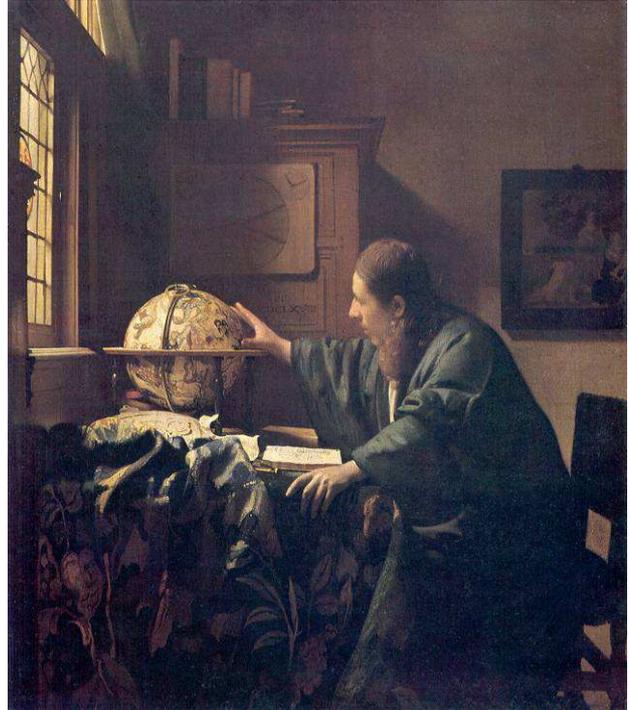
Edwin Hubble



Dans la période contemporaine, l'univers est étudié sur des distances de plusieurs milliards d'années-lumière, permettant ainsi de remonter très loin dans le passé. Avec le développement des instruments au sol et dans l'espace, on peut analyser en détail la structure des planètes, des comètes, des étoiles et des galaxies. Des recherches fondamentales sont maintenant possibles, concernant aussi bien les débuts de l'univers que la recherche de la vie extraterrestre. Il n'est pas possible ici de détailler la liste prodigieuse des découvertes et des progrès accomplis en astronomie depuis la seconde moitié du XX^e siècle : de plus en plus, l'astronomie permet à l'homme de retrouver aussi bien dans l'univers ses propres origines que de connaître l'immense espace dans lequel il évolue.



L'Astronomie (tapisserie française du XVI^e siècle, Musée de Göteborg).



L'Astronome (Jan Vermeer van Delft, 1632-1675, Musée du Louvre).



Big Bang

Le Big Bang se représente par le signe UNIVERS (voir cette entrée), suivi du signe EXPLOSION. Les poings qui s'ouvrent en s'écartant largement symbolisent une explosion suivie d'une rapide expansion ; ce signe, qui diffère du signe standard EXPLOSION par l'écartement des mains, est également constitutif de SUPERNOVA.

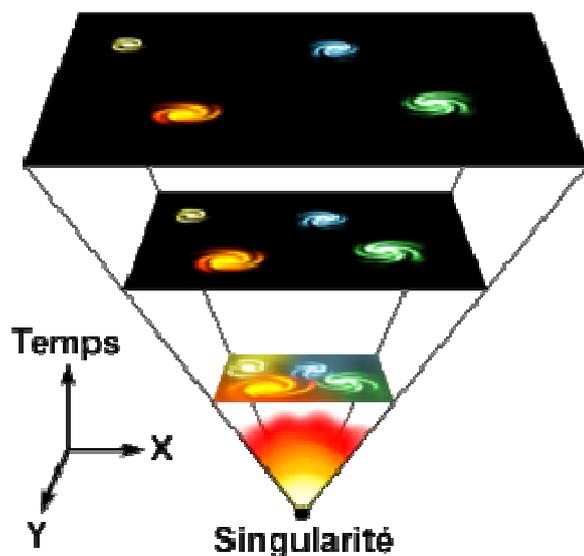


EXPLOSION

Mots et expressions associés: Astronome - Atome - Élément chimique - Galaxie - Relativité - Univers (expansion) - Univers (histoire) - Univers (rayonnement).

La **cosmologie physique** a pour but d'analyser les états de la matière dans l'univers en remontant dans le passé jusqu'à un « début », origine du temps et de l'espace, appelé **Big bang**. Les galaxies observées sont d'autant plus jeunes qu'elles sont éloignées de nous. Dans le passé, l'univers était plus petit et plus chaud : les galaxies étaient donc plus proches les unes des autres (voir l'entrée *Univers-expansion*). Le Big Bang correspond aux conditions initiales extrêmes de température et de densité, où la matière se serait libérée sous forme d'une expansion brutale.

Les télescopes optiques permettent de voir les galaxies lointaines et, par conséquent, de remonter le temps. L'instrumentation utilisée au sol et dans l'espace fournit maintenant les véritables preuves d'un espace à l'origine chaud et dense, dont le début est marqué par **un violent cataclysme**. Le rayonnement cosmologique et la récession des galaxies (voir l'entrée *Univers-expansion*) sont des arguments majeurs en faveur du Big Bang. De plus, les astrophysiciens ont montré que l'abondance des éléments chimiques formés au début de l'univers, comme l'hélium, le deutérium et le lithium, sont remarquablement constants dans toutes les directions du ciel, conduisant à la conclusion que les noyaux de ces atomes se sont formés à la même époque.



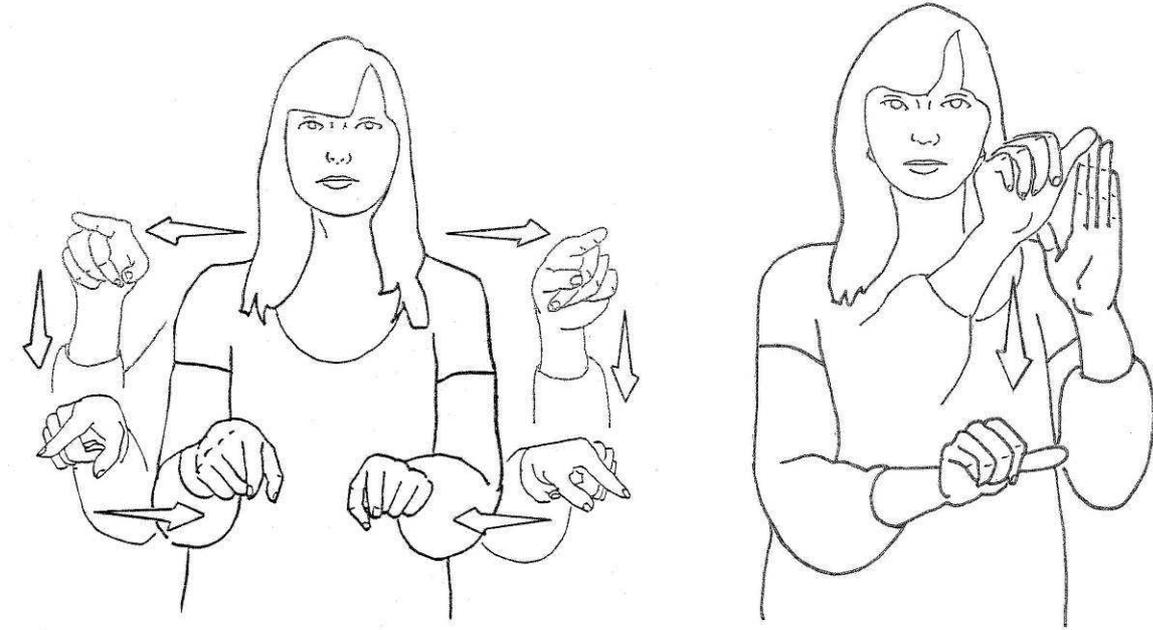
L'expansion de l'univers à partir du Big Bang.

A l'aide des solutions des équations de la relativité et des résultats provenant des observations, les astronomes sont parvenus à retracer l'histoire de l'univers depuis 13,7 milliards d'années, commençant par le Big Bang, ce mystérieux cataclysme dont les caractéristiques physiques sont encore inconnues (voir l'entrée *Univers-histoire*).



Calendrier

Le signe CALENDRIER est composé d'un rectangle tracé dans l'espace qui reproduit la forme de l'objet, suivi du signe MOIS dont l'étymologie est livrée à la fin du XVIII^e siècle par l'abbé Ferrand : « On trace sur la main gauche des lignes de haut en bas, pour représenter les mois comme ils le sont sur les almanachs ».



Mots et expression associées: Année - Année bissextile - Equinoxe - Etoile - Etoile (Noël) - Jupiter - Lune (pleine) - Mars - Mercure - Révolution - Saturne - Soleil - Système solaire - Terre - Vénus.

Le calendrier permet de compter les jours, calculer les cycles naturels (Lune, saisons, etc.) et marquer les dates liées aux différentes activités humaines. Depuis des millénaires, il règle le cours de la vie civile dans tous les domaines, permettant aussi bien de fixer des rendez-vous que de se souhaiter la bonne année.

Les premiers calendriers ont été établis à partir de l'observation des phénomènes naturels : succession des jours et des nuits, mouvements du Soleil, de la Lune et des étoiles. Le cycle de la Lune en 28 jours est à l'origine de la division de l'année en 12 mois. Le plus ancien calendrier remonte aux Egyptiens ; il est divisé en 12 mois de 30 jours et complété par 5 jours. Par la suite, les nombreuses civilisations adoptent des valeurs différentes, notamment les Grecs qui utilisent l'année lunaire, en intercalant 11 jours et 6 heures chaque année. Avec son année



Fragments du calendrier gaulois de Coligny.
© Wikipedia common

bissextile, le calendrier romain est assez proche du calendrier actuel. Les derniers écarts de calendrier ont été corrigés par les astronomes du pape Grégoire XIII le 4 octobre 1582 ; depuis cette date, le calendrier utilisé correspond à la révolution de la Terre autour du Soleil : 365 jours 6 heures 9 minutes et 9,54 secondes.

Chaque calendrier compte les années à partir d'une origine qui varie selon les traditions. Pour les israélites, le point de départ se situe le 7 octobre 3 761 avant notre ère, date de la Genèse ; pour les musulmans, c'est le 16 juillet 622, date du départ de Mahomet à Médine. Les chrétiens comptent à partir de la naissance de Jésus-Christ, même si la date n'en est pas connue avec précision ; il comporte une erreur de quatre ans (voir l'entrée *Etoile-Noël*). Au Moyen-Âge, le nouvel an était fixé au 1^{er} avril ; en 1569, le roi Charles IX le fixe au 1^{er} janvier.

La dénomination des **jours** est liée au découpage du mois. Si les Grecs et les Romains divisent ce dernier en trois périodes de dix jours, il faut attendre plusieurs siècles pour adopter les sept jours de la **semaine**, dont les noms sont empruntés aux planètes du Système solaire : Lune pour *lundi*, Mars pour *Mardi*, Mercure pour *Mercredi*, Jupiter pour *Jeudi*, Vénus pour *Vendredi* et Saturne pour *Samedi* (qui est également le jour du *Sabbat* israélite). Dimanche est le jour du dieu (latin *dominicus*) des chrétiens ; c'est aussi le jour du Soleil : *sun* en anglais a donné *sunday*.

Les noms des **mois** sont hérités de la tradition grecque : Mars (dieu de la guerre), Mai (de Maïa, mère de Mercure), Juin (de Junon, sœur de Jupiter), etc.

Le calendrier comporte des **fêtes fixes** et des fêtes **mobiles**. Les premières sont liées à des événements historiques (14 juillet, 8 mai...) ou renvoyant à la tradition (Noël). Les secondes sont calculées à partir de la date de Pâques, fixée en l'an 325 (concile de Nicée) au premier dimanche suivant la Pleine Lune



Calendrier romain. © Hitman



Calendrier catalan d'un atlas de 1375 de Abraham et Jehuda Cresques.

du 21 mars (équinoxe de printemps). C'est pourquoi cette date varie entre le 22 mars et le 25 avril, en fonction des phases de la Lune. Les dates de l'Ascension (quarante jours après Pâques) et de la Pentecôte (cinquante jours après Pâques) sont donc également variables.



Comète

Dans le signe COMETE, un poing fermé représente le noyau, tandis qu'avec ses quatre doigts écartés l'autre main représente la queue. Les deux mains se déplacent de concert pour figurer le mouvement de la comète dans le ciel.



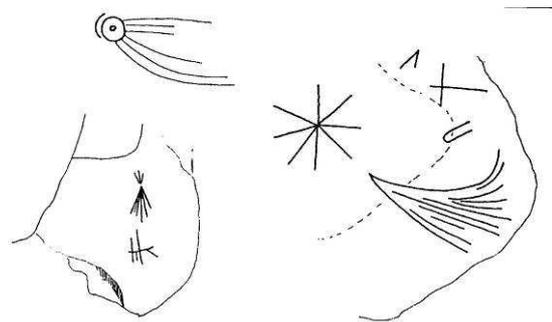
Mots et expressions associés: Ellipse - Planète - Révolution - Soleil - Système solaire - Terre - Unité astronomique.

Le mot **comète** provient d'un mot grec signifiant « avec des cheveux ». Depuis toujours, on en observe de temps en temps dans le ciel, comme un point brillant suivi d'une longue traînée lumineuse. Au cours de l'histoire de l'humanité, de nombreuses comètes ont été signalées. Pour les Anciens, leur apparition était l'annonce d'une famine, d'une guerre ou d'autres catastrophes. De nos jours, elles intéressent particulièrement les astronomes : puisqu'elles ont l'âge du Système solaire, leur analyse permet de comprendre comment ce dernier s'est formé et a évolué, notamment grâce aux sondes spatiales qui rapportent sur la Terre des échantillons de matière et de gaz.

Les plus anciennes observations ayant laissé des traces écrites parvenues jusqu'à nous remontent à plusieurs millénaires ; elles sont dues à des astronomes chinois. De nos jours, une nouvelle comète reçoit le plus souvent le nom de l'observateur qui l'a découverte ; on a recensé plus de 2 000 comètes.

Une comète se compose de trois parties : d'abord le **noyau** qui est la partie la plus brillante ; ensuite la **chevelure** qui entoure le noyau comme une atmosphère ; et enfin la **queue** qui est la longue traînée qui s'observe dans le ciel. Il y a parfois deux queues, comme on peut le voir sur l'illustration montrant la comète *Hale-Bopp*.

Les comètes font partie du Système solaire. Depuis les travaux de *Halley* (voir plus bas), nous savons que beaucoup de comètes reviennent régulièrement ; comme les planètes, elles sont en révolution autour du Soleil, mais sur des ellipses beaucoup plus allongées. D'autres comètes semblent venir



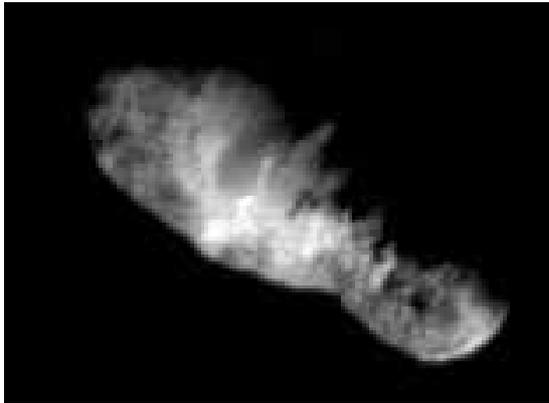
Anciens dessins de comètes, gravés sur des rochers de l'île de Pâques. © DP



nous rendre visite une seule fois, avant de repartir dans les profondeurs de l'espace. Il est certain qu'il y a également de très nombreuses comètes dans les systèmes planétaires lointains, autour des autres étoiles.



La comète Hale-Bopp. © Michel Verdenet



Le noyau de la comète Borelly. © NASA/JPL



'Old tails' from Comet McNaught

ESO Press Photo 05b/07 (19 January 2007)

This image is copyright © ESO. It is intended for non-commercial use only. All rights reserved. No part of this image may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without permission in writing from ESO.



La comète Mac Naught au coucher du Soleil depuis le Chili. © ESO

Le noyau d'une comète est constitué d'un gros bloc constitué de roches maintenues ensemble par de la poussière et de la glace d'eau, du monoxyde de carbone (CO) et du dioxyde de carbone (gaz carbonique: CO₂). A des milliards de km du Soleil, où la température est de l'ordre de -220°C, les noyaux sont très difficilement observables à cause de leur petite taille. Le noyau de la comète de Borelly a été observé par la sonde *Deep Space 1*; ses dimensions sont de 8 km de long et 3 km de large environ.

La chevelure d'une comète apparaît lorsque le noyau s'approche du Soleil. La chaleur de celui-ci chauffe la glace, et un voile de gaz s'échappe avec de la poussière pour former une faible atmosphère autour du noyau, bien éclairée par le Soleil. La chevelure est essentiellement composée d'eau et de monoxyde de carbone (CO).

Les queues très fines s'allongent sur des dizaines de milliers de kilomètres. La queue la plus importante est courbe; elle est constituée de poussière. L'autre queue, appelée « queue de plasma » est composée de gaz éjecté par le noyau de la comète. Les particules projetées dans toutes les directions par l'activité du Soleil repoussent les poussières et les molécules de gaz. C'est pourquoi **une queue de comète est toujours dans la direction opposée à celle du Soleil.**

La comète de Halley

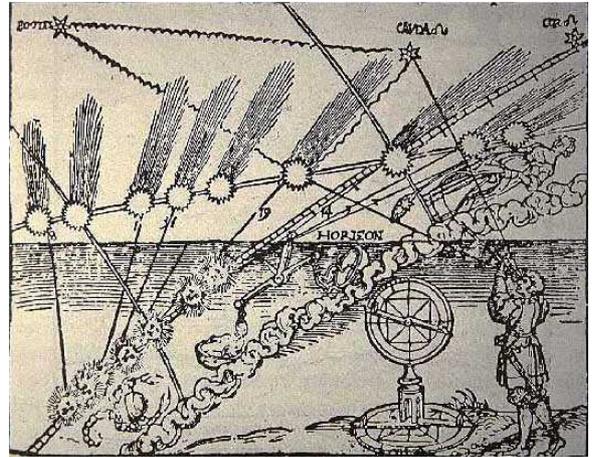
Pour nommer la comète de Halley en LSF, on fait suivre le signe COMETE de l'épellation manuelle du nom « Halley ». On peut ensuite simplifier en réduisant Halley à son initiale: COMETE + H.

De toutes les comètes, celle de Halley est la plus célèbre. Son nom est un symbole de cette famille d'objets. Elle est visible depuis la Terre tous les 76 ans, lorsqu'elle passe au plus près du Soleil, à 0,58 unités astronomiques (UA), avant de repartir au-delà de la planète Neptune à 35,3 UA sur une longue orbite en ellipse. Au cours de l'histoire, elle a été observée à chacun de ses passages à proximité de la Terre. C'est l'astronome anglais *Edmund Halley* (1656-1742) qui découvrit que c'était en fait la même comète qui réapparaissait tout les 76 ans : on dit que **la comète de Halley a une période de 76 ans**.

La comète de Halley a été observée par les Chinois en 240 avant J.-C. Ce ne peut être l'astre qui est signalé dans l'évangile de Mathieu et qui a été vu par les mages à la nativité de Jésus : elle est passée près de la Terre plusieurs années auparavant. Visible en 1066, elle figure sur la tapisserie de Bayeux (1). Elle est dessinée en 1531 (2) par l'astronome saxon *Peter Apian* (1495-1552). Elle est photographiée en 1910 (3); en 1986, la sonde spatiale *Giotto* s'approche à 600 km du noyau (4): celui-ci mesure 15 km de long et 8 km de large. La comète de Halley reviendra près de la Terre en 2061.



1- La comète de Halley en 1066.



2- La comète de Halley en 1531.



3- La comète de Halley en 1910.

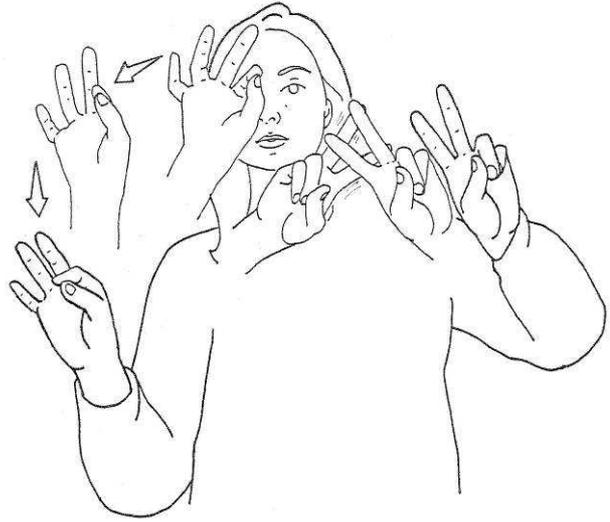


4- Le noyau de la comète de Halley



Constellation

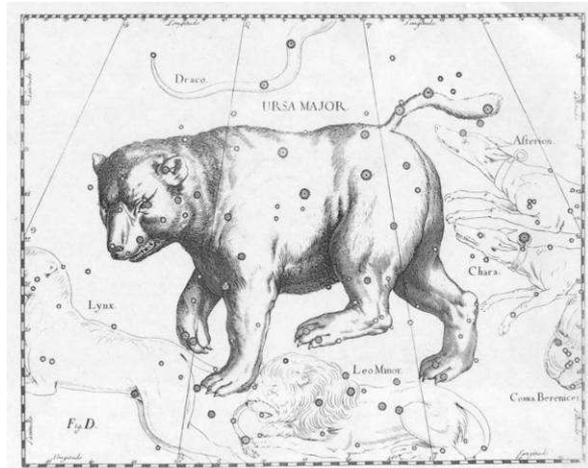
Le concept de constellation se traduit par le signe ETOILE qui symbolise des rayons lumineux entrecroisés (voir l'entrée *Voûte céleste*), suivi d'un second signe ETOILE, synonyme du précédent et habituellement placé sur la tempe (voir l'entrée *Etoile-généralités*), mais qui la quitte ici pour dessiner dans l'espace les traits imaginaires reliant entre elles les étoiles d'une même constellation.



Mots associés: Astronome - Etoile - Planète - Système solaire - Zodiaque.

Depuis l'aube de l'humanité, les hommes ont cherché à se repérer dans le ciel nocturne. Ils ont remarqué que les étoiles semblent former des figures qui, avec une bonne dose d'imagination, peuvent évoquer des animaux, des objets ou même des personnages : ce sont les **constellations**. Naturellement, chaque civilisation s'est inspirée de son histoire et de ses traditions pour découper dans le ciel et nommer ses propres constellations. Ainsi les aborigènes d'Australie plaçaient dans le ciel leurs animaux familiers, tels le kangourou ou l'émeu, tandis que les Grecs y plaçaient les héros de leur mythologie, tels Hercule ou Orion.

Au cours de l'histoire, les constellations ont pris des formes et des noms variés ; aujourd'hui le découpage du ciel en constellations est défini une fois pour toutes par les astronomes. La grande majorité d'entre elles remonte à la Grèce antique, mais d'autres sont plus récentes, notamment dans l'hémisphère austral. *Johann Bayer* (1572-1625) est un astronome allemand, auteur en 1604 d'un atlas céleste où figurent de nouvelles constellations ; pour la première fois, les étoiles sont repérées par des lettres grecques. *Johannes Hevelius* (1611-1687) est un astronome polonais qui crée douze constellations, comme le Lynx ou le Petit Renard. L'abbé *Nicolas Louis de Lacaille* (1713-1762) est un astronome et géodésien français qui définit quatorze constellations australes, pendant un long séjour en Afrique du Sud.



La constellation de la Grande Ourse, extraite de l'*Uranographie* d'Hévélius (1690).



De nos jours, le ciel est divisé en 88 constellations, situées dans trois régions bien précises: l'hémisphère boréal (nord), l'hémisphère austral (sud) et la région du zodiaque comprenant douze constellations traversées par les orbites des différentes planètes du Système solaire.

Les noms des constellations constituent un ensemble très varié. Beaucoup sont des animaux réels, mammifères (lion, chien, taureau), poissons (dorade, poisson volant), oiseaux (aigle, grue, cygne) ou reptiles (serpent, lézard, caméléon). D'autres sont des animaux mythiques (dragon, hydre, licorne). On rencontre également des personnages de la mythologie grecque (Hercule, Ophiuchus, Orion) et, créés plus récemment, des outils (compas, règle, burin) ainsi que des instruments scientifiques (téléscope, microscope, sextant). Bien que n'ayant pas de base scientifique, les constellations et leurs noms ne sont pas dépourvus de poésie, tout en témoignant du passé.



Une portion du ciel d'été, un soir en France : la Grande Ourse et son chariot. © M.Verdenet

Les deux cartes célestes présentées ci-dessous sont extraites de l'atlas de *John Flamsteed* (1646-1719). Elles montrent l'association entre les principales étoiles de chaque constellation et le nom qui lui a été attribué : les étoiles les plus brillantes de la Grande Ourse forment l'arrière-train de l'animal, etc.

La liste de toutes les constellations, les signes qui ont été attribués à chacune d'elles en LSF, ainsi que leurs principales étoiles et curiosités, sont indiqués dans l'Atlas du ciel placé à la fin de ce dictionnaire.

Avec cet Atlas, on pourra facilement repérer constellations et étoiles à l'œil nu ou avec une paire de jumelles, et connaître les principales caractéristiques des astres (nom, température, distance et éventuellement variabilité ou binarité). Il s'agit avant tout d'une introduction : nos lecteurs sont vivement encouragés à passer au stade supérieur, l'observation à l'aide d'une lunette ou d'un télescope.

Page suivante : *Cartes des constellations de l'atlas de Flamsteed.*



Coordonnées célestes

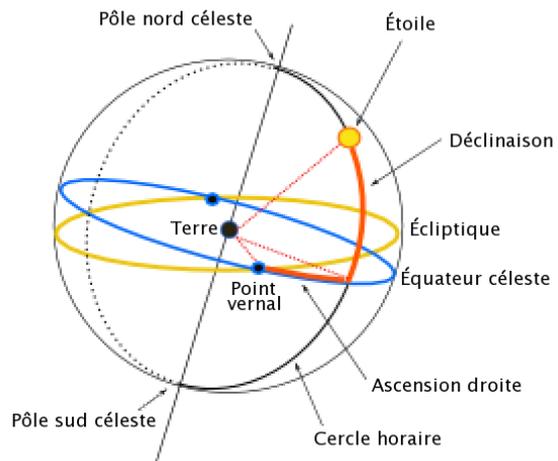
Les coordonnées célestes se représentent en LSF en formant une croix avec les avant-bras. L'avant-bras qui représente l'ascension droite est placé horizontalement, celui qui représente la déclinaison est placé verticalement.

Mots associés: Ecliptique - Equateur - Equinoxe - Méridien - Terre - Zénith.

Les anciens plaçaient les étoiles sur une sphère céleste qu'ils appelaient la **Sphère des Fixes**. Tous les objets célestes nous semblent ainsi placés à la même distance de la Terre, qu'il s'agisse des différentes planètes ou des étoiles. C'est pourquoi on peut diviser la sphère céleste suivant des méridiens et des parallèles, puis définir un méridien origine et un équateur qui sera d'ailleurs le plan de l'équateur terrestre projeté sur le ciel. Ainsi, de la même manière qu'on se repère sur la Terre à l'aide de la **longitude** (axe horizontal) et de la **latitude** (axe vertical), les objets célestes sont repérés par deux coordonnées appelées **ascension droite** et **déclinaison**. La première correspond à l'axe horizontal, et la seconde à l'axe vertical.

De même que l'intersection du méridien de Greenwich avec l'équateur est la référence terrestre de la longitude qui permet de distinguer entre l'ouest et l'est, on a placé dans le ciel un point d'origine de l'ascension droite : on l'appelle le **point vernal**. C'est un des deux points où l'équateur céleste (projection de l'équateur terrestre sur le ciel) et l'écliptique se croisent. Le Soleil passe par ces deux points aux équinoxes.

Les coordonnées célestes, ascension droite et déclinaison. © C.Foellmi.



L'ascension droite d'un astre se mesure en heures, minutes et secondes de temps ; le cercle entier correspond à 24 heures, et l'ascension droite aura une valeur comprise entre 00 heure 00 minute 00 seconde et 23 heures 59 minutes 59 secondes.

La déclinaison se mesure par rapport à l'équateur céleste qui est à 0° ; elle est positive au nord et négative au sud. Elle se mesure en degrés, minutes et secondes d'arc, de $+90^\circ 00' 00''$ à $-90^\circ 00' 00''$.

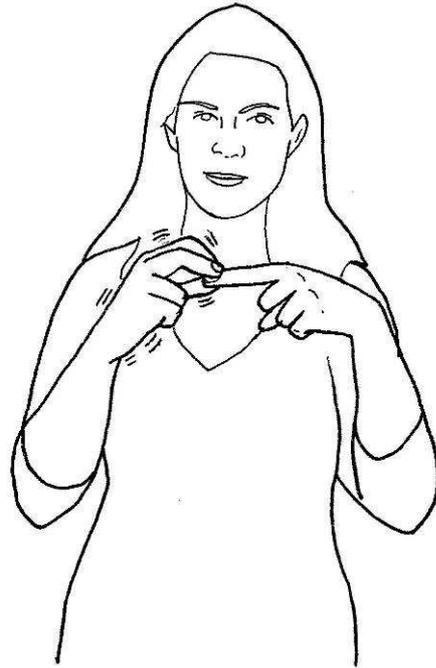
La déclinaison de l'étoile polaire est $+90^\circ$ (au pôle nord, elle est au zénith), un astre passant à la verticale de Paris a une déclinaison identique à la latitude de la ville, soit $+48^\circ 49'$, tandis qu'une étoile passant au zénith de Santiago du Chili a une déclinaison négative de -29° . Il faut prendre garde à ne pas confondre les unités d'ascension droite et de déclinaison : un cercle de 24 heures de temps (ascension droite) correspond à 360 degrés (déclinaison). Une heure de temps vaut donc quinze degrés d'angle.

Les lunettes et les télescopes sont ainsi équipés de deux cercles gradués sur chacun de leurs deux axes, correspondant à l'ascension droite et à la déclinaison, permettant ainsi de repérer rapidement la position d'un corps sur la voûte céleste.



Degré (température)

Le signe DEGRE stylise la forme d'un thermomètre à mercure : l'index d'une main représente le tube, tandis que l'autre main en petite griffe représente le réservoir sphérique. L'ajout des lettres manuelles C ou K permet de préciser si l'on se réfère aux degrés Celsius ou aux degrés kelvin.



Mots associés: Univers - Température.

En physique, la **température** se mesure soit en **degrés Celsius** que l'on note « °C », soit en **degrés kelvin** que l'on note simplement de la lettre non majuscule « k ». Les travaux d'astronomie montrent que la température de l'univers dans son ensemble est aujourd'hui de 3k, ce qui correspond à -270°C. L'existence de ces deux échelles s'explique par l'histoire de la notion de température.

Anders Celsius (1701-1744) était professeur d'astronomie à l'université d'Uppsala en Suède. Il définit son échelle entre 0°C qui correspond à la température où l'eau se change en glace, et 100°C qui correspond à celle où l'eau se met à bouillir pour se transformer en vapeur. Attention : cette échelle est définie pour la pression atmosphérique de la Terre au niveau de la mer. Au sommet du Mont Blanc dans les Alpes (4 807 mètres), la pression atmosphérique n'est plus que la moitié de ce qu'elle est à Dieppe ou à Biarritz, et l'eau bout déjà à 85°C.

Lord Kelvin (1824-1907), de son vrai nom William Thomson, était un physicien britannique. Il découvre que lorsque les molécules d'un gaz sont refroidies à -273,15°C, elles perdent leur agitation et deviennent immobiles : cette température extrême s'appelle **le zéro absolu**. N'ayant plus aucune pression, le gaz ne peut se refroidir davantage.

Définition du **zéro absolu**: 0 kelvin (k) = -273,15 degrés Celsius (°C)

Pour passer d'une échelle à l'autre, il suffit donc d'ajouter ou de soustraire 273,15. Ainsi, une température de 20°C correspond à 293,15k.



Diamètre

Le signe DIAMETRE se fait avec une main arrondie qui représente un cercle, et l'index de l'autre main qui en représente le diamètre.

Mots associés: Astronome - Etoile - Galaxie
- Lune - Planète - Télescope - Terre.



Le diamètre d'un cercle est la longueur de la corde qui passe par son centre. En astronomie, c'est une quantité importante. On l'utilise pour mesurer les détails à la surface de la Lune (montagnes, cratères, etc.), les caractéristiques des planètes, ainsi que les dimensions des étoiles et des galaxies.

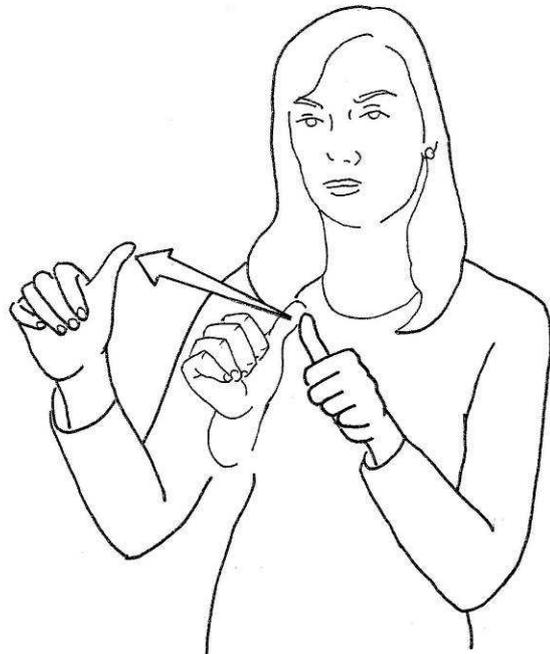
Le **diamètre apparent** est le diamètre d'un corps vu depuis la Terre ; par exemple, la Lune qui a un diamètre de 3 470 km et qui se trouve à 384 400 km de la Terre, a un diamètre apparent de 30 minutes d'arc (ou 1/2 degré) : on peut cacher son disque en tenant une pièce d'un centime à bout de bras. En utilisant les grands télescopes, les astronomes parviennent à mesurer des diamètres apparents aussi petits que 0,00012 seconde d'arc, soit le diamètre d'un petit pois vu à 50 km de distance. Lorsqu'on connaît le diamètre apparent d'un objet et la distance à laquelle il se trouve, les lois de la géométrie permettent de calculer facilement ses dimensions.



Distance

Le signe pouvant être traduit, en fonction du contexte, par *loin*, *éloignement* ou *distance*, est attesté dès le XIX^e siècle.

Etymologiquement, il montre deux personnes représentées par les pouces, dont l'une s'éloigne de l'autre.

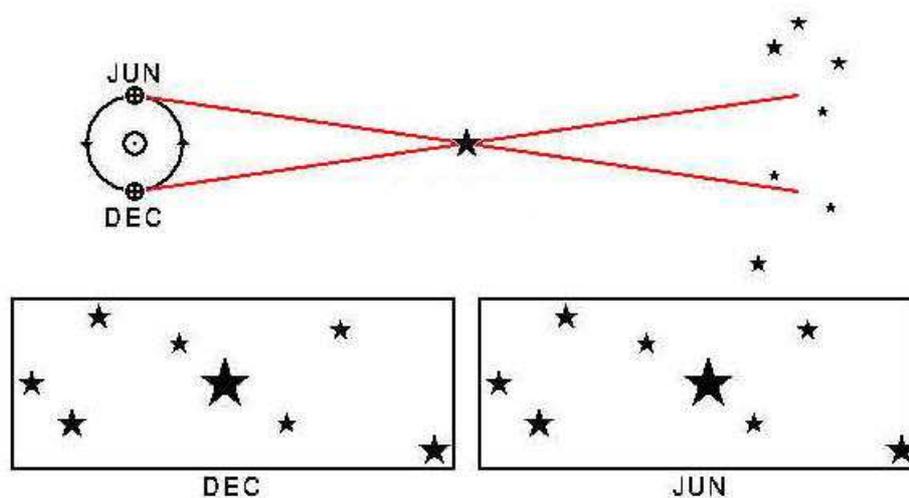


Mots et expressions associés: Année-lumière
- Etoile - Lune - Parsec - Soleil - Terre -
Unité astronomique.

Les distances sont immenses en astronomie ; la Lune, l'astre le plus proche de nous, se trouve déjà à 385 000 km de la Terre. C'est pourquoi il est plus facile, lorsqu'on arpente le Système solaire, d'utiliser l'unité astronomique (UA) qui évite d'avoir à manier des nombres trop importants. Les immenses distances entre les étoiles et les galaxies sont exprimées en années-lumière (A.L.), ainsi qu'en parsecs (pc).

Pour mesurer les distances des étoiles, les astronomes utilisent une méthode astucieuse appelée **parallaxe** dont la base d'observation est la position de la Terre sur sa trajectoire autour du Soleil à six mois d'intervalle, par exemple en juin et décembre. Comme la Terre est à 150 millions de km du Soleil, cette base a une longueur double, soit 300 millions de km. Observée successivement de chacun de ces deux points, une étoile proche semblera s'être légèrement déplacée par rapport aux étoiles plus lointaines, avant de revenir à la même place. Grâce à des relations géométriques élémentaires, on peut ainsi mesurer, au sol et à l'aide de satellites en orbite, les distances de milliers d'étoiles.





Principe de la parallaxe : l'étoile la plus proche (ici, la plus brillante) a bougé entre juin (JUN) et décembre (DEC), par rapport aux étoiles plus lointaines.

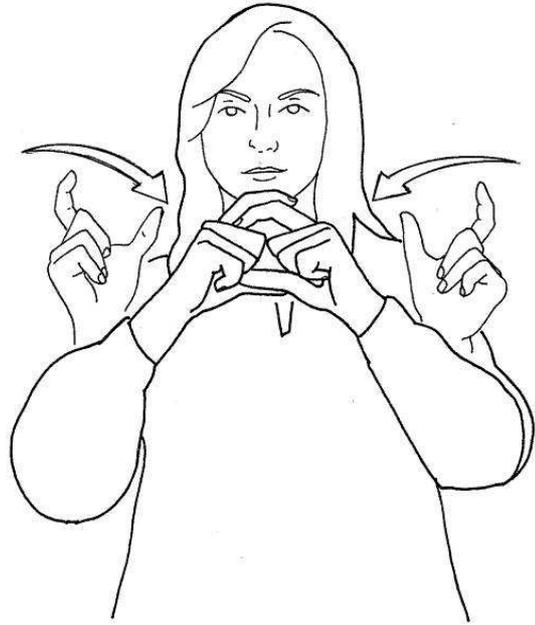
Le phénomène de parallaxe se constate facilement en fermant un œil et en alignant les deux pouces tendus à des distances différentes, de manière que l'un soit caché par l'autre. Sans bouger les pouces, on ferme l'œil qui était ouvert et on ouvre celui qui était fermé : on constate alors que les deux pouces ne sont plus alignés. Cette gestuelle simple permet de représenter en LSF la notion de parallaxe.

La distance des étoiles et des galaxies est une des données les plus importantes de l'astronomie. En mettant en relation leur distance avec leur luminosité apparente, elle permet de connaître en particulier leur luminosité réelle et leurs dimensions.



Eclipse

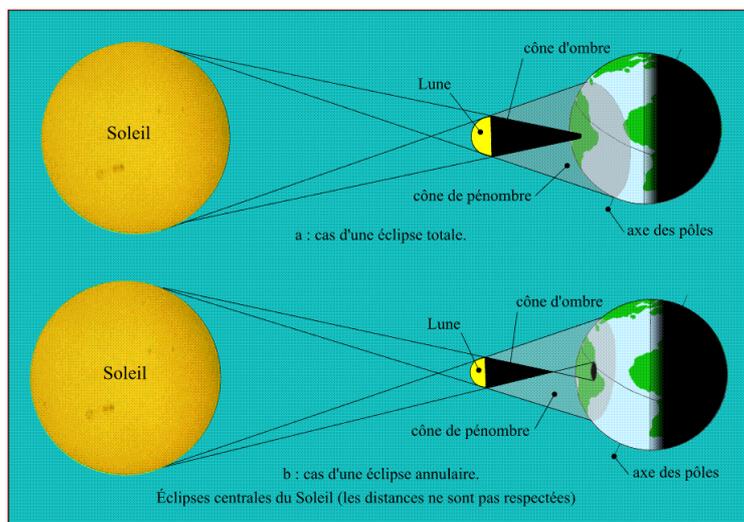
Les mains en petits croissants stylisent les disques de deux objets célestes. Leur superposition représente le moment de l'éclipse. L'ajout du signe SOLEIL ou du signe LUNE permet de préciser qu'il s'agit d'une éclipse de Soleil ou bien d'une éclipse de Lune.



Mots associés: Diamètre - Lune - Soleil - Terre

Vus de la Terre, les diamètres du Soleil et de la Lune sont identiques, soit environ 30 minutes d'arc (un demi degré) : on peut cacher exactement leur disque en tenant une pièce d'un centime à bout de bras. C'est un hasard, dû au fait que le Soleil est énorme (diamètre de 1 390 000 km) mais éloigné (149 597 871 km), tandis que la Lune est petite (diamètre de 3 473 km) mais proche de nous (384 400 km). Cette coïncidence nous permet d'observer de temps à autre des éclipses de Soleil et de Lune. Lorsque la Lune passe entre la Terre et le Soleil, il y a **éclipse de Soleil**. Lorsque la Terre passe entre le Soleil et la Lune, il y a **éclipse de Lune**. Si l'alignement du Soleil, de la Terre et de la Lune est parfait, il y a **éclipse totale** ; sinon il y a **éclipse partielle**. Le mécanisme des éclipses est détaillé ci-dessous.

Eclipse de Soleil



Principe d'une éclipse de Soleil. La dimension et la distance du Soleil ne sont pas respectées ; le Soleil devrait être ici 400 fois plus gros et 400 fois plus distant. © Patrick Rocher- IMCCE

Lorsque la Lune se trouve exactement entre la Terre et le Soleil, celui-ci disparaît et une ombre est projetée sur la Terre. Comme la Lune se déplace, cette ombre se déplace également sur le sol terrestre. Ainsi, l'éclipse totale de Soleil du 11 août 1999 était observable depuis le Canada jusqu'en Inde, en passant par le nord de la France. Le phénomène est extrêmement spectaculaire : la nuit survient au milieu du jour, et des étoiles apparaissent dans le ciel.

L'observation d'une éclipse de Soleil est un phénomène inoubliable, pour lequel il est indispensable de **prendre des précautions**. En raison de l'intensité de la lumière solaire, il faut se **protéger les yeux** en utilisant un filtre suffisant, sinon on risque la cécité.

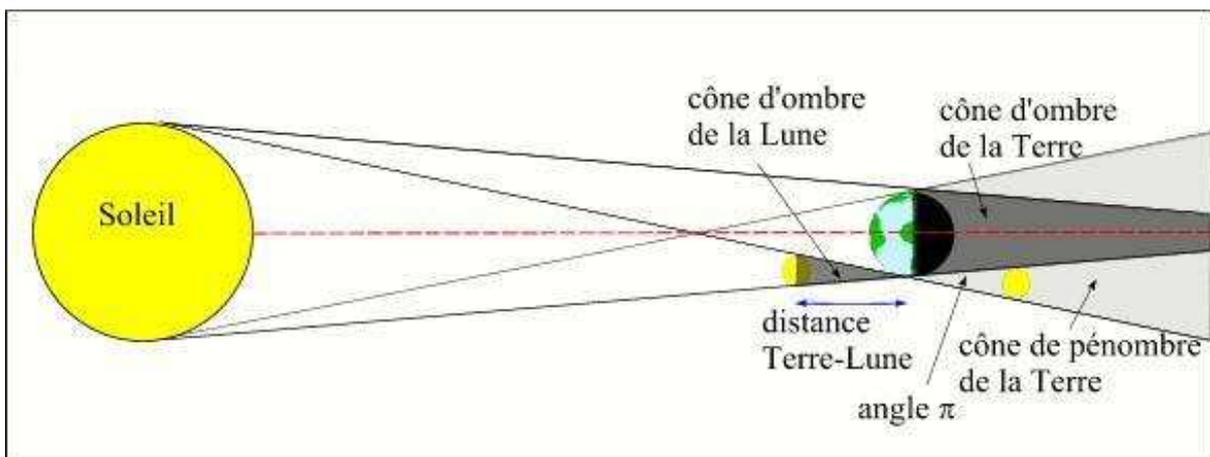


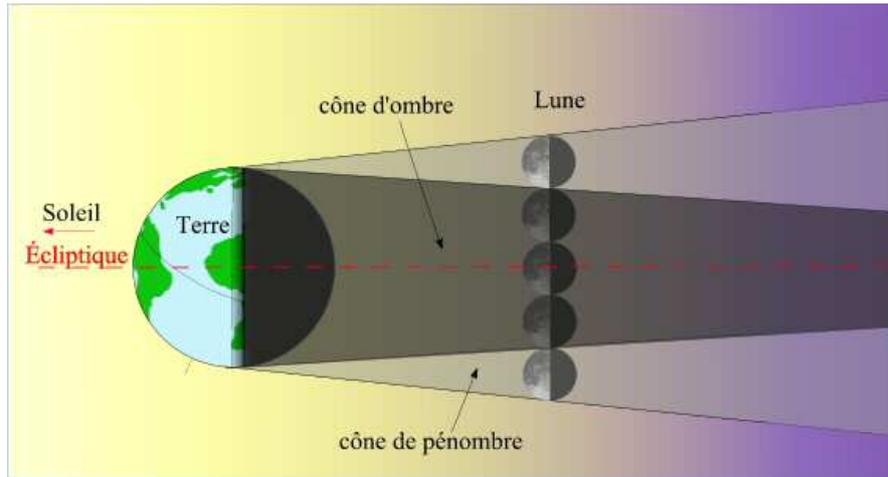
Une éclipse totale de Soleil: celui-ci est masqué par la Lune. © NASA/JPL



L'ombre projetée sur la Terre de l'éclipse de Soleil du 11 août 1999, photographiée par des astronautes. © NASA/JPL

Eclipse de Lune





Principe de l'éclipse de Lune. © Patrick Rocher – IMCCE

Lorsque la Terre se trouve exactement entre le Soleil et la Lune, l'ombre de la Terre est projetée sur la Lune, offrant un spectacle magnifique qui donne une idée de la dimension de la Terre vue de la Lune : l'ombre du disque terrestre est environ trois fois et demie plus grand que le disque de notre satellite. Contrairement à une éclipse de Soleil, une éclipse de Lune s'observe partout sur la Terre.

L'observation d'une éclipse de Lune ne présente aucun danger et peut être faite à l'œil nu.

Au cours d'une éclipse de Lune, celle-ci prend des couleurs variées ; c'est la lumière solaire qui traverse l'atmosphère terrestre pour se projeter sur le sol de la Lune.



Une éclipse de Lune : l'ombre de la Terre se projette sur le disque lunaire. © Oliver Stein

Calendrier des éclipses totales jusqu'en 2020

D'ici l'an 2020, il y aura plusieurs éclipses totales de Soleil et de Lune. Rappelons que chaque éclipse de Soleil n'est visible qu'en certains endroits de la Terre.

Prochaines éclipses totales de Soleil : 22/07/2009 ; 11/07/2010 ; 13/11/2012 ; 20/03/2015 ; 21/08/2017 ; 02/07/2019 ; 14/12/2020. La prochaine éclipse totale de Soleil visible en France se produira en 2081.

Prochaines éclipses totales de Lune : 21/12/2010 ; 15/06/2011 ; 10/12/2011 ; 15/04/2014 ; 08/10/2014 ; 04/04/2015 ; 28/09/2015 ; 31/01/2018 ; 27/07/2018 ; 21/01/2019.

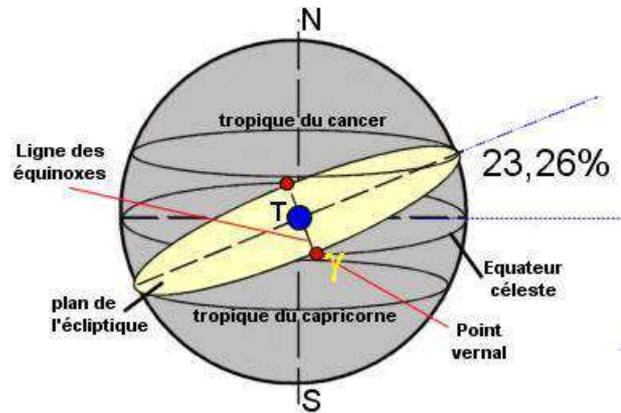
Ecliptique

Pour représenter l'écliptique en LSF, on commence par réaliser le signe SYSTEME SOLAIRE (voir cette entrée). La main arrondie qui vient de montrer la succession des planètes depuis le Soleil prend ensuite une forme plate et dessine un large cercle dans le même plan horizontal.

Mots et expressions associés: Constellation - Equateur - Planète - Révolution - Soleil - Système solaire - Terre - Zodiaque.

On voit le Soleil se lever tous les matins à l'est, et se coucher tous les soirs à l'ouest. Suivant la saison, il monte plus ou moins haut dans le ciel. Ces mouvements apparents du Soleil sont en réalité le résultat conjugué de la rotation de la Terre et de sa révolution autour du Soleil.

La révolution de la Terre lui fait parcourir en 365,25 jours les 360° d'un cercle, avec un axe incliné de 23,5° (voir les entrées *Equinoxe* et *Solstice*). Ainsi, chaque jour, le Soleil semble avoir parcouru un degré environ. Ce déplacement définit un plan qui passe par la Terre, appelé **écliptique**. Si l'axe de la Terre n'était pas incliné, le Soleil semblerait se déplacer sur le plan de l'équateur.



Le plan de l'écliptique. © IMCCE

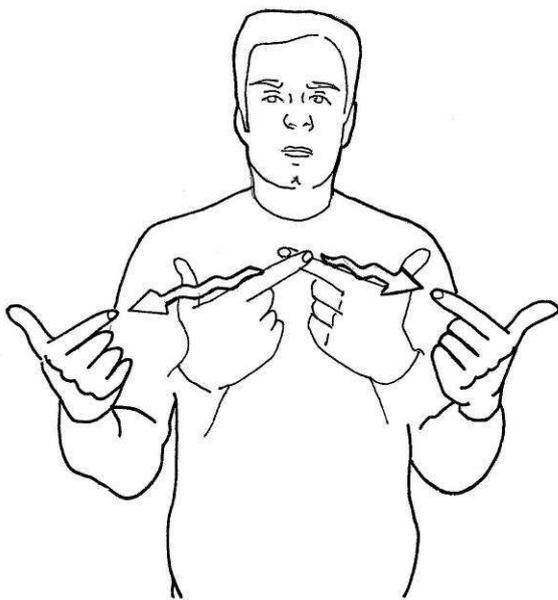
Les planètes du Système solaire sont nées à partir d'un disque de gaz et de poussière qui tournait autour du Soleil. C'est pourquoi elles ont des orbites qui se situent approximativement dans un même plan, très proche de celui de l'écliptique : elles apparaissent toujours dans une même région du ciel, à l'intérieur de laquelle on les voit se déplacer plus ou moins rapidement. Cette région est définie par les constellations du zodiaque.



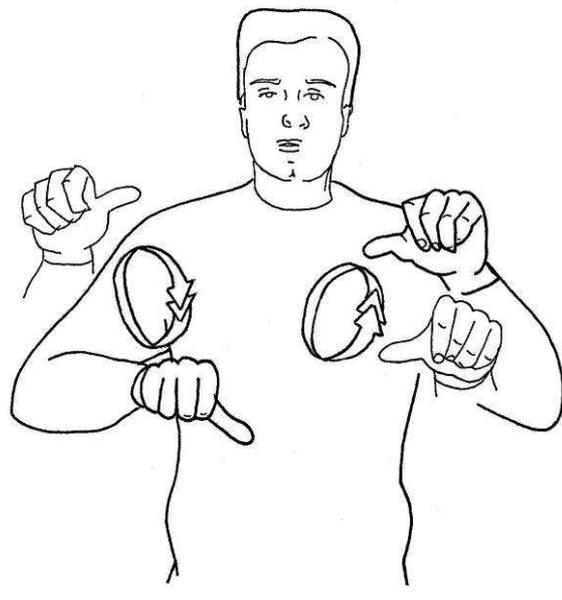
A gauche de la Lune cachant le Soleil pendant une éclipse, on distingue trois points lumineux : ce sont les planètes Mercure, Mars et Saturne, alignées dans le plan de l'écliptique. © NASA/HST

Eléments (chimiques)

La notion d'éléments chimiques (au pluriel) se traduit par le signe ELEMENTS suivi du signe CHIMIE. Si l'on souhaite évoquer un élément particulier, on pointe ensuite un index vers l'espace situé devant soi (ce qui indique que l'on va parler d'une chose déterminée), puis on précise le symbole chimique de l'élément en question, par exemple le C manuel pour le carbone. Le signe ELEMENTS est emprunté au lexique usuel, où, selon le contexte, il signifie aussi bien « divers » que « etc. » Il se faisait au XIX^e siècle en répétant trois fois le signe DIFFERENT, formé par les deux index s'écartant vivement l'un de l'autre. L'économie gestuelle a réduit ce signe composé à un signe unique, l'oscillation des index étant la trace de l'ancien triplet. Le signe CHIMIE représente les produits que l'on verse dans des éprouvettes.



ELEMENTS



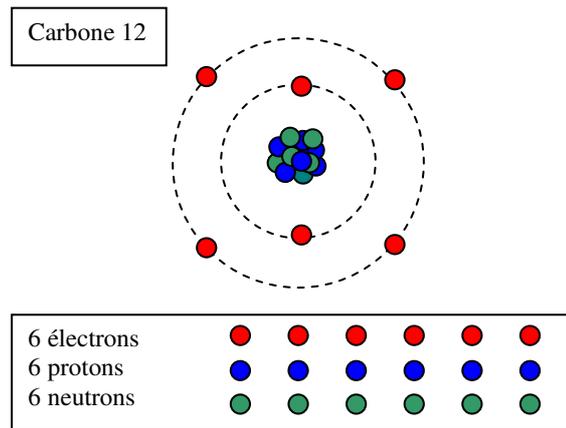
CHIMIE

Mots et expressions associés: Big Bang - Electron - Etoile - Neutron - Proton - Nucléaire - Soleil - Univers - Terre - Vie.

Dans l'Antiquité, les Grecs avaient constaté que la nature, que ce soit le bois, le métal, les roches, le cuir, l'eau ou l'air qu'on respire, est formée d'une multitude de composantes. Dans leurs hypothèses sur la structure des matériaux, ces derniers résultaient de la combinaison de quatre éléments de base : **la terre, l'eau, l'air et le feu**. Un cinquième élément, la **quintessence**, remplissait l'univers mais on ne pouvait ni le percevoir, ni en ressentir les effets. Au cours de l'histoire, les progrès de la chimie vont augmenter le nombre des éléments connus jusqu'à atteindre 118. Les progrès de la physique et de l'astronomie vont permettre de comprendre que chacun de ces éléments est apparu au cours de l'évolution de l'univers, pendant les 13,7 milliards qui ont suivi le Big Bang, grâce aux réactions nucléaires qui se produisent au cœur du Soleil et des étoiles.



L'entrée *Nucléaire* de ce dictionnaire décrit deux des principaux éléments présents dans l'univers, l'hydrogène (**H**) et l'hélium (**He**), mais on en trouve bien d'autres, parmi lesquels certains sont également présents dans les organismes vivants (voir l'entrée *Vie*) : l'oxygène (**O**), le carbone (**C**) qui a la propriété de se lier facilement à quatre autres atomes, et l'azote (**N**). Viennent ensuite le phosphore (**P**), le soufre (**S**), le sodium (**Na**), le chlore (**Cl**), le potassium (**K**), le calcium (**Ca**) et le magnésium (**Mg**). On trouve aussi des traces de métaux comme le fer (**Fe**), le zinc (**Zn**) ou le cuivre (**Cu**).



La palette des éléments chimiques est riche de 118 éléments, dont 110 sont classés en ordre croissant dans un tableau célèbre de sept lignes et dix-huit colonnes. Les lignes et les colonnes sont organisées de manière à regrouper les éléments possédant des caractéristiques communes, également représentées par les différentes couleurs : c'est le **tableau périodique des éléments** dû au chimiste *Dimitri Mendeleïev* (1834-1907). On a de bonnes raisons de penser qu'il n'y a pas plus de 118 éléments dans l'univers, dont les huit derniers sont instables. Seuls subsistent sur la Terre les quelque 90 éléments qui ont résisté à 4,5 milliards d'années d'évolution, comme l'or (**Au**) et l'argent (**Ag**). Dans ce tableau, le chiffre accompagnant chaque élément indique son **numéro atomique** : c'est le nombre de protons de chacun des noyaux. Plus ce numéro est élevé, plus l'élément est « lourd » : le mercure (**Hg**) est beaucoup plus pesant que l'aluminium (**Al**) pour un volume identique. Il ne faut pas confondre le numéro atomique avec la **masse atomique**, qui représente le nombre total des protons et des neutrons d'un élément. Le noyau de carbone comprend 6 protons et 6 neutrons : sa masse atomique est donc de 12.

H ¹																	He ²
Li ³	Be ⁴											B ⁵	C ⁶	N ⁷	O ⁸	F ⁹	Ne ¹⁰
Na ¹¹	Mg ¹²											Al ¹³	Si ¹⁴	P ¹⁵	S ¹⁶	Cl ¹⁷	Ar ¹⁸
K ¹⁹	Ca ²⁰	Sc ²¹	Ti ²²	V ²³	Cr ²⁴	Mn ²⁵	Fe ²⁶	Co ²⁷	Ni ²⁸	Cu ²⁹	Zn ³⁰	Ga ³¹	Ge ³²	As ³³	Se ³⁴	Br ³⁵	Kr ³⁶
Rb ³⁷	Sr ³⁸	Y ³⁹	Zr ⁴⁰	Nb ⁴¹	Mo ⁴²	Tc ⁴³	Ru ⁴⁴	Rh ⁴⁵	Pd ⁴⁶	Ag ⁴⁷	Cd ⁴⁸	In ⁴⁹	Sn ⁵⁰	Sb ⁵¹	Te ⁵²	I ⁵³	Xe ⁵⁴
Cs ⁵⁵	Ba ⁵⁶	La ⁵⁷	Hf ⁷²	Ta ⁷³	W ⁷⁴	Re ⁷⁵	Os ⁷⁶	Ir ⁷⁷	Pt ⁷⁸	Au ⁷⁹	Hg ⁸⁰	Tl ⁸¹	Pb ⁸²	Bi ⁸³	Po ⁸⁴	At ⁸⁵	Rn ⁸⁶
Fr ⁸⁷	Ra ⁸⁸	Ac ⁸⁹	Rf ¹⁰⁴	Ha ¹⁰⁵	Sg ¹⁰⁶	Ns ¹⁰⁷	Hs ¹⁰⁸	Mt ¹⁰⁹	Uun ¹¹⁰								

Ce ⁵⁸	Pr ⁵⁹	Nd ⁶⁰	Pm ⁶¹	Sm ⁶²	Eu ⁶³	Gd ⁶⁴	Tb ⁶⁵	Dy ⁶⁶	Ho ⁶⁷	Er ⁶⁸	Tm ⁶⁹	Yb ⁷⁰	Lu ⁷¹
Th ⁹⁰	Pa ⁹¹	U ⁹²	Np ⁹³	Pu ⁹⁴	Am ⁹⁵	Cm ⁹⁶	Bk ⁹⁷	Cf ⁹⁸	Es ⁹⁹	Fm ¹⁰⁰	Md ¹⁰¹	No ¹⁰²	Lr ¹⁰³

Le tableau périodique des éléments. © Wikipedia

Ellipse

Le signe ELLIPSE montre un cercle que l'on étire.



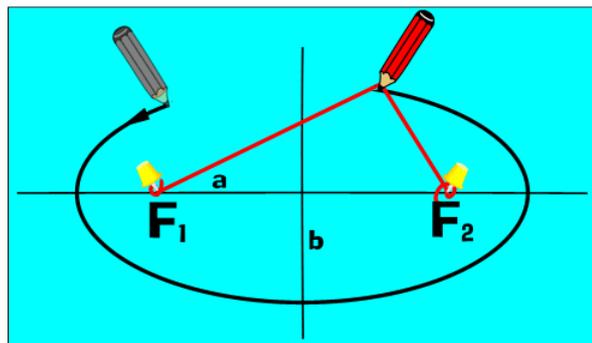
Mots et expressions associés: Astronome - Excentricité - Planète - Soleil - Système solaire - Terre.

Pendant bien des siècles, jusqu'aux travaux de *Nicolas Copernic* (1473-1543), les astronomes ont pensé que les planètes se déplaçaient autour de la Terre en suivant des trajectoires circulaires. Lorsque le modèle héliocentrique (Soleil au centre du Système solaire) est reconnu, *Johannes Kepler* (1571-1630) découvre que les trajectoires des planètes autour du Soleil ne sont pas des cercles mais des **ellipses**.

L'ellipse est définie par l'ensemble des points tels que la somme de leurs distances à deux points fixes (les *foyers*) est constante. Dans le Système solaire, **le Soleil occupe la place d'un des foyers**.

L'ellipse a un grand axe (a) et un petit axe (b). L'**excentricité** (e) de l'ellipse est le rapport de ces deux quantités:

$$e = a/b$$



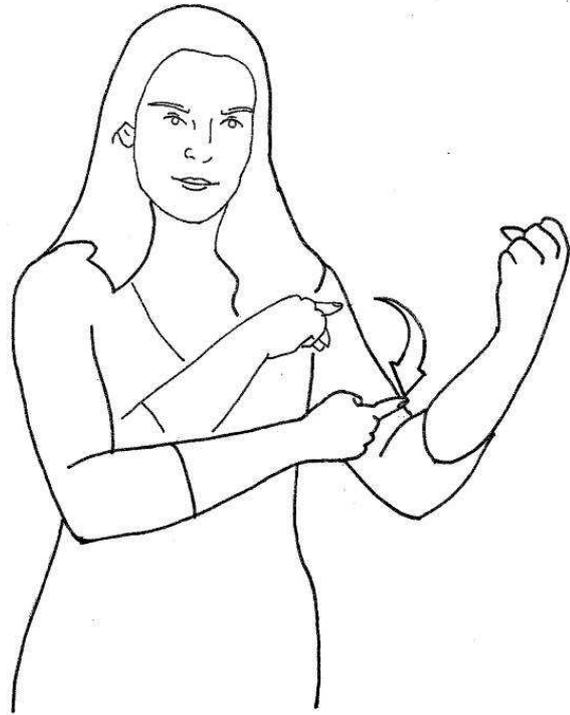
La construction d'une ellipse. © Université Laval, Québec.

Pour un cercle, cas particulier de l'ellipse, on a $a = b$, soit $e = 1$.

La Terre tourne autour du Soleil en décrivant une ellipse dont l'excentricité est : $e = 0,0167$.

Energie

Le signe ENERGIE est une métaphore de la force physique : un index dessine le contour d'un biceps. Le signe s'applique aussi bien aux organismes vivants qu'à toutes les machines effectuant un travail.



Mots et expressions associés: Année lumière
- Etoile - Force - Lumière - Nucléaire.

En astronomie comme en physique, l'**énergie** est ce qui produit du mouvement, de la lumière, de la chaleur, etc. L'énergie est liée à la notion de force : il faut exercer une force sur un système quelconque pour obtenir de l'énergie. Par exemple, l'eau qui est retenue par un barrage en montagne coule dans des tuyaux, et la force du courant fait tourner des turbines qui fournissent de l'énergie électrique dans la vallée. Au cœur d'une étoile, les réactions nucléaires qui agissent sur les atomes d'hydrogène pour donner de l'hélium dégagent d'énormes quantités de chaleur qui font briller l'étoile.

L'unité d'énergie est le **joule (J)** : c'est l'énergie nécessaire pour déplacer une force d'un newton (voir l'entrée *Force*) sur un mètre dans la direction de cette force.

Exemple : un poids d'1 kg qui tombe en chute libre d'1 mètre a une énergie d'1 J.

Pour des raisons historiques, les astronomes utilisent souvent une autre unité d'énergie appelée **erg**. On a : $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ joule}$. Autrement dit, il faut dix millions d'ergs pour avoir un joule.

En physique, l'**énergie cinétique** E_c d'un corps qui a une masse m et une vitesse v se calcule par :

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2$$

Les astronomes utilisent souvent la célèbre formule d'*Albert Einstein* (1879-1955) liant une masse m et une énergie E :

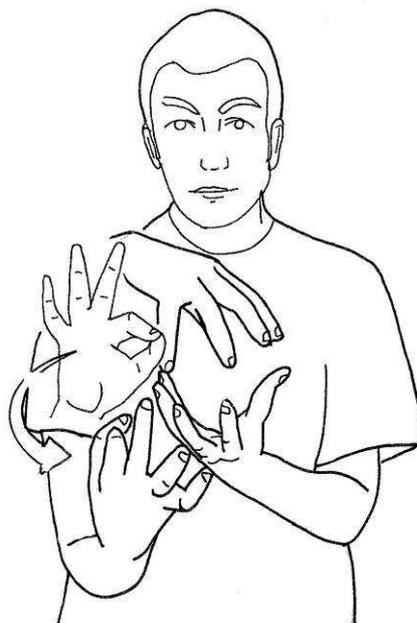
$$E = mc^2$$

Le terme c représente la vitesse de la lumière (300 000 km/s). Cette formule explique pourquoi une petite masse peut donner une énorme quantité d'énergie.



Equateur

Pour faire le signe EQUATEUR, les deux mains montrent d'abord la forme sphérique d'une planète. La main en position basse demeurant en place, l'autre main prend la forme d'une pince, symbole de finesse, pour tracer le grand cercle qui fait le tour de la planète.



Mots associés: Planète - Terre.

L'équateur est le grand cercle imaginaire qui fait le tour d'une planète à égale distance du pôle nord et du pôle sud. Il est perpendiculaire à l'axe de rotation de la planète. L'équateur de la Terre mesure 40 075 km.



*Le cercle rouge représente l'équateur terrestre. ©
Wikipedia*



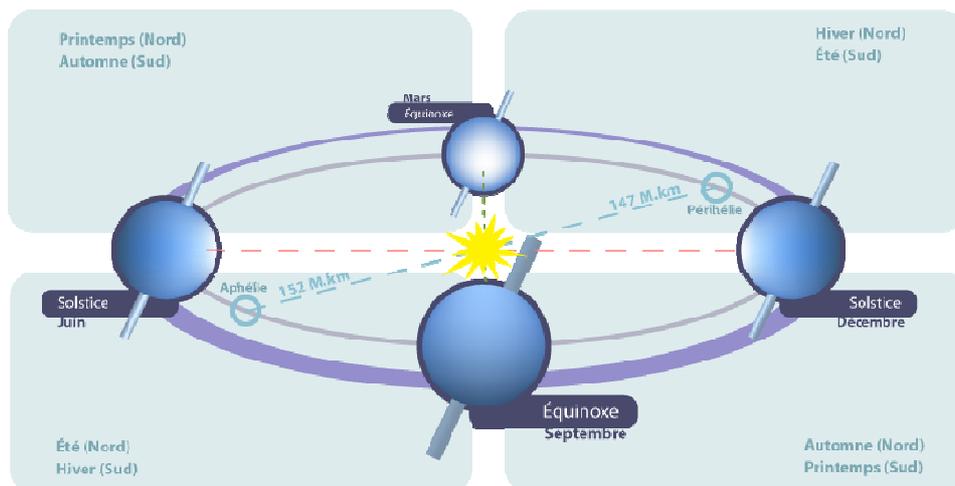
Equinoxe

Les signes JOUR et NUIT sont fondés sur la même métaphores que les expressions françaises « lever du jour » et « tombée de la nuit » (voir l'entrée *Solstice*) : les mains se lèvent en s'écartant (JOUR) ou retombent en se refermant (NUIT). Le signe EQUINOXE montre une nuit et un jour qui sont d'égales longueurs. Pour préciser duquel des deux équinoxes on parle, on ajoute ensuite le signe PRINTEMPS ou le signe AUTOMNE.



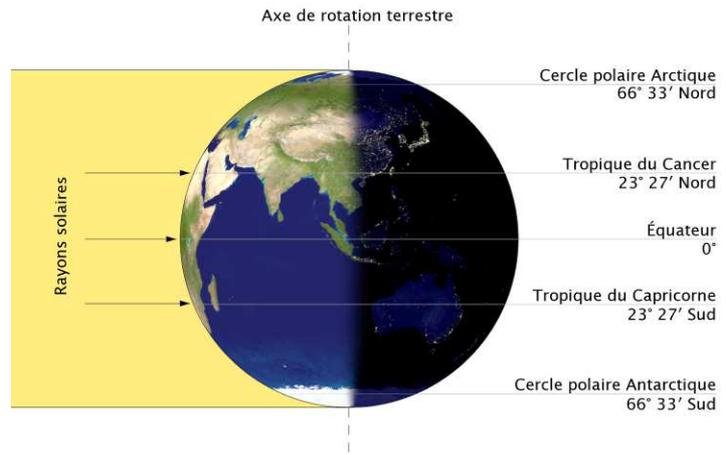
Mots associés: Equateur - Révolution - Rotation - Saison - Solstice - Terre.

Comme l'axe de rotation de la Terre est incliné d'un angle de $23^{\circ} 27'$, la durée du jour et de la nuit changent tout au long de l'année. Cette variation est la cause essentielle des quatre **saisons**, printemps, été, automne et hiver, qui n'existeraient pas si l'axe terrestre était perpendiculaire au plan décrit par l'orbite terrestre autour du Soleil. En France, le jour s'allonge dès le solstice (voir cette entrée) d'hiver, jusqu'au solstice d'été, avant de diminuer à nouveau jusqu'à l'hiver suivant. Entre les solstices, il y a donc deux dates où le jour et la nuits sont égaux : ce sont les **équinoxes**.



La révolution de la Terre autour du Soleil. © Wikipedia

Deux fois au cours de l'année, le Soleil traverse le plan de l'équateur terrestre. Le soleil demeure pendant douze heures au-dessus de l'horizon, avant de disparaître pendant douze autres heures. Cette égalité de la durée du jour et de la nuit porte le nom d'**équinoxe** et se produit deux fois par an. L'**équinoxe de printemps** qui, en France, marque le passage de l'hiver au printemps, a lieu le 20 ou le 21 mars selon les années. L'**équinoxe d'automne** qui marque la passage de l'été à l'automne a lieu le 22 ou le 23 septembre.



Egalité du jour et de la nuit à l'équinoxe. © NASA

Dans l'hémisphère austral, les solstices et les équinoxes sont inversés par rapport à l'hémisphère boréal. Ainsi, au Chili, l'été commence au mois de décembre, et l'hiver en juin. L'équinoxe de printemps a lieu au mois de septembre, et l'équinoxe d'automne au mois de mars.

Etoile (binaire)

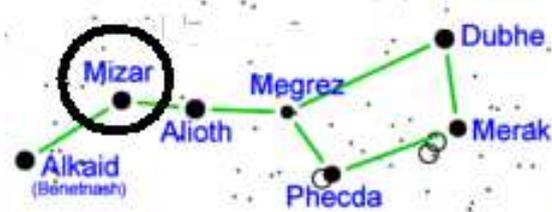
Pour traduire la notion d'étoile double, on réalise le signe ETOILE puis les mains en forme de pince, représentant deux petits objets de forme ronde, viennent se placer l'une à côté de l'autre. Pour l'étymologie du signe ETOILE, voir l'entrée *Etoile-généralités*.



Mots et expressions associés: Année-lumière
- Astronome - Diamètre - Dimension -
Distance - Etoile (nom) - Etoile (variable) -
Etoile (diamètre) - Etoile à neutrons - Masse
- Planète - Soleil - Terre - Trou noir.

Lorsqu'on regarde à l'œil nu le chariot de la Grande Ourse loin des lumières des villes, on remarque facilement que l'avant-dernière étoile du chariot, ζ UMa appelée aussi *Mizar*, est accompagnée d'une petite étoile proche, dont le nom est *Alcor* : ce couple est d'ailleurs un excellent test visuel. Des dizaines de milliers d'étoiles vivent ainsi en couples ; certains d'entre eux ne sont que **visuels**, lorsqu'il s'agit de deux étoiles de distances très différentes qui se trouvent presque alignées avec la Terre, mais beaucoup sont des **couples physiques**, autrement dit deux étoiles dont l'une est en révolution autour de l'autre, de la même manière qu'une planète tourne autour du Soleil.

L'observation des étoiles binaires permet de connaître leur masse à partir des lois de la mécanique. Les astronomes observent régulièrement le mouvement d'une étoile par rapport à l'autre en mesurant les changements de position et la **distance angulaire**, autrement dit le petit angle qui, vu de la Terre, sépare les deux composantes. Ainsi, le couple *Mizar – Alcor*, qui est à une distance de 90 années-lumière de la Terre, est vu sous un angle de $0,2^\circ$, ce qui correspond à 0,25 année-lumière. Cette distance est bien trop grande pour que les deux étoiles soient physiquement liées : elles forment un couple visuel, qui n'apparaît comme tel qu'en raison de leur alignement avec la Terre. Cependant, *Mizar* a un vrai compagnon, visible avec un

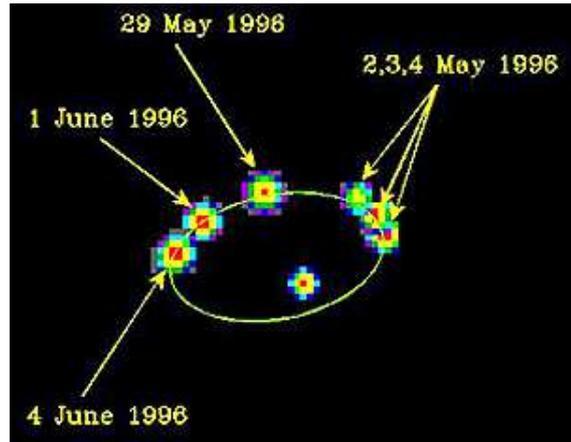


La position de Mizar dans le Chariot de la Grande Ourse.

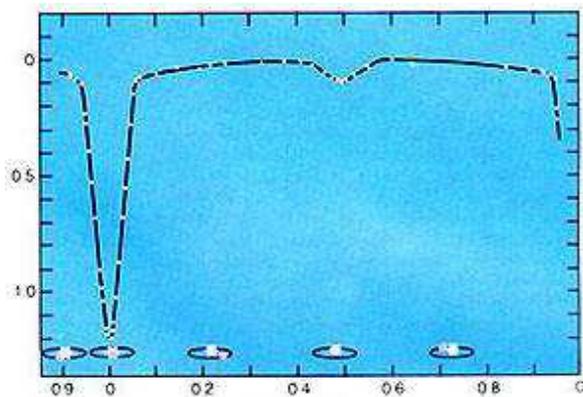


petit télescope à une distance angulaire de $14''$. En outre, chacune de ces deux composantes est elle-même une étoile double très serrée. De nombreuses étoiles brillantes sont en fait de magnifiques couples aux couleurs contrastées, visibles avec une lunette ou un petit télescope, comme *Albireo* (β Cygne), formé de deux étoiles jaune et bleue distantes de $35''$, ou encore *Alamak* (γ Andromède), formé de deux étoiles orange et bleue séparées de $10''$.

On trouvera dans l'*Atlas du ciel* à la fin du dictionnaire quelques étoiles doubles classiques faciles à observer.



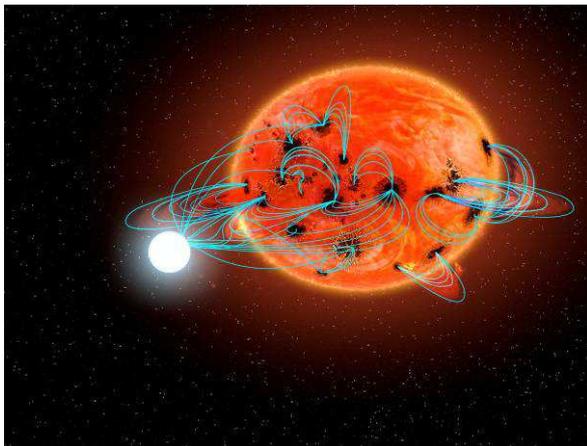
Le système double serré de Mizar. © NASA



La variation de l'éclat d'Algol.

Les étoiles binaires à éclipses

Pour de nombreuses étoiles binaires, la Terre se trouve dans le plan de leur orbite. Il arrive donc que l'une d'elles passe devant l'autre, provoquant une éclipse qui modifie l'éclat total des deux étoiles. C'est le cas de *Algol* (β Persée) dont la variabilité fut découverte par l'astronome anglais sourd *John Goodricke* (voir l'entrée *Etoile-variable*).



Une étoile binaire en interaction avec échange de matière entre les composantes.

© NOAO

Des couples bien différents

Au fur et à mesure des progrès techniques, les astronomes ont découvert des étoiles binaires de plus en plus proches l'une de l'autre. Certaines d'entre elles sont suffisamment serrées pour qu'elles échangent leur matière, surtout si elles sont de types très différents. Il arrive même que le couple soit constitué d'une étoile ordinaire et d'un compagnon pouvant être une étoile à neutrons ou un trou noir. Leur détection n'est alors possible que grâce aux rayons X qu'ils émettent. En étudiant ces couples très particuliers, les astronomes cherchent à comprendre s'ils ont affaire à une évolution conjointe des deux composantes ou bien si l'une d'elles aurait été « capturée » par l'autre ; ils cherchent également à savoir quel sera le destin de ces couples.

Etoile (de Noël)

L'étoile de Noël est nommée du signe ETOILE (voir cette entrée) suivi du signe NOËL. Ce second signe représente la barbe du père Noël.



NOËL

Mots et expressions associés: Astronome - Comète - Etoile - Nova - Solstice - Supernova - Terre.

La Bible fait mention de l'apparition d'un astre dans le ciel lors de la naissance de Jésus. Selon la tradition, une étoile ou une comète aurait incité des mages à suivre la route de Bethléem en Judée. Quel phénomène auraient-ils pu observer à cette époque et quelle pourrait être la date de la nativité?

La date de Noël au 25 décembre a été décrétée en l'an 334 afin de remplacer les fêtes romaines célébrant le solstice d'hiver. D'autre part, des recherches précises montrent qu'une erreur de plusieurs années s'est glissée dans le calendrier chrétien depuis la nativité : Jésus serait né en fait en l'an -7 ou -5. Ni les recherches archéologiques ni les documents anciens, notamment ceux des dynasties chinoises, ne mentionnent d'étoile nouvelle (nova ou supernova) ou de comète spectaculaire pendant cette période (la comète de Halley est passée près de la Terre quatorze ans plus tôt).

Cependant, il arrive que les planètes semblent se rapprocher les unes des autres, bien qu'elles soient en réalité à des distances très différentes, donnant l'impression depuis la Terre d'observer un astre double ou triple particulièrement spectaculaire : ce



L'adoration des Mages et la comète de Halley peints par Giotto di Bondone (1267-1337).



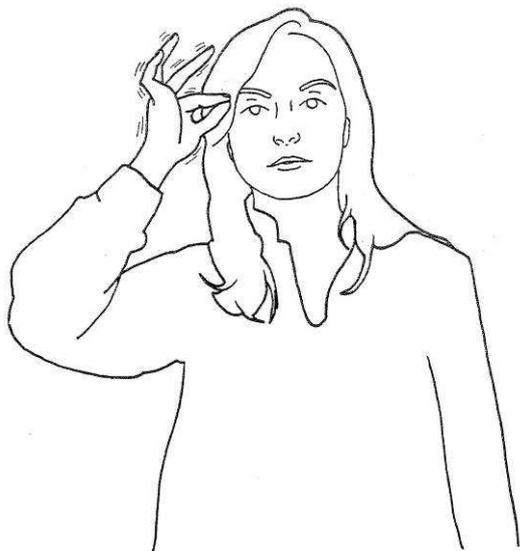
phénomène relativement fréquent s'appelle une **conjonction**. Pour les astronomes, une telle conjonction, observée à l'automne de l'an -7 ou au printemps de l'an -5 pourrait correspondre à la nativité.

Une **conjonction** se représente aisément en LSF en plaçant les mains en deux endroits de l'espace, puis en les rapprochant l'une de l'autre jusqu'à ce qu'elles soient presque alignées avec l'œil.

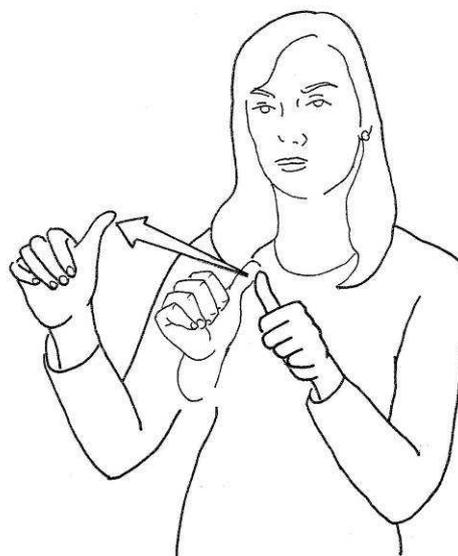


Etoile (Distance)

La notion de distance d'une étoile se traduit par le signe ETOILE suivi du signe DISTANCE. Pour l'étymologie de ces deux signes, voir les entrées *Etoile-généralités* et *Distance*.



ETOILE



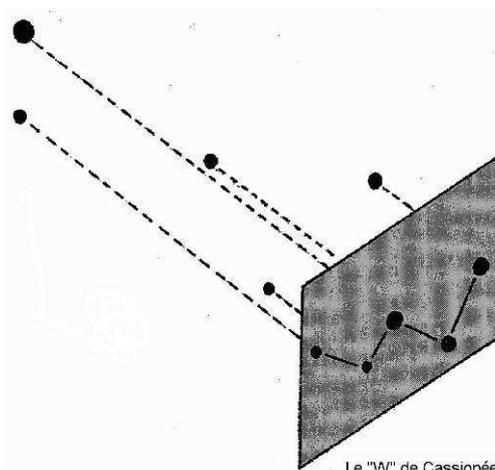
DISTANCE

Mots et expressions associés: Année-lumière - Astronome - Etoile (généralités) - Lumière (vitesse) - Magnitude - Parsec - Soleil - Type spectral - Voûte étoilée.

Les **distances des étoiles** sont très grandes. Une étoile est en effet un **soleil lointain** dont la lumière met des années, souvent des dizaines d'années, à nous parvenir à la vitesse de 300 000 km par seconde. C'est pourquoi les astronomes mesurent les distances des étoiles en années-lumière (A.L) et en parsecs (pc), qui sont des unités beaucoup mieux adaptées que le kilomètre pour de si grands nombres. Mis à part le Soleil, l'étoile la plus proche visible à l'œil nu s'appelle *Rigil Kent* ; c'est l'étoile α (alpha) de la constellation du Centaure, distante de 4,2 années-lumière.

L'observation de la voûte céleste par une belle nuit donne l'impression que toutes les étoiles sont à la même distance. Dans l'Antiquité, les anciens croyaient que les étoiles étaient fixées sur une grande sphère noire : ils l'appelaient la **sphère des fixes**.

Les étoiles sont pourtant à des distances très différentes ; la constellation de Cassiopée comprend cinq étoiles brillantes disposées en forme de « W ». Comme le montre l'illustration, ces cinq étoiles sont éloignées de nous à des distances très différentes (en A.L):



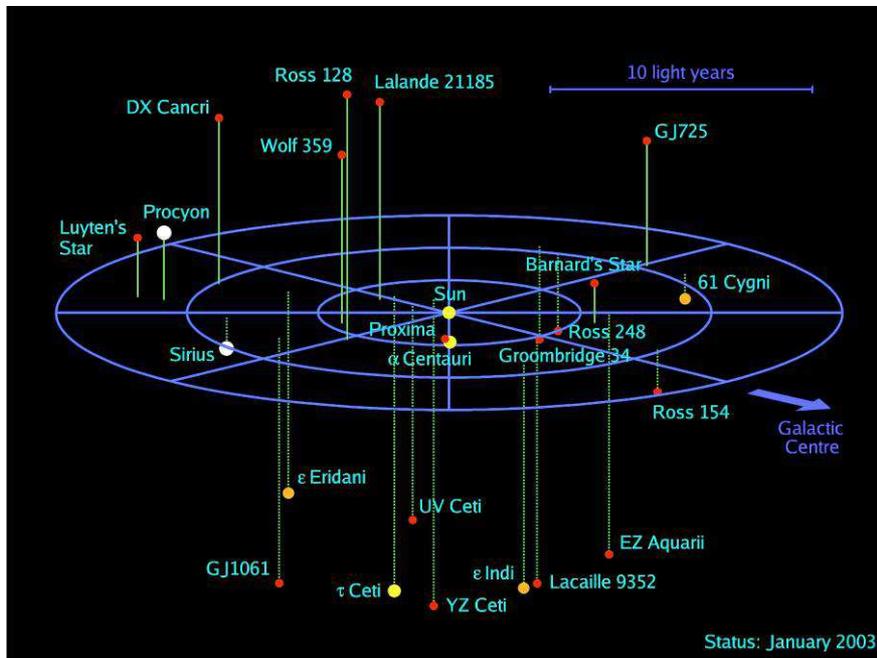
Le "W" de Cassiopée

Les cinq étoiles formant le « W » de la constellation de Cassiopée.



ϵ 500 A.L	γ 100 A.L	β 46 A.L
δ 76 A.L	α 160 A.L	

Parmi les étoiles les plus brillantes, *Sirius* (α Grand Chien) est à 8,64 A.L, *Vega* (α Lyre) à 26,42 A.L, *Arcturus* (α Bouvier) à 35,88 A.L, *Canopus* (α Carène) à 195,7 A.L, *Rigel* (β Orion) à 815,5 A.L, etc. Autrement dit, la lumière qui nous parvient de *Canopus* a quitté cette étoile lors de la fin du règne de Napoléon 1^{er}, il y a 195,7 ans, et celle de *Rigel* à l'époque de la construction des cathédrales gothiques. **Chaque étoile nous envoie sa lumière depuis un passé d'autant plus lointain que l'étoile est distante !** On trouvera dans l'Atlas du ciel, à la fin de ce dictionnaire, la description des principales étoiles visibles à l'œil nu, regroupées en constellations, avec leur éclat (magnitude), leur type spectral, leur classe et leur distance.



3D Map of Known Stellar Systems in the Solar Neighbourhood

ESO PR Photo 03c/03 (13 January 2003)

© European Southern Observatory



Les étoiles les plus proches du Soleil (Sun en anglais), situées à moins de dix années-lumière (10 light-years).

© ESO



Etoile (évolution)

L'évolution des étoiles se représente par le signe ETOILE suivi du signe EVOLUTION. Ce second composant est une métaphore gestuelle : les mains inversent leurs orientations au cours d'un mouvement lent et continu se déployant vers l'avant sur l'axe du temps. Pour l'étymologie de ETOILE, voir l'entrée *Etoile-généralités*.



EVOLUTION

Mots et expressions associés: Constellation - Distance - Dimension - Energie - Etoile - Galaxie - Nébuleuse planétaire - Nova - Nucléaire (réactions) - Planète - Soleil - Supernova - Système solaire - Température - Terre.

Les étoiles naissent, vivent et meurent. Au cours de leur existence, elles fabriquent la plupart des éléments de la nature, des plus « légers » comme le carbone, l'azote ou l'oxygène, aux plus « lourds » comme le plomb, le mercure ou l'uranium. Le Système solaire et la Terre se sont formés il y a 4,6 milliards d'années dans un nuage de gaz et de poussières, riches de tous ces éléments (voir l'entrée *Système solaire*), provenant de millions d'étoiles dont la matière s'est dispersée après leur mort. On peut donc considérer que les humains sont faits avec les poussières des étoiles.

Nous décrivons ci-dessous **l'évolution d'une étoile de type solaire**. Pour les étoiles **massives**, voir les entrées *Nova* et *Supernova*.

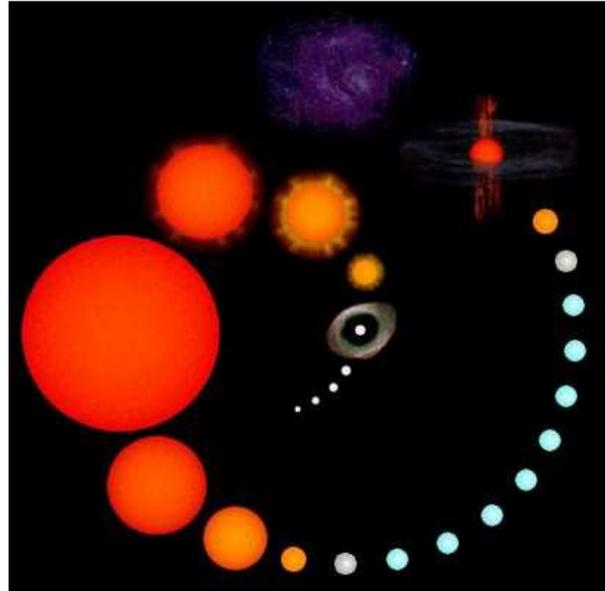
Les étoiles naissent dans les bras des galaxies riches en gaz. A l'intérieur de ces nuages, le gaz est suffisamment chaud et dense pour que de grosses bulles, les **protoétoiles** (des « bébés étoiles »), puissent se former. Lorsque la température centrale est suffisamment élevée (environ quinze millions de degrés), les réactions nucléaires démarrent, transformant l'hydrogène en hélium : l'étoile débute son existence et se détache de son nuage. Comme le montre le **diagramme des étoiles** de l'entrée *Etoile-types*, elle devient un point de la **Séquence principale** sur laquelle elle va demeurer pendant la plus grande partie de sa vie.



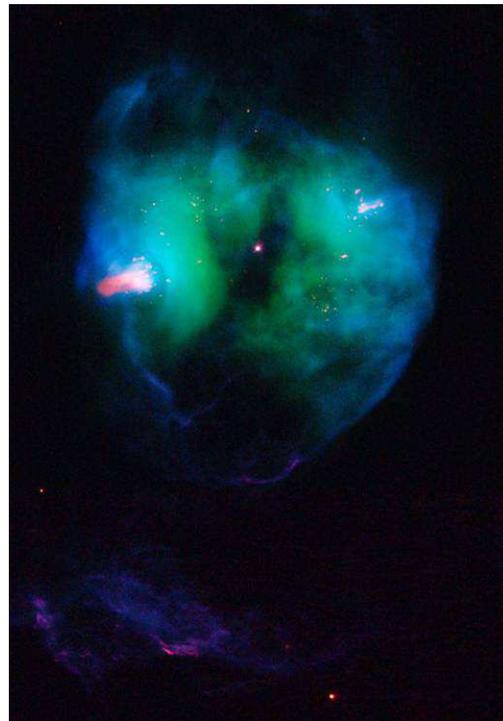
Une pouponnière d'étoiles dans un nuage moléculaire. © NASA/Hubble Telescope.

L'étoile utilise son hydrogène comme carburant. Les réactions nucléaires qui se produisent dans ses régions centrales transforment l'hydrogène en hélium ; un gramme d'hydrogène libère une énergie de 600 milliards de joules ! (voir l'entrée *Energie*). L'étoile peut ainsi continuer son existence pendant plusieurs milliards d'années, comme le fait le Soleil. Si l'on pouvait accélérer le temps pour que la durée de vie d'une étoile devienne égale à celle d'un homme, alors la vie de celui-ci serait réduite à quarante secondes !

Lorsqu'elle n'a plus assez d'hydrogène, l'étoile brûle son hélium qu'elle transforme en carbone, puis en oxygène, en silicium, en magnésium, etc. A la suite de ces réactions, la température centrale augmente graduellement et l'étoile se dilate, devenant une **géante rouge** qui, mise à la place du Soleil, s'étendrait jusqu'à la planète Mars ! Au bout de quelques dizaines de millions d'années, la matière finit par retomber sur elle-même, comme un soufflé sorti du four, tandis que les régions extérieures riches en éléments chimiques fabriqués dans l'étoile sont éjectés pour former une splendide nébuleuse planétaire (voir cette entrée). L'étoile s'effondre sur elle-même pour devenir une **naine blanche**, dont le diamètre n'est que de quelques centaines ou quelques milliers de kilomètres. Compressée dans un aussi petit espace, la matière est tellement dense qu'un dé à coudre pourrait en contenir plusieurs centaines de kilos ! Par la suite, telle une mourante, l'étoile s'éteint très lentement, tandis que sa matière commence à se disperser dans l'espace environnant. Les deux phases, **géantes rouges** et **naines blanches**, figurent sur le **diagramme des étoiles** de l'entrée *Etoile-types*.



Le cycle de la vie d'une étoile. Après sa naissance dans un nuage de gaz, elle brille pendant plusieurs milliards d'années tout en demeurant identique à elle-même (ici en bleu). Puis elle se dilate pour devenir une géante rouge, avant de s'effondrer en éjectant de la matière (nébuleuse planétaire) et de finir en naine blanche. © A. Nadeau

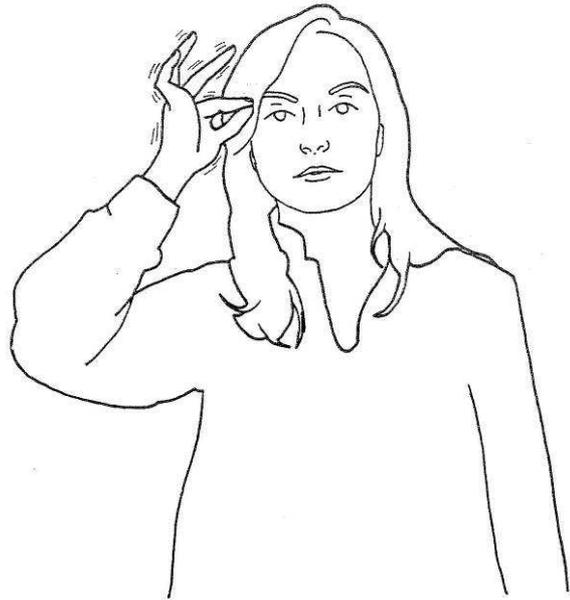


La nébuleuse planétaire NGC2371. On remarque l'étoile centrale qui a éjecté la matière. © NASA/HST

Mais la matière que l'étoile a éjectée avant de s'éteindre n'est pas perdue. Elle est riche de tous les éléments qu'elle a fabriqués au cours de sa vie. Cette matière enrichie sert à la fabrication de nouvelles étoiles et de nouvelles planètes, sur lesquelles le vivant pourra peut-être apparaître et se développer : l'évolution des étoiles est un cycle écologique.

Etoile (généralités)

Dans le signe ETOILE, la main en forme de pince symbolise un objet de forme arrondie et de faibles dimensions apparentes. Le mouvement d'oscillation du poignet imite le scintillement des étoiles. L'emplacement sur la tempe réfère à un objet situé en hauteur.



Mots et expressions associés: Astronome - Binaire (étoile) - Constellation - Distance - Dimension - Evolution - Nucléaire (physique) - Soleil - Système solaire - Télescope - Température - Variable (étoile) - Voûte céleste.

Le ciel que nous observons est peu différent de celui des Anciens : les étoiles semblent immuablement fixées sur la voûte céleste. Il y a cent ans encore, il était difficile de connaître la distance ou la dimension des étoiles ; il était encore plus problématique d'expliquer la cause de leur rayonnement : pourquoi les étoiles brillent-elles ? Quelle est leur évolution ? Il a fallu attendre le XX^e siècle avec les télescopes modernes et les progrès en physique nucléaire pour comprendre que les étoiles naissent, vivent et meurent comme les humains et qu'elles sont en évolution permanente.

L'expression « Voûte céleste » désigne le ciel nocturne dans son ensemble (voir cette entrée).

Depuis l'Antiquité, les astronomes ont dressé des catalogues d'étoiles de plus en plus importants. Ils les ont d'abord regroupées en constellations. L'astronome *Hipparque*, au II^e siècle avant notre ère, dresse un catalogue de 1 024 étoiles. Les astronomes arabes donnent ensuite un nom aux étoiles les plus brillantes (le lecteur trouvera certains de ces noms dans l'Atlas du ciel). Au cours des siècles, les catalogues s'enrichissent. De nos jours, on recense près de 200 milliards d'étoiles dans notre seule Galaxie.

Les étoiles sont des soleils très lointains. Elles se définissent par leur distance, leur dimension, leur température et d'autres caractères tels que la binarité et la variabilité.



Part of Baade's Window, with NGC 6528
(FORIS/ILT)

ESO Press Photo 34a/06 (12 September 2006)



Une petite région du ciel avec ses milliers d'étoiles.
© ESO

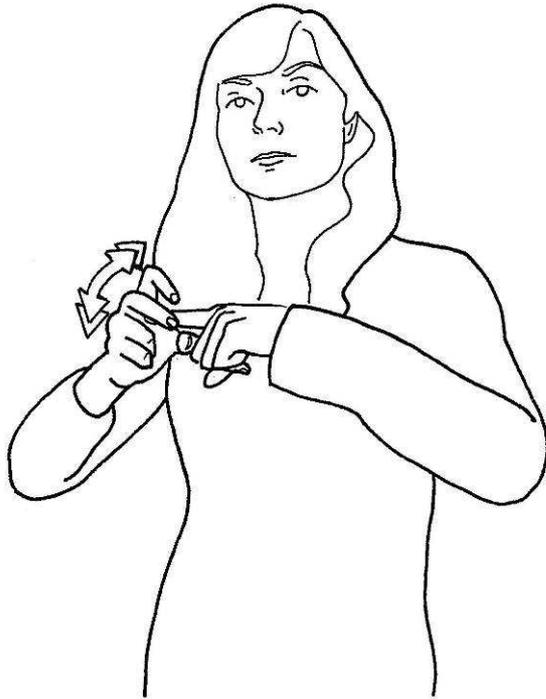
Grâce à leur observation, les astronomes sont parvenus à connaître leur physique et leur évolution.

L'étude de l'évolution des étoiles est un long travail de patience, car la vie d'un humain par rapport à celle d'une étoile correspond approximativement à deux secondes de notre propre existence ! L'astronome doit recueillir un maximum d'informations pour reconstituer l'histoire d'une étoile, dont la vie peut atteindre plusieurs milliards d'années : le Soleil est né avec le Système solaire il y a environ 4,6 milliards d'années pour arriver de nos jours à la moitié de son existence. Grâce à l'astrophysique, il est maintenant possible d'associer l'homme aux étoiles, car nous sommes nous-mêmes constitués d'atomes qui ont été fabriqués par les étoiles, depuis les débuts de l'univers. **Connaître la vie des étoiles, c'est aussi connaître l'homme.**



Etoile (types)

Les étoiles se répartissent en différents types spectraux, en fonction de leur température. Le type spectral d'une étoile faisant appel à l'une des lettres O, B, A, F, G, K, M, on l'indique en LSF au moyen de la lettre manuelle correspondante. Les trois classes, naines, géantes, supergéantes (encore plus grandes que les géantes), liées à leur diamètre, sont également désignées par les signes correspondants.



TEMPERATURE



DIAMETRE

Mots et expressions associés: Alphanet - Astronome - Constellation - Distance - Etoile (généralités) - Etoile (évolution) - Magnitude - Mars - Nucléaire (réactions) - Planète - Soleil - Spectroscopie.

Les étoiles brillent grâce aux réactions nucléaires qui se produisent dans leurs régions centrales, là où la température atteint quinze millions de degrés. Cependant, si cette température centrale est pratiquement identique d'une étoile à l'autre, les températures de surface varient beaucoup.

Le Soleil a une température de surface de $5\,800^{\circ}$ qui correspond à sa couleur jaune, mais il existe des milliers d'étoiles plus chaudes (de couleur bleue) ou plus froides (de couleur rouge). La couleur d'une étoile est donc un indicateur de sa température. L'analyse de la lumière des étoiles se fait par la spectroscopie. C'est à partir du spectre des étoiles que les astronomes peuvent les classer en fonction de leurs caractéristiques physiques.



Il suffit d'observer le ciel à l'œil nu pour remarquer que les étoiles ont des couleurs différentes : *Vega* de la Lyre est blanche, tandis qu'*Arcturus* du Bouvier est jaune ; dans la constellation d'Orion, *Rigel* est blanche tandis que *Bételgeuse* est rouge. Les astronomes ont classé les étoiles en sept catégories principales, subdivisées en neuf sous-groupes, que l'on appelle le **type spectral**. Il permet de connaître les caractéristiques physiques et chimiques des étoiles, et d'en déduire toutes leurs propriétés. Le tableau ci-dessous montre les sept catégories principales, avec la température et la couleur correspondantes.

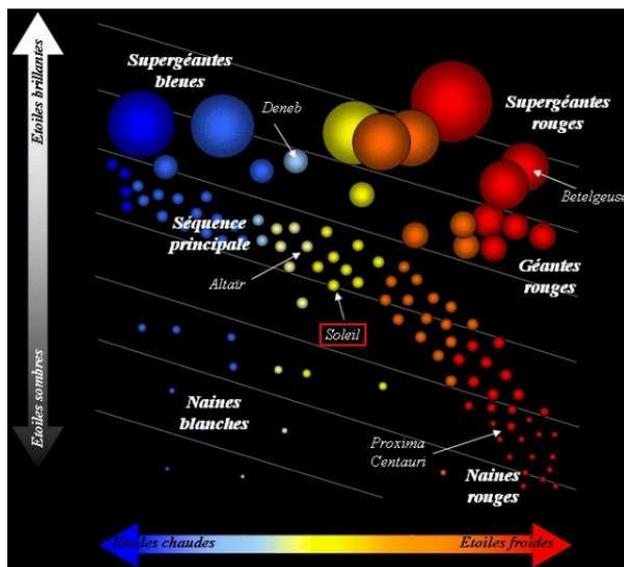


Une petite portion du ciel avec les étoiles de couleurs variées, mélangées à du gaz. © ESO

Type spectral	Température	Couleur	Exemples
O	25 000° à 45 000°	bleue	<i>Mintake</i> (δ Orion), <i>Naos</i> (ζ Poupe)
B	9 500° à 25 000°	bleue - blanche	<i>Rigel</i> (β Orion), <i>Achernar</i> (α Eridan)
A	7 100° à 9 500°	blanche	<i>Sirius</i> (α Grand Chien), <i>Véga</i> (α Lyre)
F	5 800° à 7 100°	blanche - jaune	<i>Procyon</i> (α Petit Chien)
G	4 600° à 5 800°	jaune	<i>Capella</i> (α Cocher), <i>Le Soleil</i>
K	3 200° à 4 600°	jaune - orange	<i>Arcturus</i> (α Bouvier)
M	1 800° à 3 200°	rouge	<i>Antarès</i> (α Scorpion)

Pour les étoiles extrêmement froides, on a aussi créé des classes **R**, **N** et **S**. Chaque étoile se définit par sa magnitude, autrement dit par la quantité de lumière qu'elle nous envoie, et par la nature même de cette lumière, correspondant à la classe à laquelle l'étoile appartient.

Le diagramme des étoiles



Le diagramme des étoiles (appelé aussi diagramme de Hertzsprung-Russell). © Florent Renaud

Dans les années 1910, deux astronomes, *Hertzsprung* et *Russell*, réalisent un diagramme dont l'axe horizontal représente la température des étoiles, tandis que l'axe vertical représente leur luminosité ou magnitude. Ce diagramme montre que la majorité des étoiles (dont le Soleil) se situe sur une bande sinueuse appelée **Séquence Principale** qui va en descendant de la gauche vers la droite. Au-dessus, se trouve la famille des **étoiles géantes** et **supergéantes**, chaudes à gauche et froides à droite ; et au-dessous la famille des **étoiles naines**, blanches et rouges. Il y a

donc **trois classes principales d'étoiles** :

- **Les étoiles naines**
- **Les étoiles géantes**
- **Les étoiles supergéantes**

Les étoiles sont de tailles et de températures très différentes ; mais, vue de la Terre, une étoile naine froide proche de nous peut apparaître aussi brillante qu'une étoile géante chaude très lointaine. Le diagramme ci-dessus représente en réalité les différentes étapes de la vie d'une étoile, de sa jeunesse jusqu'à sa vieillesse (voir l'entrée *Etoile-évolution*). La dimension des étoiles est tout à fait remarquable : si le Soleil est, malgré un rayon de 700 000 km, une étoile naine, certaines étoiles supergéantes, mises à la place du Soleil s'étendraient jusqu'à l'orbite de la planète Mars ! On trouvera dans l'*Atlas céleste*, à la fin de ce dictionnaire, la description des principales étoiles visibles à l'œil nu, regroupées en constellations, avec leur éclat (magnitude), leur type spectral, leur classe et leur distance.



Comparaison de la taille de quelques étoiles proches par rapport au Soleil (Sun en anglais). © ESO



Etoile (variable)

La notion d'étoile variable se traduit par le signe ETOILE, suivi d'un signe qui évoque tout aussi bien l'augmentation et la diminution de l'éclat apparent de toutes les variables, que le mouvement réel de dilatation et de contraction des plus importantes d'entre elles, les céphéides. Pour l'étymologie de ETOILE, voir l'entrée *Etoile-généralités*.

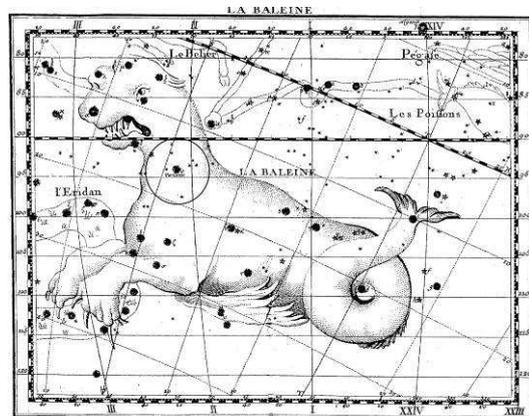
Pour désigner plus précisément une étoile variable du type « binaire à éclipse », on recourt au signe ECLIPSE (voir l'entrée correspondante).

Mots et expressions associés: Constellation - Dimension - Distance - Eclipse - Etoile (binaire) - Etoile (nom) - Galaxie - Lunette - Nova - Soleil - Supernova - Télescope - Température - Terre.



Dans l'Antiquité, on pensait que les étoiles demeuraient éternellement identiques à elles-mêmes. Pourtant, de nouvelles étoiles sont apparues de temps en temps au cours de l'histoire, tandis que d'autres disparaissaient avant de redevenir visibles quelques semaines ou quelques mois plus tard. Ce sont là deux familles d'étoiles très différentes. Celles qui apparaissent soudainement dans le ciel avant de décliner constituent la famille des « novae » (pluriel du latin *nova*) et des « supernovae » (pluriel du latin *supernova*). Celles dont l'éclat change plus ou moins régulièrement forment la famille des **étoiles variables**. On en connaît des dizaines de milliers, qui se répartissent en plusieurs catégories. Ce sont de véritables phares dans le ciel qui se distinguent par leur jeunesse ou leur maturité. Qu'il s'agisse d'une jeune **céphéide**, d'une **mira** âgée ou d'une **binaire à éclipse**, les étoiles variables montrent la vitalité des astres qui nous entourent. On trouvera la description des plus caractéristiques d'entre elles dans l'*Atlas du ciel* à la fin de ce dictionnaire.

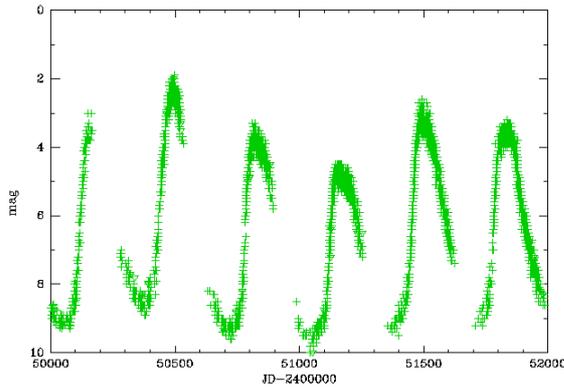
La plus célèbre des étoiles variables est *Mira Ceti*, « la Merveilleuse » de la constellation de la Baleine, connue depuis l'Antiquité pour disparaître avant de réapparaître. L'astronome français *Ismaël Bouillaud* (1605-1694) remarque le retour périodique de son éclat tous les 333 jours. De nos jours, des milliers d'étoiles de ce type ont été recensées : parmi les étoiles variables, elles constituent le groupe des **mira**. Ce sont des supergéantes extrêmement froides de type M (voir l'entrée *Etoile-types*), dont



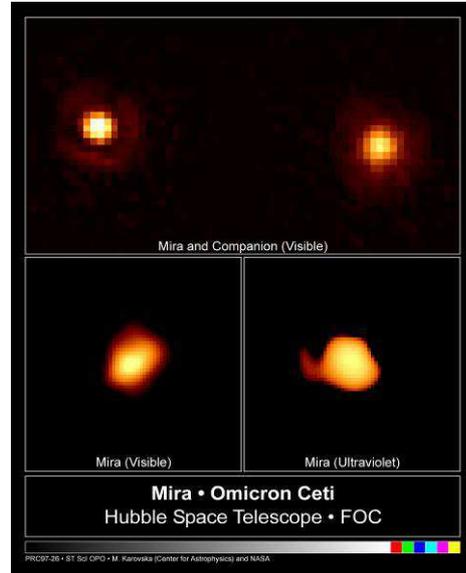
L'étoile « Mira Ceti » dans le cou de la constellation de la Baleine, repérée par un cercle.

la magnitude oscille en moyenne entre 3 et 10 tous les 300 à 500 jours.

Les astronomes étudient les causes de la variabilité des étoiles mira ; c'est un mécanisme complexe d'ondes de choc se propageant dans leur atmosphère. Les observations faites avec les grands télescopes montrent la dimension de ces étoiles qui, mises à la place du Soleil, atteindraient la Terre!



La variation de l'éclat de Mira Ceti entre les magnitudes 2 et 10 pendant 5 années. © AFOEV



L'étoile Mira Ceti et son atmosphère étendue vue par le Télescope Spatial Hubble. © NASA/HST

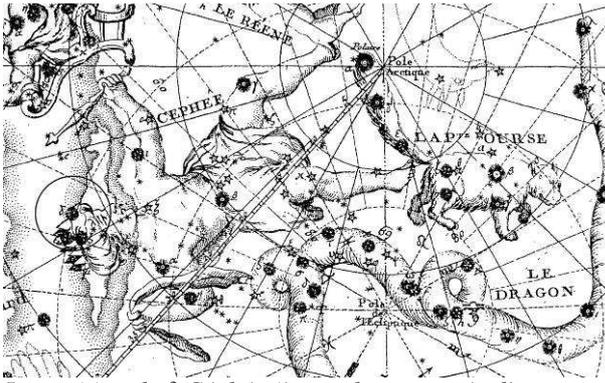
Il existe d'autres familles d'étoiles variables. En 1669, l'astronome *Montanari* découvre les variations régulières de l'étoile *Algol* (β Persée, dont le nom arabe signifie « le porteur de la tête du démon »). *John Goodricke* note que cette étoile a un cycle de 2 jours, 20 heures et 48 minutes. *Algol* fait partie des étoiles variables **binaires à éclipses**, dont la variation d'éclat est due au passage régulier d'une étoile moins brillante que sa compagne, et en révolution autour d'elle (voir l'entrée *Etoile-binaire*).

John Goodricke, astronome sourd



John Goodricke.

Né le 17 septembre 1764 à Groningen, d'un père diplomate anglais et d'une mère hollandaise, John Goodricke devient sourd à l'âge de cinq ans à la suite d'une scarlatine. Après avoir été élève à l'Académie Braidwood, la première école pour enfants sourds de Grande-Bretagne, il se passionne pour l'astronomie et détermine la durée de la variation d'éclat d'*Algol* en 1783. De la même manière, il découvre que *Sheliak* (β de la Lyre) change elle aussi d'éclat en 12 jours et 20 heures : il s'agit également d'une étoile **binaire à éclipses** formée de deux géantes en révolution l'une autour de l'autre. Une autre étoile attire son attention : il s'agit de δ Céphée dont il note la variation d'éclat



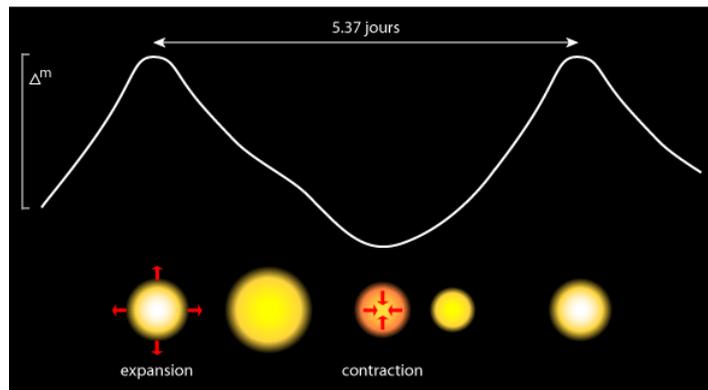
La position de δ Céphée (à gauche, entourée d'un cercle).

entre les magnitudes 3,7 et 4,6 tous les 5 jours et 9 heures. Cependant, la variation d'éclat ne s'effectue pas de la même manière que pour *Algol* et *Sheliak* : δ Céphée appartient à une nouvelle famille d'étoiles variables, les **céphéides**. Devenu membre de la *Royal Society*, John Goodricke meurt d'une pneumonie le 20 avril 1786 à York en Angleterre. Il avait 21 ans.



Timbre du Nicaragua à l'effigie de John Goodricke. En médaillon, le portrait de Nicolas Copernic.

Les **céphéides** sont de jeunes étoiles géantes qui se dilatent et se contractent, comme le fait un poumon qui respire. Ce mouvement provoque une variation très régulière de leur éclat, la matière de l'étoile en mouvement cherchant à se stabiliser : δ Céphée augmente ainsi son rayon (18 millions de km, soit 30 fois celui du Soleil !) de 2 millions de km à chaque pulsation. On trouve des céphéides aussi bien dans notre Galaxie que dans les galaxies voisines. L'*étoile Polaire* aussi est une céphéide, mais ses variations d'éclat sont imperceptibles à l'œil nu.



Les variations lumineuses de δ Céphée. © SAR

Au début du xx^e siècle, l'astronome américaine *Henrietta Leavitt* (1868-1921) découvre que plus la durée de variation d'une céphéide est longue, plus sa magnitude absolue (voir l'entrée *Magnitude*) est grande. Grâce à cette relation, les astronomes peuvent **calculer la distance des galaxies proches** avec une très bonne précision. Précisons qu'*Henrietta Leavitt* était malentendante.

Force ou Interaction

Le signe FORCE (également traduisible, en fonction du contexte, par FORT) reproduit l'attitude de quelqu'un qui montre sa force en contractant les deux poings. En astronomie, ce signe peut être complété par d'autres qui représentent l'une des quatre forces (ou interactions) de la nature : gravitationnelle, électromagnétique, nucléaire forte, nucléaire faible.



Mots associés: Attraction - Big Bang - Electromagnétisme - Energie - Etoile - Galaxie - Lune - Nucléaire - Photon - Planète - Soleil - Terre - Univers.

Un des aspects les plus étonnants de l'univers est que l'ensemble de la matière qui le compose, planètes, étoiles, galaxies, etc., peut se décrire à l'aide de **quatre forces**, appelées également **interactions** :

- **l'interaction gravitationnelle,**
- **l'interaction électromagnétique,**
- **l'interaction nucléaire forte,**
- **l'interaction nucléaire faible.**

Les physiciens essaient de découvrir de nouvelles forces pour mieux comprendre certaines propriétés de la matière, mais actuellement ces quatre interactions sont suffisantes pour expliquer l'évolution de l'univers depuis le Big Bang, il y a 13,7 milliards d'années.

L'illustration ci-contre montre un ensemble d'étoiles et de galaxies très distantes, dont les astronomes étudient l'histoire et l'évolution à l'aide de ces quatre forces.



Un champ d'étoiles et l'amas de galaxies Cl0053-37.

© ESO

L'interaction gravitationnelle

Le concept de force ou d'interaction gravitationnelle se traduit par le signe FORCE suivi du signe ATTRACTION. Ce signe est réalisé ici de haut en bas, en référence à la pesanteur.

C'est la force la plus directement perceptible : sur Terre comme sur les autres planètes, la chute verticale d'un objet est soumise à l'**accélération de la pesanteur** qui crée l'interaction gravitationnelle.

Cette attraction explique pourquoi nous avons les pieds collés au sol, quel que soit l'endroit du globe terrestre où nous nous trouvons. Cependant, l'accélération de la pesanteur change d'une planète à l'autre.

En physique, les unités de vitesse sont des m/s ou km/s; l'unité d'accélération est le m/s². La force est égale au produit de la masse (*m*) par l'accélération de la pesanteur (*g*):

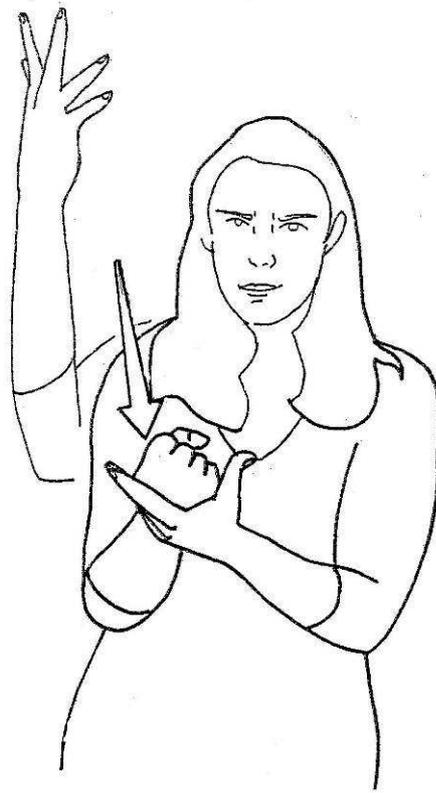
$$F = mg$$

L'unité de force est le **newton (n)**:

$$1 \text{ n} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2.$$

Sur Terre, l'accélération de la pesanteur est de 9,81 m/s², mais sur la Lune elle n'est plus que de 1,63 m/s²; inversement, sur Jupiter, elle atteint 23,15 m/s². Une personne qui pèse 75 kg sur la Terre pèserait 12,4 kg sur la Lune, 177 kg sur Jupiter et atteindrait 19 tonnes sur le Soleil !

Cette force de gravitation agit sur le Système solaire pour maintenir les planètes autour du Soleil, sur les étoiles pour les faire tourner dans la Galaxie, et sur les galaxies pour les faire tourner entre elles. Elle est 10³⁹ fois plus faible que l'interaction forte: **c'est la plus faible de toutes les interactions**, mais elle agit partout où il y a de la matière.



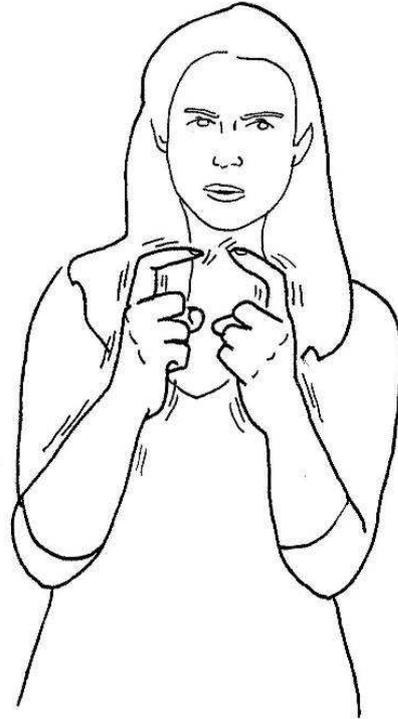
ATTRACTION



L'interaction électromagnétique

Le concept de force ou d'interaction électromagnétique se traduit par le signe FORCE suivi du signe ELECTRICITE. Ce dernier représente deux fils électriques que l'on met en contact pour produire une décharge.

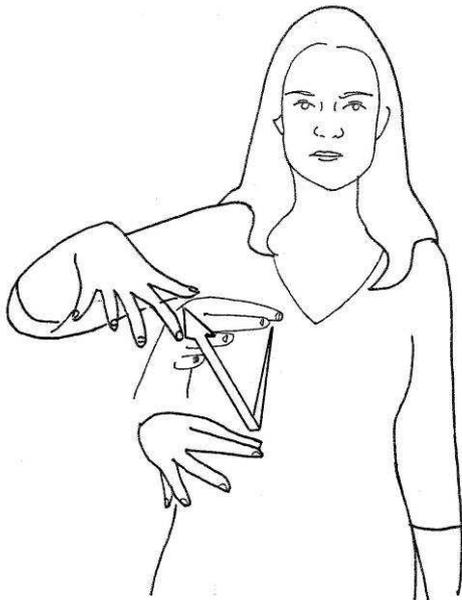
Cette force peut s'observer dans la vie quotidienne, par exemple près d'une ligne électrique ou avec un aimant. Comme la gravitation, elle agit partout où il y a de la matière. Elle est transportée par les particules qui composent la lumière: les photons. Elle est 137 fois plus faible que l'interaction forte.



ELECTRICITE

L'interaction nucléaire forte

Le concept de force ou d'interaction nucléaire forte se traduit en LSF par le signe FORCE suivi des signes NUCLEAIRE (pour son étymologie, voir l'entrée correspondante) et FORT.



NUCLEAIRE



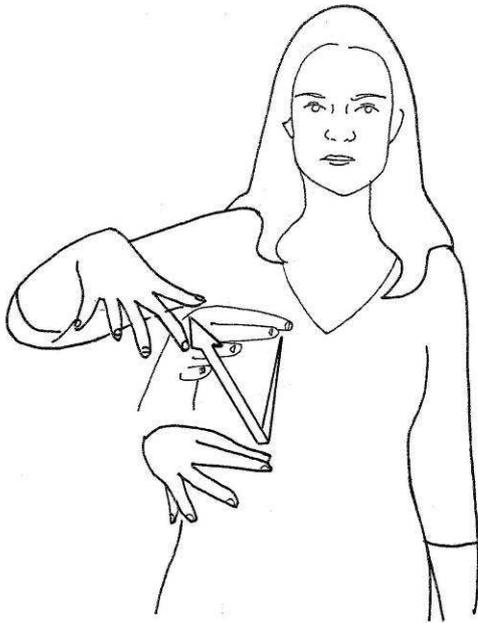
FORT



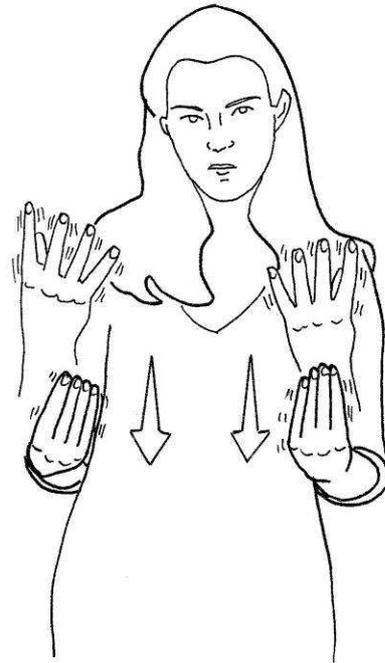
Cette force rassemble les particules qui composent les noyaux des atomes; elle est extrêmement intense : par exemple la brisure des noyaux d'hydrogène produit une bombe atomique capable de tout dévaster. C'est **la force la plus intense**, mais elle n'agit qu'à l'intérieur des atomes, à une distance maximum de 10^{-15} mètre.

L'interaction nucléaire faible

Le concept de force ou d'interaction nucléaire faible se traduit par le signe FORCE suivi des signes NUCLEAIRE et FAIBLE. Dans de nombreux signes de la LSF, le fait de refermer en faisceaux les mains ouvertes symbolise une diminution ; avec, en outre, une descente des mains devant le corps, le signe FAIBLE représente donc une diminution d'énergie corporelle, c'est-à-dire un état de faiblesse.



NUCLEAIRE



FAIBLE

Cette interaction est responsable de certains phénomènes de radioactivité, et intervient aussi dans des réactions nucléaires, comme celles qui font briller les étoiles. Elle est 10^{11} fois plus faible que l'interaction nucléaire forte et n'agit qu'à l'intérieur des atomes, à des distances inférieures à 10^{-18} mètre.



Galaxie (amas)

Le concept d'amas de galaxies se traduit par le signe GALAXIE suivi du signe AMAS (dans le contexte des amas globulaires). Pour l'étymologie de ces deux signes, voir les entrées *Galaxie* et *Amas globulaires*.



GALAXIE



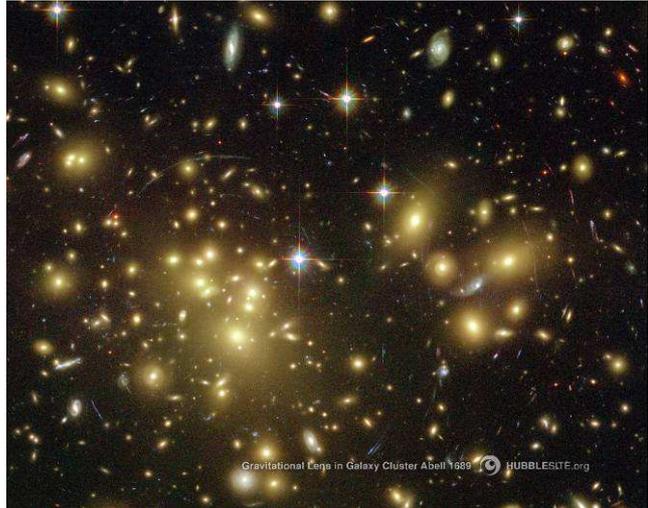
AMAS

Mots et expressions associés: Amas local - Année-lumière - Big Bang - Cosmologie - Force (gravitation) - Galaxie - Galaxie (type) - Groupe local - Lumière - Masse - Rayon X - Superamas local - Télescope - Univers (expansion) - Vitesse.

En 1784, l'astronome *William Herschel* (1738-1822) constate que les galaxies visibles dans son télescope sont rassemblées en de vastes groupes, tel celui qu'il observe dans la constellation de la Vierge. Par la suite, les observations d'*Edwin Hubble* (1889-1953) montrent à la fois l'extraordinaire prolifération des galaxies et leur répartition irrégulière : elles se rassemblent en **groupes** et en **amas**, tandis que de vastes régions de l'univers semblent vides de matière.



Contrastant avec les galaxies réparties isolément dans l'espace, de nombreuses galaxies font partie de vastes associations dans lesquelles elles sont rassemblées sous l'effet de la force de gravitation. Les deux structures les plus accessibles au télescope se situent dans les constellations de la Vierge et de la Chevelure de Bérénice. Ces concentrations de galaxies forment les **amas**, représentant probablement **les plus grandes structures physiquement liées** dans l'univers. Notre Galaxie fait ainsi partie d'un amas de galaxies, appelé Amas local (voir cette entrée).

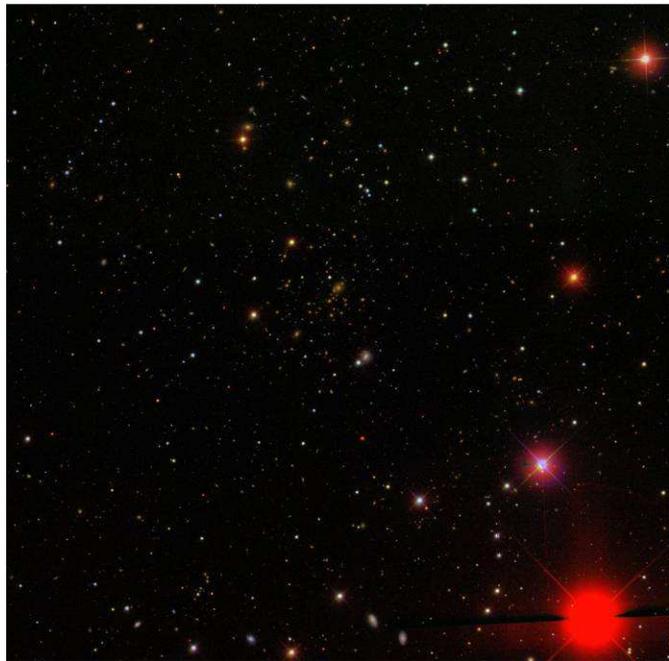


L'amas de galaxies Abell 1689. © NASA/HST

Les connaissances actuelles en cosmologie suggèrent que les amas de galaxies s'accommodent des conditions physiques initiales lors du Big Bang, il y a 13,7 milliards d'années. Les galaxies actuellement isolées se seraient « échappées » d'un amas ou d'un groupe. Les images du ciel profond réalisées à l'aide des télescopes les plus performants au sol et dans l'espace confirment cette théorie du regroupement des galaxies.

L'observation des amas de galaxies montre que ceux-ci participent au mouvement général d'expansion de l'univers (voir cette entrée). Ainsi, plus la vitesse d'éloignement des galaxies est importante, plus l'amas est lointain. Les galaxies de l'amas de la Vierge sont distantes de 52 millions d'années-lumière et s'éloignent de nous avec une vitesse moyenne de 1 500 km/s. Celles de l'amas de la Chevelure de Bérénice, distantes de 200 millions d'années-lumière, ont une vitesse d'éloignement de 7 300 km/s. Situées à plus de trois milliards d'années-lumière, les galaxies de l'amas A1942 s'éloignent à 65 000 km/s.

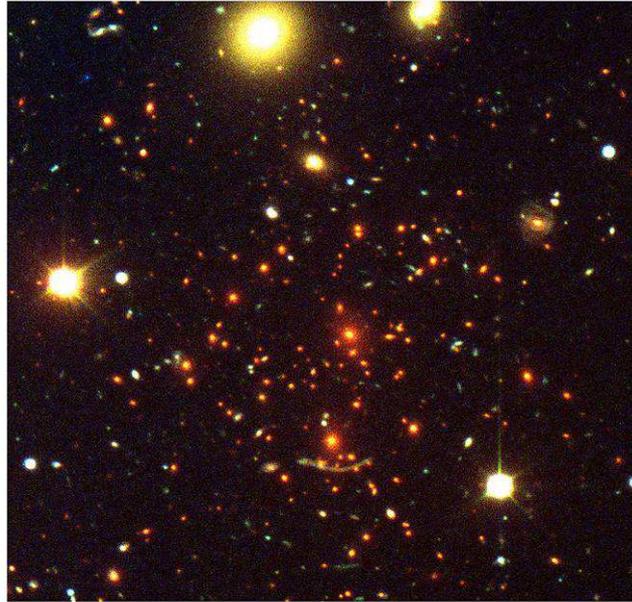
Les astronomes ont également observé que certains amas de galaxies sont eux-mêmes rassemblés en « amas d'amas » ou **superamas de galaxies**, pouvant atteindre des dimensions de 150 millions d'années-lumière ! Ainsi, le Superamas local contient, outre notre Galaxie et l'Amas local, celui de la Vierge.



Parmi les étoiles de la Voie lactée, l'amas A1942 est composé de galaxies tellement distantes que ce ne sont que des petites taches floues. © ESO/D.Proust

Pour les amas plus proches, les observations montrent que les galaxies elliptiques se situent de préférence vers le centre de l'amas, tandis que les galaxies spirales sont distribuées sur leur pourtour. Au centre des amas, on trouve souvent une galaxie géante appelée **galaxie cD**, soupçonnée de pouvoir absorber comme une glotonne les petites galaxies environnantes.

Enfin, la majorité des amas contiennent du gaz très chaud dont la température atteint 10^8 degrés, émettant dans le domaine des rayons X. Ce gaz chaud, mélangé à des nuages plus froids et aux galaxies elles-mêmes, donne des masses très importantes aux amas de galaxies, de l'ordre de 10^{15} fois celle du Soleil ! Dans les années 1980, les astronomes ont découvert que de telles masses étaient capables de dévier des rayons lumineux provenant d'une galaxie plus lointaine, située dans la même direction, provoquant un **arc gravitationnel** (voir l'entrée *Lumière*). On observe de nombreuses images de ces arcs dans les amas de galaxies, comme A370.



Galaxy Cluster Abell 370
(VLT UT1 + FORS1)

ESO PR Photo 47c/98 (26 November 1998)

© European Southern Observatory



L'amas A370 et son arc gravitationnel. © ESO



Galaxie (évolution)

L'évolution des galaxies se représente par le signe GALAXIE suivi du signe EVOLUTION. Pour l'étymologie de GALAXIE, voir *Galaxie-généralités*. Pour celle d'EVOLUTION, voir *Etoile-évolution*.



GALAXIE



EVOLUTION

Mots et expressions associés: Amas de galaxies - Année-lumière - Etoile - Masse - Moment angulaire - Nuage de Magellan - Rotation - Univers - Vitesse - Voie lactée.

Les galaxies ne restent pas identiques à elles-mêmes au cours du temps ; comme les étoiles, elles évoluent depuis leur formation, aussi bien individuellement que par rapport à leur environnement. Elles sont regroupées en vastes structures, les amas de galaxies (voir cette entrée), à l'intérieur desquelles elles subissent des collisions et des interactions de toute nature.



La variété morphologique des galaxies, qu'elles soient elliptiques, spirales ou irrégulières (voir l'entrée *Galaxie-type*) reflète les conditions initiales de leur formation et de leur évolution. A l'origine, une galaxie se forme par la contraction d'un immense nuage de gaz en rotation, qui s'aplatit progressivement en donnant naissance aux premières étoiles. Ce nuage de gaz se caractérise par sa masse et sa vitesse de rotation, dont le produit définit un terme physique : le **moment angulaire**. Lorsque celui-ci est élevé, la galaxie résultante est spirale ou lenticulaire ; inversement, une galaxie elliptique résulte d'un faible moment angulaire.

Certaines galaxies ont des régions centrales constituées de gaz en interaction à haute température, qui émet dans les longueurs d'onde radio : ce sont des **radiogalaxies** comme la galaxie NGC 5128 dans la constellation du Centaure, constituée de deux galaxies en collision.

Sous l'effet de la lente rotation des galaxies, les étoiles leur restituent une partie du gaz enrichi en éléments lourds qu'elles ont fabriqué. Inversement, la formation d'étoiles dans une galaxie appauvrit le milieu en gaz.

Les galaxies se sont formées dans les premiers temps de l'univers avec leurs caractéristiques propres, puis ont évolué à des rythmes différents en fonction de la quantité de gaz qu'elles contenaient initialement, de leur isolement ou de leur appartenance à des groupes ou des amas. La transformation de la majeure partie du gaz en étoiles s'est faite rapidement dans les galaxies elliptiques, beaucoup plus lentement dans les galaxies irrégulières.

La proximité des galaxies au sein d'un groupe ou d'un amas influence fortement leur évolution (voir l'entrée *Galaxies-amas*). Par exemple, lorsque la petite galaxie IC 4970 est entrée en collision avec la galaxie NGC 6872, des effets de gravitation sur le gaz de cette dernière ont entraîné une forte augmentation de la fabrication d'étoiles.



La galaxie NGC 5128 dans la constellation du Centaure, distante de 14 millions d'années-lumière. © ESO



Les galaxies en interaction NGC 6872 (spirale) et IC 4970 (lenticulaire) à 300 millions d'années-lumière. © ESO

Galaxie (généralités)

Le signe GALAXIE stylise d'abord un noyau sphérique, puis les bras qui l'entourent dans un plan horizontal. Les doigts écartés et oscillants symbolisent les innombrables étoiles qui composent le bras d'une galaxie ; ils permettent d'éviter toute confusion avec un objet entouré d'un disque, tel Saturne.

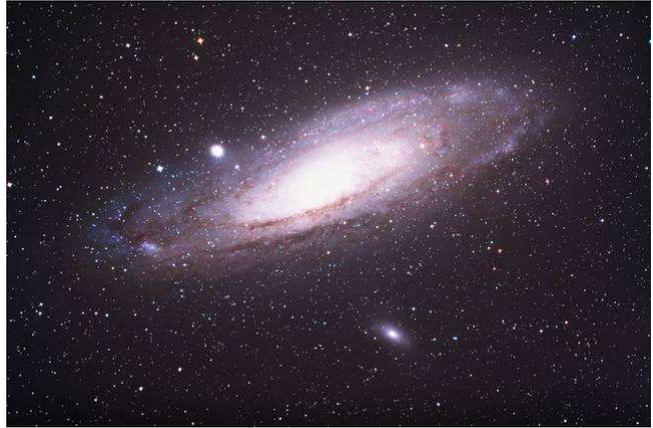


Mots et expressions associés: Année-lumière - Groupe local - Etoile - Nébuleuse - Nuages de Magellan - Rotation - Soleil - Système solaire - Univers (expansion) - Vitesse - Voie lactée.

Les **galaxies** sont d'immenses objets aplatis où naissent, vivent et meurent les étoiles immergées dans de vastes nuages de gaz et de poussières. La plus connue est celle dans laquelle se trouvent le Soleil et le Système solaire : c'est la Voie lactée, que l'on peut facilement admirer par une belle nuit étoilée.



La première galaxie dont il soit fait mention dans l'histoire de l'astronomie est observée dans la constellation d'Andromède par l'astronome arabe *Al Sûfi* en l'an 964, puis par *Simon Marius* en 1612. La première observation avec un instrument est faite par *Charles Messier* (1730-1817), qui établit une liste comprenant 104 « objets diffus » dans laquelle la galaxie d'Andromède porte le numéro 31, d'où son nom actuel Messier 31 (ou M31). *William Herschel* (1738-1822) découvre plus de 2 000 « nébuleuses » qui complètent la liste de Messier ; son fils *John Herschel* publie une liste de 5 079 objets. En 1888, les astronomes recensent 7 840 « objets nébuleux ». En 1908, ils en comptabilisent 15 000, dont la majorité constitue le *New General Catalogue* (NGC) et l'*Index Catalogue* (IC). Ainsi la galaxie d'Andromède (M31) est-elle également NGC 224. De nos jours, les galaxies se comptent par centaines de millions sur les images obtenues par les grands télescopes, au sol ou en orbite autour de la Terre.



La galaxie spirale M31 d'Andromède et la galaxie elliptique M32 située au-dessous. © Observatoire de Paris

Il faut attendre les années 1920 pour avoir la certitude que certaines de ces « nébuleuses » sont des galaxies (du mot grec *gala* « lait »), immenses disques composés d'étoiles baignant dans du gaz et de la poussière, en lent mouvement de rotation et situées très loin de notre Voie lactée. Leur nature réelle avait été soupçonnée au XIX^e siècle, notamment depuis la découverte, dans les années 1850, de la structure en spirale de nombre d'entre elles. L'expression « univers-îles » rend bien compte de leurs grandes dimensions et des immenses distances qui les séparent.

Dimensions – Les galaxies ont des morphologies et des dimensions très variables (voir l'entrée *Galaxie-types*). Le Grand et le Petit Nuage de Magellan, bien visibles à l'œil nu dans l'hémisphère austral, mesurent respectivement 22 000 et 10 000 années-lumière (A.L), tandis que notre propre Galaxie (la Voie lactée) a un diamètre de 100 000 A.L ; dans la constellation d'Andromède, M31 atteint 150 000 A.L, tandis que M32 ne mesure que 3 500 A.L.

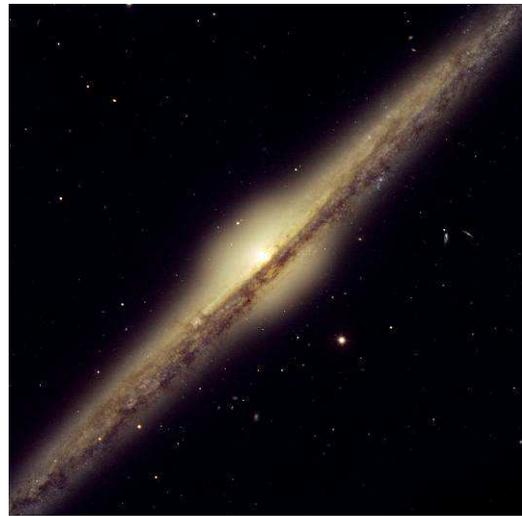
Distance – Les galaxies parsèment l'espace à des distances immenses. Les Nuages de Magellan sont nos voisins à 169 000 A.L., tandis que M31 est située 2 800 000 A.L. Les galaxies qui forment le Groupe local se situent à quelques dizaines de millions d'A.L, mais les grands télescopes sont capables d'en détecter jusqu'à huit milliards d'A.L !

Rotation – Les galaxies tournent sur elles-mêmes, ce qui explique la structure des bras spiraux qui s'enroulent progressivement. Notre Galaxie, au niveau du Soleil, a une vitesse de rotation de 220 km/s ; nous effectuons un tour complet en 220 millions d'années. En outre, les galaxies s'éloignent généralement les unes des autres en raison de l'expansion de l'univers ; mais, localement, la force de gravitation peut les rapprocher. Ainsi, M31 se dirige vers nous à la vitesse de 275 km/s ; elle entrera en collision avec la Voie lactée dans quatre à cinq milliards d'années.

Masse – Les galaxies ont des masses très différentes suivant leur type. Composées de milliards d'étoiles, de gaz et de poussière, notre Galaxie atteint 150 milliards de fois la masse du Soleil, M31 le double, tandis que de petites galaxies ont des masses comprises entre quelques centaines de millions et un milliard de fois celle du Soleil.



La galaxie M51 dans la constellation des Chiens de Chasse. © NASA/HST



Spiral Galaxy NGC 4565
(FORS / VLT)

ESO PR Photo 24a/05 (August 10, 2005)



La galaxie NGC 4565, vue de profil. © ESO

Origine des galaxies

D'une manière générale, les galaxies sont issues d'un immense nuage de gaz en rotation, qui s'effondre lentement sur lui-même tout en formant des étoiles. S'il reste beaucoup de gaz, celui-ci se mélange aux étoiles pour donner naissance aux bras spiraux résultant d'une vitesse de rotation plus grande près du centre qu'à l'extérieur. Ainsi, il y a une dizaine de milliards d'années, notre propre Galaxie aurait évolué à partir d'une gigantesque bulle de gaz pour devenir le disque plat que nous observons aujourd'hui.



Galaxie (structure)

A partir du signe GALAXIE (voir l'entrée *Galaxie-généralités*), on peut décrire la structure de ces objets : par exemple préciser qu'elles sont en rotation avec une vitesse exprimée en km/s, ou indiquer leur masse qui se mesure en fonction de celle du Soleil choisie comme unité : de quelques millions à plusieurs milliers de milliards de fois sa masse.



GALAXIE

Mots et expressions associés: Etoile - Galaxie (évolution) - Galaxie (type) - Gaz - Masse - Poussière - Puissance - Rotation - Soleil - Univers - Vitesse - Voie lactée.

Les galaxies se sont formées il y a plusieurs milliards d'années et n'ont cessé d'évoluer jusqu'à notre époque (voir l'entrée *Galaxie-évolution*). Elles sont composées d'un mélange d'étoiles, de gaz et de poussière, le tout étant animé d'un lent mouvement de rotation. Elles appartiennent à trois familles distinctes : les elliptiques (*E*), les spirales (*S*) et les irrégulières (voir l'entrée *Galaxie-type*).

Structure - Les galaxies spirales sont formées d'un bulbe central en forme d'œuf, entouré d'un disque doté de bras, contrairement aux galaxies elliptiques qui en sont dépourvues. Il existe une différence entre les étoiles des galaxies spirales et celles des galaxies elliptiques : on trouve dans les bras spiraux des premières une plus grande quantité d'étoiles chaudes jeunes ou parvenues à maturité (comme le Soleil), tandis que les secondes sont plus riches en étoiles âgées. Les étoiles des galaxies spirales baignent dans de vastes nuages de gaz (essentiellement de l'hydrogène) et de poussière (à base de carbone). Les galaxies elliptiques en sont relativement dépourvues : ce sont les



La superbe galaxie spirale M101 dans la constellation de la Grande Ourse. © NASA/HST

étoiles qui les font briller. La cohésion d'une galaxie est également assurée par tous les débris d'étoiles mortes, ainsi que par une « matière obscure » dont la nature et la localisation ne sont pas connues actuellement.

Rotation - Les galaxies tournent toutes sur elles-mêmes, depuis que le nuage de gaz dont elles sont issues s'est mis en rotation. Les régions centrales tournent plus vite que les régions extérieures. Au niveau du Soleil, notre Galaxie a une vitesse de 220 km/s. Les galaxies proches ont une vitesse moyenne comprise entre 40 et 300 km/s. Les périodes de rotation augmentent en allant des elliptiques vers les bulbes des spirales, s'échelonnant approximativement entre 5 millions (elliptiques) et 80 millions d'années (spirales). Ces périodes de rotation sont bien plus élevées pour les bras des galaxies spirales : au niveau du Soleil, notre Galaxie effectue un tour en 220 millions d'années.



Galaxie elliptique dans l'amas de galaxies Abell S740. © NASA/HST

Masse - Il est extrêmement difficile de connaître avec précision la masse des galaxies, ne serait-ce qu'en raison de l'incertitude qui porte sur leurs dimensions, sur celles du halo, et sur la quantité de matière sombre. L'incertitude augmente avec les plus grands objets, mais les galaxies elliptiques géantes doivent avoir des masses supérieures à 10^{13} fois celle du Soleil. Les masses les plus couramment adoptées sont les suivantes (toujours exprimées en masses solaires): galaxies elliptiques géantes: 10^{13} ; grandes spirales: 3×10^{11} ; notre Galaxie: $1,5 \times 10^{11}$; petites spirales et irrégulières: 10^{10} ; petites elliptiques: 10^6 .

Les galaxies représentent l'étape intermédiaire entre les étoiles et l'univers. Elles contiennent les premières sans lesquelles la vie n'existerait pas, et sont contenues dans le second, sans lequel rien n'existerait.

Galaxie (types)

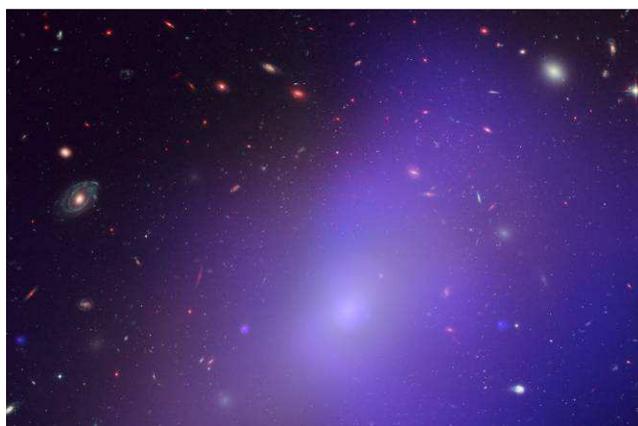
La notion de « type » de galaxie se rend par le signe GROUPE, éventuellement suivi du signe GALAXIE.



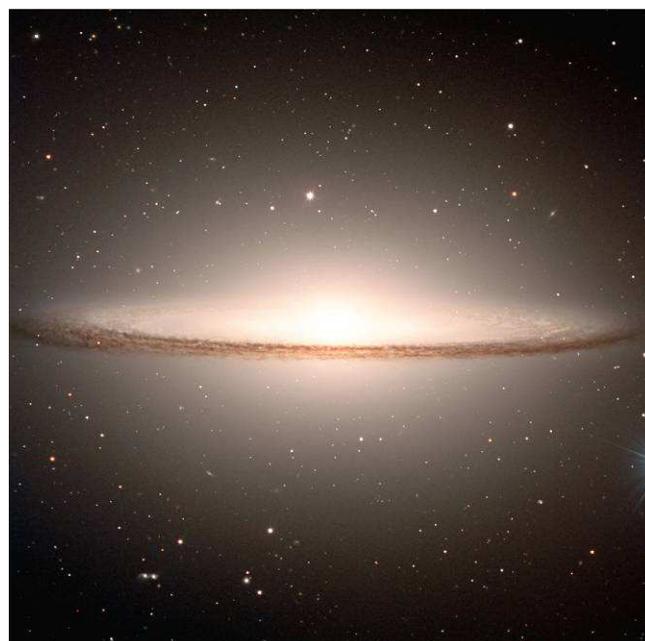
GROUPE

Mots et expressions associés: Année-lumière - Astronome - Distance - Ellipse - Etoile - Galaxie (amas) - Nuage de Magellan - Télescope - Voie lactée.

Dans les années 1920, les observations de l'astronome *Edwin Hubble* (1889-1953) à l'aide de grands télescopes établissent définitivement les immenses distances qui séparent les galaxies (M31, la grande galaxie la plus proche de la nôtre, est située à 2 800 000 années-lumière) ainsi que leur structure. En fonction de leur morphologie, les astronomes distinguent trois classes fondamentales d'objets : les **galaxies spirales**, les **galaxies elliptiques** et les **galaxies irrégulières**. La première catégorie comporte deux sous-classes de spirales, l'une dite **spirales normales** et l'autre appelée **spirales barrées** ; la seconde catégorie comprend les **galaxies lenticulaires**. Les galaxies irrégulières sont dépourvues de toute symétrie.



La galaxie elliptique NGC 1132 et son noyau brillant. © ESO



La belle galaxie lenticulaire M104, dite du « sombrero » en raison de sa forme. © ESO



Les galaxies elliptiques (E) et lenticulaires (S0)

Les galaxies **elliptiques** (E) n'ont pas de bras spiraux, mais un vaste bulbe. Elles sont classées en plusieurs groupes E₁, E₂, etc., selon la structure plus ou moins sphérique du bulbe. Leur faible aplatissement est dû à une rotation particulièrement lente. Certaines d'entre elles ont un petit disque environnant : ce sont les galaxies **lenticulaires**, dont le type est S0.

En LSF, une galaxie elliptique est désignée par un gros bulbe en forme d'ellipse (voir cette entrée).



La galaxie spirale NGC1232. © ESO



Barred Galaxy NGC 1365
(VLT UT1 + FORS1)
ESO PR Photo 08a/99 (27 February 1999) © European Southern Observatory

La galaxie spirale barrée NGC 1365. © ESO

Les galaxies spirales (S)

Les galaxies **spirales** forment la première catégorie de galaxies découvertes, en raison de leur luminosité. Celle-ci provient essentiellement des étoiles jeunes concentrées dans des bras spiraux, ainsi que du gaz chaud (de l'hydrogène) sous forme de régions denses favorables à la maturation stellaire. On trouve aussi de vieilles étoiles de faible masse, uniformément réparties dans le disque des galaxies. Contrairement aux elliptiques, les galaxies spirales montrent, pour la partie visible, une structure très aplatie, véritable galette d'étoiles autour d'un petit bulbe central. En fonction de l'ouverture des bras, elles sont classées en différents types, Sa, Sb, Sc, etc. Les astronomes distinguent deux formes de noyaux : lorsque celui-ci est sphérique, la galaxie est dite **spirale**, mais lorsqu'il



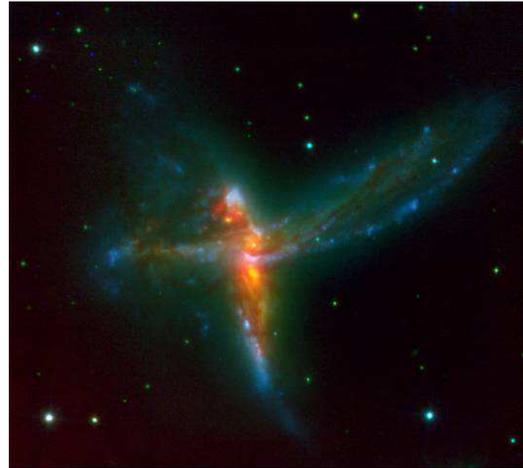
GALAXIE SPIRALE



présente une forme allongée, les galaxies ayant cette caractéristique sont des **spirales barrées**. Celles-ci se divisent également en plusieurs groupes, SBa, SBb, SBc, etc.

Les galaxies irrégulières (Irr)

Aux galaxies régulières elliptiques et spirales, il faut ajouter les galaxies **irrégulières** dont les deux Nuages de Magellan constituent de bons exemples.



L'« oiseau cosmique » constitué de la collision de deux galaxies irrégulières. © ESO

The Cosmic Bird

ESO Press Photo 54a/07 (21 December 2007)

This image is copyright © ESO. It is released in connection with an ESO press release and may be used by the press on the condition that the source is clearly indicated in the caption.



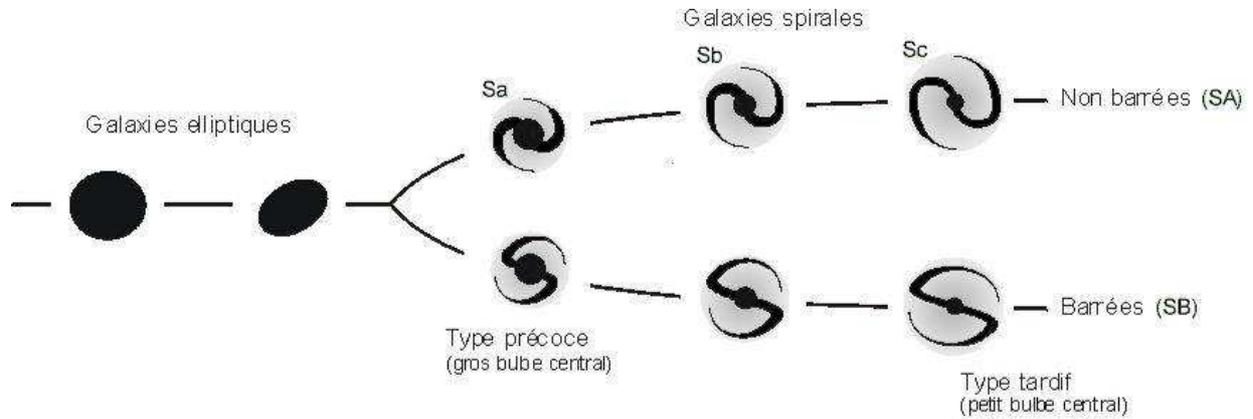
GALAXIE IRREGULIERE

Les galaxies se répartissent en 69 % de spirales, 28 % d'elliptiques et lenticulaires, et seulement 3 % d'irrégulières. Les galaxies les plus massives sont de type E et S0. Les spirales ont des masses comprises entre 30 et 300 milliards de fois celle du Soleil, soit entre 0,2 et 2 fois la masse de notre Galaxie (gaz et poussière exclus). Les galaxies ne sont pas uniformément réparties dans l'univers : elles se rassemblent en groupes et en amas (voir l'entrée *Galaxie-groupes et amas*).



Le diapason de Hubble

Dans les années 1930, *Hubble* propose une classification de toutes les galaxies selon leur morphologie ; cette classification est dite « en diapason », en raison de la forme du schéma de Hubble. Les barres sont un des moteurs essentiels de l'évolution des galaxies ; elles existent dans 2/3 des galaxies spirales.



La classification des galaxies, ou "diapason" de Hubble. © Observatoire de Paris

Ce « diapason » a longtemps été considéré comme représentant les divers stades de l'évolution des galaxies, sans que l'on sache trop dans quel ordre se faisait cette évolution. Certains astronomes pensaient qu'une galaxie elliptique évolue vers une spirale, tandis que d'autres pensaient le contraire. Nous savons aujourd'hui que les galaxies se regroupent pour former des groupes et amas de galaxies à l'intérieur desquels nous trouvons en majorité des galaxies elliptiques, et souvent au centre une très grosse galaxie « cannibale » qui peut avoir au cours du temps absorbé et digéré ses voisines. Les galaxies spirales sont situées à l'extérieur des amas. Etant plus distantes les unes des autres, elles sont moins soumises à des risques de collisions. De ce fait, elles n'ont pu perdre leurs bras spiraux pour devenir des elliptiques.

A l'aide de l'index et du majeur tendus et écartés horizontalement, on représente en LSF un diapason musical sur lequel on place les différents types de galaxies.

Groupe local, Amas local et Superamas local

Le groupe local de galaxies auquel la nôtre appartient se représente en LSF par le signe GALAXIE (voir l'entrée *Galaxies généralités*) suivi du signe GROUPE et enfin du signe LA. Dans ce contexte, LA prend le sens de « local » ; il est formé par la condensation des lettres manuelles L et A.

L'amas local de galaxies, structure plus vaste que le groupe local, est désigné par le signe GALAXIE suivi du signe AMAS (voir l'entrée *Amas globulaire*), et enfin du signe LOCAL.



GROUPE



LOCAL

Mots et expressions associés: Année-lumière - Force (gravitation) - Galaxie (type) - Nuages de Magellan - Radiogalaxie - Soleil - Système solaire - Télescope - Univers - Voie lactée.

L'organisation de l'univers ressemble aux poupées russes qui s'emboîtent les unes dans les autres par ordre de taille : le Système solaire fait partie de notre Galaxie (la Voie lactée), qui elle-même fait partie du Groupe local de galaxies. Celui-ci se trouve en périphérie d'une plus grande structure, l'**amas de galaxies de la Vierge**, situé dans la direction de la constellation de la Vierge, avec lequel il constitue l'**Amas local** de galaxies (voir l'entrée *Amas de galaxies*). Cet amas local fait partie d'une structure encore plus vaste, le **Superamas local**.





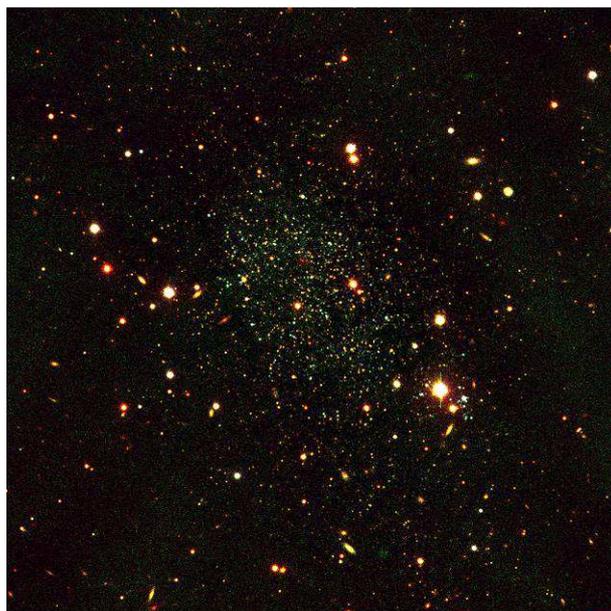
Les « matriochkas », poupées russes qui s'emboîtent les unes dans les autres.

La « matriochka » de l'univers.

- La **Terre** est dans le **Système solaire**.
- Le **Système solaire** est dans la **Voie lactée**.
- La **Voie lactée** est dans le **Groupe local**.
- Le **Groupe local** est dans l'**Amas local**.
- L'**Amas local** est dans le **Superamas local**.
- Le **Superamas local** est dans l'**univers**.

Le **Groupe local** auquel appartient notre propre Galaxie (la Voie lactée), a un diamètre d'environ dix millions d'années-lumière (A.L.) et contient les principaux types de galaxies. La Voie lactée et la galaxie M31, située à 2,8 millions d'A.L. dans la constellation d'Andromède, sont les deux plus importantes. On trouve également la galaxie spirale M33 dans la constellation du Triangle, à trois millions d'A.L. du Soleil. Plusieurs galaxies elliptiques font partie du Groupe local, comme M32 dans Andromède à 2,3 millions d'A.L., ainsi que des galaxies naines proches, comme celle qui est située dans la constellation de la Machine Pneumatique, à 3,75 millions d'A.L. Les deux Nuages de Magellan, facilement visibles à l'œil nu dans l'hémisphère austral, en font également partie.

Toutes les galaxies qui constituent le Groupe local sont liées entre elles par la force de gravitation. Ainsi la galaxie M31 se rapproche de nous à la vitesse de 300 km/s et entrera en collision avec la Voie lactée dans cinq milliards d'années.

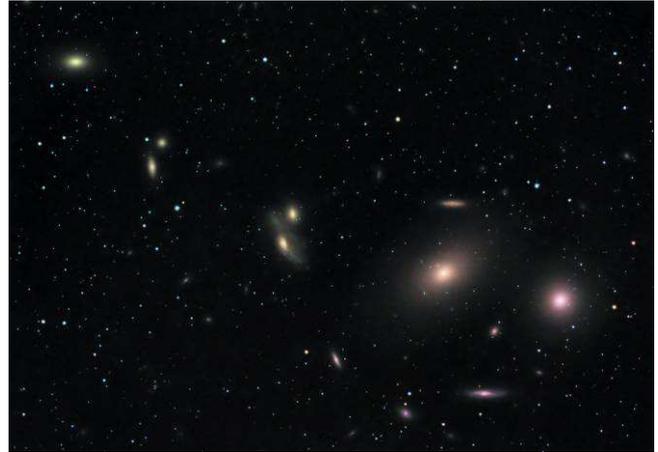


ESO PR Photo 10a/99 (27 February 1999) Dwarf Galaxy Antlia (VLT UT1 + FORS1) © European Southern Observatory

Galaxie naine du Groupe local située dans la constellation de la Machine Pneumatique. © ESO

L'amas de galaxies de la Vierge se trouve à une distance comprise entre 50 et 70 millions d'A.L. Il se compose d'environ 2 000 galaxies dont certaines sont facilement observables avec un petit télescope. On y trouve les différents types de galaxies : spirales, elliptiques et irrégulières. Sa masse est estimée à 10^{14} fois celle du Soleil.

L'amas de galaxies de la Vierge fait partie d'une structure encore plus grande dont il occupe le centre : le **Superamas local**. Celui-ci comprend plusieurs milliers de galaxies, comme la radiogalaxie du Centaure située à 14 millions d'A.L. du Soleil



L'amas de galaxies de la Vierge. © NASA/HST



Centaurus A Radio Galaxy (VLT KUEYEN + FORS2)

ESO PR Photo 05b/00 (8 February 2000)

© European Southern Observatory



La radiogalaxie du Centaure. © ESO

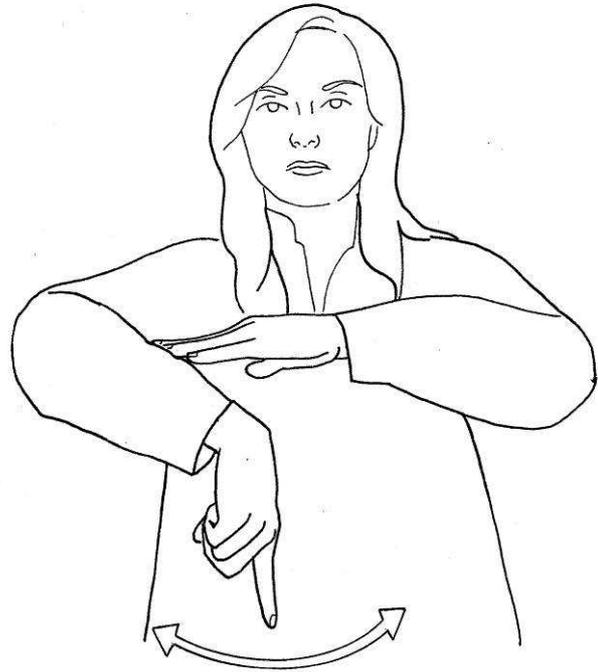
L'univers contient de nombreux superamas de galaxies, comme celui de la **Chevelure de Bérénice** situé au-delà du Superamas local, à une distance de 300 millions d'A.L. Les observations indiquent que ces superamas seraient reliés entre eux par d'immenses filaments de plusieurs dizaines de millions d'A.L. de longueur, composés de galaxies individuelles.



Une partie du superamas de galaxies de la Chevelure de Bérénice. © NASA/HST

Horloge astronomique

L'horloge astronomique se représente par le signe HORLOGE, reproduction d'un balancier, suivi du signe ASTRONOMIE (voir cette entrée).



HORLOGE

Mots et expressions associés: Calendrier - Eclipse - Equinoxe - Lune (phases) - Planète - Soleil - Solstice - Zodiaque.

L'horloge astronomique donne aussi bien la mesure du temps que la position des planètes et des étoiles dans le ciel. Depuis l'apparition des premiers calendriers, établis à partir des mouvements du Soleil et de la Lune dans le ciel, les hommes ont mis au point des horloges de plus en plus perfectionnées pour mesurer le temps. Ces horloges pouvaient indiquer non seulement le jour et l'heure, mais aussi les phases de la Lune, les positions des planètes dans le zodiaque, le lever et le coucher de la Lune et du Soleil, les solstices et les équinoxes, les éclipses, etc. Ces horloges indiquaient également les dates des fêtes religieuses mobiles, comme celle de Pâques. Elles étaient des sources d'informations très utiles pour toute la population ; c'est pourquoi elles étaient généralement installées dans des lieux publics, églises ou mairies.

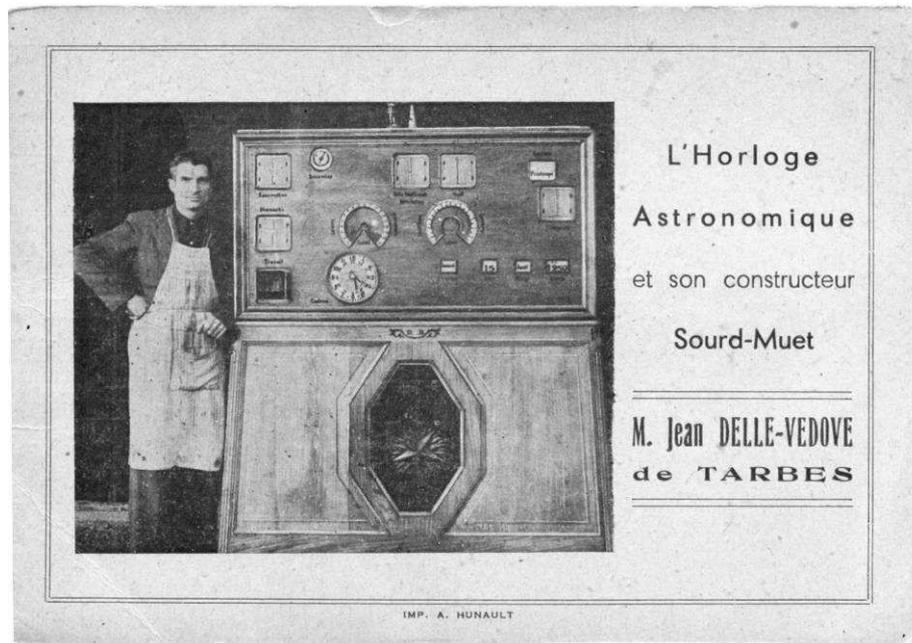


En France, on peut admirer les principales horloges astronomiques dans les cathédrales de Beauvais, Besançon, Bourges, Chartres, Lyon (Primatiale Saint Jean), Saint-Omer et Strasbourg.

La première horloge de Strasbourg a été construite vers 1353 ; une seconde, construite par *Herlin*, *Dasypodius* et *Habrecht*, la remplace au XVI^e siècle ; elle est transformée par *Jean-Baptiste Schwilgué* (1776-1856) dans l'état où on la voit aujourd'hui. Elle indique le mouvement des planètes, les jours et les heures avec un calendrier perpétuel, les phases de la Lune et les dates des fêtes religieuses.

Des automates symbolisant les âges de la vie défilent régulièrement tout au long de la journée.

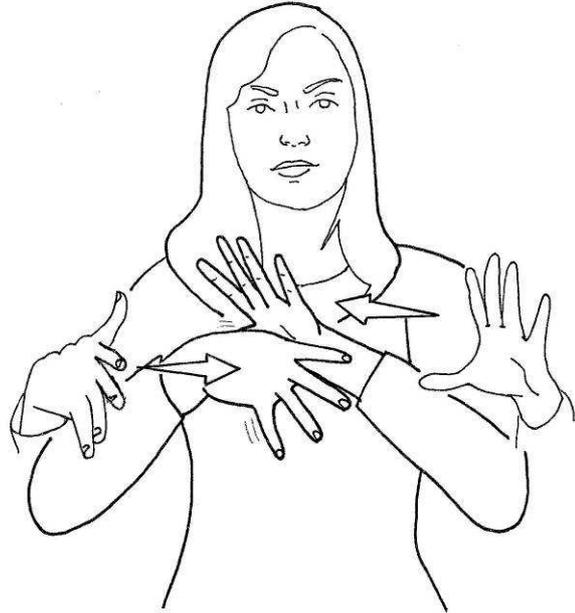
L'horloge astronomique de la cathédrale de Strasbourg. © Wysik



Entre 1939 et 1950, J-B Delle-Vedove, ébéniste sourd à Tarbes, construit une horloge astronomique en bois, indiquant les levers et couchers du Soleil, les phases de la Lune, les saisons, l'année, la date du jour, ainsi que les principales dates des fêtes. L'horloge pèse 280 kg, elle a 2 mètres de haut et comporte 92 roues dentées de toutes dimensions.

Imagerie

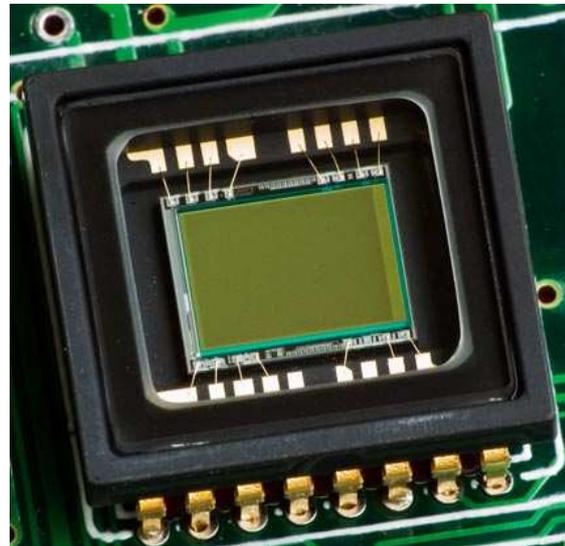
L'imagerie astronomique est désignée par le signe IMAGE, que l'on peut faire suivre du signe ASTRONOMIE (voir cette entrée). On peut également préciser la couleur au moyen des signes BLEU, ROUGE, etc., selon les filtres utilisés. Au XIX^e siècle, le signe IMAGE, qui référait aux planches illustrées des livres scolaires, était un carré tracé dans l'espace par les deux mains ouvertes. Sous la pression de l'économie gestuelle, il a ensuite évolué jusqu'au signe actuel.



Mots et expressions associés: Astronome - Comète - Electron - Etoile - Galaxie - Lumière - Magnitude - Photon - Planète - Terre - Univers.

L'étude des composantes de l'univers, planètes, comètes, étoiles, galaxies, etc., s'effectue à l'aide des télescopes. Depuis l'apparition des techniques photographiques, les astronomes ont adapté et amélioré cette méthode afin de disposer d'**images** constituant des documents indispensables pour comprendre la structure et l'évolution de ces objets.

Pendant longtemps, les astronomes ne disposaient que de leurs yeux pour estimer les caractéristiques d'un astre. Dès la fin du XIX^e siècle, ils utilisent la plaque photographique ; puis ils développent de nouvelles techniques, comme la caméra électronique apparue dans les années 1960. Aujourd'hui, l'acquisition de l'image d'un astre, étoile ou galaxie, s'effectue à l'aide d'une caméra dont le détecteur est un **CCD** (de l'anglais *Charge Coupled Device*, dispositif à transfert de charge). Un rectangle contient des centaines de millions de capteurs dont chacun transforme les photons reçus en électrons, leur nombre indiquant la quantité de lumière reçue par ce capteur. On restitue ainsi l'image à partir d'informations numériques.



Détecteur CCD à transfert de charge.





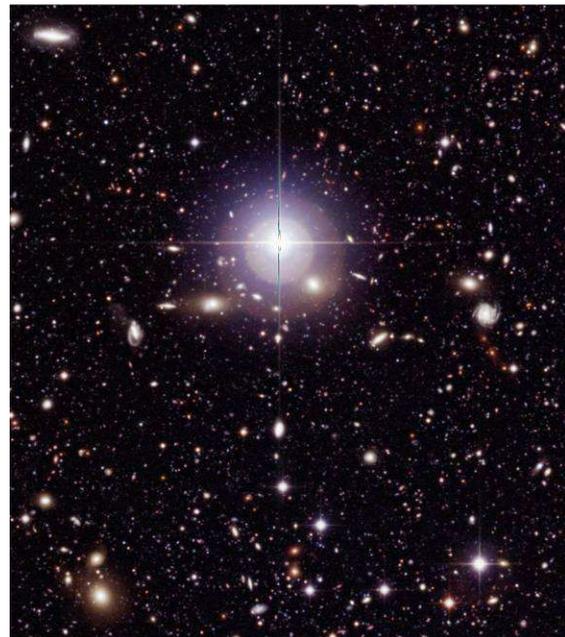
Images de la constellation d'Orion dans trois longueurs d'ondes différentes : visible, rouge et infrarouge. ©ESA/ISO

La lumière est recueillie soit telle qu'elle est vue, soit en interposant des filtres, ce qui permet de mesurer son intensité dans d'autres longueurs d'onde. On obtient ainsi des magnitudes caractéristiques dans les courtes (B ou « bleues ») ou les grandes (R ou « rouge ») longueurs d'onde. Ces magnitudes ont des applications directes pour étudier l'évolution des étoiles et de leur environnement. Ainsi, le domaine infrarouge permet d'étudier le gaz et les poussières de notre Galaxie, comme le montrent ces images de la constellation d'Orion.



Image CCD de la galaxie M51 dans la constellation des Chiens de Chasse, obtenue par le Télescope spatial Hubble. ©NASA/HST

Image d'un champ céleste profond, mélange d'étoiles et de galaxies, obtenue au télescope de 2,20 m de l'ESO au Chili. © ESO



Chandra Deep Field South (Detail)
(MPG/ESO 2.2-m + WFI)
ESO PR Photo 02c/03 (10 January 2003) © European Southern Observatory



Jupiter

Dans le signe JUPITER, une main ouverte représente la surface de la planète, tandis que l'autre main en forme de pince arrondie représente la célèbre tache.



Mots et expressions associés: Anneau - Lune - Satellite - Sonde spatiale - Système solaire - Volcan.

De même que le dieu *Jupiter* dominait les autres dieux de l'Antiquité et utilisait la foudre et le tonnerre pour affirmer sa puissance, la planète Jupiter est la plus grosse du Système solaire. Elle est très brillante dans le ciel et une paire de jumelles suffit pour l'observer comme un petit disque accompagné de ses quatre principaux satellites.

Distance : Jupiter est à 778 412 000 km du Soleil.

Diamètre : 143 000 km, soit onze fois le diamètre de la Terre.

Masse : elle est 318 fois plus importante que celle de notre planète : un homme de 75 kg pèserait près de 177 kg sur Jupiter !

Inclinaison : son axe n'est incliné que de 3° 6'.

Rotation : un petit télescope suffit pour constater que la planète est très aplatie aux deux pôles, dans le rapport 1/16. Cet aplatissement provient de la très grande vitesse de rotation : une journée sur Jupiter ne dure que 9 h 53 mn.

Révolution : l'année de Jupiter dure 11 ans et 315 jours.

Température : environ -120°C.

Atmosphère : elle aurait plus de 50 000 km d'épaisseur et est composée d'hydrogène (H₂) à 86 %, d'hélium (He) à 13 %, de méthane (CH₄), d'ammoniac (NH₃) et d'éthane (C₂H₆). Les plus petits instruments permettent d'observer d'immenses bandes sombres parallèles à l'équateur, formées de cristaux de glace d'ammoniac, avec des vents atteignant 360 km/h. Le champ magnétique de Jupiter est quatorze fois plus intense que celui de la Terre.



Jupiter vu par la sonde spatiale Voyager.
© NASA/JPL

La célèbre **tache rouge** est un immense anticyclone, observé par les astronomes depuis le début du XIX^e siècle ; de forme ovale, elle atteint 40 000 km de longueur et tourne sur elle-même en six jours environ, avec des vents de plus de 400 km/h. Dans un monde aussi tourmenté, il est peu probable qu'on puisse trouver de la vie.



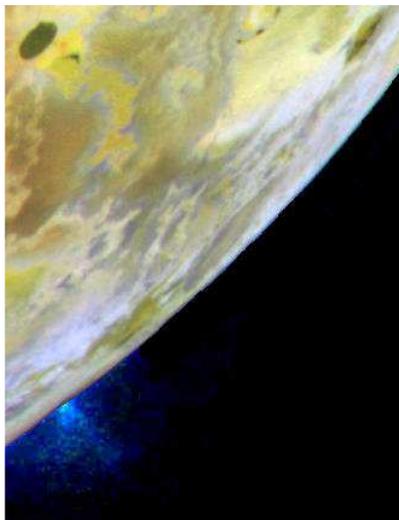
La tache rouge de Jupiter. © NASA/JPL



Les quatre satellites galiléens de Jupiter. De haut en bas : Io, Europe, Ganymède, Callisto. © NASA/JPL

Jupiter a plusieurs **anneaux** très fins, composés de poussière sombre, qui sont invisibles depuis la Terre. Ils ont été découverts par la sonde spatiale *Voyager 1* en 1979.

Jupiter est accompagné de 63 satellites dont les quatre plus gros, de la taille de la Lune, ont été découverts par *Galilée* (1564-1642) en 1610. Une paire de jumelles suffit pour les apercevoir et repérer leur mouvement autour de la planète.



Un volcan en activité à la surface du satellite Io. © NASA/JPL

Les sondes spatiales ont permis d'analyser en détail la surface de ces quatre principaux satellites. **Io** est le plus proche de Jupiter avec plusieurs volcans en éruption rejetant du dioxyde de soufre (SO_2) à sa surface ; c'est pourquoi celle-ci apparaît de couleur jaune. **Europe** serait recouverte d'une croûte de glace recouvrant de grandes étendues d'eau. Il y a peu de cratères à sa surface. **Ganymède** montre des régions très sombres, ainsi que de très nombreux cratères et des crevasses. La surface de **Callisto** comprend un très grand bassin de 3 000 km de large.



Les quatre principaux satellites ont les caractéristiques suivantes:

Nom	Distance à la planète (km)	Diamètre (km)	Durée de la révolution	Découverte
<i>Io</i>	421 800	3 642	1 j 18 h 27 mn	Galilée (1610)
<i>Europe</i>	671 100	3 122	3 j 13 h 13 mn	Galilée (1610)
<i>Ganymède</i>	1 070 000	5 262	7 j 3 h 43 mn	Galilée (1610)
<i>Callisto</i>	1 883 000	4 821	16 j 16 h 32 mn	Galilée (1610)



Lumière (vitesse)

La vitesse de la lumière se représente par le signe LUMIERE, main projetée vers soi en s'ouvrant, de même qu'une source lumineuse projette ses rayons. Il est suivi du signe VITESSE, qui stylise un objet lancé à grande vitesse.



LUMIERE



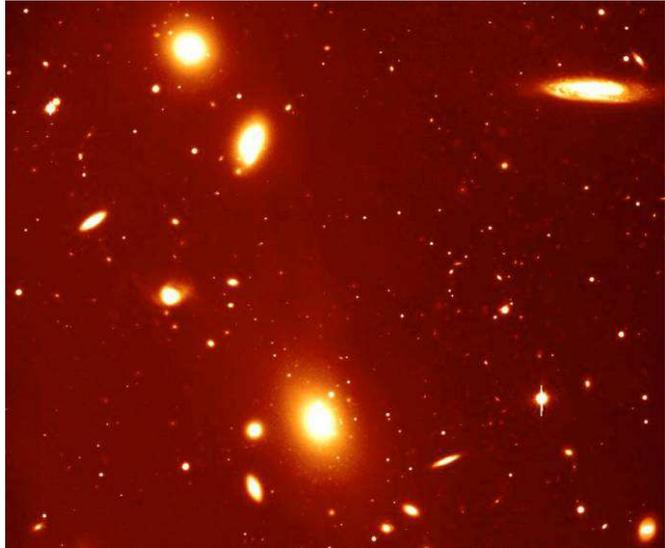
VITESSE

Mots et expressions associés: Amas de galaxies - Etoile - Galaxie - Longueur d'onde - Onde - Planète - Relativité - Soleil - Spectre électromagnétique - Univers.

La lumière se définit comme l'ensemble des ondes du spectre électromagnétique (voir cette entrée) que l'œil est capable de voir, dans un domaine de longueurs d'ondes allant de 400 à 800 nanomètres (un nanomètre = 10^{-9} mètre, soit 0,000000001 mètre). *Isaac Newton* (1642-1727) donne en 1669 une théorie sur la nature de la lumière blanche, qu'il pense être un assemblage de particules. Cette idée aboutit au XX^e siècle, lorsque les physiciens démontrent que l'aspect ondulatoire de la lumière reflète le comportement collectif de particules appelées **photons** qui se déplacent à la vitesse de la lumière. Ainsi, la lumière que nous recevons du Soleil est constituée de photons qui ont quitté celui-ci huit minutes plus tôt.



La lumière provenant de toutes les composantes de l'univers voyage dans l'espace à la vitesse de 299 792 kilomètres par seconde. C'est grâce à elle que nous pouvons connaître aussi bien la nature physique et chimique des planètes que celle des étoiles et des galaxies, telle qu'elle était à l'époque où le rayon lumineux est parti pour voyager jusqu'à nous. Nous pouvons connaître par exemple la nature des galaxies qui composaient un amas comme ACO 3341 il y a plusieurs centaines de millions d'années, temps que les rayons lumineux ont mis pour nous parvenir. La lumière nous apporte ainsi d'innombrables messages du passé, du plus proche au plus lointain.

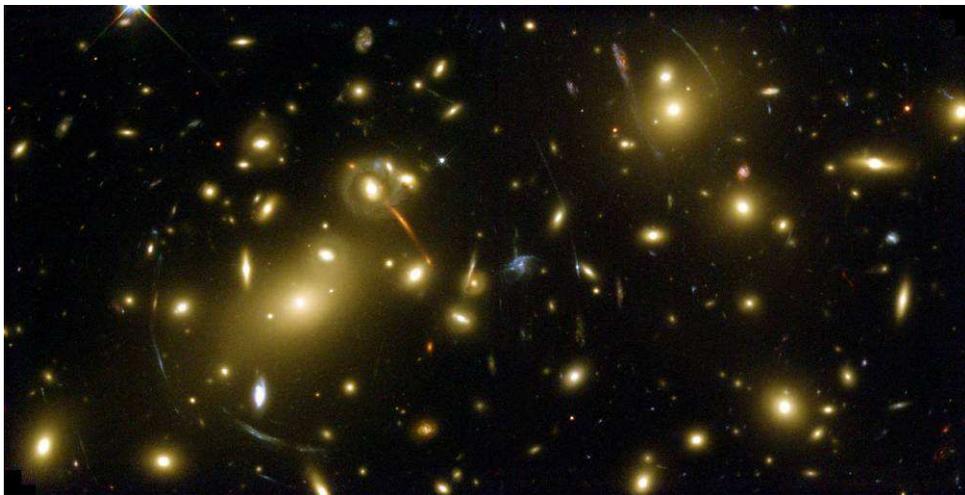


Les galaxies de l'amas ACO 3341. © ESO

La lumière a des propriétés étonnantes qui ont été mises en évidence par de nombreux physiciens, notamment *Albert Einstein* (1876-1955). Par exemple, si un voyageur pouvait se déplacer à une vitesse proche de celle de la lumière à côté d'un rayon lumineux, il constaterait que la vitesse de ce rayon est la même que si elle était mesurée depuis le sol (voir l'entrée *Relativité*). On ne peut donc pas additionner ou retrancher sa propre vitesse à celle de la lumière: **celle-ci est constante**.

Une autre propriété démontrée par *Albert Einstein* est que si les rayons lumineux se déplacent en ligne droite dans le vide, ils sont courbés par l'attraction gravitationnelle lorsqu'ils passent à proximité d'un corps massif, étoile ou galaxie. C'est ainsi que des rayons lumineux provenant d'une galaxie très lointaine, et devant traverser pour nous parvenir un amas de galaxies (voir cette entrée), produisent un **arc gravitationnel**. L'analyse de la lumière de cet arc au moyen de la spectroscopie fournira alors des informations qui permettront de connaître la distance de la lointaine galaxie.

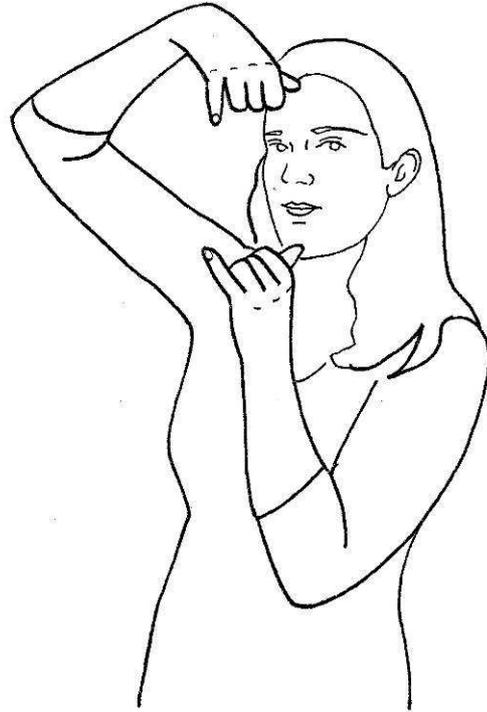
C'est parce que toutes les composantes de l'univers émettent de la lumière qu'il est possible de connaître le passé et l'évolution des corps qui le constituent.



Arcs gravitationnels dans l'amas de galaxies A2218. © NASA/HST

Lune

Conformément à l'iconographie populaire qui attribue à la Lune des traits humains, le visage est utilisé pour figurer le disque lunaire. Au XIX^e siècle, une main plate partageait en deux le visage, représentant la Lune en quartier. Dans le signe actuel, les deux mains en cornes le prolongent pour représenter le croissant lunaire.



Mots et expressions associés: Calendrier - Eclipse - Interaction gravitationnelle - Mars - Planète - Révolution - Rotation - Satellite - Soleil - Terre.

La Lune offre un spectacle dont on ne se lasse jamais. Avec une petite lunette ou un petit télescope, on peut observer les cratères, les plaines, les failles et les montagnes dont l'éclairement change avec la phase. La Lune est le satellite naturel de la Terre ; c'est le seul autre monde sur lequel l'homme soit allé. Elle a toujours fasciné les hommes, inspiré de nombreux poètes, et beaucoup de calendriers sont établis à partir de son cycle. Le croissant de Lune est un des symboles de l'islam.

La Lune joue un rôle majeur dans l'évolution de la Terre par l'action gravitationnelle qu'elle exerce sur notre planète. Bien que cette action soit moindre que celle que la Terre exerce sur la Lune, elle est à l'origine des marées océaniques et d'une partie de l'activité sismique ; elle contribue également à la circulation atmosphérique terrestre. Comme la durée de sa rotation sur elle-même est identique à la durée de sa révolution autour de la Terre, la Lune présente toujours la même face orientée vers nous.



Distance : la Lune tourne autour de la Terre à une distance moyenne de 384 400 km.

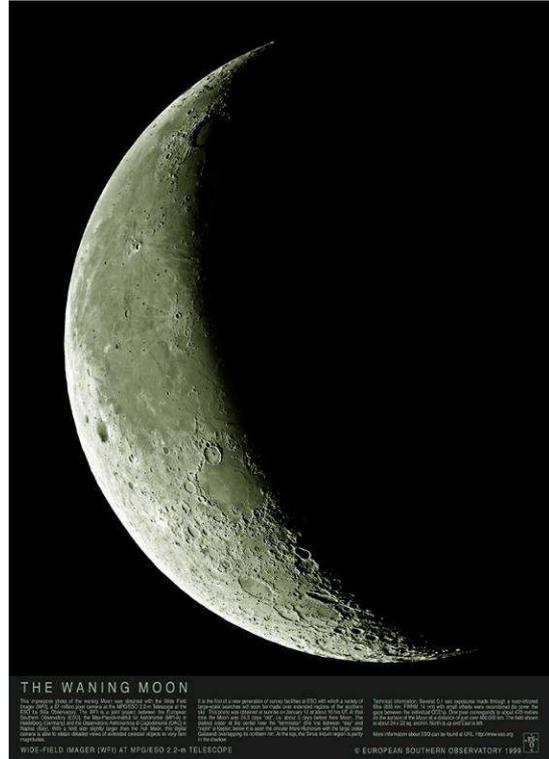
Révolution autour de la Terre : la Lune tourne autour de la Terre en 27 jours 7 heures 43 minutes et 11,5 secondes.

Diamètre : 3 475 km, soit à peine plus que le quart de celui de la Terre.

Masse : la masse de la Lune est 1/81 de celle de la Terre. La **gravité** à sa surface est environ le sixième de celle de la Terre : un homme qui pèse 75 kg sur la Terre n'en pèserait plus que 12,4 sur la Lune.

Atmosphère : la Lune n'a pas d'atmosphère.

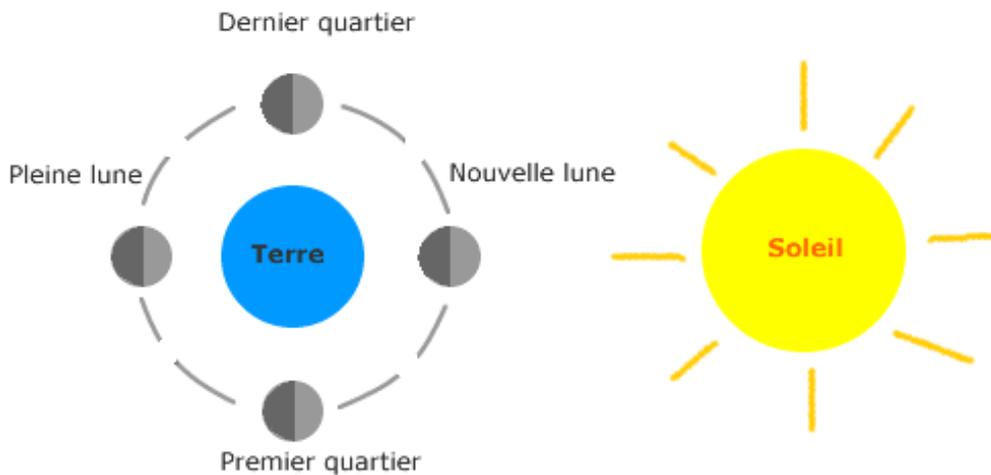
Température : le sol lunaire est capable d'absorber 93 % de la lumière du Soleil ; c'est pourquoi la température de la Lune varie entre +100°C lorsque sa surface est éclairée par le Soleil, et -150°C lorsqu'elle est plongée dans la nuit. La Lune a un champ magnétique extrêmement faible comparé à celui de la Terre.



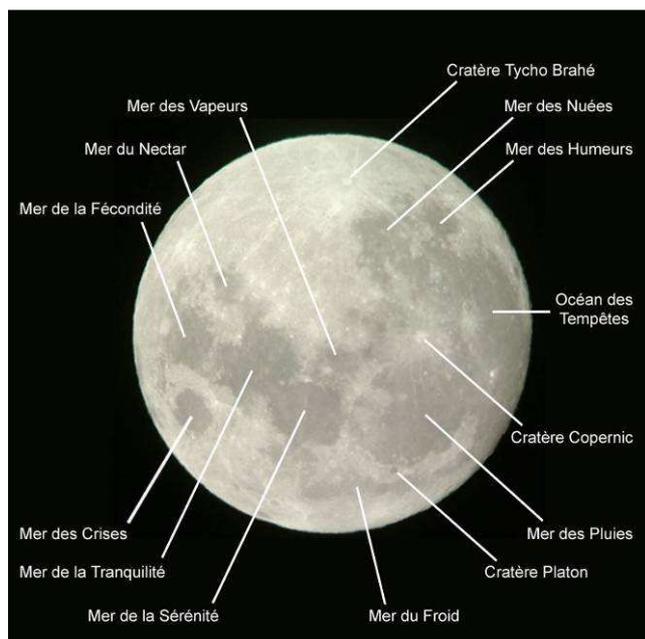
Un croissant de Lune. © ESO

Les phases de la Lune

Suivant sa position par rapport à la Terre et au Soleil, nous voyons la Lune éclairée en partie ou totalement : après la **nouvelle Lune** (où celle-ci n'est pas éclairée), les principales phases sont le **premier quartier**, la **pleine Lune** (le disque est circulaire) et le **dernier quartier**. Le cycle de ces quatre phases, appelé **cycle synodique**, s'effectue en 29 jours 12 heures 44 minutes et 2,8 secondes. Pour se souvenir de l'aspect des quartiers de la Lune, il suffit de remarquer que le premier quartier a la forme du haut de la lettre « P » (comme *premier*), tandis que le dernier quartier a la forme de la lettre « D » (comme *dernier*).



Les phases de la Lune.



Carte des principales régions lunaires visibles avec des jumelles.

Le relief de la Lune

La surface de la Lune est très tourmentée. On distingue de vastes étendues sombres, improprement appelées **mers**, couvertes de basalte d'origine volcanique. Le sol est criblé d'une multitude de **cratères** dus aux multiples impacts de météorites ; le plus grand, le cratère *Clavius*, a un diamètre de 200 km ; il est aussi strié de nombreuses failles et crevasses facilement observables avec une petite lunette. Plusieurs chaînes de **montagnes** importantes sont également visibles, dont les *Montes Roots* qui culminent à plus de 8 000 mètres. Il ne semble pas qu'il y ait de traces d'eau à la surface de la Lune.

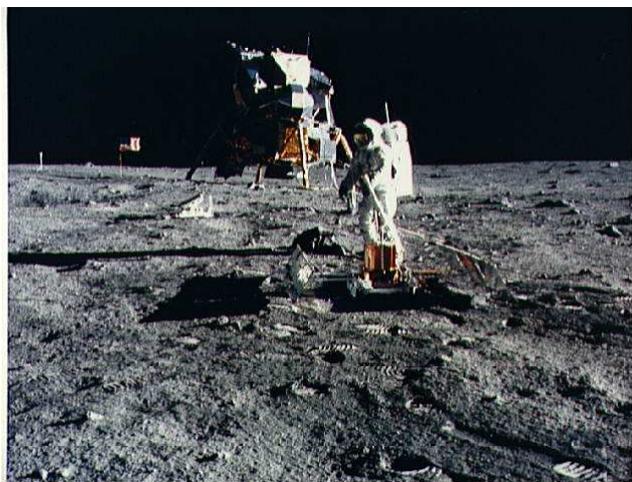
La Lune est née il y a cinq milliards d'années, lorsque la Terre est entrée en collision avec une planète de la taille de Mars. Ceci explique que l'on trouve les mêmes matériaux sur la Lune et sur Terre, bien que dans des proportions différentes. Il y a plus de 4,5 milliards d'années, la surface de la Lune était recouverte d'un magma liquide qui s'est refroidi pour former une croûte de quarante kilomètres d'épaisseur en moyenne. Cette croûte est recouverte d'une couche de poussière appelée *régolithe*, dont l'épaisseur moyenne est de quatre mètres dans les « mers », mais peut atteindre quinze mètres sur les plateaux.

Les éclipses

Lorsque la Lune passe exactement entre le Soleil et la Terre, il y a **éclipse de Soleil**; lorsque la Terre est alignée entre la Lune et le Soleil, il y a **éclipse de Lune**. Dans les deux cas, ce sont des phénomènes spectaculaires (voir l'entrée *Eclipse*).

L'homme sur la Lune

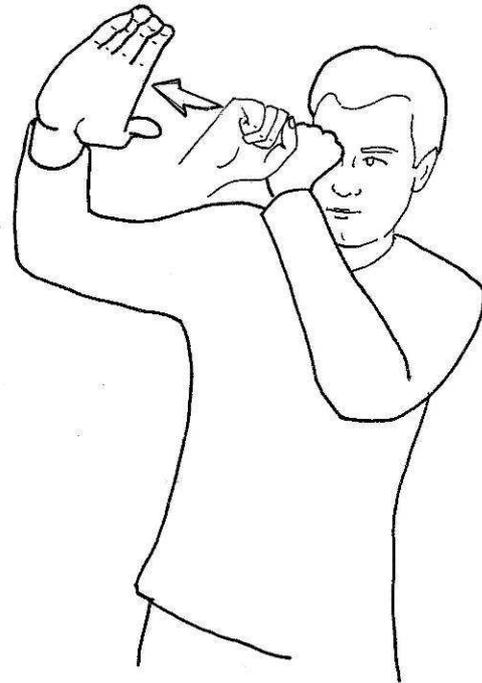
La Lune est le seul corps céleste autre que la Terre où l'homme s'est rendu. Neil Armstrong et Edwin Aldrin ont débarqué à sa surface le 21 juillet 1969, bien que selon Hergé, Tintin, Haddock et le professeur Tournesol (qui n'était pas sourd mais juste « un peu dur d'oreille ») les auraient précédés. A ce jour, douze hommes ont marché sur la Lune ; ils ont rapporté sur Terre 380 kg de roches et ont déposé tout un ensemble d'instruments scientifiques, dont des réflecteurs permettant d'effectuer des mesures de distances par télémétrie laser avec une précision de quelques centimètres.



Neil Armstrong sur la Lune. © NASA/JPL

Lunette astronomique

Le signe LUNETTE ASTRONOMIQUE stylise la forme d'un instrument d'optique que l'on dirige vers le ciel.

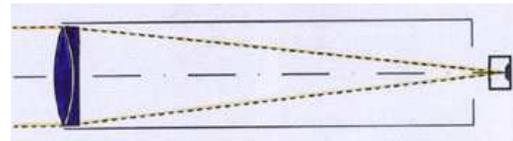


Mots et expressions associés: Foyer - Jupiter
- Lune - Satellite - Terre (rotation) -
Télescope - Vénus.

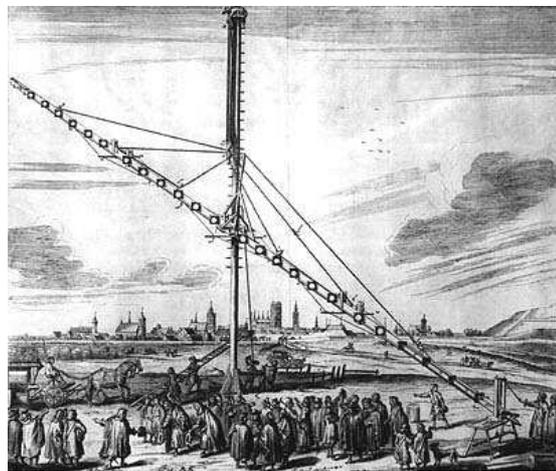
La lunette astronomique est le premier instrument qui a permis de rapprocher les objets du ciel grâce à son grossissement. On ignore exactement qui l'a inventée, mais c'est sans doute vers 1585 qu'un astucieux opticien, probablement aux Pays-Bas, aurait découvert qu'en utilisant deux lentilles, il était possible de « voir plus près ». En la pointant vers le ciel, *Galilée* (1564-1642) découvre les cratères de la Lune, les phases de Vénus et les quatre plus gros satellites de Jupiter.

Une lunette astronomique est composée d'un long tube au bout duquel est placé un objectif. Celui-ci joue le même rôle qu'une loupe : il concentre les rayons lumineux en un point : le **foyer**. Au niveau du foyer, un système de lentilles permet d'agrandir l'image comme le fait un microscope. Les plus grandes lunettes ont des tubes dont la longueur peut atteindre 15 à 20 mètres. Le plus grand objectif a un mètre de diamètre ; la grande lunette de Meudon est la troisième au monde avec un objectif de 83 cm.

En raison de la longueur démesurée des lunettes, les astronomes les ont peu à peu remplacés par des télescopes. Ceux-ci sont plus compacts et peuvent avoir des diamètres plus grands.



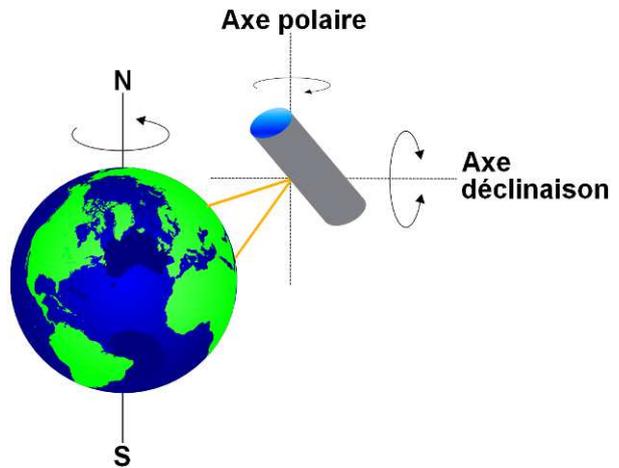
Principe de la lunette astronomique.



La lunette de l'astronome Johannes Hevelius (1611-1687) construite à Dantzig.

La différence entre une lunette et un télescope est l'absence de miroir pour une lunette. La lumière traverse des lentilles de verre pour donner des images agrandies, tandis que les télescopes réfléchissent la lumière sur des miroirs.

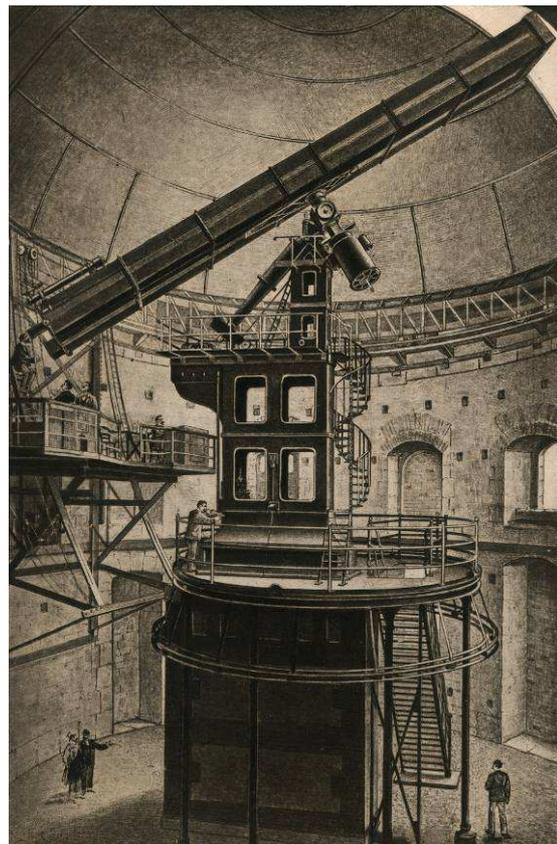
Les petits lunettes vendues dans le commerce sont montées sur un axe horizontal et un axe vertical : c'est une **monture azimutale**. Les grandes lunettes sont construites sur des **montures équatoriales** dont l'un des axes est parallèle à l'axe de rotation de la Terre, permettant à la lunette de tourner autour de celui-ci en compensant, à l'aide d'un moteur, le mouvement de la Terre.



Principe de la monture équatoriale.



*La lunette de 38 cm de l'observatoire de Paris.
© Observatoire de Paris*

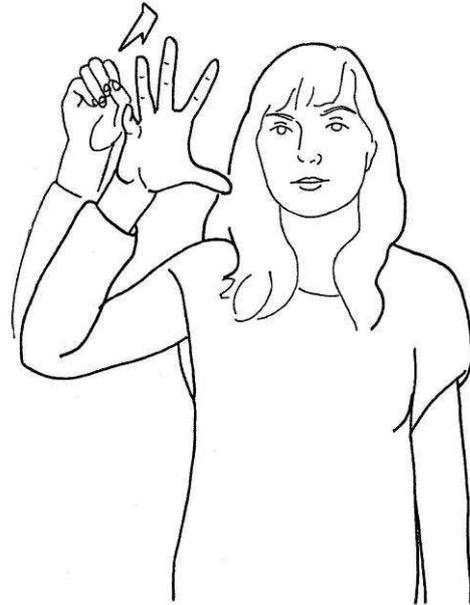


*La grande lunette de l'observatoire de Meudon en 1877.
© Observatoire de Paris*



Magnitude (photométrie)

Le concept de « magnitude », associé à la mesure de l'éclat d'un astre, se traduit par le signe LUMIERE, éventuellement suivi de la lettre manuelle M (initiale du mot *magnitude*) et d'une valeur numérique.

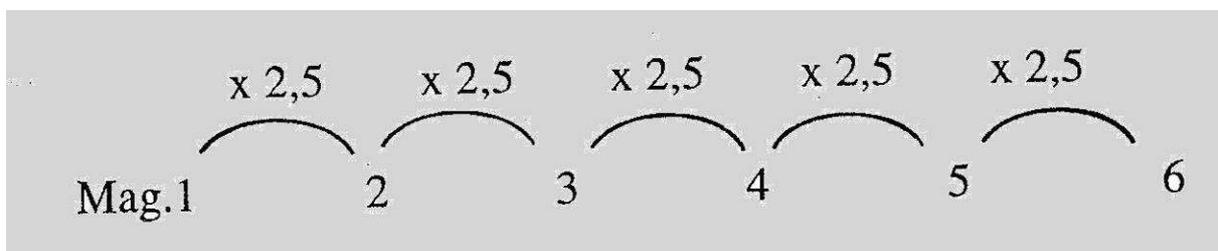


LUMIERE

Mots et expressions associés: Année-lumière - Constellation - Couleur - Etoile - Galaxie - Lumière - Parsec - Planète - Spectroscopie - Système solaire - Température - Terre - Type spectral - Unité Astronomique - Univers.

La **magnitude visuelle** d'une étoile, d'une planète ou de n'importe quel autre objet lumineux de l'univers mesure la quantité de lumière reçue sur la Terre. Cette quantité est plus ou moins intense, de la même façon qu'une ampoule de 100 watts émet plus de lumière qu'une ampoule de 40 watts.

L'astronome *Hipparque*, qui vivait au II^e siècle avant notre ère, a établi un catalogue de 1 024 étoiles visibles à l'œil nu. En fonction de la « grandeur » de leur éclat, il les classa en six catégories, de la plus brillante (1^{ère} grandeur) à la plus faible (6^e grandeur). De nos jours, le terme de *magnitude visuelle* remplace celui de *grandeur*, mais le principe reste le même. Dans cette échelle, une étoile de magnitude n est 2,5 fois plus brillante qu'une étoile de magnitude $n+1$; ce rapport s'appelle en mathématique une *échelle logarithmique*, comme le montre la figure ci-dessous :



L'échelle des magnitudes.

Ainsi, une étoile de magnitude 1 est 2,5 fois plus brillante qu'une étoile de magnitude 2 ; elle est $2,5 \times 2,5 (= 6,25)$ fois plus brillante qu'une étoile de magnitude 3, et ainsi de suite. Une étoile de magnitude n est donc cent fois plus brillante qu'une étoile de magnitude $n + 5$. Les astronomes ont attribué à l'étoile Vége de la constellation de la Lyre la magnitude 0 (zéro), si bien que les astres plus brillants que Vége ont des **magnitudes négatives**. Le tableau suivant donne les magnitudes de quelques corps du Système solaire et des vingt étoiles les plus brillantes avec le nom de leur constellation :

Soleil	-26,73	Véga (Lyre)	0,0	Bételgeuse (Orion)	0,8
Pleine Lune	-12,6	Capella (Cocher)	0,1	Antarès (Scorpion)	0,9
Vénus (maximum)	-4,4	Procyon (Petit Chien)	0,3	Spica (Vierge)	1,0
Mars (maximum)	-2,8	Achernar (Eridan)	0,5	Pollux (Gémeaux)	1,1
Sirius (Grand Chien)	-1,6	Agena (Centaure)	0,6	Fomalhaut	
Canopus (Carène)	-0,7	Altaïr (Aigle)	0,7	(Poisson Aus.)	1,2
Rigil (Centaure)	-0,3	Aldebaran (Taureau)	0,8	Deneb (Cygne)	1,3
Arcturus (Bouvier)	-0,1	Acrux (Croix du Sud)	0,8	Mimosa (Croix du Sud)	1,3
				Régulus (Lion)	1,3

Dans le Système solaire, la magnitude d'une planète ou d'une comète est de plus en plus faible au fur et à mesure qu'on s'en éloigne. Les étoiles, dont la distance à la Terre peut être considérée comme à peu près invariable à l'échelle de nos instruments de mesure, conservent approximativement la même magnitude.

Les astronomes utilisent aussi la **magnitude absolue**, qui correspond à l'éclat d'une étoile située à 10 parsecs. Le parsec est la distance à laquelle les quelque 150 millions de kilomètres qui séparent la Terre du Soleil (unité astronomique) sont vus sous un angle de 1 seconde d'arc. A la distance de 10 parsecs, le Soleil serait tout juste perceptible à l'œil nu avec une magnitude apparente de 5,3.

La photométrie

Toutes les composantes de l'univers émettent un rayonnement dans tous les domaines de longueur d'onde, de l'ultraviolet à l'infrarouge en passant par le visible. On mesure les intensités lumineuses d'un astre à travers différents filtres ; on peut ainsi en déduire la couleur, la température, le type spectral (pour une étoile) et bien d'autres caractéristiques. Cette méthode porte le nom de **photométrie**, outil précieux complétant les informations fournies par la spectroscopie pour connaître la structure et l'évolution d'une étoile ou d'une galaxie.



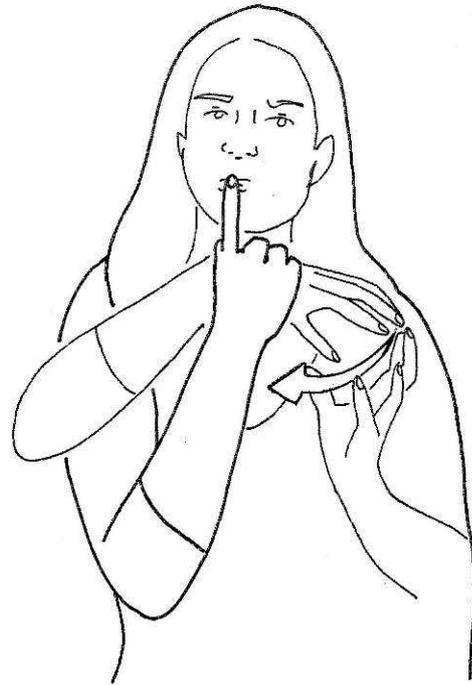
La nébuleuse M42 d'Orion, véritable pouponnière d'étoiles naissantes, située à 1 500 années-lumière et visible à l'œil nu. Sa magnitude visuelle est de +5.

© ESO

Mars

Le nom de Mars en LSF calque sa dénomination populaire : PLANETE suivi de ROUGE. Ce dernier composant renvoie à la couleur des lèvres. Pour l'étymologie de PLANETE, voir l'entrée *Terre*.

On notera que le signe utilisé pour le mois de mars est tout différent : il ne réfère pas à la planète, mais à l'abstinence pendant la période de carême.



Mots et expressions associés: Astronome - Cratère - Ellipse - Etoile (double) - Planète - Satellite - Système solaire - Terre - Volcan.

La **planète Mars** est une des cinq planètes visibles à l'œil nu. De nombreuses civilisations ont associé sa couleur rouge (la couleur du sang) au thème de la guerre. C'est pour cette raison qu'elle porte le nom du dieu romain de la guerre : *Mars*. Son mouvement apparent dans le ciel fut l'objet de longues et minutieuses observations de l'astronome danois *Tycho Brahé* (1546-1601). En analysant les mesures de *Brahé*, l'astronome allemand *Johannes Kepler* (1571-1630) constata que le mouvement de Mars autour du Soleil n'est pas un cercle, mais une ellipse. Il en va de même de tous les corps qui accomplissent une révolution autour d'un astre plus massif qu'eux, planètes, satellites ou étoiles doubles.

Distance : Mars se situe à une distance moyenne de 227 936 600 km du Soleil.

Diamètre : avec un diamètre de 6 804 km, c'est une planète plus petite que la Terre.

Inclinaison : son axe a presque la même inclinaison que celui de la Terre: $25^{\circ} 19'$; il y a un été et un hiver sur Mars.

Rotation : Mars tourne sur elle-même en 24 h 37 mn et 22 s: une journée sur Mars est presque égale à une journée sur la Terre.

Révolution : Mars tourne autour du Soleil en un an et 322 jours.

Température : sur Mars, la température descend à -140°C en hiver, mais peut monter à $+20^{\circ}\text{C}$ à l'équateur en été.



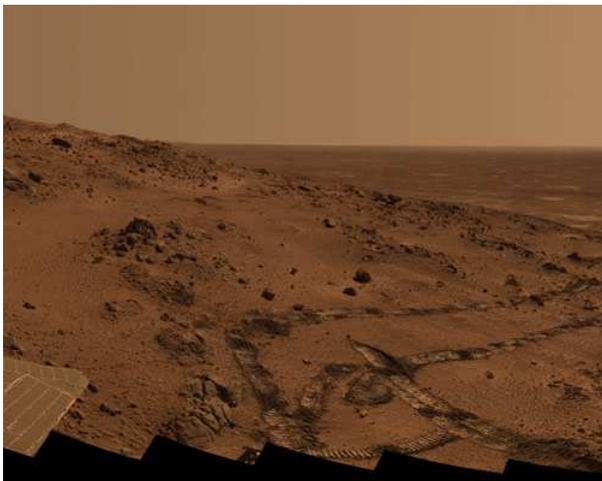
Mars observée par le Télescope spatial. Le nord est en haut, et le sud en bas. © NASA/JPL

Atmosphère : Mars est entourée d'une **atmosphère très fine**, environ 150 fois moins dense que celle de la Terre. Elle est essentiellement composée de gaz carbonique (dioxyde de carbone, CO_2) à 95 % et d'azote (N_2) à 3 % : il n'est donc pas possible de respirer à sa surface sans un scaphandre. Le vent souffle pourtant, en soulevant de grands nuages de poussière.

Les ressemblances entre la Terre et Mars sont nombreuses. C'est pourquoi les astronomes ont longtemps pensé que les deux planètes étaient identiques, et supposaient que les « Martiens » pouvaient exister. Des observations faites à la lunette au XIX^e siècle semblaient montrer des lignes droites et sombres, qui prirent le nom de **canaux**. Pour ces différentes raisons, la planète Mars a particulièrement intéressé les hommes. L'exploration spatiale a montré que ces canaux n'existaient pas ; ils n'étaient que des illusions d'optique dues à l'imperfection des instruments anciens.

Le sol est de couleur rouge en raison de l'oxyde de fer (Fe_2O_3) qui se trouve à sa surface. Avec les sondes spatiales lancées depuis la Terre et les véhicules qui ont été posés sur son sol, nous avons maintenant une bonne connaissance du relief martien. Il est divisé en **deux régions très différentes**. L'hémisphère nord est assez plat, couvert d'oxyde de silicium (sable oxydé) et de roches volcaniques. Inversement, l'hémisphère sud est formé de **hauts plateaux** avec beaucoup de cratères. Dans le passé, il y a eu de l'eau à la surface de Mars, peut-être même un océan recouvrant l'hémisphère nord. Il y a également **d'anciens lits de rivières** et de torrents asséchés, descendant des collines.

Une des deux **calottes polaires** de couleur blanche est bien visible en bas de l'illustration ci-dessus. Chaque calotte polaire est constituée de glace d'eau en grande majorité, ainsi que de gaz carbonique gelé. La **glace** est épaisse d'environ dix mètres.



La surface de Mars, avec les traces de roues du véhicule robot. © NASA/JPL



D'anciens torrents asséchés sur Mars. © NASA/JPL



Il y a des **volcans** à la surface de Mars. Le plus grand, *Olympus Mons* (le Mont Olympe) est la plus haute montagne du Système solaire, avec une altitude de 25 000 m (le Mont Everest sur la Terre culmine à 8 827m). Le diamètre de ce volcan atteint 600 km. Les volcans de Mars n'ont plus d'activité ; les coulées de lave les plus récentes datent d'environ deux millions d'années.

Les futures missions spatiales nous apprendront, en creusant le sol de Mars, où est passée l'eau de la planète, et si des formes de vie se sont maintenues dans son sous-sol.



Le volcan Olympus Mons. © NASA/JPL

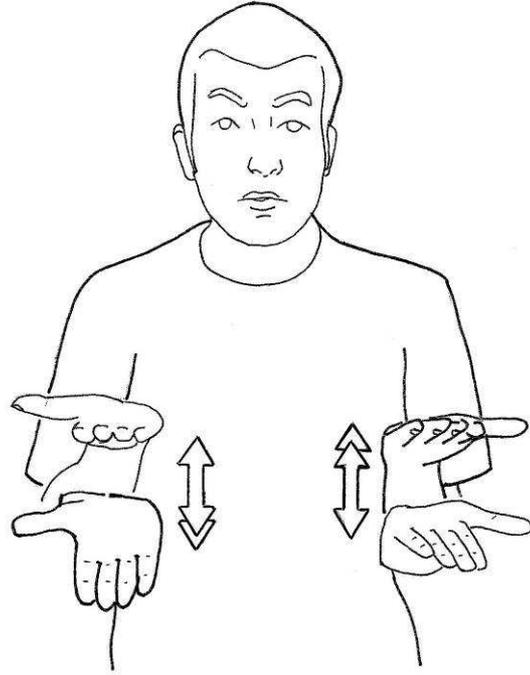
La planète Mars est accompagnée de deux très petits satellites qui sont peut-être des astéroïdes que la planète aurait capturés. Les noms qu'ils portent, Phobos et Deimos, sont ceux des chevaux attelés au char de Mars, le dieu de la guerre. Ils ont les caractéristiques suivantes:

Nom	Diamètre (km)	Distance à la planète (km)	Durée de la révolution	Découverte
<i>Phobos</i>	22	9 385	7 h 29 mn	Hall (1877)
<i>Deimos</i>	13	23 450	1 j 6 h 17 mn	Hall (1877)



Masse

La notion de masse est associée à celle de poids. On représente donc en LSF la masse par le signe PESER, en précisant éventuellement si l'on a affaire à un corps « léger » ou « lourd ».



Mots associés: Attraction - Élément - Force - Jupiter - Masse atomique - Terre.

La masse est une propriété spécifique d'un corps, liée à la fois à sa quantité de matière et à la nature de celle-ci. Si un kilo de plumes et un kilo de plomb ont le même poids, il faut cependant une bien plus grande quantité de plumes que de plomb pour parvenir à un tel équilibre. Cela est lié à la nature de la plume, composée de beaucoup de carbone dont la masse atomique est 12 (6 protons et 6 neutrons, voir l'entrée *Éléments*) ainsi que d'autres éléments légers, tandis que celle du plomb est 207.

La masse d'un corps permet de connaître la force d'attraction qu'il exerce, et par conséquent son poids, en multipliant cette masse par l'accélération de la pesanteur en un lieu donné (voir l'entrée *Force*). Il ne faut donc pas confondre la masse, qui a une valeur absolue, avec le poids qui n'a une valeur que relative, variant selon le lieu.

Une masse se mesure en la comparant à une autre qui sert d'étalon. On mesure la masse des planètes par rapport à celle de la Terre : la masse de Jupiter vaut 318 fois celle de la Terre. On mesure la masse des étoiles et des galaxies par rapport à celle du Soleil : la masse de M31 (la galaxie d'Andromède) vaut 300 milliards de fois celle du Soleil.



Mécanique céleste

La notion de mécanique céleste se traduit par le signe MECANIQUE, qui stylise un engrenage de deux roues dentées, suivi du signe VOUTE CELESTE (voir l'entrée correspondante).



MECANIQUE

Mots associés: Etoile - Gravitation (force) - Planète - Relativité - Soleil - Terre - Univers.

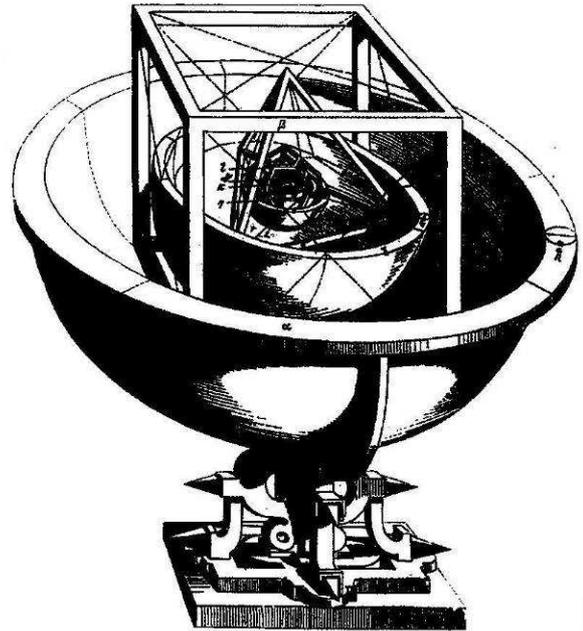
La **mécanique céleste** est l'ensemble des lois physiques et mathématiques qui permettent de décrire le mouvement des composantes de l'univers, telles que les planètes et les étoiles. Aujourd'hui, la mécanique céleste permet de calculer les **éphémérides**, c'est-à-dire l'ensemble des phénomènes célestes classiques : orbites et positions des planètes et des comètes, dates des éclipses, etc. C'est également la mécanique céleste qui permet de régler les différents événements des calendriers, tels que les dates des fêtes religieuses ou l'ajustement de l'heure sur la Terre. En France, l'**Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides (IMCCE)** de l'observatoire de Paris a une mission de recherche dans les domaines de la mécanique céleste, et une mission de service consacrée à l'élaboration des éphémérides.



Dans l'Antiquité, les Grecs distinguaient la mécanique terrestre où les objets « tombent », de la mécanique céleste où les objets « se promènent » et reviennent à leur place dans le ciel au bout d'un temps plus ou moins long. Pendant longtemps, on pensa que les planètes se déplacent sur des sphères emboîtées les unes dans les autres, la plus lointaine, la **sphère des fixes**, portant les étoiles. *Johannes Kepler* (1571-1630) découvre les trois lois auxquelles obéit le mouvement des planètes autour du Soleil, mais il enferme les orbites des planètes dans des figures géométriques compliquées appelées **polyèdres réguliers** (faces identiques et régulières, sommets identiques). En 1687, *Isaac Newton* (1642-1727) découvre la loi de la gravitation universelle selon laquelle les corps s'attirent mutuellement en fonction de leur distance. Il faut attendre le XX^e siècle pour qu'*Albert Einstein* (1879-1955) décrive la gravitation dans le contexte de la théorie de la relativité générale.

Tabula

Orbitum planetarum dimensiones et distantias per quinque regularia corpora geometrica exhibens.

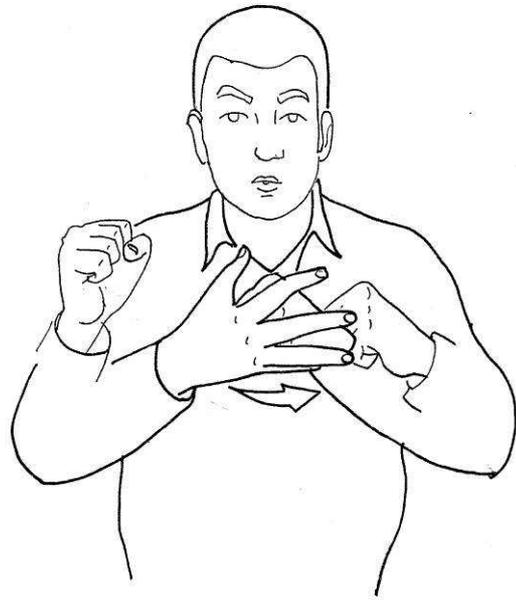


α Sphaera Saturni. β Cubus. γ Sphaera Jovis. δ Tetraëdron. ε Sphaera Martis. ζ Dodecaëdron. η Orbis Terrae. θ Icosaëdron. ι Sphaera Veneris. κ Octaëdron. λ Sphaera Mercurii. μ Sol, Medium sive centrum immobile. (Comp. Fol. 214.)

Le Système solaire de Johannes Kepler.

Mercure

Le signe MERCURE montre une planète (représentée ici par un poing fermé) illuminée par la lumière que projette sur elle le Soleil, représenté par l'autre poing qui s'ouvre largement.



Mots et expressions associés: Cratère - Lune - Phase - Quartier - Soleil - Système solaire - Télescope - Vénus.

De toutes les planètes, Mercure est la plus proche du Soleil ; elle n'est donc visible que le matin peu avant le lever du Soleil, ou le soir peu après son coucher. Noyée dans la lumière de cet astre, elle est difficile à repérer. En raison de la rapidité de son déplacement dans le ciel, les anciens Grecs lui ont donné le nom de *Mercure*, dieu des voyageurs et des messagers.

Distance : Mercure est à 57 900 000 km du Soleil.

Diamètre : 4 880 km.

Masse : sa masse n'est que 0,05 fois celle de la Terre.

Rotation : Mercure tourne très lentement sur elle-même : une journée dure 58 jours et 15 heures,

Inclinaison : son axe n'est incliné que de 7°.

Révolution : Mercure effectue sa révolution autour du Soleil en 88 jours.

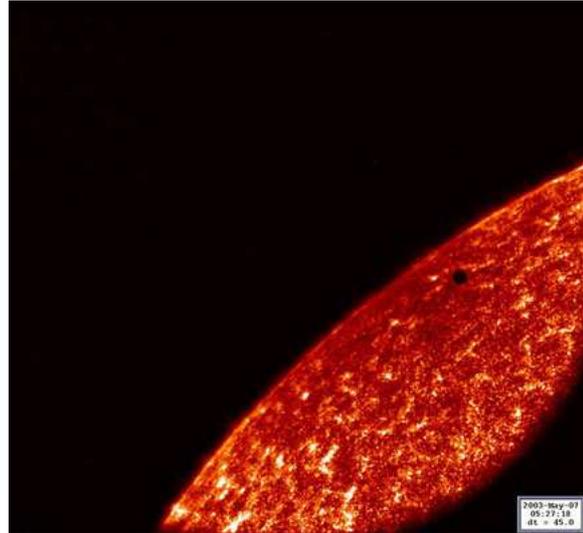
Atmosphère : presque inexistante, l'atmosphère de Mercure se réduit à une fine couche de gaz composée de potassium (K) à 31 %, de sodium (Na) à 25 % et d'oxygène (O₂) à 10 %.

Température : la quasi inexistence d'atmosphère provoque de grands écarts de température, entre +178°C sur la face éclairée par le Soleil et -180°C sur celle qui est dans la nuit. Le même phénomène se produit sur la Lune.



La planète Mercure © NASA/JPL

Relief : le relief de Mercure est assez plat, indice d'une importante activité volcanique dans un passé lointain. Comme sur la Lune, une grande quantité de cratères recouvre sa surface.



Mercure passant devant le Soleil le 7 mai 2003.
© NASA/JPL

Puisque Mercure est plus proche du Soleil que la Terre, elle passe parfois entre ces deux astres. Il est alors possible de l'observer comme une petite tache noire se déplaçant sur le disque solaire, **en n'oubliant pas de se protéger les yeux de la lumière du Soleil**. Le prochain passage de Mercure devant le Soleil se produira le 9 mai 2016.

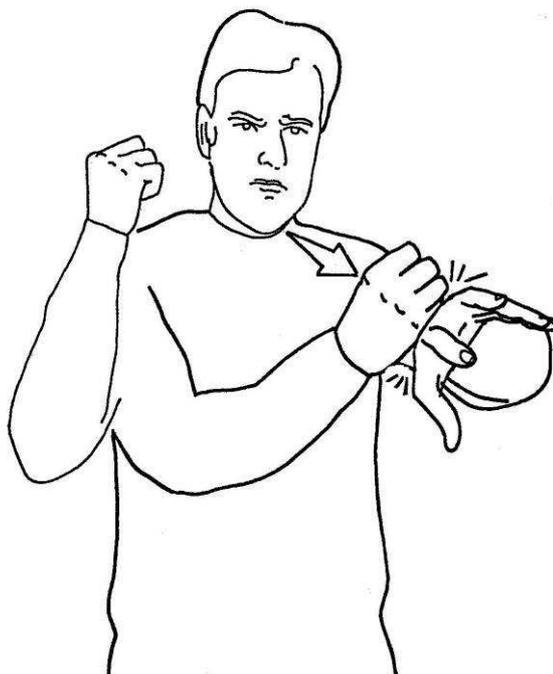
Selon que Mercure est éclairée de face ou de côté, elle présente des **phases** comme Vénus et la Lune, avec des **quartiers** et des **croissants** (voir les entrées *Vénus* et *Lune*), observables avec un petit télescope.

Comme Vénus, Mercure n'a pas de satellite.



Météorites (Météores)

Le signe METEORITE montre un objet dur et de forme plus ou moins arrondie, représenté par un poing fermé, qui entre en collision avec la Terre représentée par l'autre main ouverte.

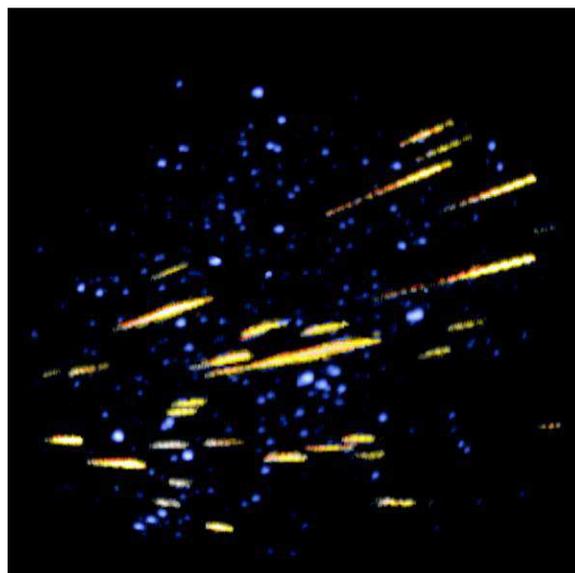


Mots et expressions associés: Comète - Lune
- Planète - Planétésimal - Révolution - Soleil
- Système solaire - Terre.

La formation du Système solaire s'est achevée il y a environ 4,5 milliards d'années. Les différentes planètes se sont solidifiées en agglomérant des planétésimaux et de la poussière (voir l'entrée *Système solaire*). Mais, comme dans toute construction, il est resté des débris sous forme de rochers, de cailloux et de poussière qui sont également en orbite autour du Soleil, et que la Terre rencontre au cours de son mouvement de révolution.

Lorsqu'elles pénètrent dans les hautes couches de l'atmosphère terrestre, les météorites subissent un intense frottement. Celui-ci provoque un très rapide échauffement et une émission de lumière visible depuis le sol : ce sont les célèbres **étoiles filantes**. Si la grande majorité des grains de poussière est ainsi détruite, des cailloux plus volumineux peuvent atteindre le sol ; plus ils sont gros, plus les dégâts peuvent être importants.

Les chutes de météorites représentent donc un danger permanent pour les astronautes qui séjourneront sur la Lune ou sur des planètes n'ayant pas une atmosphère suffisamment dense pour faire écran. Mais même sur Terre, nous ne sommes jamais à l'abri d'une chute de météorite.



Une pluie de météorites perséides en août 1995. © NASA/JPL

Au cours de sa révolution autour du Soleil, la Terre traverse tous les ans les mêmes nuages de débris et de poussières ; certains d'entre eux sont des restes de comètes dont la trajectoire croisait l'orbite de notre planète. Les pluies d'étoiles filantes les plus remarquables, qui reviennent chaque année aux mêmes dates, ont reçu des noms : les **perséides** (aux alentours du 12 août) nous parviennent depuis un point situé dans la constellation de Persée. De même, les **quadrantides** (aux alentours du 3 janvier) paraissent provenir du Bouvier, les **léonides** (17 novembre) du Lion, les **géménides** (14 décembre) des Gémeaux, etc.



Un fragment de la météorite d'Allende. © DP



Le Meteor Crater en Arizona. © NASA/JPL

Malgré l'atmosphère terrestre, de nombreuses météorites percutent le sol. Le 8 février 1969, une météorite est tombée sur le village de *Pueblo de Allende* dans le nord du Mexique, heureusement sans faire de victimes. On a retrouvé plus de deux tonnes de roches, sous forme de milliers de fragments dont les plus gros dépassent 100 kg, répartis sur une surface de 300 km².

Dans le passé, des météorites volumineuses ont formé des cratères sur la Terre. Celui de *Goss Bluff*, au centre de l'Australie, a un diamètre de cinq kilomètres. La météorite qui l'a creusé, il y a plus de 140 millions d'années, devait peser plusieurs centaines de milliers de tonnes. C'est aujourd'hui un site sacré des aborigènes australiens.

Il y a environ 50 000 ans, une météorite de quarante mètres pesant 300 000 tonnes est tombée en Arizona, creusant un cratère de 1 200 mètres de diamètre et de 170 mètres de profondeur. On estime que quelques tonnes de météorites parviennent chaque jour jusqu'au sol.

Les météorites se répartissent en différents types. Les plus courantes appartiennent à deux familles principales :

Les **chondrites** sont constituées d'un mélange de silicates, de fer et de nickel. Elles ont l'âge du Système solaire. La météorite d'*Allende* est riche en carbone : c'est une **chondrite carbonée**.

Les **sidérites** sont essentiellement constituées de fer et de nickel. Elles sont particulièrement denses et se seraient échappées des planètes lors de leur formation.

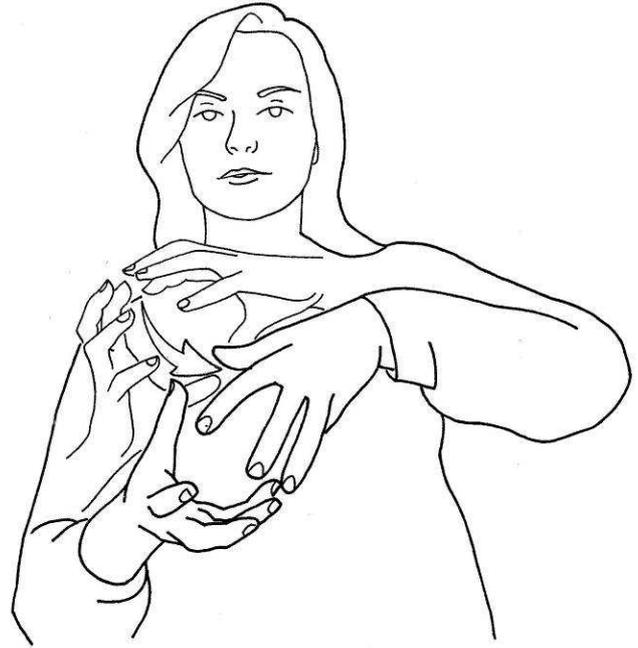


Nébuleuse planétaire

La notion de nébuleuse planétaire se traduit par le signe composé NEBULEUSE GAZEUSE, suivi du signe PLANETE. Le signe NEBULEUSE représente la matière en mouvement qui s'échappe de la surface d'une étoile ; il est suivi du signe GAZ. Ce second composant est formé par la lettre manuelle G pourvue du mouvement de la lettre Z, respectivement initiale et finale du mot *gaz*. Pour l'étymologie du signe PLANETE, voir l'entrée *Terre*.



NEBULEUSE



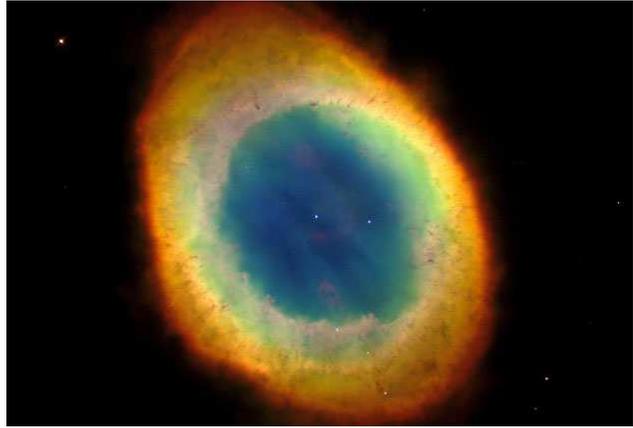
PLANETE

Mots et expressions associés: Année-lumière - Dimension - Distance - Etoile - Etoile (type) - Etoile (évolution) - Nucléaire (réactions) - Planète - Soleil - Supernova - Télescope - Température - Terre.

Il arrive fréquemment que des étoiles soient entourées d'un anneau ou d'une bulle de matière. Dans une lunette ou un petit télescope, elles se présentent souvent sous l'apparence d'un petit disque ressemblant à une planète. Depuis *William Herschel* (1738-1822), cela a conduit à les appeler des **nébuleuses planétaires**. Ce nom a été maintenu par commodité, bien que l'on sache aujourd'hui que ces objets n'ont en réalité aucun rapport avec des planètes.



Contrairement à une étoile massive qui devient une supernova à la fin de sa vie, une étoile pouvant atteindre jusqu'à dix fois la masse du Soleil commence à se dilater lorsque, ayant achevé la combustion de son hydrogène, elle brûle l'hélium de ses régions centrales (voir l'entrée *Etoile-évolution*). L'hélium se transforme en carbone tandis que la température centrale de l'étoile peut atteindre plusieurs dizaines de millions de degrés. En se dilatant, elle devient une étoile géante rouge qui, mise à la place du Soleil, s'étendrait jusqu'à l'orbite de la Terre. Dans ce mouvement d'expansion, l'étoile éjecte une partie de ses couches extérieures sous forme d'une coquille de matière, tandis que sous l'action de son propre poids, elle commence à imploser pour devenir une étoile naine blanche.



La nébuleuse planétaire M57 et son étoile centrale dans la constellation de la Lyre, à une distance de 2 300 années-lumière. © NASA/HST

Vues au télescope, les nébuleuses planétaires sont spectaculaires. On distingue l'étoile centrale qui s'est contractée et dont les éjections de particules « attisent » la coquille de matière. Celle-ci ne survit que 12 000 ans en moyenne avant de se diluer progressivement dans l'espace, enrichissant celui-ci en éléments chimiques fabriqués au cours de la vie de l'étoile. Ces éléments pourront être recyclés pour donner naissance à de nouvelles étoiles, chacune pouvant être entourée d'un ensemble de planètes.



La nébuleuse planétaire M27 dans la constellation du Petit Renard, découverte par l'astronome français Charles Messier (1730-1817) en 1764. Elle est distante de 1 250 années-lumière. © ESO

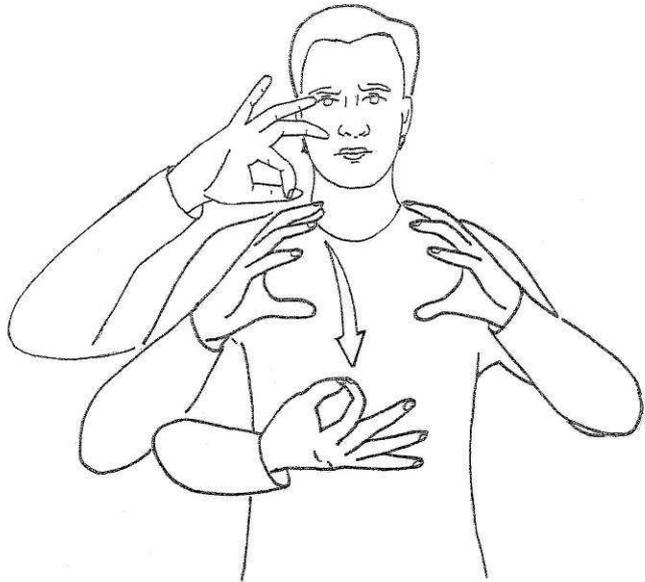


La nébuleuse planétaire NGC 2346 dans la constellation de la Licorne, à une distance de 2 000 années-lumière. Son diamètre est d'environ 0,3 année-lumière. © NASA/HST



Neptune

Neptune se représente par le signe PLANETE, suivi du tracé d'un anneau fin et incliné. Dans la seconde partie du signe, la main prend la forme en pince qui, en LSF, est un symbole de minceur.



Mots et expressions associés: Anneau - Observatoire - Planète - Pluton - Satellite - Système solaire - Uranus - Télescope - Terre.

Neptune est la plus lointaine des planètes du Système solaire, Pluton ayant été déclassée en 2006 pour devenir la première des « petites planètes ». Neptune a été observée pour la première fois par l'allemand *Johann Gottfried Galle*, le 23 septembre 1846, à partir des calculs se fondant sur les perturbations de l'orbite d'Uranus, effectués sous la direction d'*Urbain Le Verrier* (1811-1877) à l'observatoire de Paris. Neptune peut être observée avec un petit télescope.

Distance : Neptune est à 4 498 253 000 km du Soleil.

Diamètre : elle a un diamètre de 46 300 km ; elle est donc beaucoup plus grosse que la Terre.

Masse : elle est 17,26 fois plus importante que celle de la Terre.

Inclinaison : son axe est un peu plus incliné que celui de la Terre : 29°.

Rotation : une journée sur Neptune dure 15 h 6 mn 36 s.

Révolution : Neptune effectue une révolution autour du Soleil en 164 ans et 343 jours.

Température : la température moyenne à sa surface est de -220°C.

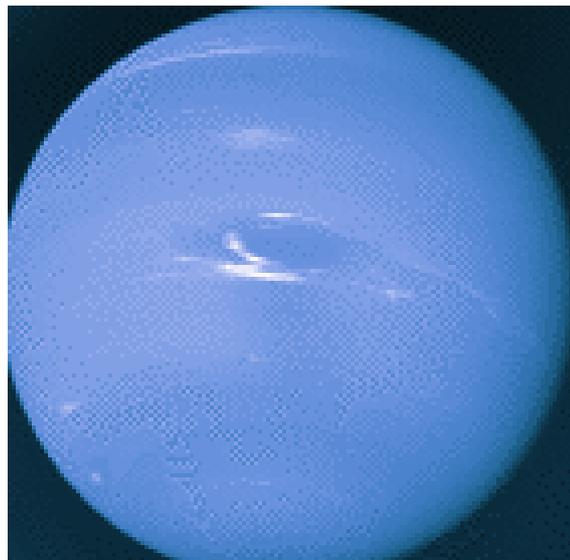


Image de Neptune prise par la sonde Voyager II, le 20 août 1989. © NASA/JPL.

Atmosphère : l'atmosphère de Neptune, épaisse de plus de 8 000 km, est assez identique à celle d'Uranus. Elle est essentiellement composée d'hydrogène (H₂) à plus de 84 %, d'hélium (He) à plus de 12 %, de méthane (CH₄) à 2 %, d'ammoniac (NH₃) et d'éthane (C₂H₆). Des nuages forment des bandes dans les régions proches de l'équateur. Des vents peuvent atteindre 2 000 km/h, et on observe de gigantesques orages.

Anneaux : Neptune est entourée de très fins anneaux sombres, difficilement observables. Ils ont été découverts en 1984 ; leur nature est encore mystérieuse.

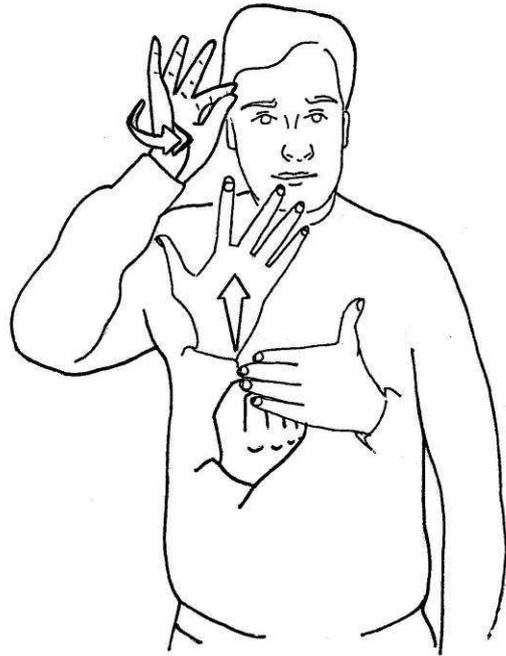
Satellites : Neptune est accompagnée d'au moins treize satellites. Triton a une orbite rétrograde : elle tourne en sens inverse de la direction de révolution de tous les satellites des autres planètes. Les deux plus gros satellites ont les caractéristiques suivantes:

Nom	Diamètre (km)	Distance à la planète (km)	Durée de la révolution	Découverte
<i>Triton</i>	2 707	354 800	5 j 21 h 2 mn	Lassel (1946)
<i>Néréide</i>	340	5 513 400	359 j 21 h 9 mn	Kuiper (1949)



Nova

Une nova, étoile apparaissant soudainement dans le ciel, se représente par le signe ETOILE suivi du signe NOUVELLE. Au XIX^e siècle, le second composant, « faire comme jaillir les doigts de la main droite de dedans la main gauche » (abbé Lambert, 1865), a le sens de « printemps » : il symbolise la croissance de la végétation. Son sens s'est ensuite étendu à tout phénomène présentant un caractère de nouveauté. Pour l'étymologie de ETOILE, voir l'entrée *Etoile-généralités*.

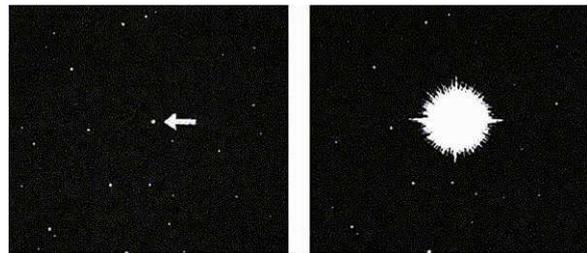


Mots et expressions associés: Amas globulaire - Année-lumière - Astronome - Etoile - Etoile (binaire) - Etoile (évolution) - Etoile (type) - Etoile à neutrons - Galaxie - Magnitude - Nucléaire (réactions) - Rayons X - Soleil - Température - Trou noir.

Le mot **nova** (pluriel *novae*) est une abréviation du latin *nova stella*, « étoile nouvelle ». Il désigne des étoiles qui apparaissent soudainement dans le ciel. Dans un passé lointain, les astronomes supposaient qu'une nova était une étoile qui naissait. De nombreuses novae ont été observées au cours de l'histoire. Par exemple, une étoile est apparue dans la constellation de l'Aigle le 8 juin 1918 ; ce fut « l'étoile de la victoire » des combattants de la Grande Guerre. Bien que distante de 1 500 années-lumière (si bien que le phénomène se produisit en réalité à l'époque carolingienne), elle devint aussi brillante que l'étoile *Sirius*. Aujourd'hui, c'est une faible étoile de magnitude 11 qui porte le nom de *V603 Aql*. Plus récemment, une nova fut observée dans la constellation du Cygne. Elle atteint la magnitude 1,7 le 31 août 1975, devenant quatre millions de fois plus brillante que son éclat initial. Fin décembre 1975, son éclat était retombé à la magnitude 10 (voir l'illustration qui montre sa courbe de lumière) ; elle porte le nom de *VI500 Cyg*. De nos jours, plusieurs dizaines de novae sont découvertes chaque année.

Certaines novae ont la particularité de réapparaître de temps en temps ; c'est le cas de *RS Oph*, dans la constellation d'Ophiuchus, qui fut découverte en 1901 mais réapparut en 1933, 1958, 1967 et 1985 : on appelle ce type d'objet une **nova récurrente**.

Les télescopes actuels permettent de comprendre le phénomène qui est à l'origine des novae. Une nova n'est pas une étoile nouvelle, mais une étoile binaire composée d'une géante rouge accompagnée d'une naine blanche (voir l'entrée *Etoile-type*) riche en carbone et en oxygène. Un flux important

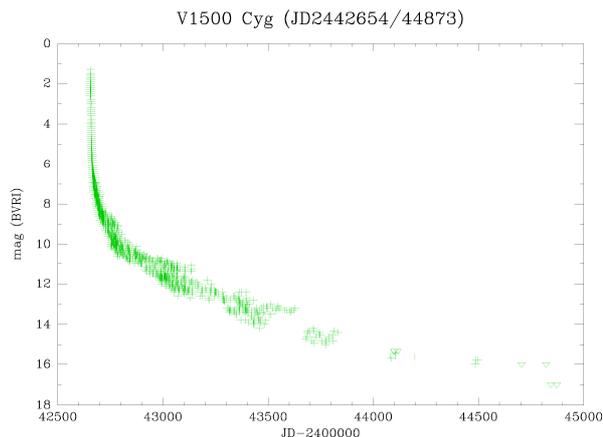


Apparition de la nova *RS Oph*, dans la constellation d'Ophiuchus.

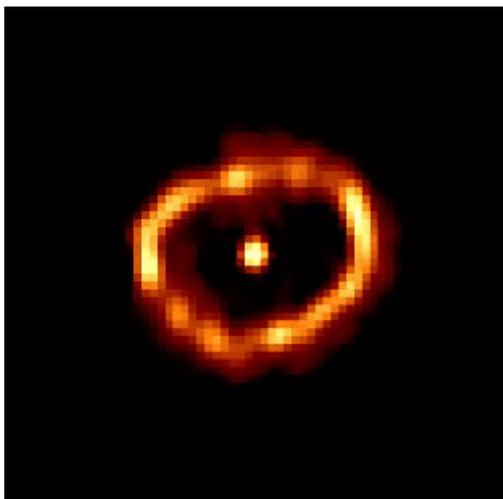
d'hydrogène s'échappe de la géante sous l'attraction de la naine, formant un anneau de gaz autour de cette dernière. Ceci suffit pour redéclencher les réactions nucléaires en libérant une énorme quantité d'énergie : à peu près ce que le Soleil brûle en 10 000 ans. L'anneau de matière est observable sur les images obtenues à l'aide des grands télescopes au sol ou en orbite.

Le phénomène nova n'est pas spécifique à notre Galaxie ; on l'observe également dans les amas globulaires et dans les galaxies proches.

Des observations plus précises, notamment de l'émission de rayons X, indiquent que dans certaines binaires, la naine blanche serait une étoile à neutrons ou même un trou noir.



La décroissance lumineuse de la nova du Cygne 1975, observée pendant 2 500 jours. Les « trous » dans la courbe correspondent aux périodes où la constellation du Cygne était inobservable en France. © AFOEV



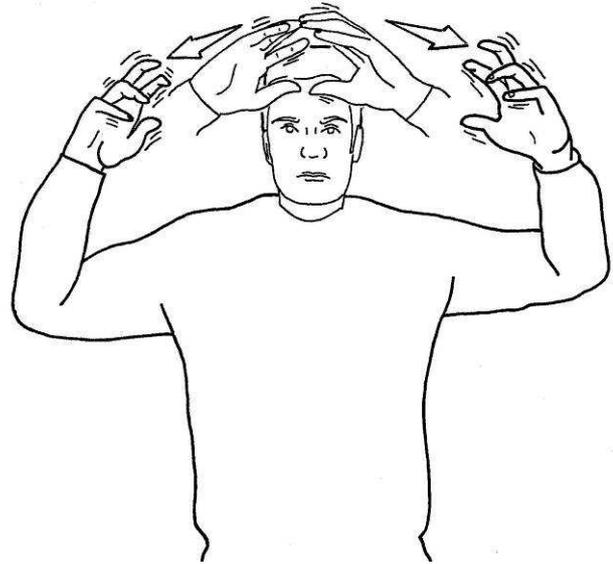
*Anneau de matière échappé d'une nova.
© NASA/HST*



La nova récurrente Z Cam dans la constellation de la Girafe. © NASA/HST

Nuages de Magellan

Les Nuages de Magellan se représentent par le signe NUAGE, réalisé avec une oscillation des doigts en référence à la multitude des étoiles qui les composent. On le fait suivre éventuellement de l'un des signes GRAND ou PETIT. Pour lever toute ambiguïté, on peut en outre épeler le nom « Magellan » ou le réduire à sa seule lettre initiale M.



Mots et expressions associés: Année-lumière
 - Astronome - Diamètre - Distance - Equateur
 - Etoile - Galaxie - Groupe local - Masse -
 Soleil - Supernova - Voie lactée.

La tradition attribue l'observation de ces deux galaxies de l'hémisphère austral au navigateur *Fernand de Magellan* (1480-1521). En réalité, elles étaient connues de toutes les anciennes civilisations situées au sud de l'équateur. A l'œil nu, elles se présentent comme deux morceaux de la Voie lactée qui s'en seraient détachés. Ce sont deux petites galaxies situées dans le voisinage de notre propre Galaxie. On distingue par leur dimension apparente le **Grand Nuage** et le **Petit Nuage**. Les astronomes ont observé une longue ceinture de gaz en mouvement qui relie les deux Nuages au pôle sud de notre Galaxie, prouvant une réelle interaction. Les deux Nuages de Magellan font partie du Groupe local (voir cette entrée).

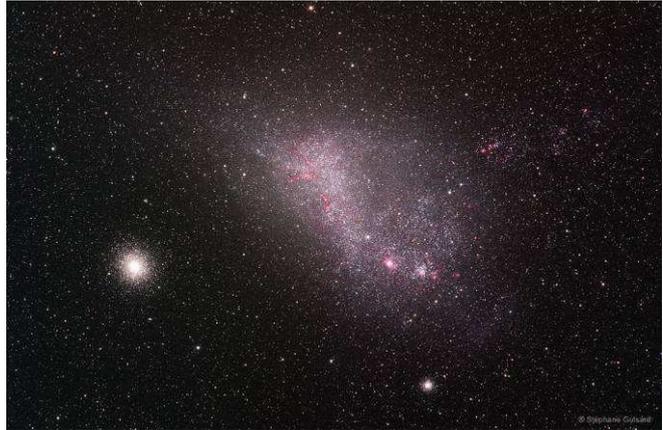
Le **Grand nuage de Magellan** est une galaxie irrégulière (voir l'entrée *Galaxie-type*) située dans la constellation de la Dorade, à une distance de 173 000 années-lumière. Son diamètre est de 22 000 années-lumière. Il tourne sur lui-même à une vitesse de 70 km/s et se rapproche de notre Galaxie à une vitesse de 275 km/s. Sa masse est dix milliards de fois celle du Soleil.

L'apparition d'une supernova le 23 février 1987 a permis de confirmer sa distance. On trouve dans le Grand Nuage trois populations d'étoiles. La présence d'étoiles chaudes et jeunes (moins d'un milliard d'années) prouve qu'il y a dans cette petite galaxie une intense activité stellaire. On y trouve aussi des étoiles plus anciennes, âgées d'un à trois milliards d'années, et un groupe dont les composantes ont plus de dix milliards d'années.

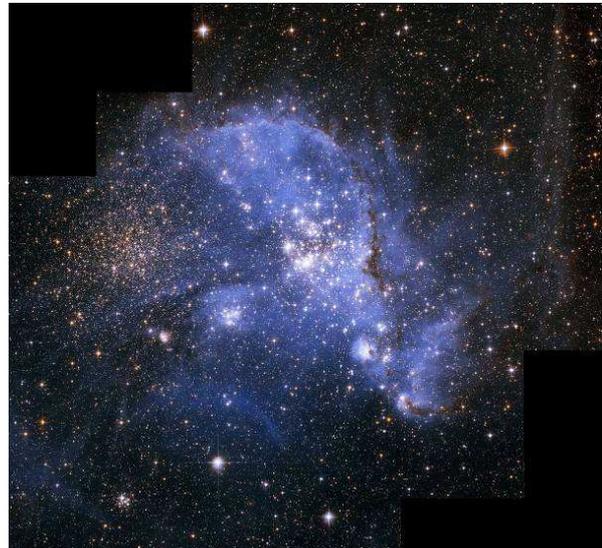


Le Grand Nuage de Magellan. © ESO

Situé dans la constellation du Toucan, le **Petit Nuage de Magellan** a une structure plus complexe que celle du Grand Nuage. Les astronomes ont observé qu'il se présente à nous « de face », rendant ainsi sa morphologie difficile à étudier. Moins massif que le Grand Nuage, il est cependant plus riche en gaz, celui-ci atteignant 20 % de la masse totale. Son diamètre est de 10 000 années-lumière, à une distance de 196 000 années-lumière de nous. Il a une masse de deux milliards de fois celle du Soleil.



Le Petit Nuage de Magellan. © ESO/Stéphane Guisard

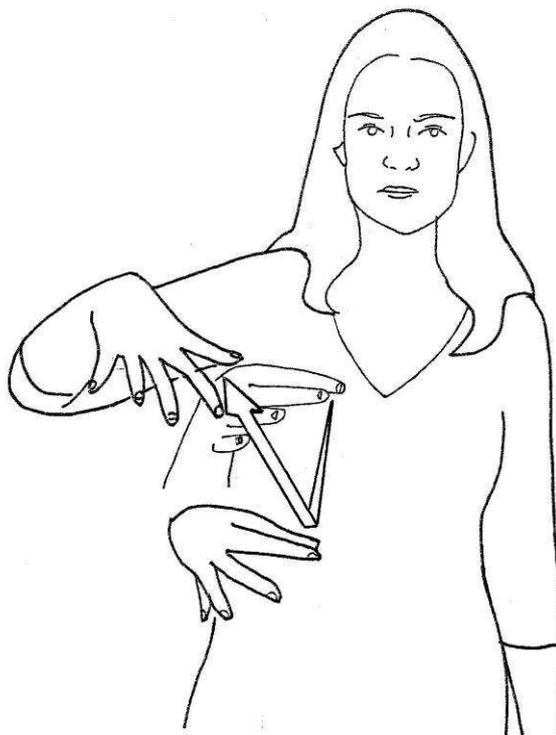


Détails du Grand et du Petit Nuage de Magellan observés par le Télescope spatial. © NASA/HST



Nucléaire (réactions)

Le signe polysémique ATOMIQUE/ NUCLEAIRE associe plusieurs images : l'intensité du mouvement vers le bas évoque la chute d'une bombe atomique ; la main ouverte qui remonte représente le nuage qu'elle provoque tandis que la main en forme de pince stylise la petite taille d'un atome.

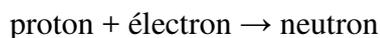


Mots et expressions associés: Élément - Energie - Etoile (évolution) - Nova - Rayons cosmiques - Soleil - Supernova - Système solaire - Terre - Vitesse de la lumière.

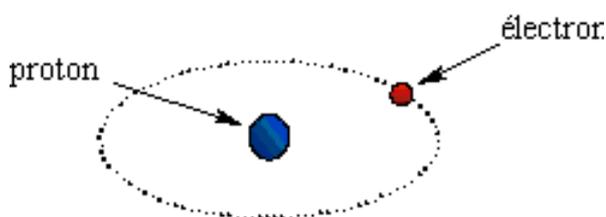
La physique nucléaire décrit les réactions des atomes dans le cœur des étoiles, là où la température atteint quinze millions de degrés et où la densité est très forte. Les étoiles sont essentiellement constituées d'hydrogène (H) (voir l'entrée *Etoile-évolution*). Dans les régions centrales, l'hydrogène se transforme en hélium (He): c'est une **réaction nucléaire** qui dégage une énorme quantité de chaleur et d'énergie, comme une gigantesque bombe atomique dont l'explosion serait entretenue. Ainsi une étoile comme le Soleil peut briller et disperser son énergie dans l'espace pendant plusieurs milliards d'années.

La réaction nucléaire hydrogène – hélium

De tous les atomes présents dans la nature, celui d'hydrogène est le plus simple ; il est constitué d'un **proton** de charge électrique positive (+) et d'un **électron** tournant autour de lui, de charge électrique négative (-). Dans le cœur d'une étoile, quatre atomes d'hydrogène (soit quatre protons et quatre électrons) interagissent, mais quand un proton et un électron fusionnent, ils donnent un **neutron** sans charge électrique (les charges « + » et « - » s'annulent):



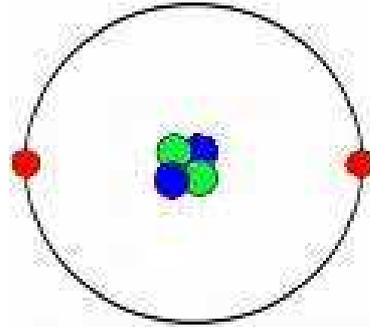
Un nouvel atome se forme, constitué de deux protons, deux neutrons et deux électrons: c'est de l'**hélium**.



L'atome d'hydrogène.



Une étoile comme le Soleil brille pendant plusieurs milliards d'années en **transformant l'hydrogène en hélium**, dont une partie est à nouveau recyclée en hydrogène.



L'atome d'hélium (les neutrons sont représentés en vert)

La quantité d'énergie E obtenue se calcule avec la célèbre formule d'Albert Einstein (1879-1955), en multipliant la masse m de matière par le carré de la vitesse de la lumière (c) :

$$E = mc^2$$

Cette formule très simple explique comment une bombe atomique peut tout détruire sur une grande surface avec une petite quantité d'hydrogène. Le Soleil est ainsi un énorme réacteur nucléaire utilisant l'hydrogène pour fabriquer l'énergie dont il a besoin.

Lorsqu'une étoile a épuisé ses réserves d'hydrogène, de nouvelles réactions nucléaires transforment l'hélium. Celui-ci donne successivement du béryllium (Be), du carbone (C), de l'oxygène (O), du silicium (Si), etc. (voir l'entrée *Elément*). Ainsi, les étoiles ont « fabriqué » depuis leur formation tous les éléments de la nature, des plus légers (hydrogène, hélium...) jusqu'aux plus lourds (plomb, mercure, uranium...), en passant par le fer ou l'or.



Alpha Centauri and the Southern Cross

ESO PR Photo 40a/05 (December 21, 2005)

© ESO

Des milliers d'étoiles dans la région de la Croix du Sud. Chacune d'elle fabrique les éléments de la nature par une suite de réactions nucléaires. © ESO

Les différents éléments chimiques n'existent que grâce aux étoiles qui les fabriquent. Sur la Terre, ils proviennent de la formation du Système solaire il y a 4,6 milliards d'années, à partir d'un immense disque de gaz et de poussière. **Sans leur présence sur notre planète, la vie ne s'y serait sans doute pas développée.**

*La réaction nucléaire la plus simple, celle qui transforme l'hydrogène en hélium, passe par la formation d'une particule, le **neutron**, sans charge électrique (les charges électriques opposées du proton et de l'électron s'annulent). Pour expliquer cette réaction nucléaire en LSF, on précise d'abord la nature de l'atome d'hydrogène, puis on indique pourquoi il en faut quatre pour obtenir un atome d'hélium.*

Si e est un électron, p un proton et n un neutron, on peut clarifier ainsi l'explication:

quatre atomes d'hydrogène réagissent : $p - e, p - e, p - e, p - e$

deux neutrons se forment :

$p + e = n, p + e = n, il\ reste\ p - e, p - e$

Il se forme un atome d'hélium :

$e - pnpn - e$

Observatoire

Un observatoire se représente par le signe LUNETTE, suivi du signe COUPOLE.



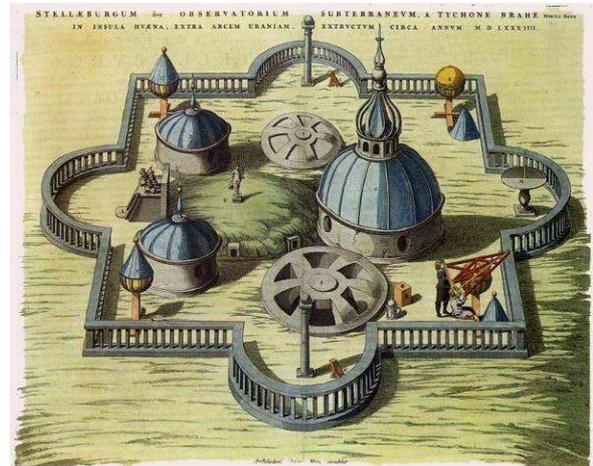
Mots et expressions associés: Astronomie - Cosmologie - Etoiles - Lune - Lunette - Planète - Radiotélescope - Rayons cosmiques - Satellite *ISO* - Soleil - Télescope - Télescope spatial - Terre - Univers.

LUNETTE

Depuis les civilisations les plus anciennes jusqu'à nos jours, les hommes ont observé le ciel, afin de comprendre où se trouve la Terre dans l'univers, quelle est la nature des planètes et des étoiles qui nous environnent, et enfin quelles sont leurs propres origines. Pour cela, ils se sont installés dans des endroits privilégiés pour observer le ciel et y ont construit des bâtiments spécialement adaptés : ce sont les **observatoires**.



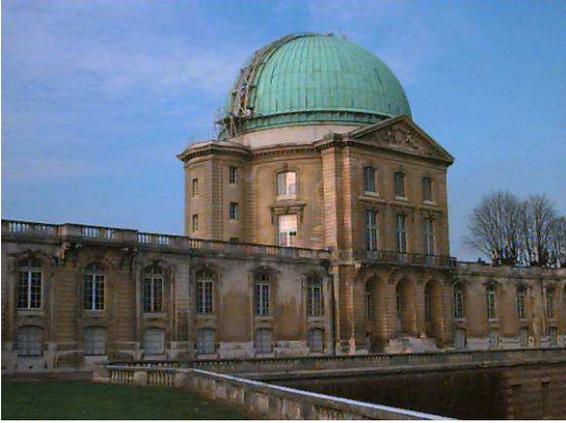
Un ancien observatoire : Tongariki à l'île de Pâques où, selon la tradition, les statues géantes veillent sur les habitants et observent les étoiles. © DP



L'observatoire « Uraniborg » de Tycho-Brahé, construit dans l'île de Hven dans le nord du Danemark.

Partout sur la Terre, les différentes civilisations ont eu leurs observatoires et leurs astronomes désireux de connaître les secrets de l'univers et les origines de l'homme. Les perfectionnements des instruments aboutissent progressivement à la construction de lieux spécifiquement destinés à l'observation, comme l'observatoire de l'astronome *Tycho-Brahé* (1541-1601) au Danemark.





La coupole contenant la grande lunette de l'observatoire de Meudon, construit près de Paris au XIX^e siècle sur un ancien château. © Observatoire de Paris.



L'Observatoire du Pic du Midi dans les Pyrénées en 1937. © IMCCE

Peu à peu, les observatoires grandissent et se rapprochent des villes, comme celui de Meudon près de Paris, jusqu'à ce que l'éclairage public, le développement industriel et la pollution obligent les astronomes à travailler dans les endroits les plus isolés de la Terre, là où le ciel est le plus pur. Les observatoires sont alors construits sur de hautes montagnes, comme au Pic du Midi, dans les Pyrénées.



Vue aérienne des coupoles de l'Observatoire Européen Austral (ESO) de La Silla, dans les Andes chiliennes. © ESO



Les quatre coupoles du Very Large Telescope de l'Observatoire Européen Austral (ESO), installé à Paranal au Chili. Chaque coupole contient un télescope de 8,20 m de diamètre. © DP



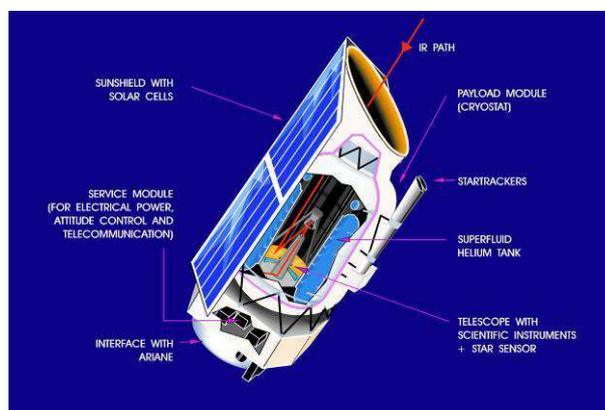
Afin de disposer des meilleures conditions météorologiques, les observatoires modernes sont maintenant installés dans les lieux les plus désertiques de la Terre, notamment dans les Andes chiliennes, où la communauté européenne dispose d'une imposante batterie d'instruments, jusqu'au télescope géant du VLT de l'observatoire européen austral (ESO). Plusieurs autres observatoires ont été également construits dans la même région. De très grands observatoires existent aussi aux Etats-Unis, en Chine, en Russie, ainsi que sur des îles comme Hawaï et les Canaries, les océans jouant le rôle de régulateur des conditions atmosphériques.



Salle de contrôle d'un télescope (Dominique Proust aux commandes du télescope de 3,60 m de l'ESO au Chili).

Avec les progrès de la science et des techniques, les astronomes ont construit ces dernières années différents types d'observatoires dont certains, comme le Télescope spatial ou le Satellite ISO, sont en orbite autour de la Terre. Ils peuvent observer l'univers sans avoir les problèmes liés à l'atmosphère terrestre (turbulence, nuages...).

Certains observatoires se consacrent à l'observation du ciel dans les longueurs d'onde infrarouge et radio, notamment à l'aide des radiotélescopes, comme celui de Nançay en Sologne. Enfin, les travaux récents en cosmologie aboutissent à la construction d'observatoires très spécialisés, destinés à détecter les particules à haute énergie, comme les rayons cosmiques. Aujourd'hui, les observatoires urbains sont de véritables laboratoires où les scientifiques préparent et analysent les observations, construisent les différents instruments et effectuent leurs recherches.



Détails de l'observatoire infrarouge ISO (Infrared Space Observatory), en révolution autour de la Terre. © ESA/ISO



Parsec

Aucun signe spécifique n'est attribué à la notion de parsec : les lettres manuelles P-C, transcription de l'abréviation courante *pc*, suffisent. Elles sont précédées de la lettre manuelle K pour *kiloparsec* (*kpc*) ou M pour *mégaparsec* (*Mpc*).

Mots et expressions associées: Année-lumière - Soleil - Système solaire - Terre - Unité astronomique.

En astronomie, les grandes distances s'expriment souvent en années-lumière (voir cette entrée). Cependant, pour les calculs, il est souvent plus pratique d'utiliser le **parsec** qui vient de la contraction des deux mots : **par**allaxe et **se**conde. Nous savons que la distance de la Terre au Soleil est de 149,6 millions de km. Si l'on s'éloigne du Système solaire, on voit la Terre se rapprocher du Soleil, jusqu'à ce que leur distance apparente ne soit plus que d'**une seconde d'arc** (1"). A ce moment-là, nous serons à 30,85 millions de millions de km, ce qui correspond par définition à 1 parsec :

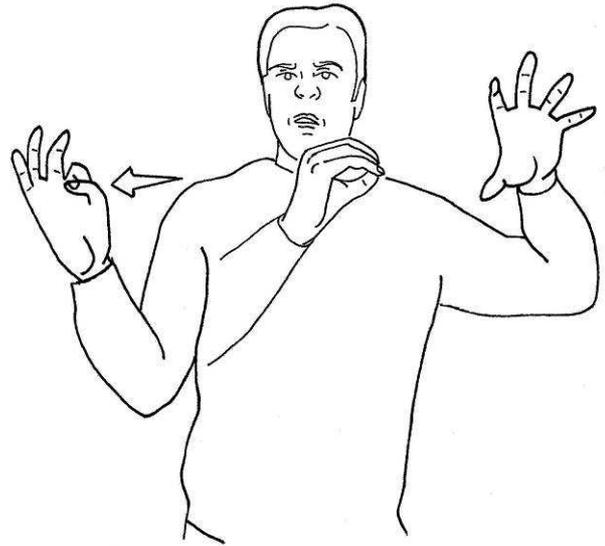
$$1 \text{ parsec} = 3,26 \text{ années-lumière}$$

Pour mesurer les distances des galaxies, on utilise le **kiloparsec** (*kpc*) qui vaut 1 000 parsecs, et le **mégaparsec** (*Mpc*) qui vaut 1 000 000 parsecs.



Pluton

La planète PLUTON est représentée en référence à sa petite taille et à son emplacement au-delà des limites du Système solaire. Une main ouverte figure le Soleil tandis que l'autre main en forme de O représente Neptune, la planète la plus éloignée. Cette même main s'écarte alors davantage, tout en prenant une forme en pince qui symbolise un objet de petites dimensions.



Mots et expressions associés: Astéroïde -
Etoile - Excentricité - Jupiter - Lune -
Planète - Satellite - Saturne - Système solaire
- Terre - Titan.

La planète **Pluton** a été découverte par l'astronome américain *Clyde Tombaugh* le 18 février 1930. Elle fut considérée comme la plus lointaine planète du Système solaire jusqu'en 2006, lorsque la découverte d'autres planètes plus grosses et plus distantes qu'elle amena l'Union Astronomique Internationale à modifier sa classification et à la retirer de la liste des planètes principales. Pluton est d'ailleurs plus petite que la Lune, plus petite aussi que les quatre principaux satellites de Jupiter et que Titan, le gros satellite de Saturne. Elle présente d'autres anomalies par rapport aux planètes : le plan de son orbite est inclinée de 18° par rapport au plan du Système solaire, et cette orbite a une forte excentricité de 0,2. A la distance de Pluton, le Soleil n'apparaît plus que comme une étoile brillante.

Distance : Pluton est à 5 906 451 000 km du Soleil.

Diamètre : son diamètre est de 4 600 km, soit $\frac{2}{3}$ de celui de la Lune.

Masse : sa masse n'est que $\frac{1}{10}$ de celle de la Terre.

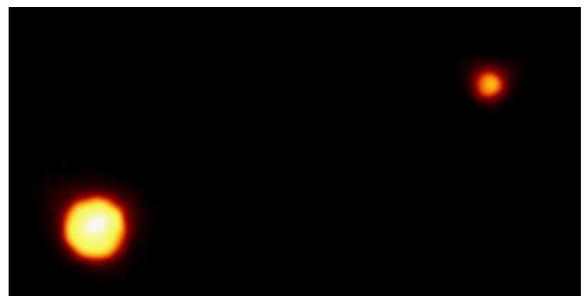
Inclinaison : son axe est moins incliné que celui de la Terre : 17° .

Rotation : la planète tourne lentement : une journée de Pluton dure 6 jours 9 heures 17 minutes.

Révolution : Pluton effectue une révolution autour du Soleil en 248 ans et 31 jours.

Température : -229°C .

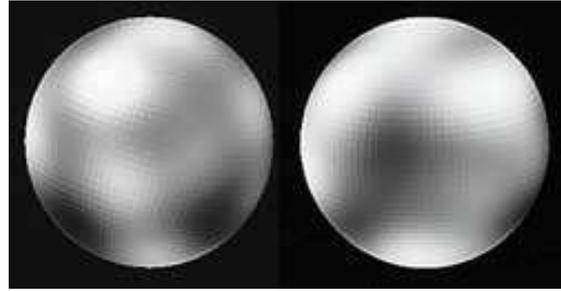
Atmosphère : on ne la connaît pas. Le sol est sans doute gelé, formé de roche, de glace d'eau et de méthane (CH_4).



Pluton et Charon ©ESA/NASA



L'observation de Pluton nécessite un télescope important, car elle n'est visible que comme une étoile très faible. La sonde spatiale *New Horizons*, lancée de la Terre le 19 janvier 2006 pour étudier Pluton, arrivera à proximité à l'été 2015, après un voyage de 6,5 milliards de km.



Images de Pluton au Télescope spatial Hubble.
© NASA-JPL

Satellites: Pluton est accompagné d'un gros satellite, **Charon**, dont le diamètre est la moitié de celui de Pluton : on a donc affaire à un système planétaire double. Comme la Lune par rapport à la Terre, Charon présente toujours la même face tournée vers Pluton. Charon a les caractéristiques suivantes:

Nom	Diamètre (km)	Distance à la planète (km)	Durée de la révolution	Découverte
<i>Charon</i>	604	19 570	6 j 9 h 17 mn	Christy (1978)

Deux autres petits satellites, **Nix** et **Hydra**, ont été découverts en 2005 par le Télescope spatial Hubble. Leurs diamètres ne seraient que de 50 et 62 km.



Pollution lumineuse

La pollution lumineuse se représente par le signe LUMIERE (voir cette entrée) suivi du signe POLLUTION. Ce second composant est un dérivé récent de PUER : c'est pourquoi il part du nez avec un mouvement de rejet ; la main prend la forme du P de l'alphabet manuel, initiale des mots *puer* et *pollution*.



LUMIERE



POLLUTION

Mot et expressions associés: Etoile - Lumière - Planètes - Température - Terre - Voie lactée.

Au cours du temps, toutes les activités humaines, notamment le développement des villes, des routes et des usines, ont multiplié les sources de lumière se diffusant en direction du ciel, ce qui représente un gaspillage d'énergie et rend de plus en plus difficile l'observation des étoiles et des planètes.

La **pollution lumineuse** est la lumière renvoyée vers le ciel par les projecteurs, les lampadaires et toutes les sources lumineuses mal réglées. En France, on gaspille 35 % de l'énergie utilisée par environ neuf millions de lampadaires. Souvent, ceux-ci ne sont pas recouverts par des abat-jour et éclairent inutilement le ciel. De ce fait, on ne voit plus en ville que les étoiles les plus brillantes, et il faut aller à la campagne pour enfin apercevoir la Voie lactée, à tel point que bien peu de personnes aujourd'hui connaissent le ciel.



L'Opéra de Ludwik Delavaux (1868-1894).



Outre les nuisances pour l'astronomie, la pollution lumineuse est responsable de perturbations dans le monde animal (insectes et autres animaux nocturnes) et végétal (poussée et reproduction des plantes). Plus grave encore, elle modifierait chez l'homme la sécrétion d'hormones régulatrices, pouvant donc être à l'origine de l'augmentation de certains cancers. De même que la Terre est mise en péril par les rejets de gaz carbonique (CO₂) dans son atmosphère (augmentation de la température moyenne), le gaspillage de l'eau, l'abus des engrais chimiques et des pesticides, etc., la pollution lumineuse représente un formidable gaspillage d'énergie et un danger pour le patrimoine culturel que représente un beau ciel étoilé.



La pollution lumineuse sur Paris vue de l'observatoire de Meudon. © Juan Quintanilla/ Observatoire de Paris

Il existe de nombreux sites internet consacrés à la protection lumineuse du ciel nocturne.

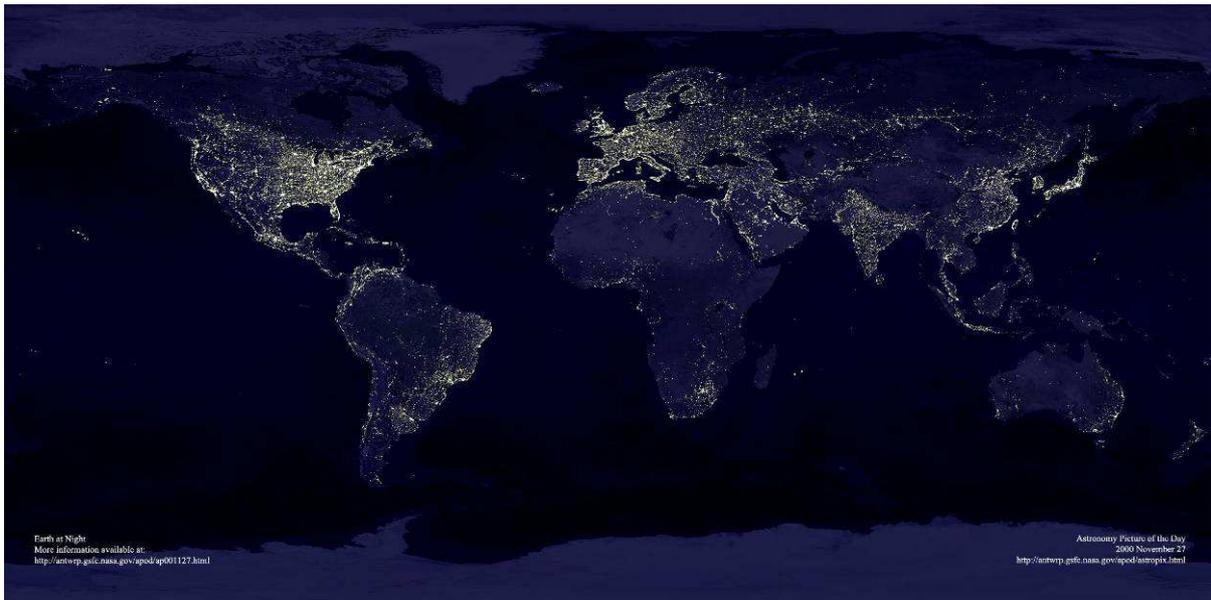


Image satellite de la Terre, montrant la pollution lumineuse dans trois zones principales : l'Amérique du nord, l'Europe et le Japon. © NASA



Puissance

En mathématique, le symbole « puissance » s'écrit au-dessus d'un terme ou d'une expression. En LSF, ce symbole graphique est reproduit dans l'espace. C'est ainsi que 10^3 se représente par le signe DIX suivi du signe TROIS placé plus haut. On réalise ensuite le signe CHOSE DE PETITE EPAISSEUR (index et pouce rapprochés l'un de l'autre) à l'endroit où l'on vient de placer TROIS.

La puissance d'un nombre ou d'une expression indique combien de fois ce nombre ou cette expression doivent être multipliés par eux-mêmes. Ainsi la « puissance 2 » de a , que l'on appelle aussi son **carré**, est le nombre x tel que $a \times a = x$ ou encore $a^2 = x$.

La « puissance 3 » de b que l'on appelle son **cube** est le nombre y tel que $b \times b \times b = y$ ou encore $b^3 = y$.

Le carré de 2 est donc 4, le cube de 3 est 27, etc.

En astronomie, les nombres sont souvent immenses : il est donc très pratique de les noter au moyen des puissances. Ainsi mille milliards de km (1 000 000 000 000 km) s'écrit 10^{12} km.

Surfaces et volumes en LSF

Une surface ou un volume s'expriment en LSF en précisant d'abord qu'il s'agit d'une surface ou d'un volume, puis en indiquant la valeur sans utiliser les puissances.

Pour un cratère de 600 km^2 , on signera successivement CRATERE + SURFACE + 600 + KM.

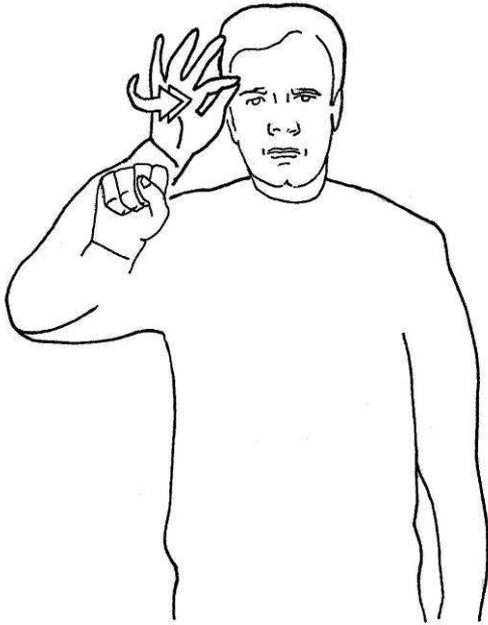
Pour un astéroïde de 18 km^3 , on signera de même ASTEROÏDE + VOLUME + 18 + KM.

Le fait d'avoir précisé initialement que l'on parle d'une surface ou d'un volume rend inutile l'emploi de km^2 ou de km^3 : le signe KILOMETRE suffit.

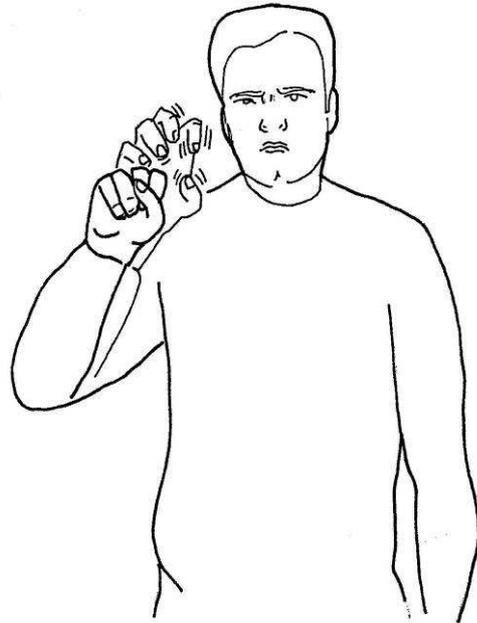


Pulsar

Le signe PULSAR est formé du signe ETOILE suivi du signe CLIGNOTEMENT. Pour l'étymologie de ETOILE, voir l'entrée *Etoile-généralités*.



ETOILE



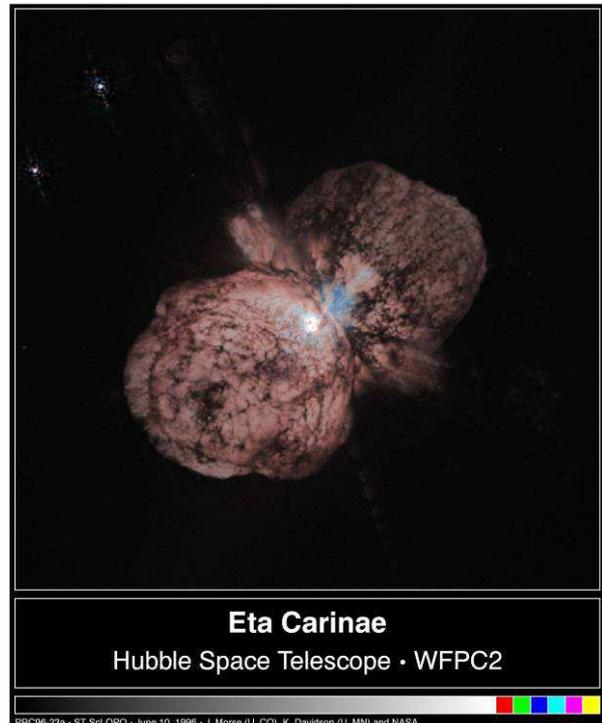
CLIGNOTEMENT

Mots et expressions associés: Année-lumière - Astronome - Diamètre - Electron - Etoile (type) - Neutron - Nucléaire (réactions) - Proton - Soleil - Supernova.

L'entrée *Supernova* décrit comment une étoile massive finit son existence par une explosion spectaculaire. Une telle étoile, dont la masse est au moins trente fois supérieure à celle du Soleil, devient une très brillante supernova éjectant l'essentiel de sa matière dans l'espace, tandis que la matière centrale de l'étoile s'effondre sur elle-même. Les protons et les électrons fusionnent alors pour former des neutrons (voir l'entrée *Nucléaire-réaction*). L'étoile n'a plus qu'un diamètre d'environ 19 km avec une densité telle qu'un dé à coudre de matière peut peser plusieurs dizaines de tonnes : c'est une **étoile à neutrons**.

L'étoile η de la constellation de la Carène dans l'hémisphère sud est distante de 8 000 années-lumière. Elle avait environ 100 fois la masse du Soleil, et a explosé en 1843 en devenant une supernova.

© NASA/HST



Au cours de ce mouvement d'effondrement, l'étoile se met à tourner sur elle-même de plus en plus rapidement, atteignant plusieurs dizaines de tours par seconde. Sous l'action du champ magnétique, elle émet un signal en forme de pinceau, comme le fait un phare pour les bateaux. Cette pulsation est à l'origine du nom **pulsar**, contraction de l'expression anglaise « pulsating star » (étoile vibrante). Le premier pulsar a été découvert en 1967, et la régularité de ses signaux ont conduit les astronomes à penser à cette époque qu'ils pouvaient provenir d'une civilisation lointaine.

Image composite visible et rayon X du centre de la supernova du Crabe montrant le gaz en tourbillons, et le rayonnement du pulsar. © NASA



Quasar

En référence à ses petites dimensions et à sa formidable énergie de rayonnement, un quasar se représente par le signe NOYAU suivi du signe PUISSANT réalisé avec une grande ampleur. Avec les mains en cornes, le signe PUISSANT réfère aux défenses d'animaux réputés pour leur force, sanglier ou éléphant.



Mots et expressions associés: Année-lumière - Astronome - Electron - Etoile - Galaxie - Radiotélescope - Spectroscopie - Système solaire - Terre - Trou noir - Univers.

Dans les années 1960, quand les radiotélescopes deviennent assez sensibles pour détecter des émissions radio venant des profondeurs de l'univers, les astronomes associent ces émissions avec des étoiles, des galaxies, etc. Cependant, bon nombre de ces sources ne correspondent pas à des objets clairement identifiés. Par exemple, une puissante source dans la constellation de la Vierge, cataloguée sous le matricule 3C273, se présente sous la forme d'une petite étoile bleue pourvue d'un curieux jet rectiligne. Grâce à la spectroscopie, les astronomes constatent que ces émissions proviennent de sources extrêmement lointaines auxquelles ils donnent, par contraction de l'expression anglaise *quasi-stellar radio source*, « source radio ressemblant à une étoile », le nom de **quasar**.

L'étude du décalage des raies spectrales du quasar 3C273 (voir l'entrée *Spectre*) indique que celui-ci se trouve à 1,85 milliard d'années-lumière de la Terre ! Malgré sa petite dimension, il s'agit donc d'un objet possédant une énorme puissance de rayonnement dans le domaine radio, pour un aspect optique presque ponctuel.



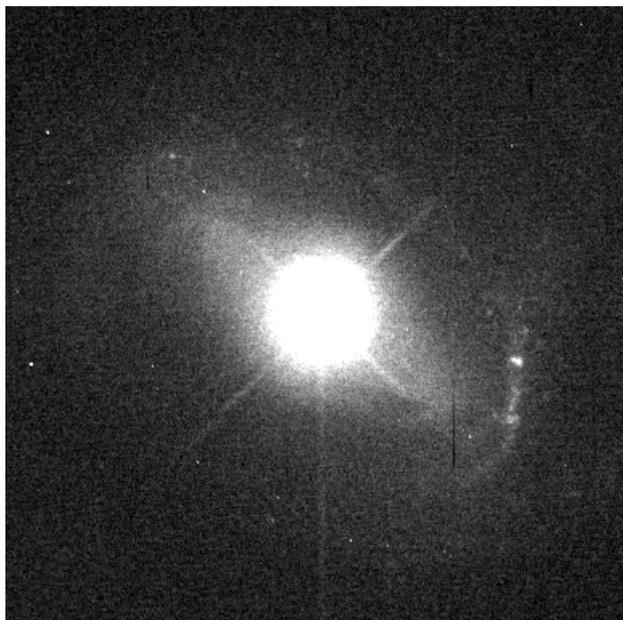
Le quasar 3C273 dans la constellation de la Vierge. © NASA/HST

On connaît aujourd'hui plusieurs milliers de quasars dont les distances atteignent plusieurs milliards d'années-lumière : autrement dit, la lumière qui arrive aujourd'hui sur la Terre est partie avant même que celle-ci ne se soit formée.

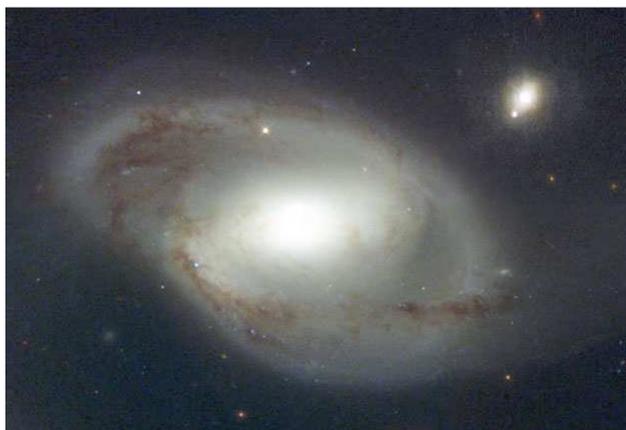
L'émission radio des quasars est un **rayonnement synchrotron** : ce sont des électrons qui décrivent une trajectoire en spirale autour des lignes de force d'un champ magnétique ; on observe ainsi des jets très fins sur des centaines d'années-lumière.

Un quasar est en général hébergé au centre d'une galaxie de bonne taille. Il rayonne parfois à lui seul plus que mille galaxies analogues à la nôtre, dans un volume n'excédant pas celui du Système solaire ! Son rayonnement interagit avec les régions centrales de la galaxie en provoquant des mouvements de matière à des vitesses de quelques milliers ou quelques dizaines de milliers de kilomètres par seconde. D'après les travaux reposant sur des observations à haute résolution faites au télescope, le centre d'un quasar serait occupé par un trou noir extrêmement massif, et ce que nous voyons est le rayonnement émis par la matière tombant dans le trou noir.

Les quasars restent des objets mystérieux. Les astronomes s'interrogent sur leur formation, sachant qu'ils étaient cinquante fois plus nombreux, il y a cinq ou six milliards d'années ; on en observe cependant à toutes les époques de l'histoire de l'univers. Les simulations sur ordinateur montrent que des collisions entre les galaxies peuvent conduire, en plusieurs centaines de millions d'années, à leur fusion complète, induisant de très fortes interactions du gaz central, à l'origine de noyaux extrêmement actifs dont les quasars seraient issus.



Un quasar brillant au sein d'une galaxie. © NASA/HST



Un quasar à proximité (en haut à droite) de la galaxie NGC4319. © NASA/HST



Racine

En LSF, le signe RACINE reproduit le symbole mathématique de la racine, qui s'écrit $\sqrt{\quad}$. On notera que cette reproduction se fait du point de vue du locuteur ; du point de vue de l'observateur, la forme du symbole est inversée.



Mots et expressions associés: Longueur d'onde - Spectroscopie.

La racine carrée de x est un nombre a tel que la multiplication de a par lui-même vaut x . Autrement dit, $a \times a = x$ ou encore $a^2 = x$. Inversement, $\sqrt{x} = a$, ou encore: $x^{1/2} = a$.

Il faut remarquer que la racine d'un nombre peut être positive ou négative. Ainsi: $\sqrt{9} = +3$, mais aussi $\sqrt{9} = -3$.

La racine cubique de x est le nombre b tel que $b \times b \times b = x$. Ainsi la racine cubique de 27 est 3. En mathématique, on utilise aussi des racines quatrième, cinquième, etc.

Radiotélescope

Le radiotélescope est représenté par le signe RADIO qui reproduit le maniement des gros boutons des anciens postes de radiodiffusion, suivi d'une stylisation de la forme d'une antenne parabolique orientable.



Mots et expressions associés: Astronome - Diamètre - Etoile - Foyer - Galaxie - Lumière - Onde - Planète - Terre - Télescope - Univers.

Le radiotélescope permet d'observer l'univers dans le domaine des grandes longueurs d'onde. Les différentes composantes de l'univers, planètes, étoiles, galaxies, etc., émettent dans toutes les longueurs d'onde (voir l'entrée *Spectre*), depuis les rayons X que l'atmosphère terrestre arrête jusqu'aux grandes longueurs d'onde, identiques à celle des émetteurs de radio.

Pour pouvoir étudier la nature et l'évolution des différents éléments du cosmos, les astronomes utilisent le télescope pour analyser leur lumière ; les observations radio complètent l'information scientifique nécessaire. C'est pourquoi ils utilisent également des **radiotélescopes**.

Les ondes électromagnétiques en provenance d'une source de l'univers arrivent sur une grande surface concave qui joue le rôle d'un miroir de télescope. Elles sont alors concentrées en un point (on dit qu'elles sont « focalisées »), puis amplifiées et traitées numériquement pour obtenir un signal scientifiquement utilisable.

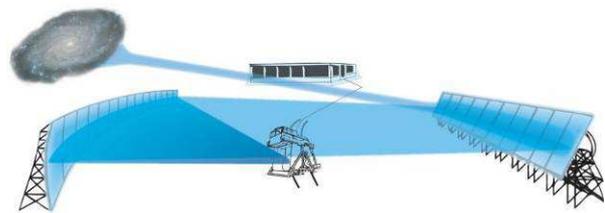
Il est important de préciser que ces ondes radio **n'émettent aucun son**. Pour qu'un signal acoustique puisse se transmettre, il faut une atmosphère environnante, tandis que les émissions provenant du cosmos se propagent dans le vide avant d'être captées sur la Terre.



Le radiotélescope de 30 mètres de l'IRAM installé au Pico Veleta, dans le sud de l'Espagne. © CNRS/INSU

Le radiotélescope de Nançay

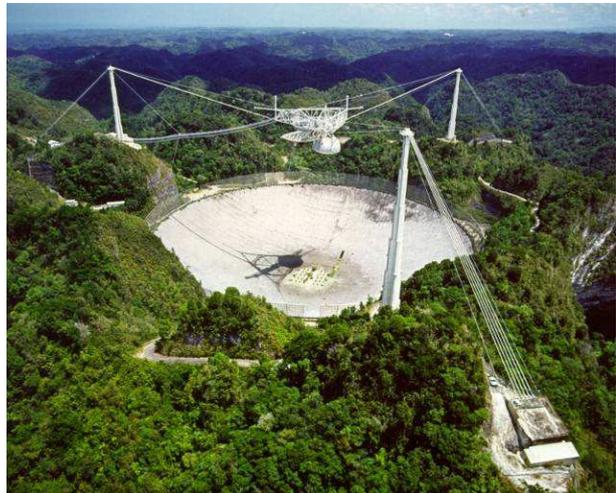
Situé en Sologne près de la ville de Bourges, le radiotélescope de Nançay est rattaché à l'Observatoire de Paris. C'est un des plus grands instruments au monde, constitué d'une antenne mobile de 200 m de longueur, pivotant autour d'un axe horizontal et d'une antenne fixe de 300 m. Un dispositif de réception est monté sur des rails pour recevoir les émissions radio de l'espace, tout en compensant le mouvement de la Terre.



Le radiotélescope de Nançay et sa combinaison d'antennes permettant de recevoir des signaux provenant de l'espace. © Observatoire de Paris.

Le radiotélescope d'Arecibo

Dans l'île de Porto-Rico, les scientifiques ont installé un radiotélescope en utilisant un ancien cratère de volcan éteint. C'est le radiotélescope d'Arecibo, dont le diamètre est de 305 m.

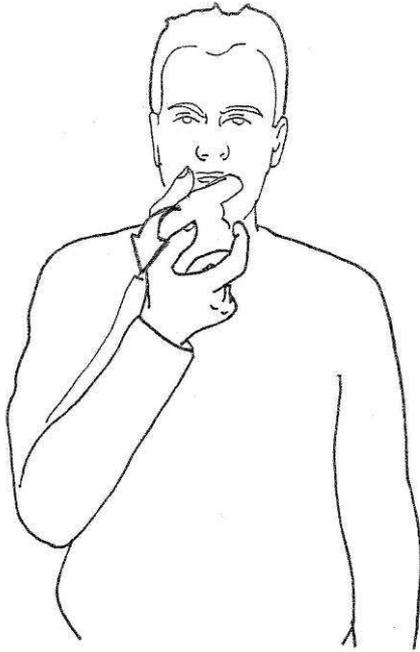


Le radiotélescope d'Arecibo, dans l'île de Porto-Rico. © NASA/JPL

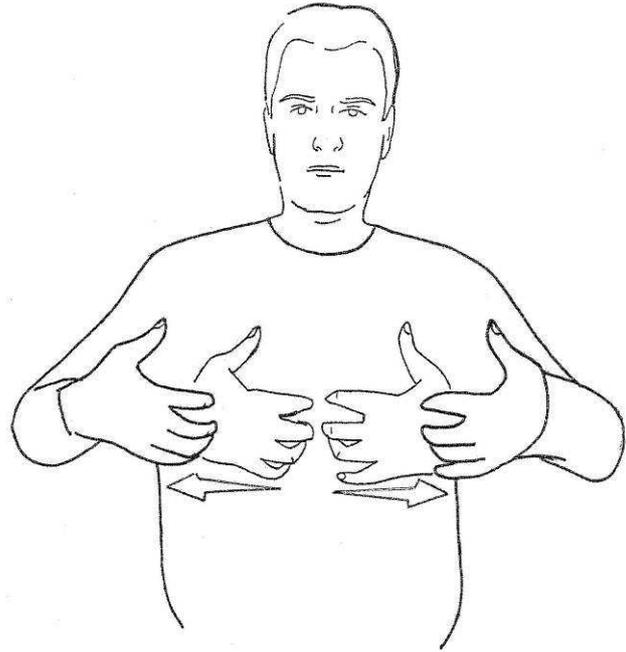


Relativité

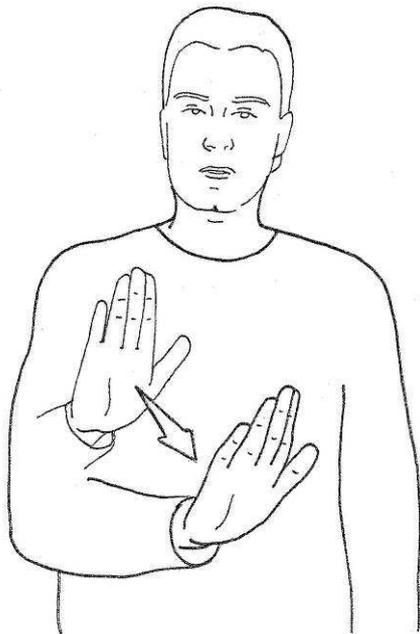
La théorie de la relativité est désignée par un composé : LANGUE suivi de SCIENCE et de TYPIQUE. Le premier de ces composants est le signe attribué par les sourds à Einstein, en référence à une célèbre photographie du savant tirant malicieusement la langue. Le signe idiomatique conventionnellement traduit par TYPIQUE a de multiples sens : « c'est à lui, c'est tout lui, c'est typique de lui ». Il est issu de l'ancien signe SON / SA, tel qu'il était en usage au XIX^e siècle. Pour l'étymologie de SCIENCE, voir l'entrée correspondante.



1- EINSTEIN



2- SCIENCE

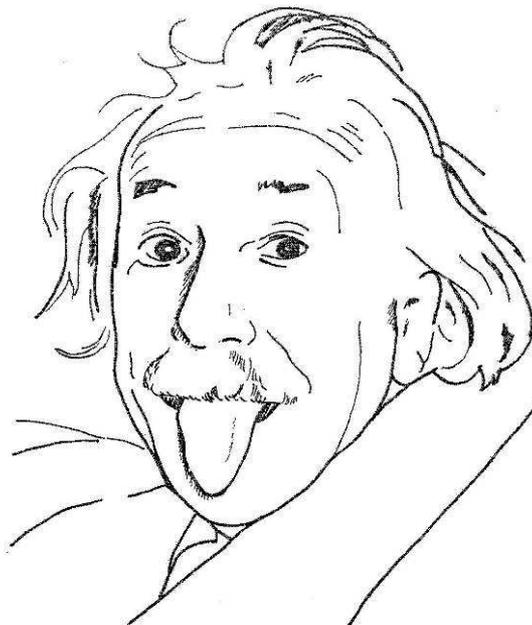


3- TYPIQUE

Mots et expressions associés: Force de gravitation
 - Galaxie - Lumière - Masse - Soleil - Terre -
 Univers (expansion) - Vitesse de la lumière.

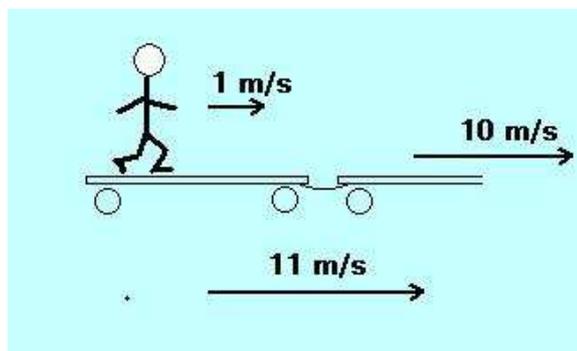


La **théorie de la relativité** est essentiellement attribuable à *Albert Einstein* (1879-1955). C'est un domaine de la physique qui décrit la structure de l'univers en associant quatre coordonnées, trois liées à l'espace et une au temps (voir l'entrée *Univers-expansion*). Cette théorie très complexe repose sur des expériences d'une grande simplicité qui prouvent que la vitesse de la lumière dans le vide est constante : $c = 300\,000$ km/s. Aucune particule ne peut voyager au-delà de cette valeur, aucun effet physique ne peut se propager ni aucun signal ne peut être transmis à une vitesse supérieure à c . Un autre aspect de la relativité consiste dans le choix d'un **référentiel absolu** : la Terre tourne autour du Soleil, celui-ci se déplace dans la Galaxie et cette dernière est soumise simultanément à un mouvement de rotation et à un autre lié à l'expansion de l'univers. **Les résultats d'une mesure changent d'un système à l'autre.**



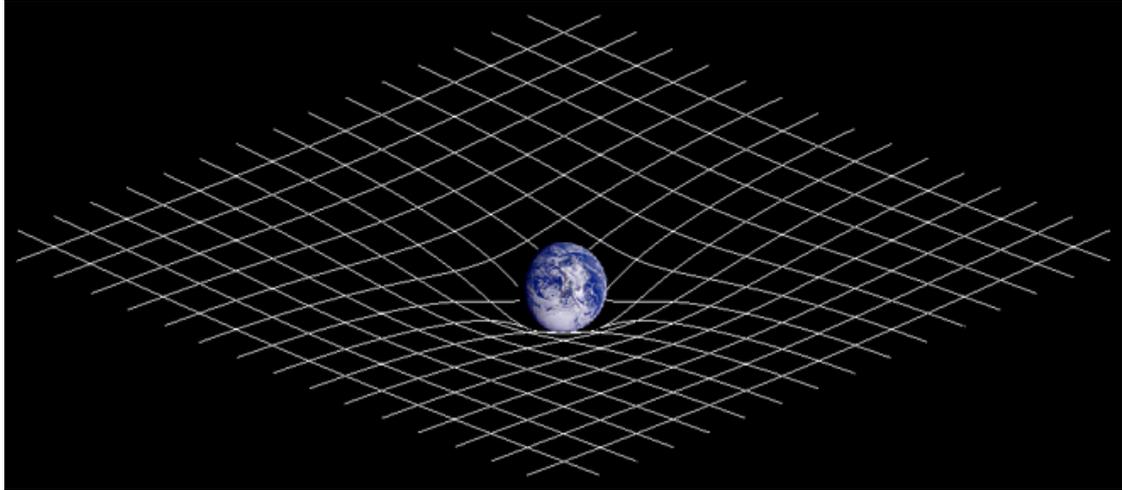
Albert Einstein (dessin: Carole Marion)

Un voyageur marchant dans le wagon d'un train peut mesurer son mouvement aussi bien dans le wagon que par rapport au sol : les résultats sont alors très différents. Un voyageur marche à la vitesse d'un mètre par seconde dans un wagon, mais si celui-ci se déplace à 10 mètres par seconde, alors la vitesse du voyageur est de 11 mètres par seconde pour un témoin immobile au bord des rails. La notion de mouvement d'un corps n'a de sens que **relativement** à un autre. Dans cet exemple, on considère que le temps s'écoule de la même manière pour tous les observateurs : il est supposé être **absolu**.



Déplacement d'un voyageur dans un wagon en marche. Pour un observateur au sol, il se déplace à 11 m/s.

Dans le domaine des rayons lumineux, il en va différemment : **la vitesse de la lumière est indépendante du mouvement de l'observateur**. Si notre voyageur est dans une super fusée se déplaçant à 100 000 km/s le long d'un rayon lumineux, il verra quand même ce rayon se déplacer à la vitesse de la lumière, et non pas à $300\,000 - 100\,000 = 200\,000$ km/s. Pour les très grandes vitesses, le **temps** n'est plus absolu, il est relatif : un voyageur partant dans une fusée lancée à une vitesse proche de celle de la lumière, et revenant sur Terre au bout de six mois, trouverait celle-ci vieillie de deux millions d'années ! Il y a donc une **relativité** des lois de la physique lorsque les vitesses sont très grandes. Ces propriétés entrent dans le cadre de la **relativité restreinte**.



La courbure de l'espace au voisinage d'un corps massif.

Einstein a développé ses travaux pour montrer, par la **relativité générale**, que la géométrie de l'univers a d'étonnantes propriétés. Il a démontré qu'une des quatre interactions, la force de gravitation, est capable de **modifier localement l'espace en le courbant**. Cette étonnante propriété agit sur les rayons lumineux : alors que dans le vide ceux-ci se déplacent en ligne droite, au voisinage d'un corps ayant une masse très importante, **ils se courbent** comme le fait localement l'espace. La relativité s'applique à l'ensemble de l'univers pour décrire sa géométrie. Mais sur la Terre, où les vitesses sont très faibles par rapport à celle de la lumière (homme au pas, voiture, train, avion...), les lois physiques utilisées dans la vie quotidienne sont des simplifications des lois de la relativité. Si nous reprenons l'exemple du voyageur qui se déplace dans un train, la relativité nous indique que sa vitesse, mesurée par un observateur placé au bord des rails, est en réalité très légèrement inférieure à 11 mètres par seconde. Cette différence est imperceptible à notre échelle.



Révolution (orbite)

Le signe REVOLUTION représente deux corps sphériques, dont l'une tourne autour de l'autre. De même que le mot *révolution*, le signe RÉVOLUTION est ordinairement utilisé au sens de « troubles sociaux, changements radicaux ». Contrairement à ce que l'on pourrait croire, utiliser ce même signe avec le sens de « trajectoire d'un astre autour de l'autre » ne relève pas d'une facilité : c'est en réalité le premier sens de ce signe, tel qu'il était utilisé au XIX^e siècle. La période où la LSF se cristallise est celle du triomphe de la mécanique céleste, fondée par *Pierre-Simon de Laplace* (1749-1827) dans *L'Exposition du système du monde* (1796), et popularisée par la découverte de la planète Neptune par *Urbain Le Verrier* (1811-1877) au moyen du seul calcul (1846). Le mot et le signe *révolution*, avec leur sens astronomique, étaient alors enseignés dans les institutions pour enfants sourds.



Mots et expressions associés: Etoile - Exoplanète - Mécanique céleste - Planète - Rotation - Satellite - Soleil.

La **révolution** d'une planète autour du Soleil, d'un satellite autour d'une planète, d'une exoplanète autour d'une étoile, ou encore d'une étoile autour d'une autre mesure le temps nécessaire pour effectuer un tour complet : elle décrit l'**orbite** d'un corps autour de l'autre. Ainsi, la révolution de la Terre autour du Soleil, soit une année terrestre, dure 365 jours, 6 heures, 9 minutes et 9,5 secondes, soit 365,25 jours. Une année de la planète Jupiter dure 11 ans et 315 jours, une année de Saturne 29 ans et 165 jours, etc. Il ne faut pas confondre la révolution avec la rotation qui mesure le temps que met une planète ou une étoile à tourner sur elle-même, autour de son axe.



Rotation

Pour représenter la rotation d'un objet céleste, les deux mains épousent la forme d'un objet sphérique qui pivote. Le même mouvement est répété en trois endroits différents pour indiquer qu'en même temps qu'il tourne sur lui-même, l'astre se déplace dans l'espace.



Mots associés: Étoile - Galaxie - Jupiter - Planète - Satellite - Soleil - Terre - Vénus.

Tous les objets du ciel, planètes, satellites, étoiles ou galaxies, sont en **rotation** : ils tournent sur eux-mêmes autour de leur axe. La journée terrestre est définie par la rotation de la Terre autour de son axe en 23 h 56 mn et 4 s. La vitesse de rotation des différentes planètes varie ; la plus rapide est Jupiter qui tourne sur elle-même en 9 h 53 mn, et la plus lente est Vénus avec 224 j et 17 h. Les autres objets de l'univers sont également en rotation : le Soleil est une étoile qui tourne sur elle-même en 28 jours tandis que notre propre galaxie, la *Voie lactée*, tourne sur elle-même en 240 millions d'années.



Satellite artificiel – Sonde spatiale

Le mouvement circulaire, opéré de concert par les deux mains, représente la révolution d'un satellite artificiel autour de la Terre ou d'une autre planète. L'index et le majeur tendus de chaque main reproduisent la forme des panneaux solaires que l'on peut observer sur l'une des photographies ci-dessous.



Mots et expressions associés: Astronome - Big Bang - Excentricité - Comète - Lune - Mars - Onde (longueur) - Planète - Quasar - Rayons X - Rayonnement cosmologique - Révolution - Satellite naturel - Saturne - Système solaire - Télescope - Terre - Titan - Univers.

Les **satellites artificiels** sont des engins construits par l'homme et lancés dans l'espace pour les mettre en orbite autour de la Terre, d'une planète ou d'un satellite naturel. Ils se distinguent des **sondes spatiales** qui sont lancées dans l'espace pour un voyage sans retour, comme les sondes *Voyager* qui ont quitté la Terre en 1977, sont sorties du Système solaire depuis plusieurs années et se dirigent maintenant vers des étoiles qu'elles atteindront dans 40 000 ans...

Le premier satellite artificiel, *Sputnik 1*, fut lancé par l'URSS en 1957. Depuis cette date, il a été suivi par plusieurs milliers de satellites civils et militaires. Beaucoup de satellites en orbite autour de la Terre sont maintenant inactifs, mais ils continuent de tourner et parfois retombent. L'atmosphère nous protège en les détruisant lors de leur rentrée ; cependant, il demeure toujours un risque lié aux gros satellites ou à ceux qui sont porteurs d'un armement : on ne peut exclure qu'ils tombent sur un lieu habité, ou encore que leur chute déclenche leur armement. Il existe donc une **pollution de l'espace**.

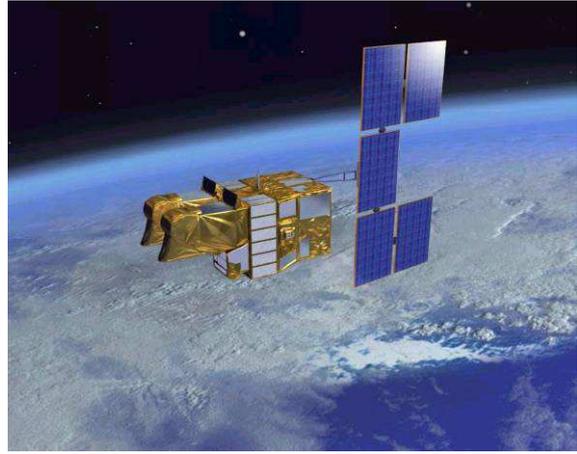


La sonde spatiale Voyager. ©NASA/JPL

Les satellites qui tournent autour de la Terre ont des orbites très variées. Certains semblent fixes au-dessus de nous : ce sont les **satellites géostationnaires** ; d'autres ont des orbites présentant une grande excentricité. D'autres enfin passent à la verticale des pôles : leur orbite est **polaire**.



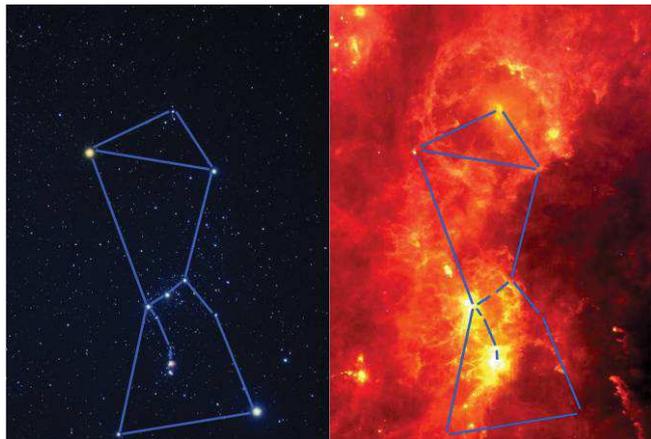
Satellite en orbite autour de la Terre. ©NASA.JPL



Le satellite spot5. © CNES

Les usages des satellites sont également très variés : certains sont envoyés dans des buts scientifiques (observation de la Terre et de l'univers), d'autres sont utilisés pour les télécommunications (téléphone, internet) ou la télédétection (météorologie, ressources naturelles, applications militaires).

Les satellites observent la Terre et l'univers dans toutes les longueurs d'onde, notamment celles qui sont stoppées par l'atmosphère terrestre, comme les rayons X. Grâce à eux, les astronomes peuvent observer le ciel sans avoir à se préoccuper des conditions météo, notamment des nuages. Les scientifiques étudient ainsi le gaz et la poussière des galaxies, le rayonnement cosmologique du Big Bang, les objets très lointains comme les quasars, etc. Ces observations complètent celles qui sont réalisées au sol avec les différents télescopes.



La constellation d'Orion, telle qu'elle apparaît à l'œil nu (à gauche) ou observée dans l'infrarouge par un satellite (à droite). © ESA

Principaux satellites et sondes spatiales

Spoutnik 1. 4 octobre 1957 : premier satellite artificiel en orbite autour de la Terre.

Luna 2. 12 septembre 1959 : première sonde qui percute la Lune.

Vostok 1. 12 avril 1961 : premier vol habité autour de la Terre, avec *Yuri Gagarine*.

Mariner 4. 28 novembre 1964 : premières images du survol de Mars.

Apollo 11. 21 juillet 1969 : *Neil Armstrong* est le premier homme à marcher sur la Lune.

Viking. 1976 : premières images du sol de Mars par les deux sondes *Viking*.

Voyager. 1977 : lancement des deux sondes *Voyager* qui survolent le Système solaire.

Giotto. 1985 : première image du noyau d'une comète (comète de *Halley*).

Télescope spatial. 1990 : lancement du Télescope spatial *Hubble*.

Cassini-Huygens. 2005 : images du sol de Titan, satellite de Saturne.



Saturne

Saturne se représente par une main arrondie qui figure la planète, tandis que l'autre main dessine les contours d'un anneau.



Mots et expressions associés: Equateur - Planète - Satellite - Système solaire.

La **planète Saturne** avec son anneau est sans doute la plus célèbre planète du Système solaire. C'est une véritable merveille, facilement accessible à l'observateur à l'aide d'une simple paire de jumelles. Son immense anneau fut découvert par l'astronome hollandais *Christiaan Huygens* (1629-1695).

Distance : Saturne est à 1 421 179 772 km du Soleil.

Diamètre : 60 270 km ; c'est la deuxième plus grosse planète du Système solaire.

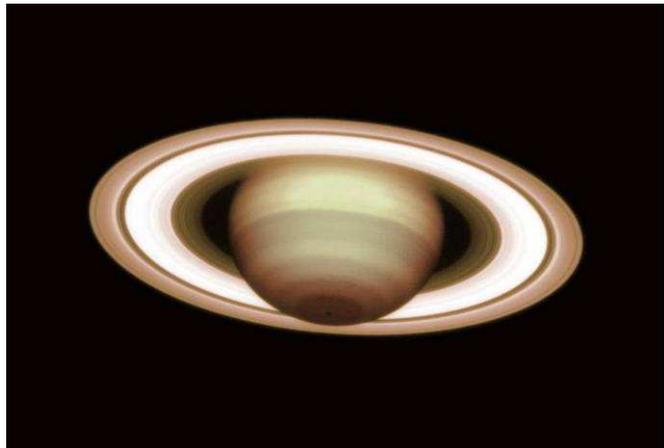
Masse : 95 fois plus importante que celle de la Terre.

Inclinaison : son axe est un peu plus incliné que celui de la Terre : $26,7^\circ$.

Rotation : une journée sur Saturne ne dure que 10 h 47 mn 6 s : c'est pourquoi son disque est aplati de 10 % aux deux pôles.

Révolution : Saturne effectue une révolution autour du Soleil en 29 ans et 165 jours.

Température : -130°C en moyenne.



Saturne vue au télescope. © ESO.

Atmosphère : elle est très épaisse et identique à celle de Jupiter, avec de larges bandes nuageuses qui s'étirent parallèlement à l'équateur. Elle est essentiellement composée d'hydrogène (H_2) à plus de 93 %, d'hélium (He) à plus de 5 %, de méthane (CH_4) à 0,2 %, d'ammoniac (NH_3), d'éthane (C_2H_6) et de vapeur d'eau.

Anneaux : Les neuf anneaux de Saturne s'étendent sur 120 000 km, mais ils n'ont qu'un kilomètre d'épaisseur en moyenne. Ils sont constitués de cailloux et de roches de toutes les tailles, ainsi que de blocs de glace. Ils sont séparés par des zones vides, comme la **division de Cassini** qui est facilement visible avec un petit télescope.

Satellites : Saturne est accompagnée d'une soixantaine de satellites, dont les principaux ont été nommés *Mimas*, *Encelade*, *Téthys*, *Dioné*, *Rhée*, *Titan*, *Hypérion*, *Japet* et *Phoebé*. Le satellite *Titan*, plus gros que la Lune, est aussi le plus gros du Système solaire ; il est facilement visible avec un petit télescope. Ses caractéristiques sont les suivantes:

Nom	Diamètre (km)	Distance à la planète (km)	Durée de la révolution	Découverte
<i>Titan</i>	5 150	1 223 000	15 j 22 h 42 mn	Huygens (1655)



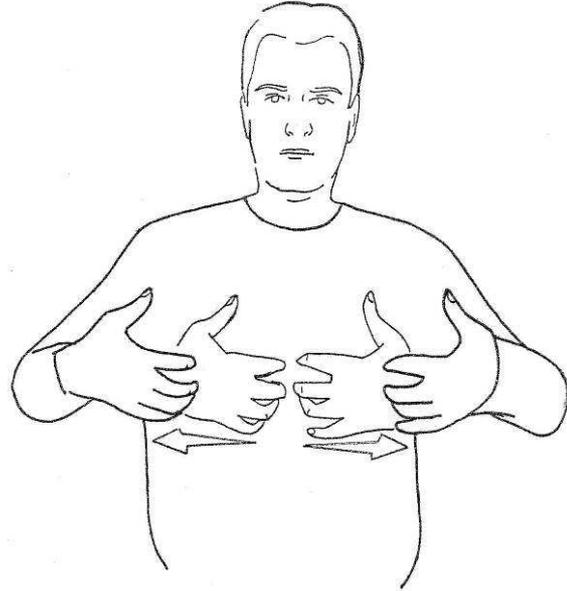
Les astronomes ont observé une épaisse atmosphère autour de Titan, composée d'azote (N_2) en majorité (95 %), mais aussi de méthane (CH_4) et de composés organiques plus complexes, comme l'éthane (C_2H_6), l'acétylène (C_2H_2) ou l'éthylène (C_2H_4). Ces composés indiquent qu'une forme de vie pourrait exister sur Titan, l'atmosphère étant assez épaisse pour maintenir une température suffisante par un effet de serre. C'est dans le but d'en apprendre davantage que la sonde *Cassini-Huygens* fut lancée de la Terre le 15 octobre 1997. Après un voyage de sept années, le module *Huygens* s'est posé en douceur sur Titan le 14 janvier 2005. Les images prises pendant la descente et après l'atterrissage montrent des régions solides formées de dunes, identiques à des dunes de sable, et de grands lacs de méthane liquide. Aucune forme de vie n'a été détectée à ce jour.

Le sol de Titan vu par le module Huygens. © NASA/JPL



Science

Le signe SCIENCE représente la cage thoracique, telle que les enfants sourds pouvaient la voir dessinée dans leurs livres de sciences naturelles.

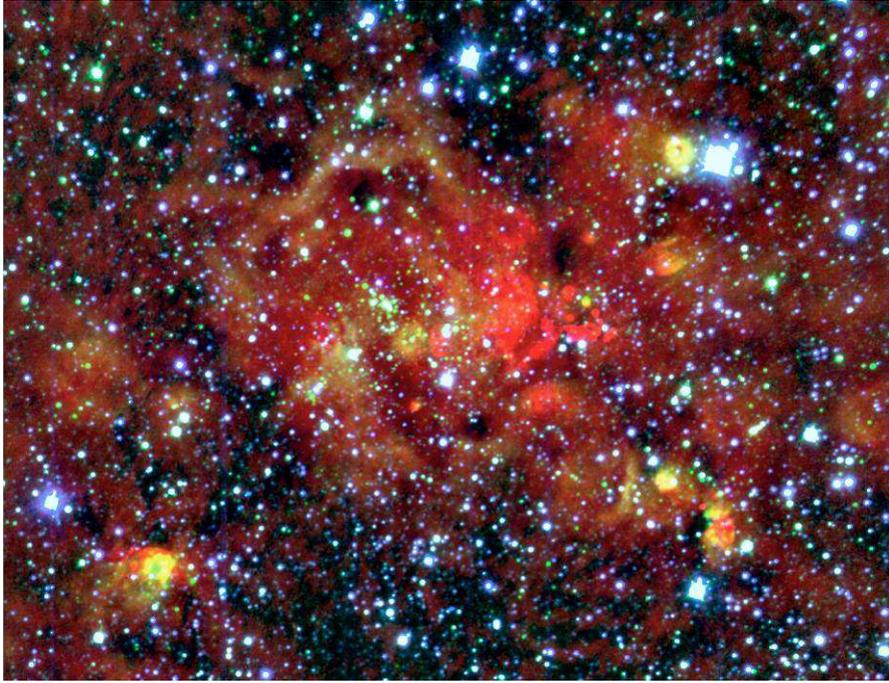


Mots et expressions associés: Astronomie - Longueur d'onde - Terre - Univers.

Le mot **science** provient du latin *scientia* qui signifie « connaissance ». La science regroupe toutes les activités qui nous permettent de connaître par l'expérience le monde et l'univers qui nous entourent, leur passé, leur présent et leur futur.

Au Moyen-âge, les premières universités enseignaient principalement des disciplines liées aux « sciences humaines » : la grammaire, la dialectique, la rhétorique, etc. Elles ont été progressivement remplacées par un enseignement hérité des Grecs et des arabes, mettant en valeur les mathématiques, la géométrie et l'astronomie. Pour les savants, ces disciplines permettent de décrire la réalité, que ce soit sur la Terre ou dans l'espace en effectuant toutes sortes de mesures et d'analyses. Aujourd'hui, la compréhension de l'univers qui nous entoure fait appel à de nombreux domaines de la science. L'astronomie permet l'observation dans les différentes longueurs d'onde des corps célestes, la physique de comprendre leurs mouvements, la chimie de connaître leur composition et leur évolution. Des disciplines comme la biologie nous renseignent sur l'évolution du vivant et la possibilité de vie au-delà de la Terre.

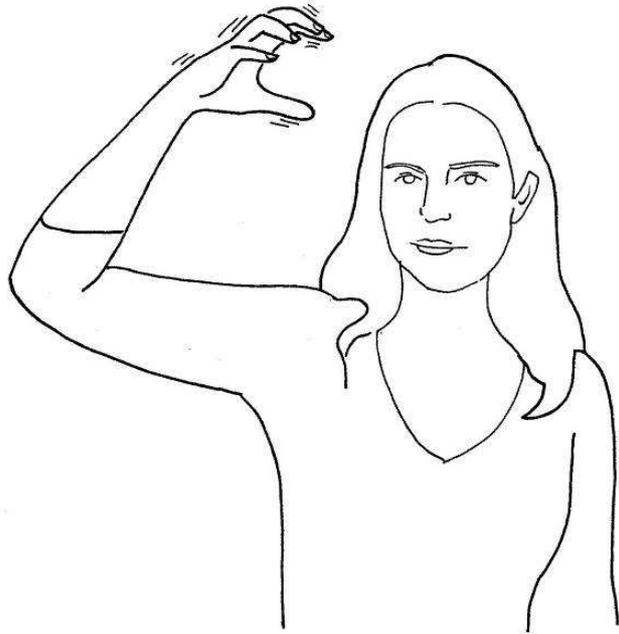




Une région de la Voie lactée composée d'étoiles et de gaz et de poussière, dont l'étude fait appel à différents domaines de la science. © ESO

Soleil

Le Soleil se représente par une main qui reproduit la forme d'un objet sphérique, placée en hauteur et animée de petites oscillations symbolisant la lumière et la chaleur qu'il émet.



Mots et expressions associés: Année-lumière - Etoile - Galaxie - Géante rouge - Magnitude absolue - Magnitude visuelle - Mercure - Naine blanche - Réaction nucléaire - Système solaire - Type spectral - Unité astronomique.

Le Soleil a toujours tenu une place très importante dans les différentes civilisations. Dans l'Antiquité, il était considéré comme un dieu : *Râ* pour les Égyptiens, *Belenos* pour les Gaulois, *Apollon* pour les Grecs, *Pachacamac* pour les Indiens d'Amérique du sud, *Rha* pour les Polynésiens. Le roi Louis XIV est le Roi-Soleil tandis que la tradition japonaise fait descendre la famille impériale d'*Amaterasu*, la déesse du Soleil. Les travaux sur l'évolution de la Terre ont montré que sans le Soleil, le vivant n'aurait pas pu apparaître à sa surface.

Le Soleil est l'étoile la plus proche de la Terre.

Distance : il se situe à une distance moyenne de 149 597 870 km de la Terre, soit une unité astronomique.

Diamètre moyen : 1 392 000 km.

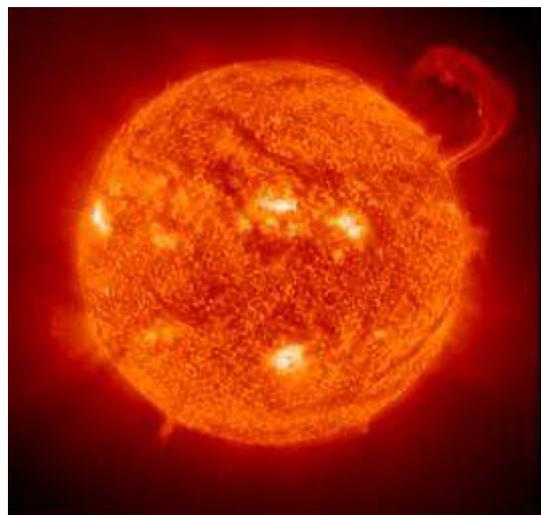
Inclinaison : son axe est très légèrement incliné d'un angle de $7^{\circ} 15'$.

Rotation : le Soleil étant constitué de gaz, l'équateur tourne plus vite que les pôles. La rotation moyenne est de 27 jours 7 heures.

Magnitude : vu de la Terre, le Soleil est extraordinairement brillant : sa magnitude visuelle est $-26,73$, tandis que sa magnitude absolue est de $5,3$.

Température : la température moyenne à la surface est de $5\,800^{\circ}\text{C}$; au centre, elle atteint quinze millions de degrés. Le Soleil est une étoile naine de type spectral G2, d'où sa couleur jaune.

Masse : 2×10^{30} kg (2 suivi de trente zéros !).

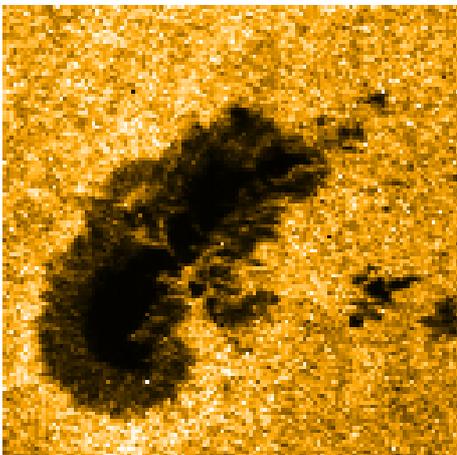


Le Soleil et ses éruptions. © NASA/JPL

Le Soleil est une des 200 milliards d'étoiles qui peuplent notre Galaxie. Il est situé à environ 30 000 années-lumière de son centre et à 50 années-lumière de son plan. Il effectue une révolution autour du centre de la Galaxie en 240 millions d'années, à la vitesse de 220 km/s.

Atmosphère : le Soleil est composé d'environ 75 % d'hydrogène et de 25 % d'hélium. On trouve également des traces de toutes sortes d'éléments : fer, magnésium, soufre, carbone, etc. Le Soleil brille depuis sa formation, il y a 4,6 milliards d'années, sa source d'énergie étant entretenue par le cycle des réactions nucléaires qui se produisent dans ses régions centrales. A chaque seconde, plusieurs millions de tonnes d'hydrogène sont transformés en hélium en dégageant une grande quantité d'énergie qui remonte à la surface de Soleil pour être projetée sous forme de lumière et de particules dans toutes les directions. La Terre bénéficie de cette source d'énergie, qui apporte la chaleur et la lumière sans lesquelles la vie serait impossible.

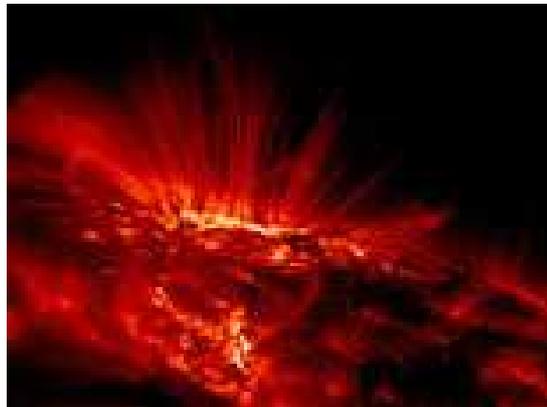
La structure du Soleil comprend trois zones. **Le noyau** est la région où se déroulent les réactions nucléaires ; il a un rayon d'environ 140 000 km, et la température au centre atteint quinze millions de degrés. La **zone convective** a 490 000 km d'épaisseur : la matière évacue la chaleur vers l'extérieur. Enfin, la **photosphère** est la surface du Soleil, d'une épaisseur d'environ 400 km. C'est elle qui est visible depuis la Terre. Elle est formée de cellules ressemblant à d'immenses grains de riz ; c'est aussi là que se forment les taches solaires.



Groupe de taches solaires. © Observatoire de Paris



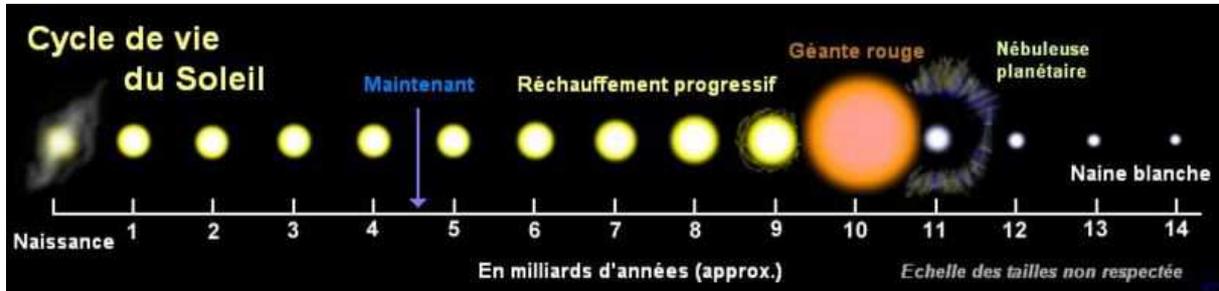
Jets de matière à la surface du Soleil ; une partie retombe tandis que le reste est éjecté dans l'espace, apportant chaleur et lumière. © NASA/JPL



La surface du Soleil ou « photosphère ». C'est sur cette mince couche, visible de la Terre, que se forment les taches. © NASA/JPL

Les **taches solaires** ont été observées dès le XVII^e siècle. De forme variable, elles peuvent atteindre une taille de 1 500 à 80 000 km et sont visibles en général pendant plusieurs jours. Elles se forment à la manière des cyclones terrestres et sont entretenues par le puissant champ magnétique solaire ; leur température est inférieure de 1 500 à 2 000° à celle qui règne ailleurs à la surface du Soleil. Les astronomes ont constaté que ces taches sont plus nombreuses tous les onze ans environ : c'est le **cycle de l'activité solaire**, dont l'origine reste incertaine ; le prochain maximum aura lieu en 2012.

On observe de nombreuses **éruptions** liées à l'activité du Soleil. Ce sont des jets de particules à haute énergie qui se propagent à grande vitesse dans toutes les directions. Lorsqu'elles arrivent près de la Terre, elles sont capturées par le champ magnétique de notre planète et suivent celui-ci vers le pôle nord, nous protégeant ainsi de leurs effets nocifs. De temps en temps, elles parviennent à exciter l'hydrogène de la vapeur d'eau atmosphérique, provoquant de splendides **aurores boréales** qui illuminent le ciel du Canada et des autres pays nordiques.



L'histoire du Soleil.

Histoire du Soleil

Le Soleil est né avec le Système solaire il y a 4,6 milliards d'années, à partir d'un nuage de gaz qui s'est condensé en augmentant progressivement sa température, jusqu'à ce que celle-ci atteigne quinze millions de degrés dans les régions centrales, permettant aux réactions nucléaires de se déclencher. Jusqu'aujourd'hui, et pour encore quatre milliards d'années, le Soleil n'a cessé de transformer son hydrogène en hélium : à chaque seconde, il dépense l'équivalent en énergie de 9×10^{16} tonnes de dynamite (9 suivi de seize zéros !). Mais les réserves d'hydrogène finiront par s'épuiser, si bien que c'est ensuite l'hélium qui brûlera, se transformant en d'autres éléments, carbone, azote et oxygène. Ces réactions feront monter la température du noyau et le Soleil commencera à se dilater : il deviendra une géante rouge qui atteindra les orbites de Mercure, de Vénus puis de la Terre. Ces planètes seront alors détruites. Environ 250 millions d'années plus tard, le Soleil s'effondrera lentement sur lui-même en éjectant ses couches supérieures, pour devenir une naine blanche de quelques centaines de kilomètres de diamètre. D'ici là, les futures générations devront trouver une nouvelle planète d'accueil.

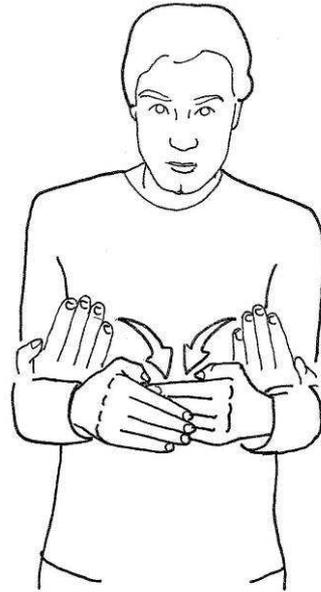
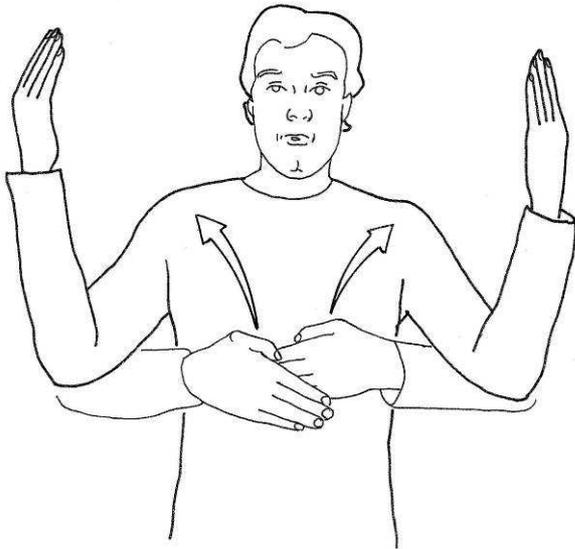
Sans le Soleil, la vie n'aurait pu se développer sur la Terre. **Cependant son rayonnement peut présenter des dangers réels :**

- Il ne faut jamais l'observer directement, pas plus à l'œil nu qu'avec un instrument. Son rayonnement provoque des lésions irréversibles de la rétine conduisant à la cécité.
- Lors des éclipses de Soleil, il faut prendre beaucoup de précautions, en utilisant des filtres efficaces afin de se protéger les yeux.

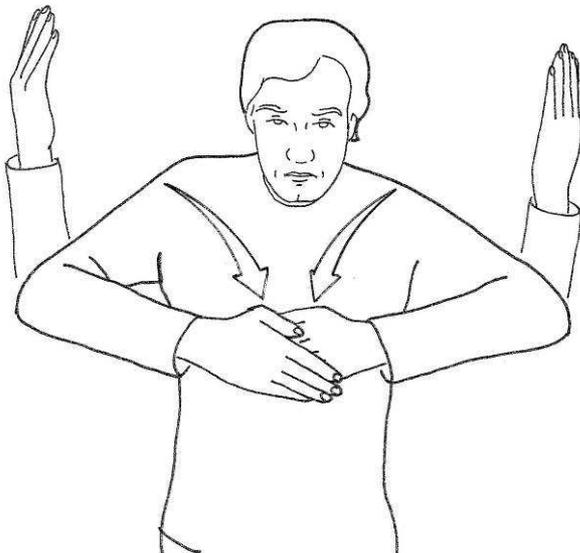
Il est également indispensable de se protéger le corps des rayons du Soleil, car ceux-ci peuvent être nocifs sous certaines conditions, en particulier en été ; si la mode est au bronzage, une partie de ses rayons ultraviolets agit comme des « coups de Soleil », en augmentant les risques de formation de cancers, notamment de la peau et des seins.

Solstice

Les signes JOUR et NUIT sont fondés sur les mêmes métaphores que les expressions françaises « lever du jour » et « tombée de la nuit » : les mains se lèvent en s'écartant (JOUR) ou retombent en se refermant (NUIT). En modulant l'ampleur du mouvement, on produit les signes JOUR LONG, JOUR COURT, NUIT LONGUE, NUIT COURTE. La combinaison de ces quatre composants permet de représenter le solstice d'été, caractérisé par un jour long suivi d'une nuit courte ; à l'inverse, le solstice d'hiver est représenté une longue nuit suivie d'une courte journée.



SOLSTICE D'ETE : JOUR LONG et NUIT COURTE.

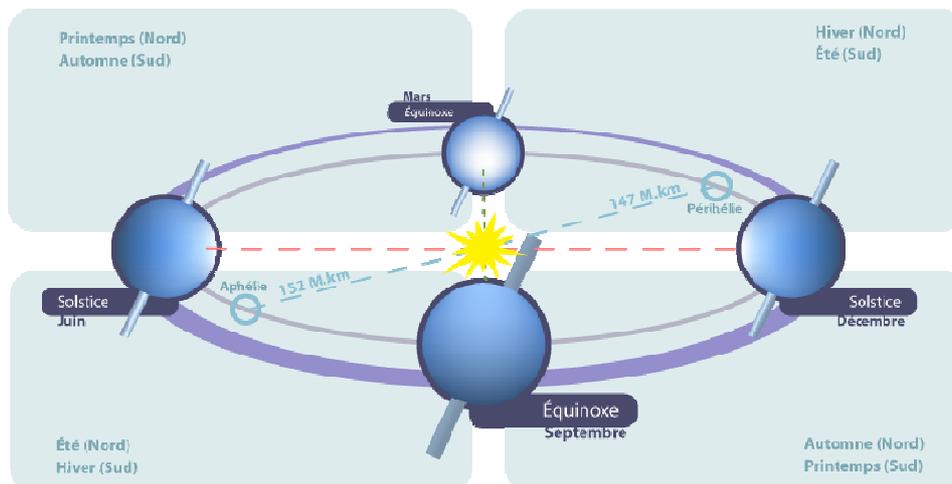


SOLSTICE D'HIVER : NUIT LONGUE et JOUR COURT

Mots et expressions associés: Equinoxe - Saison - Rotation - Révolution - Tropique du Cancer - Tropique du Capricorne.

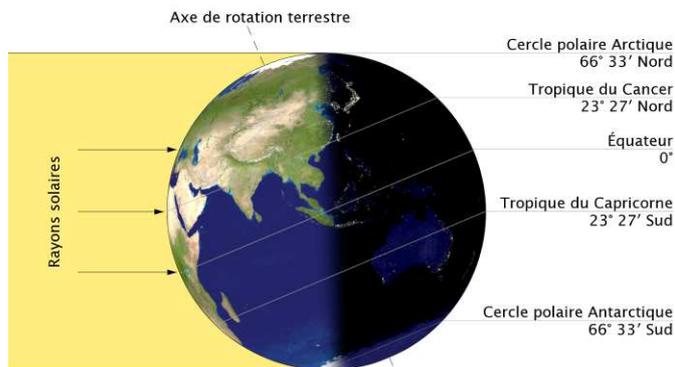


Comme l'axe de rotation de la Terre est incliné d'un angle de $23^{\circ} 27'$, la durée du jour et de la nuit changent tout au long de l'année en tous les points de la Terre. Cette inclinaison est aussi la cause des quatre **saisons** qui n'existeraient pas si l'axe terrestre était perpendiculaire au plan de révolution autour du Soleil. En France, le jour s'allonge en hiver et au printemps de fin décembre à fin juin, et raccourcit en été et en automne de fin juin à fin décembre. Cet effet est inversé dans l'hémisphère austral. Il y a donc des dates où le jour est le plus long et la nuit la plus brève (ou le contraire) : ce sont les **solstices**. Il y a aussi des dates où la durée du jour et de la nuit sont égaux : ce sont les **équinoxes** (voir cette entrée).



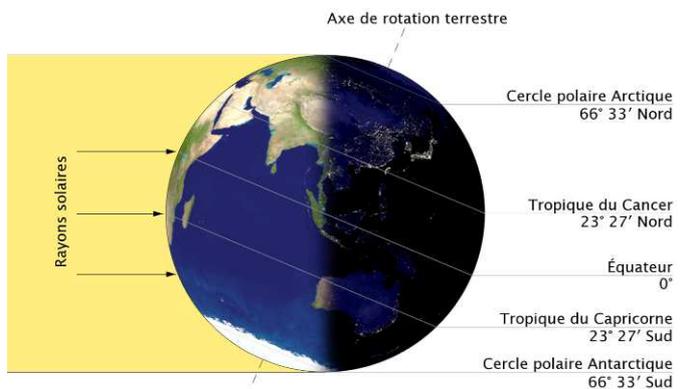
La révolution de la Terre autour du Soleil. © Nicolas Dufresne

Chaque année, suivant la position de l'axe d'inclinaison de la Terre par rapport au Soleil, ce dernier atteint la verticale du **tropique du Cancer** le 21 ou le 22 juin. Six mois plus tard, il passe à la verticale du **tropique du Capricorne** le 21 ou le 22 décembre. En France, la date de juin correspond au passage à l'été : c'est le **solstice d'été**, tandis qu'en décembre c'est le **solstice d'hiver**.



Le solstice d'été en Europe. © NASA

En juin, le Soleil semble monter très haut dans le ciel ; son rayonnement chauffe notre atmosphère plus directement et plus longtemps qu'en hiver, où la brièveté du jour ne lui donne que peu de temps pour apporter sa chaleur ; inversement, ce sont les régions australes qui en bénéficient pendant la même période, l'équilibre entre les deux hémisphères ne se produisant que pendant les équinoxes.



Le solstice d'hiver en Europe. © NASA

Spectre électromagnétique Spectroscopie

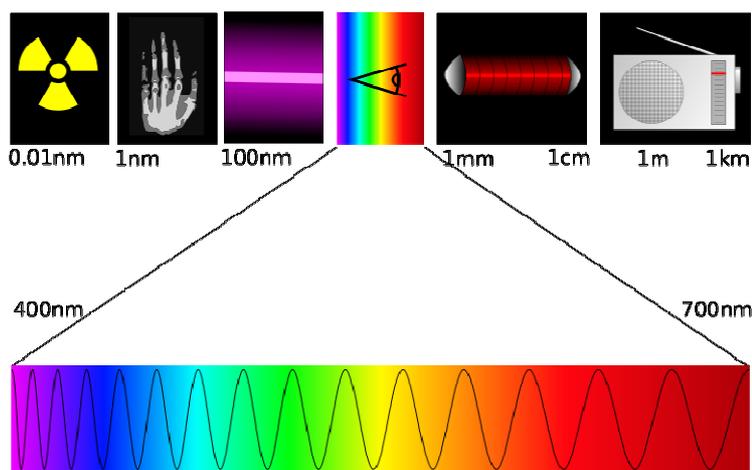
Le signe SPECTROSCOPIE stylise le principe de la décomposition de la lumière par un prisme. Une main penchée figure l'une des faces d'un prisme. L'index de l'autre main représente un rayon lumineux qui, après avoir traversé le prisme, est décomposé en différentes longueurs d'onde symbolisées par les doigts écartés.



Mots et expressions associés: Astronome - Electron - Élément chimique - Etoile - Galaxie - Infrarouge - Longueur d'onde - Lumière - Nucléaire (réaction) - Onde - Planète - Radiotélescope - Rayons IR - Rayons ultraviolets - Rayons X - Soleil - Télescope - Univers - Univers (expansion) - Vitesse de la lumière.

Toutes les composantes de l'univers produisent des émissions qui peuvent aussi bien être observables à l'œil (lumière) que détectables par des instruments spécialisés dans les courtes (rayons X ou ultraviolet) ou les grandes (émissions infrarouges et radio) **longueurs d'onde**. L'ensemble de ces émissions utilise un support appelé **onde**, qui leur permet de voyager jusqu'à la Terre, à la vitesse de la lumière. Par contre, l'onde elle-même ne se déplace pas : lorsqu'on fait vibrer une corde, chaque partie de la corde oscille mais demeure à la même place.

En 1666, *Isaac Newton* (1642-1727) découvre que la lumière du Soleil se décompose en différentes couleurs à l'aide d'un prisme (voir l'entrée *Lumière*). Ces couleurs correspondent à l'émission d'une source lumineuse dans différentes longueurs d'onde. Mais ce domaine accessible à l'œil ne représente qu'une toute petite partie du spectre électromagnétique.



Le spectre électromagnétique, des plus courtes aux plus grandes longueurs d'onde.



Par la suite, l'astronome *William Herschel* (1738-1822) découvre que le Soleil émet aussi un rayonnement chaud, mais invisible : c'est l'**infrarouge (IR)**. Ce même rayonnement nous apporte la chaleur d'un feu de cheminée ou d'un radiateur. D'autres rayonnements sont ensuite découverts, notamment les **rayons X** (*Wilhelm Conrad Röntgen*, 1845-1923), capables de traverser des objets et des tissus vivants, et d'en donner des images de l'intérieur, comme les radiographies du corps humain. Le spectre électromagnétique comprend donc plusieurs domaines spécifiques, chacun ayant des propriétés particulières.

Les rayons X et une partie des rayons ultraviolets en provenance des étoiles et des galaxies sont stoppés par l'atmosphère terrestre ; ils sont étudiés par des satellites en orbite autour de la Terre. Les télescopes observent le rayonnement émis dans le domaine optique et une partie du rayonnement infrarouge à l'aide de caméras adaptées. Les radiotélescopes analysent les émissions correspondant aux longueurs d'onde radio. Ainsi, à chaque domaine du spectre électromagnétique correspond un instrument spécifique, permettant de comprendre la nature et l'évolution des différentes composantes de l'univers.

La spectroscopie

La lumière visible et les émissions dans l'ultraviolet, le visible et l'infrarouge proche peuvent être décomposées à l'aide d'un **spectroscope** pour en analyser les différentes propriétés.

L'arc-en-ciel, un spectroscope élémentaire

Lorsque la lumière du Soleil traverse des gouttes de pluie, celles-ci ont la propriété de la décomposer en une série de bandes colorées, chacune correspondant à une longueur d'onde précise. Cette longueur se mesure en **nanomètres (nm)** avec $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ mètre}$ (ou 0,000000001 mètre).

Le violet a une longueur d'onde d'environ 400 nm, et le rouge 800 nm. Entre les deux, on trouve les principales couleurs, vert, jaune, etc.

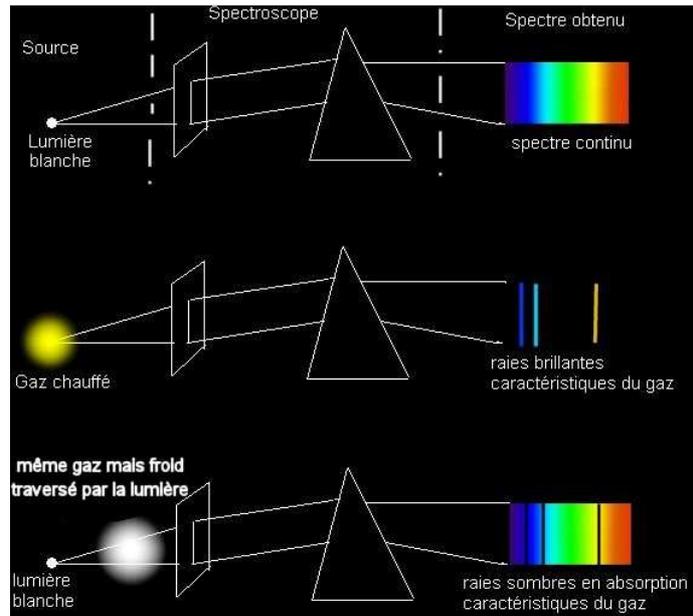
L'arc-en-ciel est en fait un spectre du Soleil, mais dont on ne peut analyser les fins détails fins : c'est pourquoi les astronomes utilisent des spectroscopes.



Arc-en-ciel.



Pour décomposer la lumière, les physiciens ont longtemps utilisé un prisme de verre. Aujourd'hui, les spectrographes contiennent un dispositif extrêmement précis appelé **réseau**. La lumière des planètes, des étoiles et des galaxies contient une très grande quantité d'éléments chimiques, à commencer par l'hydrogène, l'hélium et le carbone, qui contribuent au rayonnement de ces corps lors des réactions nucléaires. Les électrons de ces éléments sont excités par la chaleur et « sautent » en laissant sur le spectre un ensemble de « raies » caractéristiques. Ces raies permettent d'identifier les différents éléments chimiques contenus dans la source lumineuse.



Principe de la spectroscopie. © M.Besnier

L'intensité de ces raies spectrales permet de connaître l'abondance des différents éléments chimiques d'une planète, d'une étoile ou d'une galaxie. Les astronomes ont ainsi montré qu'une étoile est âgée si elle a peu de fer dans son atmosphère ; inversement, elle est jeune si ce dernier est abondant. Une autre propriété des raies spectrales permet de connaître la vitesse de déplacement d'un corps dans l'univers : de même qu'un gendarme mesure avec un radar la vitesse d'un véhicule dont le déplacement provoque un décalage des ondes sonores appelé **effet Doppler-Fizeau** (le klaxon d'une voiture est plus aigu lorsque celle-ci s'approche et plus grave lorsqu'elle s'éloigne), les astronomes mesurent un décalage des ondes lumineuses lorsqu'une source est en mouvement. Si la source s'éloigne, les raies spectrales sont décalées vers les grandes longueurs d'onde, et inversement vers les petites longueurs d'onde lorsque la source se rapproche. C'est un des tests qui ont permis de mettre en évidence la fuite des galaxies due à l'expansion de l'univers. Ainsi, grâce à la spectroscopie, les astronomes peuvent aussi bien connaître les caractéristiques des mouvements d'un corps de l'univers, que sa composition chimique et son évolution au cours du temps.

Supernova

La notion de SUPERNOVA se traduit par le signe NOVA suivi du signe EXPLOSION. Une supernova est donc représentée en LSF comme « une étoile nouvelle qui explose ». Les poings qui s'ouvrent en s'écartant largement représentent une explosion suivie de l'éjection de matières dans l'espace. Pour l'étymologie de NOVA, voir l'entrée correspondante.



NOVA



EXPLOSION

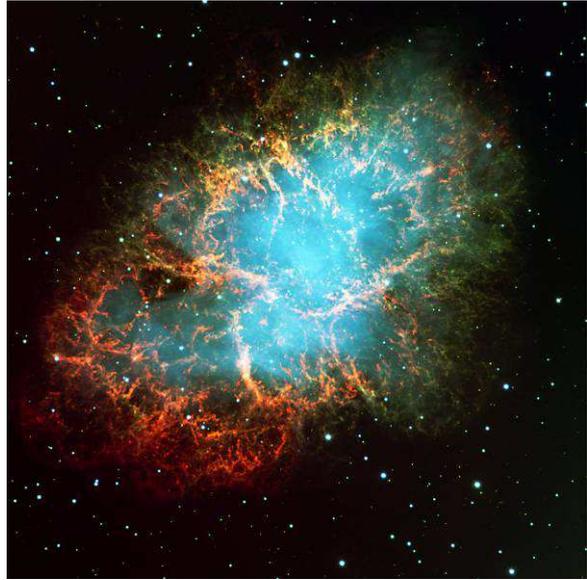
Mots et expressions associés: Année-lumière - Constellation - Distance - Dimension - Etoile (type) - Etoile (évolution) - Nova - Nuage de Magellan - Nucléaire (réactions) - Soleil - Température.

La fin d'existence d'une étoile massive (voir l'entrée *Etoile-type*) est spectaculaire. Une telle étoile, dont la masse est au moins trente fois supérieure à celle du Soleil, devient une très brillante **supernova** (pluriel *supernovae*) qui éjecte l'essentiel de sa matière dans l'espace, tandis que le cœur déstabilisé s'effondre sur lui-même et que la matière atteint une densité énorme de plusieurs dizaines de tonnes par centimètre cube !



Les réactions nucléaires qui transforment l'hydrogène en hélium dans les régions centrales d'une étoile massive lui permettent de survivre près de dix millions d'années en luttant contre son « obésité », lui évitant de s'effondrer sur elle-même sous l'effet de son propre poids. Épuisée par cet effort répété, l'étoile finit cependant par « s'essouffler », tandis que l'hélium démarre de nouvelles réactions d'où vont naître de nouveaux éléments : béryllium, carbone, oxygène, magnésium, etc., jusqu'au fer qui va s'accumuler au centre de l'étoile en élevant sa température entre cinq et dix milliards de degrés.

Cette forte élévation de température provoque une gigantesque explosion de l'étoile, tandis que la matière centrale s'effondre sur elle-même pour donner naissance à une **étoiles à neutrons** puis à un pulsar (voir cette entrée).



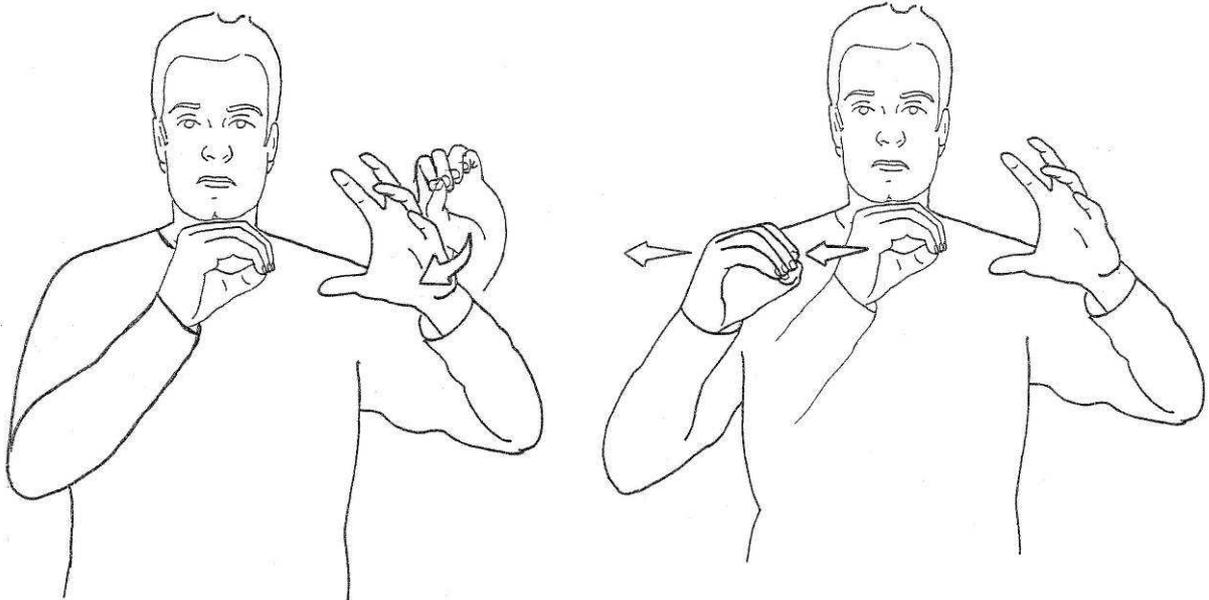
La supernova M 1 « du crabe », restes d'une étoile qui explosa en juillet 1054. © ESO

La **supernova du Crabe** est apparue dans la constellation du Taureau en juillet 1054 avant de disparaître en mai 1056 ; elle était visible en plein jour, bien que sa distance soit de 6 520 années-lumière (A.L) ; aujourd'hui elle a atteint un diamètre de 7,5 A.L. D'autres supernovae ont été observées, notamment en 1572 dans la constellation de Cassiopée et en 1604 dans la constellation d'Ophiuchus. Plus récemment, en 1987, une supernova est apparue dans le Grand Nuage de Magellan, à 168 000 années-lumière de la Terre ; elle était visible à l'œil nu.

L'énergie et le rayonnement dégagés par une supernova sont tels que toute vie se trouvant à moins de quelques centaines d'années-lumière disparaîtrait. Heureusement pour nous, aucune étoile massive ne se trouve près de la Terre. Comme l'éclat des supernovae augmente considérablement lors de l'explosion, les astronomes peuvent en observer jusque dans des galaxies extrêmement lointaines.

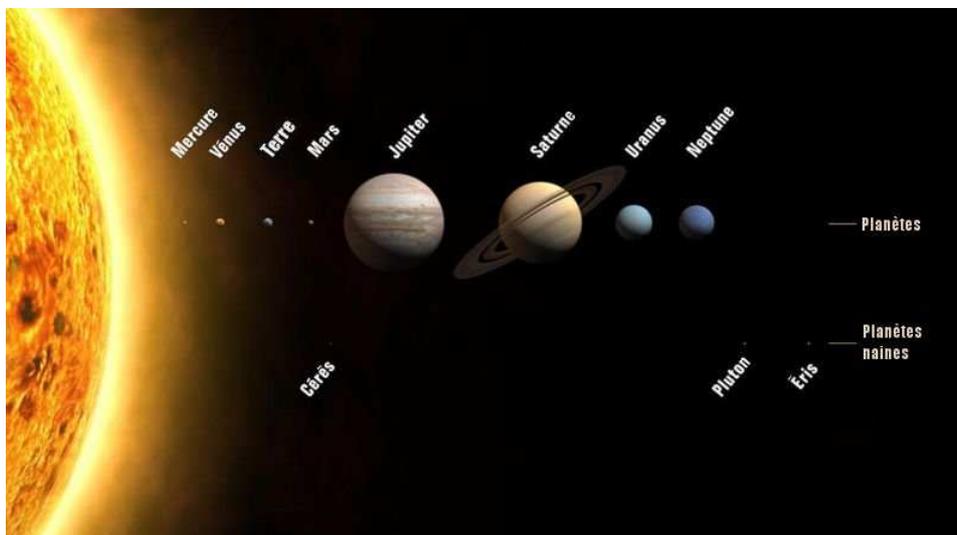
Systeme solaire

Un poing qui s'ouvre représente le Soleil, source lumineuse éclairant les planètes. L'autre main, en forme de O, s'en éloigne avec un petit mouvement d'oscillation pour représenter la succession des planètes. Il est à remarquer que, dans ce contexte, le signe SOLEIL n'a pas le même aspect que quand il est réalisé seul (voir l'entrée *Soleil*).



Mots et expressions associés: Année-lumière - Astéroïde - Comète - Exoplanète - Galaxies - Io - Jupiter - Lune - Mars - Mercure - Météorite - Neptune - Planète - Planétésimal - Pluton - Satellite - Saturne - Soleil - Terre - Titan - Unité Astronomique - Uranus - Vénus.

Le **Système Solaire** est essentiellement composé du Soleil et de huit planètes. L'ordre des planètes en partant du Soleil est : **Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune** ; on peut s'en souvenir avec la phrase: « *Me Voici Tout(e) Mouillé(e), J'ai Suivi Un Nuage* ».

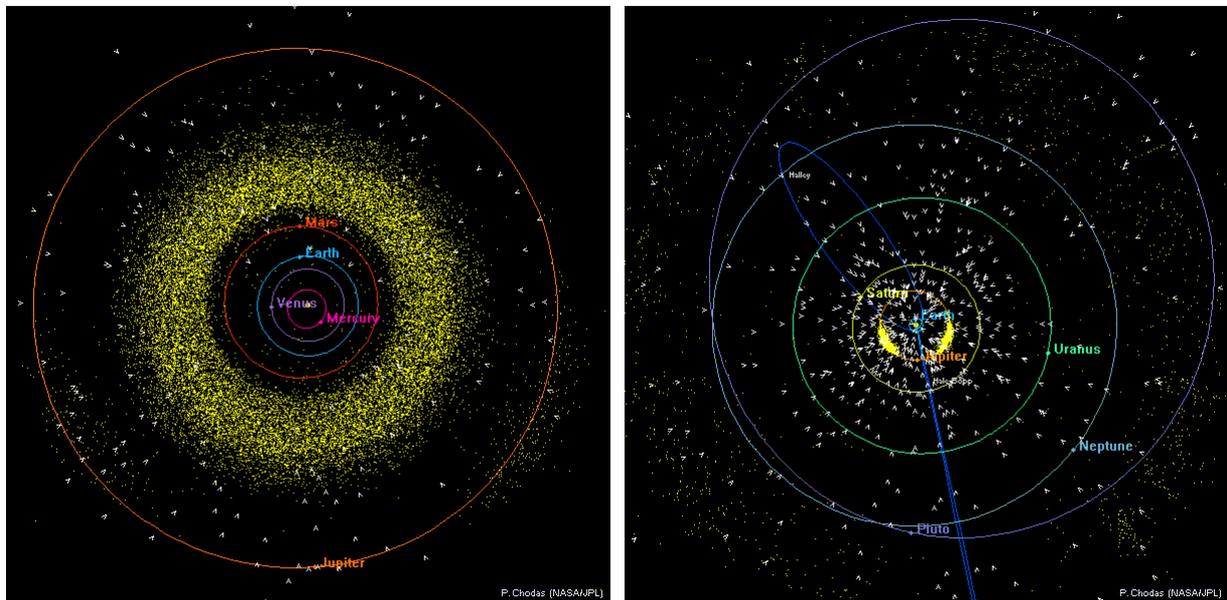


Le Soleil et les planètes. © NASA/JPL

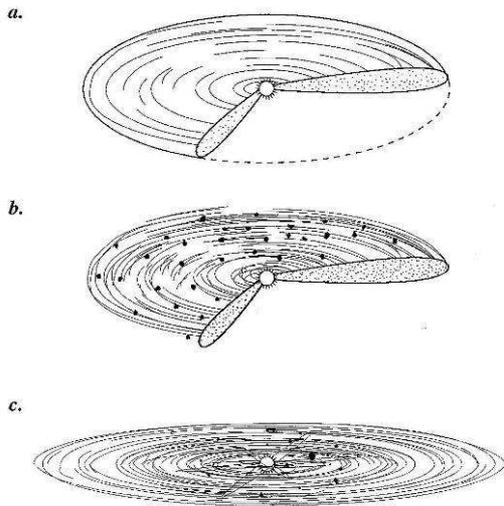
Le Système solaire fait partie de notre Galaxie, où il s'est formé il y a environ 4,5 milliards d'années. Bien qu'il soit immense avec un rayon de plusieurs dizaines de milliards de km, ce n'est pourtant qu'un point minuscule dans la Galaxie. Celle-ci se compose de 200 milliards d'étoiles formant un gigantesque disque de 50 000 années-lumière de rayon. Le Système solaire se trouve à peu près à 32 000 années-lumière de son centre, et effectue une révolution autour du centre de la Galaxie en 240 millions d'années, à la vitesse de 200 km/s.

Les planètes du Système solaires sont toutes différentes. En partant du Soleil, nous trouvons d'abord **quatre planètes de petite taille** : Mercure, Vénus, la Terre (avec la Lune), et Mars (avec deux petits satellites). Ces planètes sont **rocheuses**, et elles ont une **faible gravité** ainsi qu'une **atmosphère très mince** : 100 km d'épaisseur pour la Terre, 150 km pour Vénus, et seulement 50 km pour Mars. Il faut ensuite aller au-delà de 5 unités astronomiques pour trouver les **quatre grosses planètes** : Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Ce sont d'énormes **boules gazeuses très denses**, qui sont toutes accompagnées de **nombreux satellites**, ainsi que d'un **anneau** pour les trois premières. La composition chimique de leur atmosphère liquide est identique, avec de l'hydrogène (H₂) et de l'hélium (He) dans les mêmes proportions que le Soleil. On suppose qu'il y a un noyau rocheux au centre de chaque planète. Les satellites sont très différents, soit recouverts de couches de glace, soit avec des volcans actifs comme sur Io, un des satellites de Jupiter, soit avec une atmosphère comme Titan, le plus gros satellite de Saturne.

Le Système solaire est également constitué de **petites planètes**, comme Pluton et son satellite Charon, Quaoar, Sedna etc., de milliers de **comètes**, de dizaines de milliers d'**astéroïdes** et de **météorites**. Les orbites des planètes autour du Soleil se situent près d'un plan qui est incliné de 7° seulement par rapport à celui de l'équateur solaire. Toutes les planètes effectuent leur révolution dans le même sens que la rotation du Soleil, sur des orbites presque circulaires.



Le Système solaire le 1^{er} Janvier 2008. Les noms des planètes sont donnés en anglais ; on note la ceinture des astéroïdes entre Mars et Jupiter. Les petites flèches correspondent à la position des comètes. © NASA/JPL



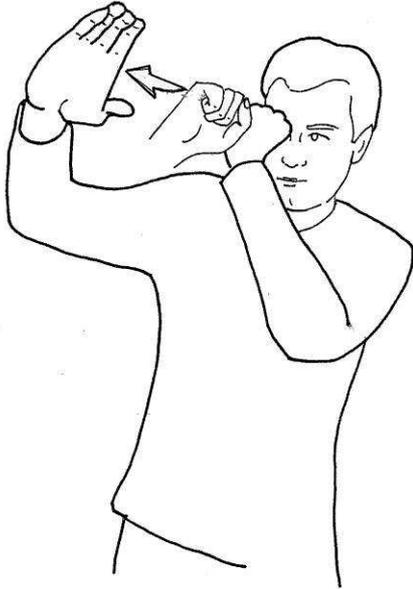
Formation des planètes, (a) disque de gaz et de poussière, (b) planétésimaux et poussière, (c) planètes. © DP/Encyc.Universalis

La formation du Système solaire

Le Soleil et les planètes sont nés en même temps, à partir d'un disque de gaz (a) tournant sur lui-même, dans lequel des bulles de gaz se condensent, chaque bulle se mélangeant à de la poussière pour former un planétésimal ayant environ 100 km de diamètre (b). En entrant en collision, ces planétésimaux s'agglomèrent au cours du temps, pour constituer des objets de plus en plus massifs, aboutissant finalement aux planètes Mercure, Vénus, Terre et Mars, ainsi qu'aux noyaux des planètes gazeuses, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune (c). Ce modèle de formation serait le même partout dans l'espace, et ainsi beaucoup d'étoiles seraient entourées de planètes. Comme la majorité des exoplanètes découvertes depuis 1995 se situent à quelques dizaines d'années-lumière du Soleil, l'étude de leur formation et de leur évolution permettra de vérifier la validité de ce modèle.

Télescope

Le télescope se représente par le signe LUNETTE ASTRONOMIQUE qui figure un instrument d'optique dirigé vers le ciel, suivi du signe MIROIR qui précise la nature de l'instrument. L'ajout du signe SATELLITE permet de désigner les télescopes en orbite autour de la Terre, tel le Télescope spatial.



LUNETTE

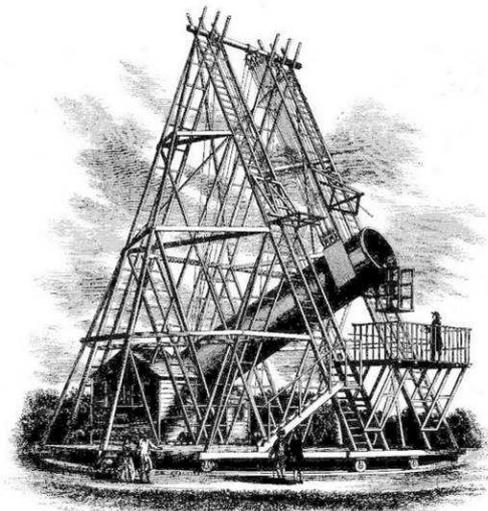


MIROIR

Mots et expressions associés: Diamètre - Lunette astronomique - Monture azimutale - Monture équatoriale - Satellite.

Le mot **télescope** vient du grec *voir loin*. Il désigne un instrument destiné aux observations en astronomie. Il a été inventé après la lunette astronomique, en remplaçant la lentille de l'objectif par un miroir concave. Celui-ci est identique aux petites glaces grossissantes utilisées dans les salles de bain pour mieux voir des détails du corps.

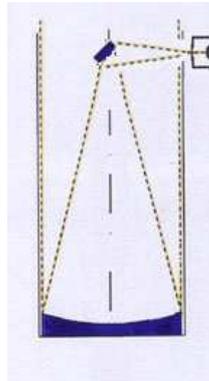
On attribue souvent à *Isaac Newton* (1642-1727) l'invention du télescope. En fait, celui-ci est plus ancien, et résulte des recherches de différents opticiens. Le miroir concave concentre les rayons d'une source céleste en un point appelé **foyer**, comme le fait une loupe, pour être ensuite analysée par toutes sortes d'instruments, caméras, spectrographes, etc. Au cours du temps, les miroirs des télescopes n'ont cessé de grandir, en passant en trois siècles de quelques centimètres de diamètre à plus de huit mètres. On utilise aussi des assemblages de miroirs mis les uns à côté des autres pour



Un des télescopes construits par William Herschel (1738-1822). © DP

construire des instruments de plus en plus grands et performants. On désigne en général les télescopes par le diamètre de leur miroir principal.

Les télescopes comportent différents systèmes optiques, dont les plus courants sont le système **newton** souvent utilisé pour les instruments du commerce, et le système **cassegrain** qui équipe beaucoup de grands télescopes. Ces derniers utilisent également d'autres combinaisons optiques.



Combinaison optique de type newton. On observe sur le côté de l'instrument.



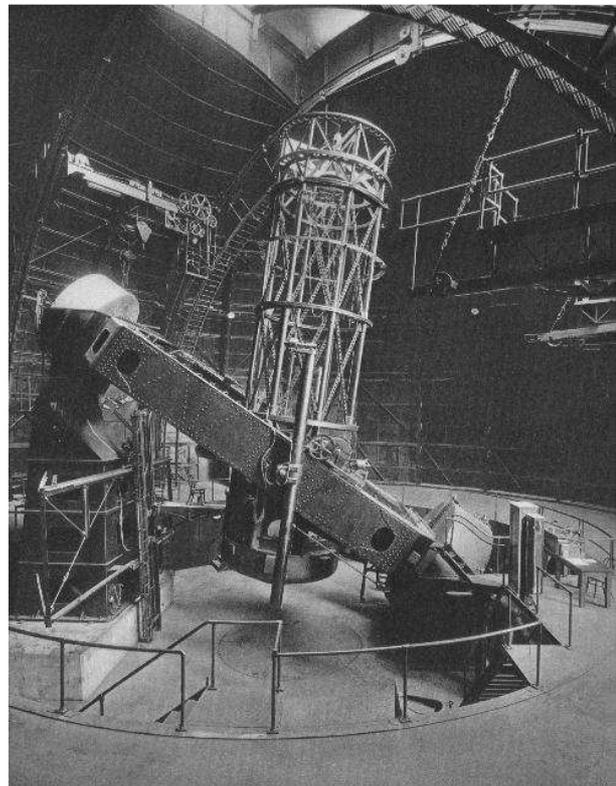
Combinaison optique de type cassegrain. On observe derrière le miroir principal.

© Observatoire de Paris

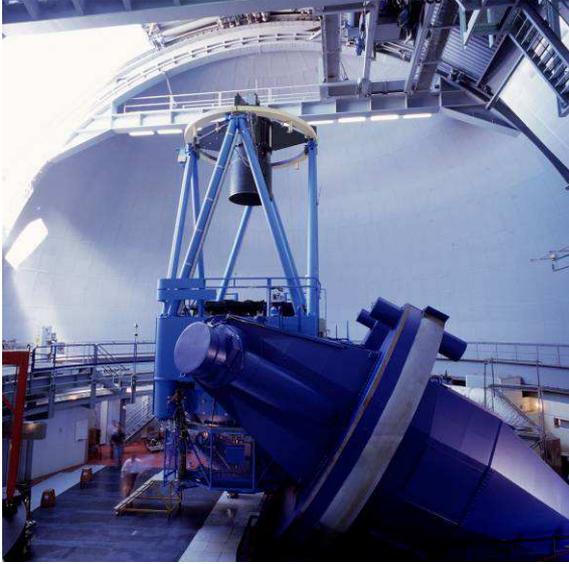
Les télescopes sont montés sur deux axes principaux leur permettant à la fois de pointer dans toutes les directions du ciel, et de compenser le mouvement de rotation de la Terre par l'intermédiaire de moteurs (ce ne sont pas les étoiles et les galaxies qui se déplacent dans le ciel, mais la Terre qui tourne). Ces axes inclinés portent le nom de **monture équatoriale** (voir l'entrée *Lunette astronomique*). Avec leurs deux axes, vertical et horizontal, qui portent le nom de **monture azimutale**, les grands télescopes modernes rattrapent le mouvement de la Terre



L'ancien télescope de 1,20 m de l'observatoire de Paris. © Obs. Paris



Le télescope de 2,50 m de l'observatoire du Mont Wilson (Californie).

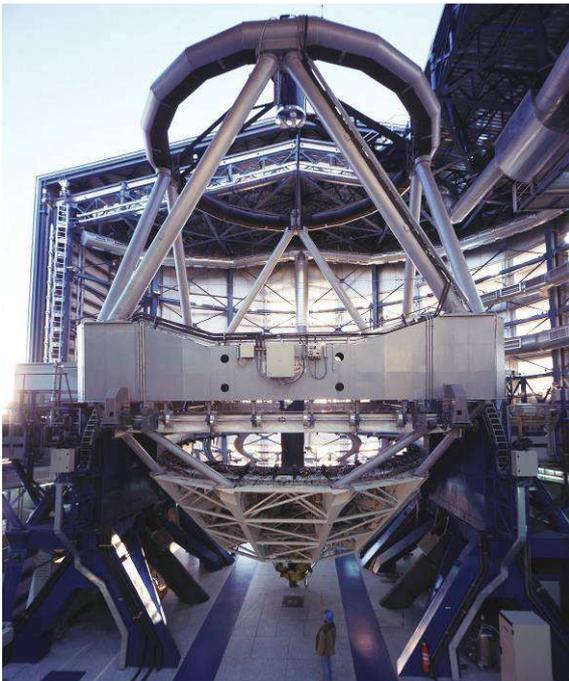


Le télescope de 3,60 m de l'ESO au Chili. Noter l'axe incliné de la monture équatoriale autour de laquelle tourne l'instrument. © ESO

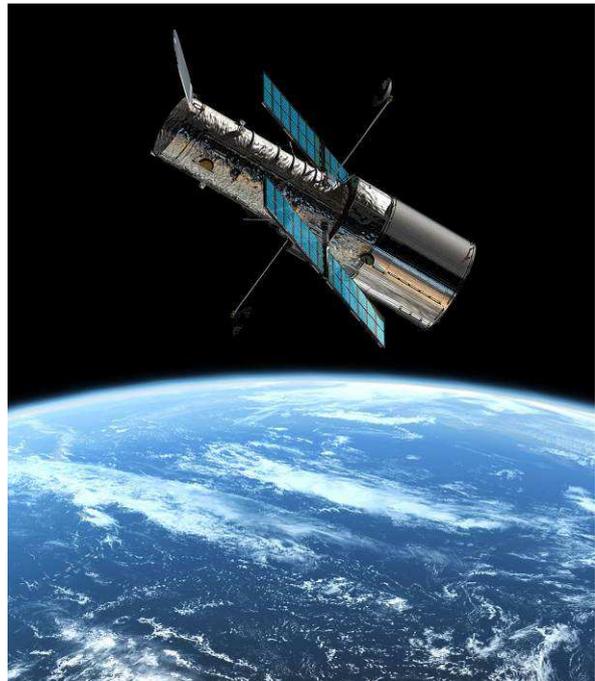


Le télescope NTT de 3,50 m de l'ESO au Chili sur sa monture azimutale. © ESO.

Outre les télescopes terrestres, il existe aussi des télescopes placés en orbite autour de la Terre, comme le *Télescope spatial Hubble* avec son miroir de 2,40 m. Ne subissant pas les perturbations météorologiques, ils peuvent observer en permanence.



Un des quatre télescopes du « Very Large Telescope » de l'ESO au Chili avec son miroir de 8,20 m de diamètre dont le poids est de 42 tonnes. © ESO



Le *Télescope spatial Hubble* en orbite autour de la Terre. © NASA/HST

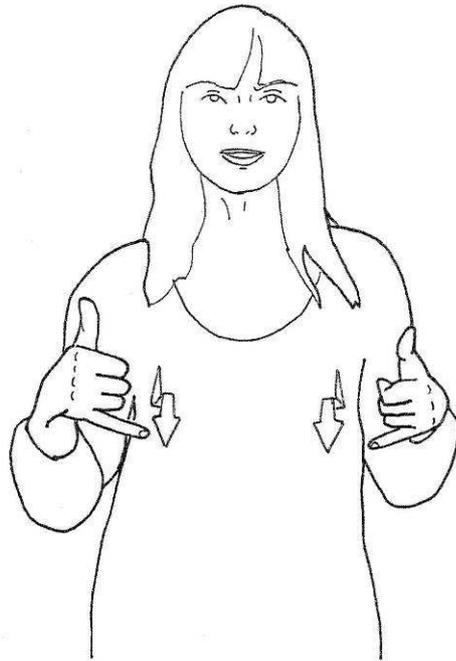


Terre

La Terre se représente par le signe PLANETE, les deux mains montrant un objet sphérique qui tourne sur lui-même tout en se déplaçant dans l'espace, suivi du signe ICI. Ce second composant consistait autrefois à pointer le sol avec les index pour montrer le lieu où l'on se trouve ; aujourd'hui, il prend la forme de la lettre manuelle I, initiale du mot *ici*.



PLANETE



ICI

Mots et expressions associés: Effet de serre - Planète - Soleil - Système solaire - Unité astronomique - Vie - Volcan.

La Terre est la troisième planète du Système solaire. C'est actuellement la seule planète connue qui soit habitée par des formes vivantes, appartenant à des millions d'espèces différentes. C'est aussi une planète directement menacée par l'activité des hommes, un épuisement des ressources naturelles, une pollution effrénée, une diminution des surfaces forestières qui transforment le dioxyde de carbone (CO₂) en oxygène (O₂). A long terme, l'augmentation de CO₂ dans l'atmosphère provoquera un réchauffement global par effet de serre, et une multitude de déséquilibres écologiques. La relation entre l'homme et la Terre montre à quel point l'équilibre d'une planète peut être rapidement fragilisé par les organismes vivants qui peuplent sa surface. **La Terre est fragile, il faut la protéger.**



Distance : la Terre se situe à une distance moyenne de 149 597 871 km du Soleil. Cette distance a été adoptée pour définir l'unité astronomique.

Diamètre : le diamètre équatorial est de 12 756 km et le diamètre aux pôles de 12 714 km : la Terre est légèrement aplatie aux pôles.

Inclinaison : son axe est incliné de $23^{\circ} 27'$.

Rotation : la Terre tourne sur elle-même en 23 h 56 mn et 4 s.

Révolution : La Terre effectue une révolution autour du Soleil en 365,25 jours.

Température : La température terrestre présente de grands écarts entre les différentes régions, et selon les saisons. Les températures les plus extrêmes qui ont été mesurées sont -90°C et $+60^{\circ}\text{C}$.



La Terre vue de l'espace. © NASA/JPL

Atmosphère: elle se compose essentiellement d'azote (N_2) à 78 %, d'oxygène (O_2) à 21 %, d'argon (Ar) à 1 % et de vapeur d'eau (H_2O) entre 0 et 7 %. Grâce à cette composition chimique, l'énergie venant du Soleil sous forme de lumière favorise la « photosynthèse » permettant à la végétation de se développer par transformation du dioxyde de carbone (ou gaz carbonique, CO_2) en oxygène (O_2).



Le Système Terre-Lune à l'échelle. ©Wikipedia/GNU

Histoire de la Terre

La Terre est née il y a environ 4,6 milliards d'années avec les autres planètes (voir l'entrée *Système solaire*). Au cours de son évolution, elle a traversé plusieurs périodes importantes.

L'**Hadéen** est la première période, achevée il y a 3,8 milliards d'années. La croûte terrestre s'épaissit tandis que se forme une atmosphère riche en eau et en azote, par suite du dégazage des roches. La température et la pression sont élevées. Les océans se forment avec la vapeur d'eau lorsque que la température diminue ; l'atmosphère est riche en dioxyde de carbone (CO_2) et en méthane (CH_4). Ces deux gaz favorisent le métabolisme des tout premiers organismes vivants.

L'**Archéen** succède à l'Hadéen et se termine il y a 2,5 milliards d'années. Au cours de cette période, les premières formations rocheuses apparaissent, réunies en un continent unique. Le vivant se développe sous forme d'organismes multicellulaires (les **eucaryotes**) à l'origine des plantes, des champignons et des espèces animales.

Le **Protérozoïque** s'achève il y a 543 millions d'années. Il voit la transformation des eucaryotes en organismes munis d'un squelette. L'atmosphère terrestre s'enrichit en oxygène. Les boucliers continentaux croissent jusqu'à atteindre la masse continentale actuelle.

Le **Paléozoïque** (appelé aussi ère Primaire) s'achève il y a 250 millions d'années. Au cours de cette période, le continent unique commence à se fragmenter en huit morceaux. Le vivant évolue sous forme invertébrée et vertébrée. La fin du Paléozoïque est caractérisée par le **Permien** (295-250 millions d'années), période au cours de laquelle se produit une extinction massive des espèces, en raison de phénomènes géologiques importants, peut-être liés aux

mouvement continentaux.

Le **Mésozoïque** (ère Secondaire) succède au Paléozoïque et se termine il y a 65 millions d'années. De grands groupes d'animaux prolifèrent, tels les dinosaures, les mammifères et les oiseaux. Le Mésozoïque s'achève par une nouvelle extinction massive des espèces, due probablement à une violente collision de la Terre avec un astéroïde.

La période contemporaine, le **Cénozoïque** (ères Tertiaire et Quaternaire), est caractérisée par le renouvellement et la diversification des espèces vivantes, poissons, mammifères, insectes, etc. Le dernier maillon reliant le Cénozoïque au présent commence avec notre lointain ancêtre hominidé, probablement apparu il y a environ 3,5 millions d'années.

Séismes et volcans

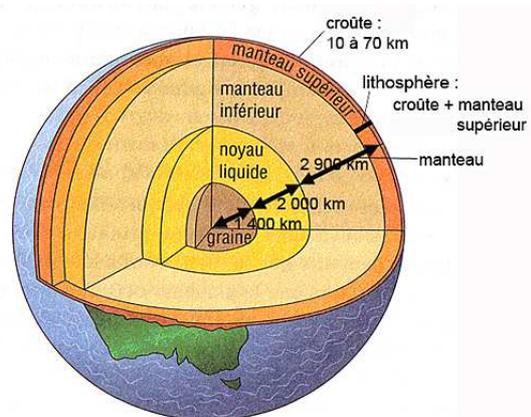
Le lent déplacement des plaques tectoniques les unes par rapport aux autres provoque des phénomènes violents : ce sont les **tremblements de Terre** dont les conséquences sont souvent catastrophiques. Certains pays ou certaines régions situées à la rencontre de plaques sont particulièrement exposés, comme le Japon ou la Californie.

Le sous-sol de la Terre est extrêmement chaud : la température augmente d'environ 1°C tous les 30 mètres de profondeur. A 600 km sous le sol, la température est déjà de $1\,500^{\circ}\text{C}$; à 3 000 km, elle atteint $5\,000^{\circ}\text{C}$, et en son centre elle est d'environ $6\,000^{\circ}$. Les matériaux qui constituent le manteau sont en fusion, à l'état de **lave**, et profitent des fissures de la croûte pour s'échapper par des cheminées : ce sont les **volcans** qui rejettent à la fois cette lave et de nombreuses quantités de gaz et de poussière. Les volcans se localisent surtout dans les régions où sont situées les plaques tectoniques.

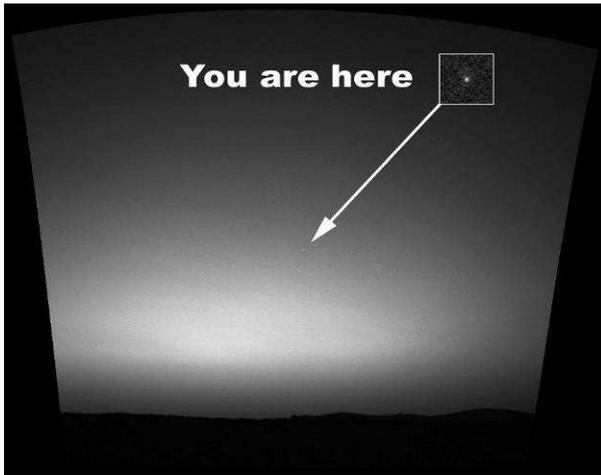
Champ magnétique

Comme la température du noyau de la Terre est de $6\,000^{\circ}\text{C}$ environ, le nickel (Ne) et le fer (Fe) qui le constituent sont à l'état liquide ; ils créent autour de la planète un champ magnétique qui part actuellement du pôle nord pour arriver au pôle sud. On le met facilement en évidence à l'aide d'une boussole. Ce champ magnétique est important, car il nous protège des particules éjectées par le Soleil lors de ses éruptions (voit l'entrée *Soleil*). Les échantillons prélevés dans la banquise ont montré que ce champ magnétique change au cours du temps en intensité et en direction. Il y a 800 000 ans, il était inversé, allant du pôle sud vers le pôle nord.

La Terre se divise en trois parties. La **croûte** est la partie la plus mince : elle a en moyenne 50 km d'épaisseur sur les continents et 10 km sous les océans. En dessous, on trouve le **manteau** qui a une épaisseur d'environ 2 900 km. Il recouvre le **noyau** dont l'épaisseur est de 3 400 km. La croûte et une partie du manteau forment la **lithosphère**, divisée en **plaques tectoniques** qui se déplacent très lentement. Il y a sept plaques : Afrique, Antarctique, Australie, Asie-Europe, Amérique du Nord, Amérique du sud et Océan Pacifique.



Structure interne de la Terre. © Graines de sciences 1, Le Pommier 1999



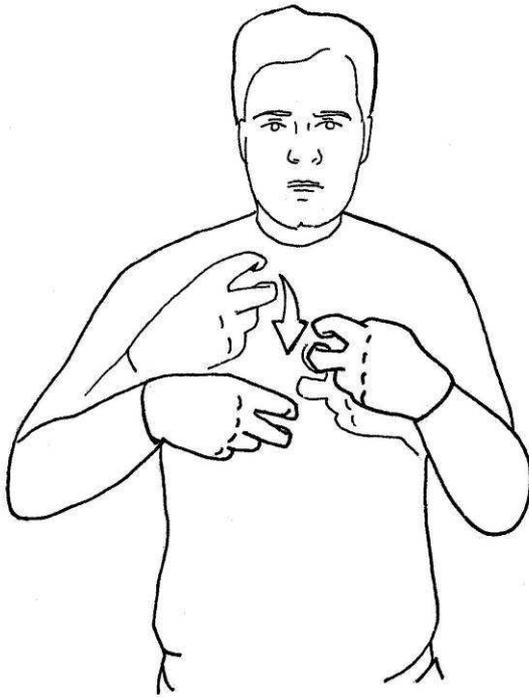
« Vous êtes là ». La Terre, un petit point dans le ciel de la planète Mars au coucher du Soleil. © NASA/JPL

Vue de Mars ou d'ailleurs, la Terre n'est qu'un petit point dans l'espace où vivent pourtant six milliards d'humains. Sommes-nous seuls dans l'univers ? Nous sommes à la veille d'obtenir les premières images montrant des **planètes extrasolaires** ayant les dimensions de la Terre. L'étape suivante permettra de mettre en évidence une activité biologique. Enfin, dans un futur raisonnablement proche, nous pourrions obtenir des images assez fines pour voir le détail des planètes lointaines, pour enfin savoir si la vie existe ou non ailleurs (voir l'entrée *Vie*). La vie est apparue sur Terre, il y a des centaines de millions d'années. Le vœu le plus immédiat que l'on puisse formuler est que nous prenions enfin conscience de ce patrimoine terrestre, afin de ne pas détruire trop tôt la preuve que la vie est apparue au moins une fois dans l'univers.

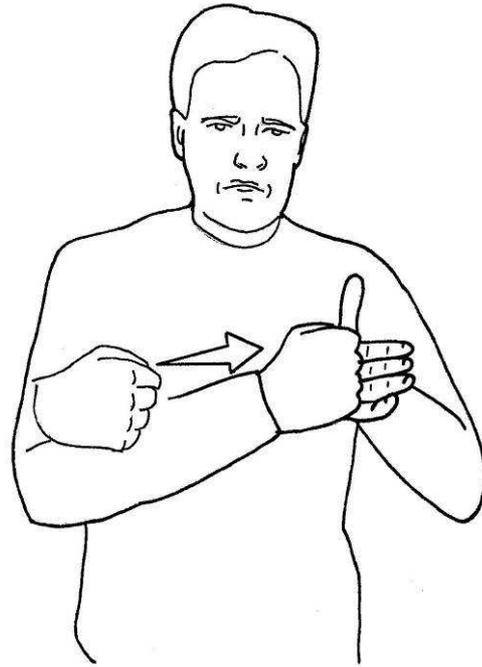


Transneptuniens (objets)

Les objets transneptuniens sont situés au-delà de Neptune, la plus lointaine planète du Système solaire. Ils se représentent par le signe PIERRE suivi du signe TOUT AU BOUT. Le signe PIERRE dérive de DUR, une main en double crochet frappant le dos de l'autre main comme pour en éprouver la dureté ; il a ensuite évolué par symétrie, les deux mains prenant la même forme.



PIERRE



TOUT AU BOUT

Mots et expressions associés: Astronome - Neptune - Planète - Pluton - Révolution - Soleil - Système solaire - Unité astronomique.

Après la découverte de Pluton en 1930, les astronomes se sont demandés si d'autres planètes encore plus éloignées pouvaient exister. Il faut attendre 1992 pour observer, grâce aux grands télescopes, un premier objet qui reçoit le nom de 1992QB1 (baptisé ensuite Radha). Par la suite, on en détectera plusieurs autres : Orcus, Ixion, Varuna, Quaoar, Sedna, etc. Pour les distinguer des planètes majeures (de Mercure à Neptune), on convient de les appeler ici « petites planètes », bien qu'elles ne soient pas considérées par les astronomes comme de véritables planètes. Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques de dix de ces **petites planètes transneptuniennes**, tellement distantes du Soleil que celui-ci, vu depuis l'une d'entre elles, n'apparaîtrait que comme une étoile parmi les autres. Ces petites planètes rocheuses sont plongées dans une nuit permanente ; en raison d'une température extrêmement basse, inférieure à -230°C , il peut y avoir de la glace à leur surface.



Distance au Soleil (en millions de km)	Nom	Diamètre (en km)	Durée de la révolution (en années)	Date de la découverte
5 901	47171-TC36	550	248	1999
5 910	Ixion	759	248	2001
5 920	Orcus	1 600	248	2004
6 231	24835-SM55	702	269	1995
6 451	Varuna	1 060	283	2000
6 472	19308-TO66	600	284	1996
6 489	Quaoar	1 250	286	2002
6 893	Chaos	347	313	1998
10 123	Eris	2 600	557	2005
75 000	Sedna	1 450	11 374	2003

Sedna a une orbite très excentrique, sa distance au Soleil variant de 11 à 140 milliards de km. C'est la plus lointaine petite planète actuellement connue, en révolution autour du Soleil en plus de 11 000 ans ! La petite planète 47171-TC36 possède un satellite, ainsi qu'Eris dont le satellite a été baptisé Dysnomie ; ce dernier a un diamètre de 350 km et tourne à 30 000 km d'Eris en 14 jours environ. La majorité de ces petites planètes appartiennent à la **ceinture de Kuiper** située au-delà de Neptune, dans une région comprise entre 30 et 50 unités astronomiques. Elle a reçu le nom de l'astronome américain *Gerard Kuiper* (1905-1973), dont les travaux avaient permis de prédire l'existence de petits objets au-delà de Neptune.



Comparaison de quelques petites planètes transneptuniennes et de la Terre. © NASA

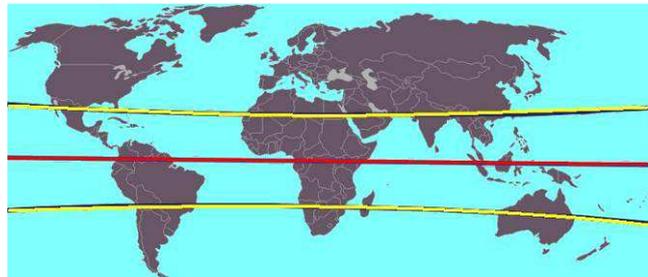
Tropique

Le signe TROPIQUES se réalise avec une main en petit croissant qui trace simultanément deux lignes imaginaires autour de la Terre, représentée par l'autre main. L'index dessine le tropique du Cancer, le pouce dessine le tropique du Capricorne.



Mots associés: Equateur - Equinoxe - Soleil - Solstice - Terre - Zénith.

Le **tropique du Cancer** et le **tropique du Capricorne** sont deux cercles parallèles à l'équateur. Le premier est situé à $23,5^\circ$ au nord de l'équateur, et le second à $23,5^\circ$ au sud. Dans la zone délimitée par ces deux cercles, on peut voir au cours de l'année le Soleil passer au zénith, ce qui est impossible si l'on est situé au nord du tropique du Cancer (par exemple à Paris), ou au sud du tropique du Capricorne.



Les deux cercles tropicaux (en jaune) de part et d'autre de l'équateur (en rouge). En haut, le tropique du Cancer, en bas, le tropique du Capricorne.

Lorsque le Soleil est au zénith du tropique du Cancer, c'est le **solstice d'été** dans l'hémisphère nord et le **solstice d'hiver** dans l'hémisphère sud. Entre ces deux extrêmes, le Soleil passe deux fois à la verticale de l'équateur : cela correspond à l'équinoxe de printemps et à l'équinoxe d'automne. Ce phénomène est lié à l'inclinaison de l'axe de la Terre.



Trou noir

La notion de trou noir se représente par le signe TROU suivi du signe NOIR. Pour l'étymologie de NOIR, voir la constellation du Corbeau dans l'Atlas du ciel.



Mots et expressions associés: Astronome - Etoile - Etoile à neutrons - Force (attraction) - Galaxie - Jupiter - Lumière - Lune - Masse - Supernova - Système solaire - Terre - Univers - Vitesse (lumière).

Tous les corps de l'univers exercent une force d'attraction liée à leur masse ; c'est ainsi que l'attraction de la Terre maintient la Lune à sa place. Une fusée qui quitte la Terre pour explorer le Système solaire doit avoir une vitesse minimale de 11 km/s pour ne pas être satellisée ou retomber sur le sol. Cette **vitesse de libération** augmente avec la masse de la planète : sur Jupiter, la vitesse de libération est de 59,5 km/s. Quelles seraient alors les caractéristiques d'un corps pour lequel la vitesse de libération serait égale à la vitesse de la lumière (soit 300 000 km/s) ? De cette idée ancienne de l'astronome *Pierre Simon de Laplace* (1749-1827) est née la notion de **trou noir** que les progrès de la physique vont mettre en évidence.

A la suite de *Laplace*, *Albert Einstein* (1879-1955) montre que si les rayons lumineux se déplacent en ligne droite dans le vide, leur double nature constituée à la fois d'ondes et de particules, les photons (voir l'entrée *Lumière*), provoque une courbure de leur trajet au voisinage d'un corps céleste massif.

Le cas le plus extrême consiste en un corps dont la masse est telle qu'elle empêche toute matière ou toute lumière de s'en échapper ; un tel trou noir piège et détourne à son profit tout ce qui passe à sa portée

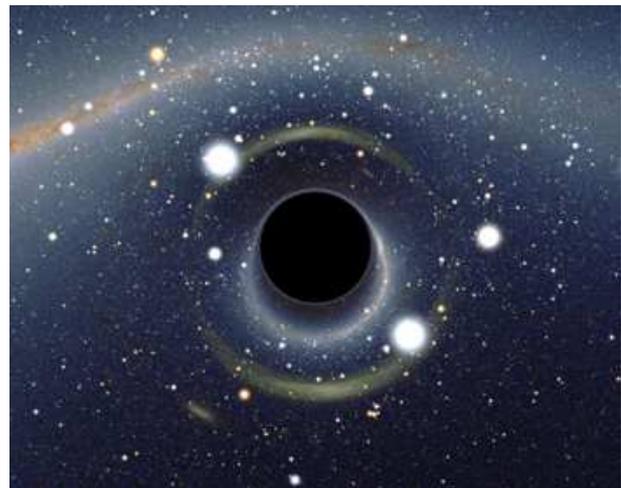


Image simulée d'un trou noir. Le champ de gravité déforme en arcs les images des objets plus distants. © NASA

Les astronomes ont découvert que de nombreux trous noirs existent dans l'univers, avec des dimensions différentes. Les plus importants se situent au centre des galaxies, tandis que de petits trous noirs résultent de l'effondrement total d'une étoile massive après son explosion (voir l'entrée *Supernova*). Au sein de l'étoile à neutrons, la matière continue son implosion jusqu'à ce que l'astre n'ait plus qu'un diamètre ne dépassant pas quelques centaines de mètres.

Objets étranges de l'univers, les trous noirs ont une existence maintenant bien établie, sans qu'il soit possible de les observer directement puisque aucun rayonnement ne s'en échappe. Les théories aboutissent à des propriétés dépassant le cadre de la physique classique. Ainsi « tomber » dans un trou noir pourrait être un raccourci pour « ressortir » à une très grande distance, quelque part dans l'univers. L'étude des trous noirs touche les limites actuelles de la physique, mais les progrès de l'astronomie permettront rapidement de mieux comprendre leur nature.



Unité Astronomique

L'unité astronomique (UA) est désignée en LSF par les lettres U et A de l'alphabet manuel (voir l'entrée *Alphabet*). Lors d'une conférence en LSF, il est nécessaire de définir d'abord ce qu'est l'unité astronomique.

Mots et expressions associées: Etoile - Jupiter - Mars - Mercure - Neptune - Planète - Saturne - Soleil - Système extrasolaire - Système solaire - Terre - Uranus - Vénus.

L'**unité astronomique** (UA) est la distance moyenne de la Terre au Soleil, soit très précisément:

$$1 \text{ UA} = 149\,597\,870,691 \text{ km}$$

On arrondit souvent cette distance à 150 millions de km. Cette unité est pratique pour exprimer les distances des planètes dans le Système solaire, aussi bien que dans les **systèmes extrasolaires** (planètes tournant autour des autres étoiles). Les distances des planètes au Soleil sont les suivantes :

Mercure : 0,39 UA ; Vénus : 0,72 UA ; Terre : 1 UA ; Mars : 1,52 UA ; Jupiter : 5,21 UA ; Saturne : 9,52 UA ; Uranus : 19,16 UA ; Neptune : 30,11 UA.



Univers (expansion)

On représente l'expansion de l'univers par le signe UNIVERS (voir l'entrée *Univers-histoire*) suivi du signe DILATATION qui montre un objet sphérique augmentant de volume.



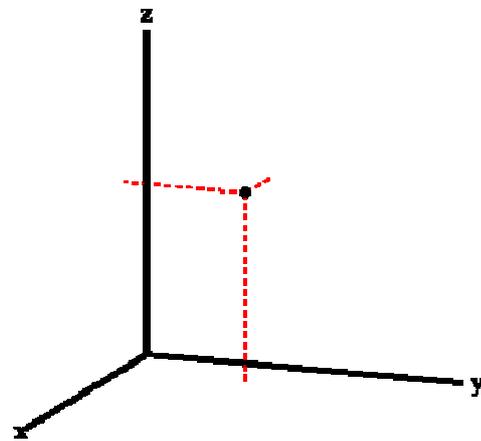
EXPANSION

Mots et expressions associés:

Année-lumière - Élément chimique - Effet Doppler-Fizeau - Étoile - Force (gravitation) - Galaxie - Planète - Raie spectrale - Spectre - Spectroscopie - Télescope.

La structure de l'univers est un **espace-temps**. Les planètes, les étoiles et les galaxies évoluent dans un espace à **quatre dimensions**. Une ligne droite se définit par une dimension x , un plan par deux dimensions x, y , un espace par trois dimensions x, y, z . A ces trois dimensions s'ajoute le temps t qui définit l'espace-temps de l'univers : (x, y, z, t) .

Nous sommes quotidiennement plongés dans l'espace-temps : un rendez-vous dans un immeuble n'est possible que si on connaît les coordonnées de l'immeuble (x = longitude, y = latitude), l'étage du lieu de rendez-vous (z = altitude) et l'heure du rendez-vous (t = temps). Cette structure à trois dimensions d'espace et une dimension de temps permet de décrire l'évolution de l'univers depuis son origine, il y a 13,7 milliards d'années.



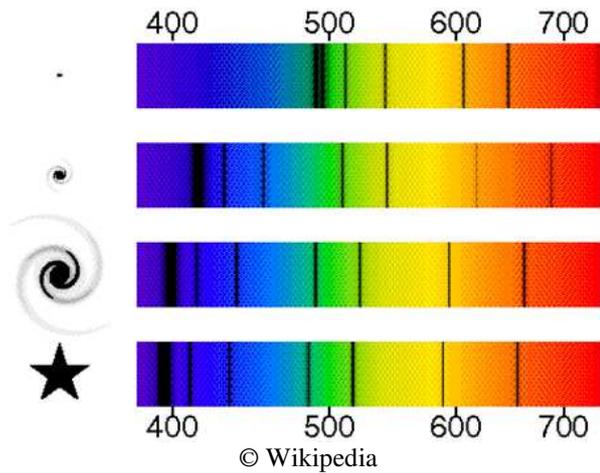
Repérage d'un point dans un espace à trois dimensions.

En 1929, l'astronome *Edwin Hubble* (1889-1953) obtient au télescope les premiers spectres de galaxies, et constate que les raies spectrales des différents éléments chimiques contenus dans les étoiles et dans le gaz de la galaxie sont déplacées vers les grandes longueurs d'onde en raison de l'effet Doppler-Fizeau (voir l'entrée *Spectroscopie*).

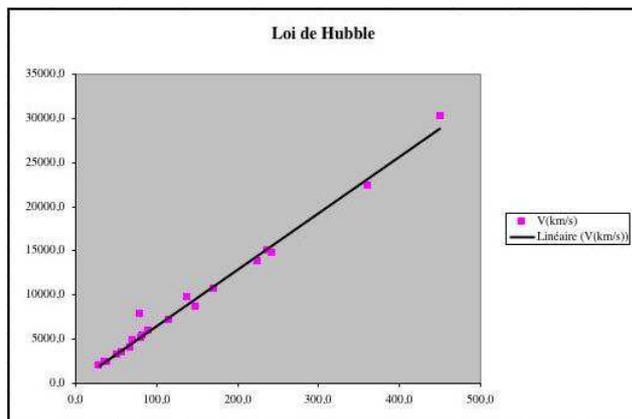


L'analyse par spectroscopie des étoiles, des galaxies, des quasars, etc., montre que les raies

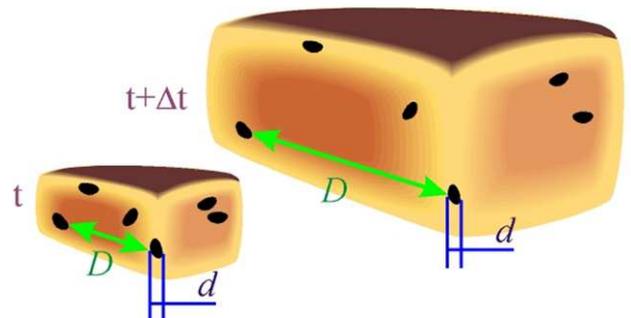
spectrales sont décalées. En bas, une étoile montre un ensemble de raies entre les longueurs d'onde de 400 et 700 nanomètres. Une galaxie s'éloignant (au-dessus) a ses raies décalées vers les grandes longueurs d'onde (vers le domaine rouge du spectre ou **redshift** en anglais). Ce décalage augmente lorsque les galaxies sont de plus en plus distantes.



Hubble en conclut que les galaxies s'éloignent les unes des autres, comme le fait par exemple un soufflé aux raisins que la cuisinière met au four : plus le gâteau gonfle, plus les grains de raisin s'éloignent les uns des autres. Il montre ainsi que plus les galaxies sont distantes de nous, plus grande est leur vitesse d'éloignement : c'est la **loi de Hubble**. Cette relation montre que l'espace augmente de volume : ainsi, par le jeu de l'espace et du temps, **l'univers est en expansion**.



La **loi de Hubble** établit que la distance des galaxies (axe horizontal en millions d'années-lumière) est liée à leur vitesse d'éloignement (axe vertical en km/s). © Observatoire de Paris

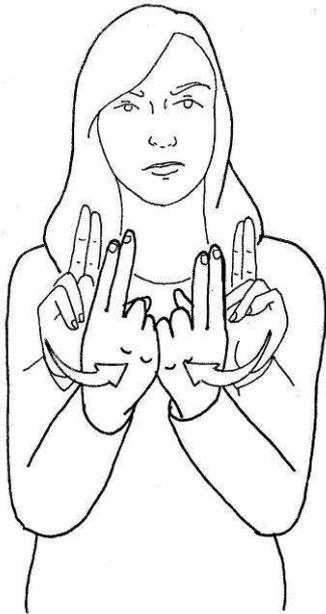


Comme un soufflé qui se dilate dans un four et accroît la distance entre les raisins, l'expansion de l'univers augmente la distance entre les galaxies pendant un intervalle de temps Δt (delta t).

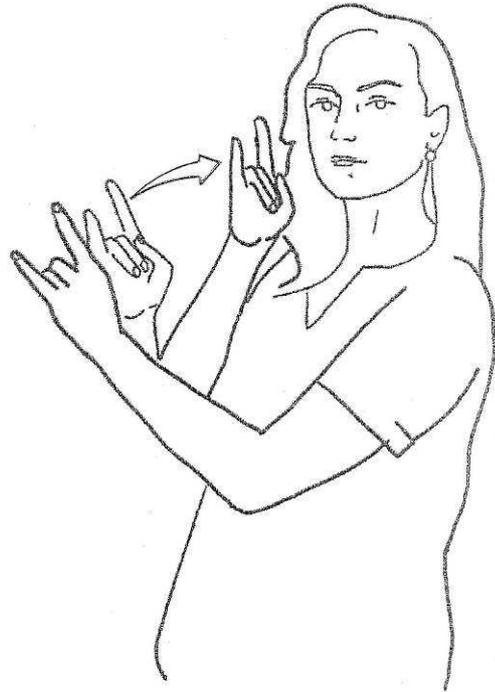
Cette expansion de l'univers, qui fut longtemps considérée comme une « théorie », est maintenant communément admise, surtout depuis que d'autres découvertes, comme le fond cosmologique à 3K (voir l'entrée UNIVERS-RAYONNEMENT) et l'abondance initiale des éléments légers (les noyaux d'hélium) sont venus étayer le modèle cosmologique issu du Big Bang (voir l'entrée UNIVERS-HISTOIRE). Dans cette expansion, il existe cependant des effets particuliers liés localement à la force de gravitation ; c'est ainsi que notre Galaxie et le Groupe Local (voir cette entrée) s'écartent du mouvement général de l'expansion sous l'action gravitationnelle d'énormes superamas de galaxies situés dans la direction de la constellation du Centaure. C'est d'ailleurs pourquoi les astronomes s'interrogent sur l'avenir de l'univers : cette expansion va-t-elle se poursuivre indéfiniment ou bien, sous l'effet de la force de gravitation qui attire les corps, l'univers va-t-il cesser son expansion et entamer une phase de récession ? Actuellement la question n'a pas encore de réponse. Des recherches entreprises depuis le début du XXI^e siècle avec les grands télescopes semblent cependant indiquer que l'expansion de l'univers serait en accélération.

Univers (histoire)

L'univers se représente par les deux mains en U manuel, initiale du mot *univers*, qui dessinent les contours d'un objet sphérique. Pour l'étymologie du signe HISTOIRE, voir l'entrée *Astronomie-histoire*.



UNIVERS

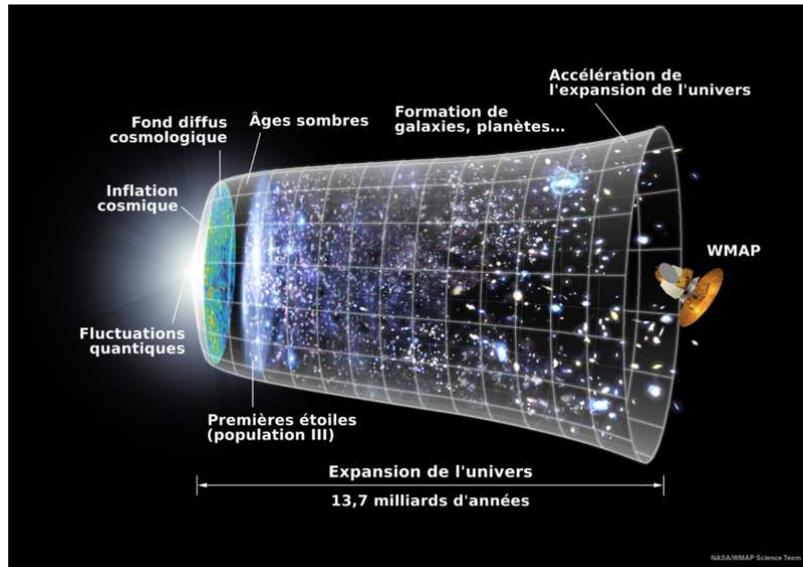


HISTOIRE

Mots et expressions associés: Amas (galaxies) - Astronome - Atome - Big Bang - Degré kelvin - Electron - Etoile (évolution) - Force - Galaxie - Neutron - Photon - Proton - Relativité - Superamas (galaxies) - Univers (expansion) - Univers (rayonnement).

De l'Antiquité jusqu'au XVIII^e siècle, les hommes ont pensé que l'univers qui nous entoure est infini et éternel, et souvent associé au divin pour des raisons théologiques issues des grandes religions révélées. Par la suite, si les astronomes et les philosophes envisagent un « début » de l'univers, il faut attendre les travaux d'*Albert Einstein* (1879-1955) sur la relativité et la découverte de l'expansion de l'univers, du rayonnement du fond cosmique à 3K et de l'abondance initiale des éléments pour comprendre que l'univers est né d'une sorte d'explosion appelée Big Bang (voir cette entrée) survenue il y a 13,7 milliards d'années. Progressivement, les astronomes sont parvenus à rassembler les pièces du puzzle, permettant de reconstruire peu à peu **l'histoire de l'univers**.





L'histoire de l'univers depuis le Big Bang. © NASA/WMAP

Dans les conditions extrêmes du Big Bang, la physique de l'univers ne peut se décrire qu'à travers des théories dites de **Grande Unification** où les quatre forces de la nature sont réunies en une force unique. L'univers primordial est un espace minuscule rempli de photons et de **quarks**, ces derniers étant les constituants élémentaires des neutrons et des protons. Très rapidement, la force de gravitation se différencie des autres forces, précipitant l'univers dans une phase d'expansion rapide appelée **l'inflation**. L'univers est alors une soupe bouillante d'électrons, de **positrons** (électrons chargés positivement), de protons, de neutrons, de photons, etc. Immédiatement après le Big Bang, la température était de 10^{27} degrés (1 suivi de 27 zéros). Une seconde plus tard, elle n'était plus que de dix milliards de degré (1 suivi de 10 zéros). La force électromagnétique et la force nucléaire faible se dissocient également. Les particules évoluent sous l'effet des réactions nucléaires. Au bout des trois premières minutes, l'univers s'est refroidi à une température d'un milliard de degrés.

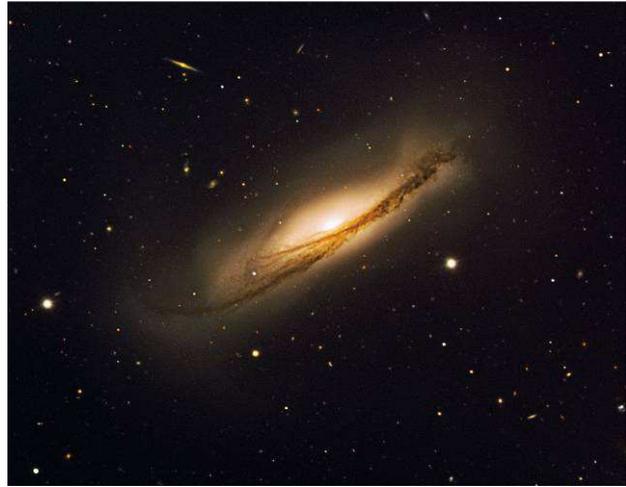
Pendant les cent mille années qui suivent, l'univers tout entier est baigné du rayonnement consécutif au Big Bang. La fusion des protons et des électrons donne naissance aux neutrons, permettant aux premiers noyaux atomiques de voir le jour : le deutérium, l'hélium et le lithium. L'univers continue de se dilater et de se refroidir. Si l'univers primordial est « opaque » par les particules qui le remplissent, la situation change progressivement lorsque la température décroît au bout de quelques centaines de milliers d'années. Les photons qui constituent la lumière commencent à se disperser librement : l'univers devient alors transparent. Il faut attendre plusieurs millions d'années pour que la matière s'organise sous forme de galaxies et d'amas de galaxies.



Un champ de galaxies distantes de plusieurs milliards d'années-lumière. © NASA/HST.

La chimie proprement dite ne naît que lorsque la température devient inférieure à dix mille degrés, permettant la formation des atomes d'hydrogène, d'hélium et de lithium.

Les atomes se regroupent progressivement pour former des concentrations de matière, à l'origine des amas et superamas de galaxies. Ces très grandes structures remplissent environ 10 % de l'univers et sont isolées par des régions vides de matière lumineuse. A l'intérieur des galaxies individuelles, les étoiles naissent, évoluent et meurent, enrichissant le milieu interstellaire en éléments chimiques (voir l'entrée *Etoile-évolution*). Ce que nous observons aujourd'hui est le résultat de l'expansion et du refroidissement de l'univers, au cours desquels ses frontières n'ont cessé de s'éloigner, tandis que la température descendait progressivement à trois degrés Kelvin (voir l'entrée *Univers-rayonnement*).



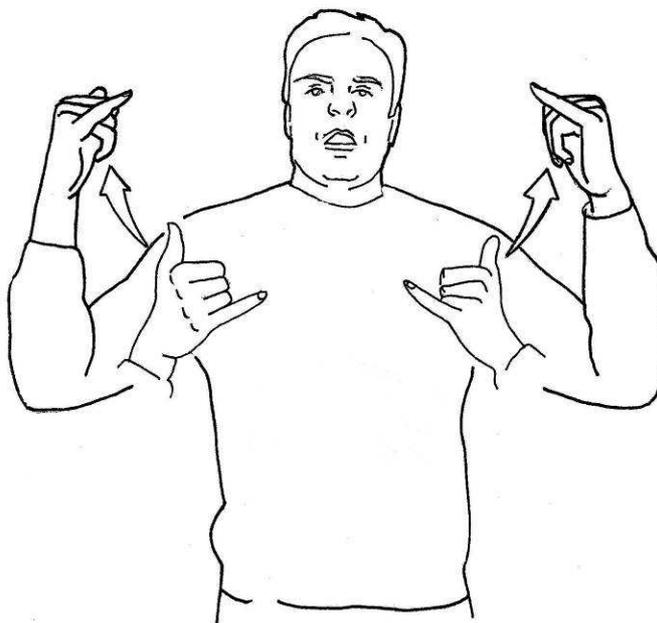
Une galaxie faisant partie d'un amas : NGC 3190.
©ESO.

Si le passé de l'univers est accessible par l'observation et l'analyse, les astronomes ne peuvent encore envisager son avenir avec certitude. Ils ignorent en particulier si l'expansion continuera ou si, sous l'effet de la force de gravitation, elle s'arrêtera. Dans cette seconde hypothèse, l'univers entrerait alors en récession et commencerait à s'effondrer sur lui-même. Les observations les plus récentes (2008) semblent pour l'instant aller dans le sens de la première hypothèse, celle d'un univers dont la vitesse d'expansion irait en augmentant.

Univers (rayonnement fossile)

La notion de rayonnement fossile de l'univers à trois degrés kelvin se traduit par les signes RAYONNEMENT et TROIS, suivis de la lettre manuelle K. Si le contexte l'exige, on peut les faire précéder du signe UNIVERS (voir l'entrée *Univers-histoire*).

Le signe RAYONNEMENT est le signe ordinairement traduit par *puissant*, mais réalisé ici avec une ampleur particulière. Pour son étymologie, voir l'entrée *Quasar*.



RAYONNEMENT

Mots et expressions associés:

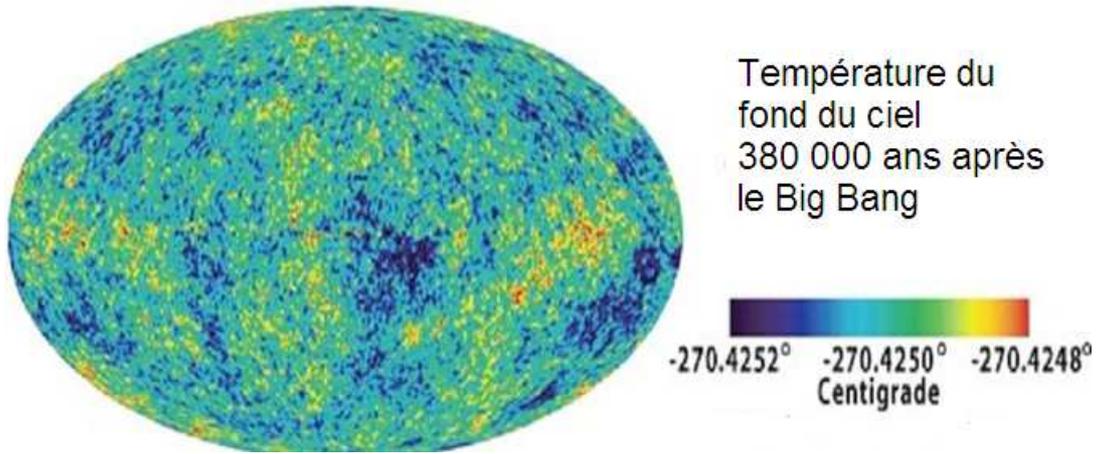
Astronome - Big Bang - Degré kelvin
 - Galaxie - Radiotélescope -
 Température - Univers - Univers
 (expansion).

Le mouvement de fuite des galaxies n'est pas le seul phénomène qui confirme la réalité du Big Bang et de l'expansion de l'univers. Si les astronomes ont maintenant toutes les raisons d'admettre que l'univers observable a commencé il y a 13,7 milliards d'années, c'est aussi parce qu'ils ont détecté les traces de cette « explosion » initiale. Après l'extrême chaleur produite par le Big Bang, estimée à une température de 10^{37} degrés K (kelvin), l'univers s'est lentement refroidi au cours des milliards d'années qui ont suivi, mais il reste aujourd'hui un **rayonnement du fond du ciel** de 3 K.

Ce rayonnement fossile est découvert en 1965 par *Arno Penzias* et *Robert Wilson*, au moyen d'un radiotélescope installé dans le New Jersey, à une fréquence de 4 080 mégahertz. Ce rayonnement, qui arrive du fond de l'espace et du temps, est absolument le même, quelle que soit la direction de l'observation. Il nous renseigne sur l'état de l'univers à ses débuts, indiquant que la matière originelle était d'une constitution et d'une température parfaitement homogènes. Ce rayonnement n'a subi qu'un lent refroidissement au cours du temps, tout en conservant ses caractéristiques initiales.

Les astronomes ont confirmé l'existence de ce fond de rayonnement cosmologique par le lancement du **satellite COBE** en 1990. Mesurée sur une cinquantaine de fréquences, la température du rayonnement fossile est de 2,726 kelvins, avec une précision de 0,01 %.



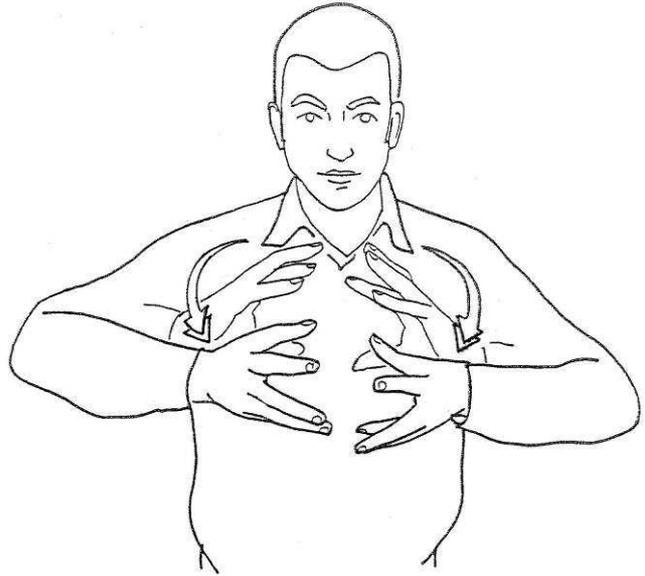


Carte du rayonnement de fond du ciel obtenue par le satellite COBE en 1990. © NASA



Uranus

Le signe URANUS dérive du signe PLANETE (voir l'entrée *Terre*) : les mains épousent la forme d'un objet sphérique qui tourne sur lui-même tout en se déplaçant dans l'espace. Dans le cas d'Uranus, le mouvement de rotation des poignets se fait dans la même direction que le déplacement vers l'avant, conformément à l'une des caractéristiques de cette planète.



Mots et expressions associés:

Astronome - Planète - Satellite - Saturne
- Soleil - Système solaire - Télescope -
Terre - Vitesse.

La planète **Uranus** fut découverte par l'astronome anglais, d'origine allemande, *William Herschel* (1738-1822) le 13 mars 1781 avec un petit télescope qu'il avait construit lui-même. Uranus s'observe facilement avec une paire de jumelles.

Distance : Uranus est à 2 880 000 000 km du Soleil.

Diamètre : 51 000 km ; Uranus est donc beaucoup plus grosse que la Terre.

Masse : sa masse n'est que 14,58 fois plus importante que celle de la Terre.

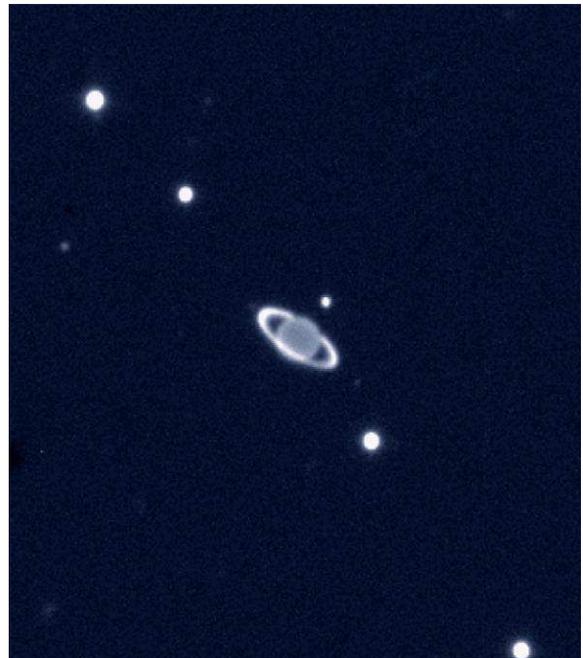
Inclinaison : l'axe d'Uranus est incliné de 98° : la planète « roule » sur elle-même presque dans la direction de sa trajectoire autour du Soleil (comme un boule de pétanque qui roule sur le sol).

Rotation : Une journée sur Uranus ne dure que 10 h 42 mn.

Révolution : 84 ans et 7 jours.

Température : -205°C.

Atmosphère : elle est épaisse de 7 500 km, et essentiellement composée d'hydrogène (H₂) à 83 %, d'hélium (He) à 15 %, de méthane (CH₄) et d'ammoniac (NH₃). On a détecté des nuages à haute altitude, et des vents pouvant atteindre la vitesse de 100 km/h.



Uranus et ses anneaux observés au Very Large Telescope. © ESO

Anneaux: comme Saturne, Uranus est entourée d'un système d'anneaux ayant quelques kilomètres d'épaisseur ; on en a découvert treize en 1977.

Satellites: Uranus est accompagnée d'au moins 27 satellites, dont les plus gros ont été découverts aux XVIII^e et XIX^e siècles. Ils ont les caractéristiques suivantes:

Nom	Diamètre (km)	Distance à la planète (km)	Durée de la révolution	Découverte
<i>Miranda</i>	200	135 000	1 j 9 h 56 mn	Kuiper (1948)
<i>Ariel</i>	900	190 000	2 j 12 h 29 mn	Lassel (1851)
<i>Umbriel</i>	700	267 000	4 j 3 h 27 mn	Lassel (1851)
<i>Titania</i>	1700	438 000	8 j 16 h 56 mn	Herschel (1787)
<i>Obéron</i>	1600	586 000	13 j 11 h 7 mn	Herschel (1787)



Vénus

Le signe VENUS représente le mouvement des vents violents qui font le tour de la planète en quatre jours. La forme des mains en fourche est doublement motivée : c'est le V manuel, initiale du mot *vent*, mais également du mot *Vénus*.



Mots et expressions associés: Cratère - Croissant - Distance - Lune - Météorite - Phase - Quartier - Soleil - Satellite - Système solaire - Terre - Volcan.

La planète **Vénus** est, après le Soleil et la Lune, l'astre le plus brillant du ciel. Comme elle est plus près du Soleil que la Terre, on la voit toujours à proximité du Soleil, soit à son lever, soit à son coucher. C'est pourquoi les anciens avaient surnommé Vénus : *l'étoile du Berger*; car le berger garde son troupeau et règle sa journée sur le rythme du Soleil. En raison de son éclat dans le ciel, les Grecs lui ont donné le nom de *Vénus*, la déesse de la beauté.

Distance : Vénus est à 108 208 900 km du Soleil.

Diamètre : 12 300 km, presque égal à celui de la Terre.

Masse : 0,82 fois celle de la Terre.

Inclinaison : son axe de rotation n'est incliné que de 3° 23'.

Rotation : une journée sur Vénus est extrêmement longue, car elle tourne très lentement sur elle-même en 243 jours, en sens inverse de la Terre.

Révolution : Vénus effectue sa révolution autour du Soleil en 224 jours et 17 heures ; elle met donc un peu plus de temps à tourner sur elle-même qu'à tourner autour du Soleil.



Vénus recouverte de nuages épais. © NASA/JPL



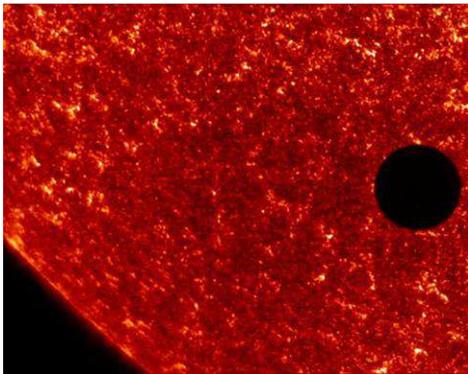
Température et atmosphère: l'atmosphère est extrêmement épaisse avec une température moyenne de +460°C. Elle est composée de gaz carbonique (dioxyde de carbone CO₂) à 95 % et d'azote (N₂) à 4 % : la grande densité de CO₂ provoque ainsi un **effet de serre** en piégeant la chaleur du rayonnement solaire, ce qui explique pourquoi la température est si élevée. **On comprend ainsi les risques de réchauffement de la Terre par l'augmentation du gaz carbonique dans notre atmosphère ; il faut protéger notre planète de ce danger.**



Le sol brûlant à 460°C de Vénus. © NASA/JPL

Relief : le relief de Vénus a été étudié par les sondes spatiales ; il présente de nombreuses plaines avec des collines et quelques hauts plateaux de 3 000 à 4 000 mètres d'altitude, ainsi que des volcans, dont le *Mont Maxwell* qui a une altitude de 11 800 m. On observe des coulées de lave anciennes et des cratères de météorites. Dans un monde aussi torride, il n'y a sans doute pas de vie.

Phases : selon que Vénus est éclairée de face ou de côté, elle présente des phases comme Mercure et la Lune, avec des **quartiers** et des **croissants** (voir l'entrée : *Lune*). Une paire de jumelles ou un petit télescope suffisent pour l'observer sous la forme d'un croissant, d'un quartier ou d'un disque. Elle n'a pas de satellite connu.



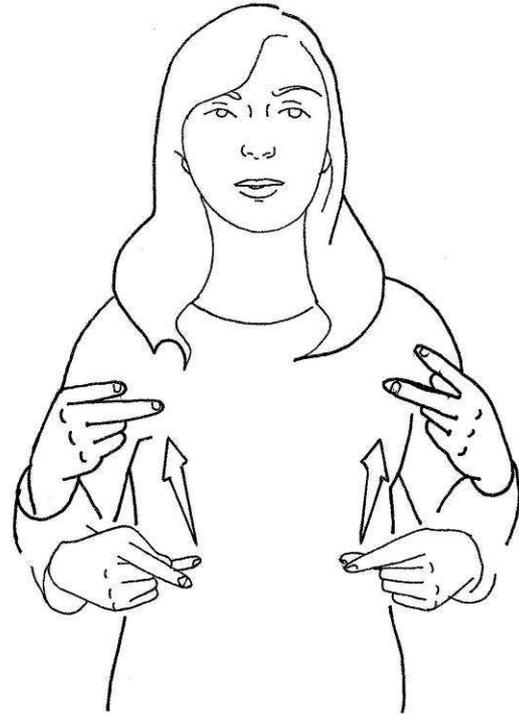
Passage de Vénus devant le Soleil, le 9 juin 2006. © NASA

Comme Vénus est plus proche du Soleil que la Terre, on la voit parfois passer devant le Soleil sous forme d'une petite tache noire. Ce phénomène spectaculaire peut être facilement observé **en se protégeant les yeux de la lumière du Soleil**. Ces passages ont permis aux Anciens de mesurer la distance de la Terre au Soleil par des méthodes géométriques de triangulation, en mesurant au même moment la position de Vénus sur le Soleil, depuis deux points de la Terre les plus distants possibles. Le prochain passage se produira le 6 juin 2012 ; il faudra ensuite attendre l'année 2117.

Vie (dans l'univers)

Dans le signe VIE attesté depuis le début du XIX^e siècle, la montée des mains sur la poitrine symbolise la sève qui irrigue un corps vivant. Les mains ont la forme de la lettre « V », initiale du mot *vie*.

Le concept d'exobiologie (recherche de la vie dans l'univers) se traduit par les signes successifs RECHERCHE, VIE et UNIVERS.



VIE

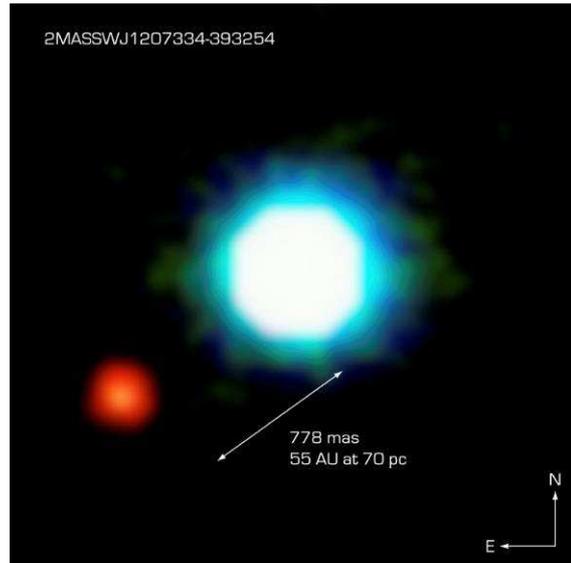
Mots et expressions associés: Année-lumière - Astronomie - Astrophysique - Eclipse - Élément chimique - Étoiles - Exoplanète - Force (gravitation) - Mars - Planète - Radiotélescope - Satellite - Système solaire - Télescope - Terre - Univers.

L'univers offre toutes les conditions favorables au développement de la vie. Les lois de la nature permettent aux étoiles de fabriquer tous les éléments chimiques, à ceux-ci de s'assembler en **molécules**, et aux molécules de se répliquer par le truchement des acides nucléiques en **macromolécules**, puis en **cellules** et en organismes vivants. Ainsi s'explique, après 4,5 milliards d'années d'évolution sur la Terre, la très grande variété des espèces vivantes. Mais puisque l'univers observable semble présenter en bien des endroits les mêmes caractéristiques physiques que la Terre et son environnement, il est tout naturel de se demander si la vie existe ailleurs.

Sur la Terre, des organismes vivent dans les grands fonds marins à plus de 4 000 mètres de profondeur, là où la pression peut atteindre plus de 1 000 fois la pression atmosphérique. Dans ces profondeurs, des remontées de lave sous la croûte terrestre réchauffent l'eau à plus de 70°C. De tels organismes peuvent vivre et se reproduire avec des températures et des pressions très importantes. Les biologistes ont ainsi découvert des centaines d'espèces inconnues, capables de s'adapter à ces conditions extrêmes.



Si l'exploration du Système solaire laisse peu d'espoir de trouver la vie sur les planètes voisines de la Terre (en particulier Mars), on a détecté plus de 300 **exoplanètes** autour des étoiles. Les observations se font au sol avec les télescopes, et dans l'espace avec les satellites. Ceux-ci peuvent mesurer l'oscillation minimale d'une étoile liée à la force de gravitation exercée par la planète, ou l'infime modification de l'éclat d'une étoile, lorsqu'une planète passe juste devant en produisant une éclipse. Un certain nombre de ces exoplanètes présentent des conditions de température favorables pour permettre au vivant de se développer ; il reste à détecter une atmosphère et la présence d'eau liquide sur leur surface ainsi que les signes d'une activité biologique, comme l'émission de gaz carbonique (CO_2) ou de méthane (CH_4).



The Brown Dwarf 2M1207 and its Planetary Companion (VLT/NACO)

ESO PR Photo 14a/05 (30 April 2005)

© ESO

Le compagnon planétaire de l'étoile 2M1207. © ESO

Les astronomes cherchent donc si la vie peut se développer sur d'autres planètes, même si celles-ci ont des caractéristiques physiques bien différentes de la Terre. Au XXI^e siècle, la recherche de la vie extraterrestre est devenue une science à part entière, appelée **exobiologie**. Celle-ci est intimement liée non seulement à la chimie et à la biologie, mais aussi aux progrès de l'astronomie et de l'astrophysique. Elle rassemble les disciplines scientifiques les plus récentes, qui concernent aussi bien l'étude des origines et de l'évolution du vivant, que la détection de planètes autour des étoiles.

Les astronomes tentent également de détecter des signaux artificiels provenant d'autres civilisations à l'aide de radiotélescopes géants, comme celui de Nançay, dans le département du Cher ; inversement, des messages voyageant à la vitesse de la lumière ont été envoyés depuis la Terre avec les mêmes instruments. La distance constitue un gros obstacle à d'éventuelles communications : si une civilisation distante de 30 années-lumière reçoit notre message, elle aura des informations déjà âgées de 30 ans, et la réponse nécessitera autant de temps pour parvenir jusqu'à nous.

Le programme **SETI** (*Search for ExtraTerrestrial Intelligence*, recherche d'une intelligence extraterrestre) a commencé en 1992. Il utilise des radiotélescopes pour capter de possibles messages en provenance d'une civilisation extraterrestre. Les fréquences choisies se situent dans le domaine des ondes décimétriques. Pour analyser les données obtenues, l'association SETI@home propose aux internautes volontaires d'utiliser simplement l'état de veille de leurs ordinateurs personnels, à partir d'un programme de traitement du signal fourni.

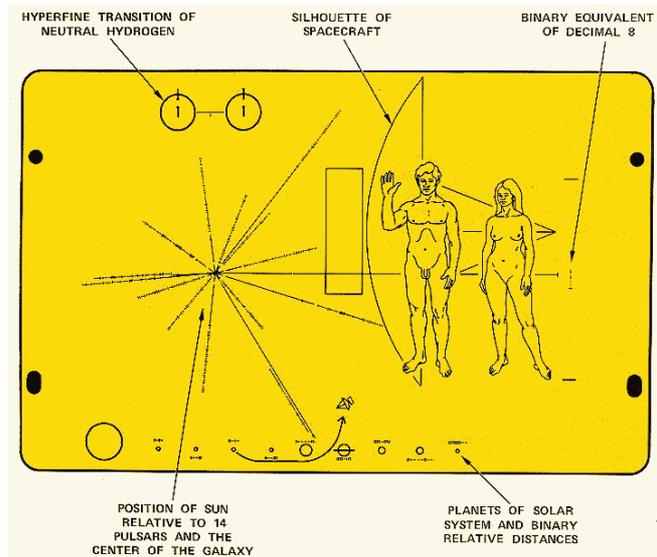


Les radiotélescopes du Very Large Array dans le désert du Nouveau Mexique. ©NASA/JPL.

Plusieurs millions de volontaires sur toute la Terre participent à ce grand projet.

Inversement, les chercheurs envoient des témoignages de la vie sur Terre à l'aide des mêmes radiotélescopes, sous forme de messages simples, comme on le fait avec la radio. De même, des sondes spatiales comme *Pioneer 11* et *12* lancées depuis la Terre portent une plaque représentant un homme, une femme et la description du Système solaire à destination de possibles civilisations extraterrestres.

Le 20 août et le 5 septembre 1977, deux nouvelles sondes spatiales appelées *Voyager* sont lancées. Elles portent toutes les deux un disque vidéo contenant 118 photographies de la vie sur la Terre (villes, nature, enfants, techniques, etc.), des salutations en 60 langues différentes (y compris en langue des signes), ainsi que des extraits de musique (Bach, Beethoven, etc.). Ces sondes ont quitté le Système solaire dans les années 2000, et sont aujourd'hui à plus de 18 milliards de kilomètres de la Terre. Elles arriveront près d'une étoile dans 40 000 ans, et seront peut-être capturées par une civilisation lointaine, s'il y a des planètes habitées autour de cette étoile.



La plaque des sondes spatiales Pioneer 11 et 12.

© NASA/JPL

Voie Lactée

Les mains reproduisent la forme de l'immense arche que la Voie lactée trace au-dessus de nos têtes. Les doigts écartés symbolisent la multiplicité des étoiles qui la composent.

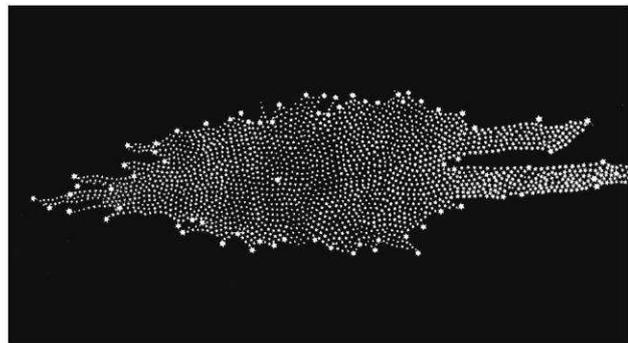


Mots et expressions associés: Amas globulaire - Année-lumière - Astronome - Constellation - Etoile - Galaxie - Groupe local - Longueur d'onde - Nuages de Magellan - Soleil - Système solaire - Télescope - Terre - Trou noir.

Le Système solaire fait partie d'une immense galaxie qu'une belle nuit d'été permet d'observer de l'intérieur, sous la forme d'une large bande d'étoiles diffuse dans le ciel : c'est la **Voie lactée**. Traversant les constellations de Persée, Céphée, Cassiopée, la Voie lactée est particulièrement brillante dans le Cygne, puis se divise en deux branches, descendant vers le Scorpion et le Sagittaire. Dans l'hémisphère austral, elle traverse le Centaure, la Croix du Sud, les Voiles et la Carène, pour remonter vers l'hémisphère nord à travers le Grand Chien et Orion. On constate facilement que la Voie lactée est irrégulière, plus ou moins large, plus ou moins brillante, mais qu'elle suit à peu près un grand cercle de la sphère céleste. Dans un instrument modeste, on y observe des milliers d'étoiles.

Histoire

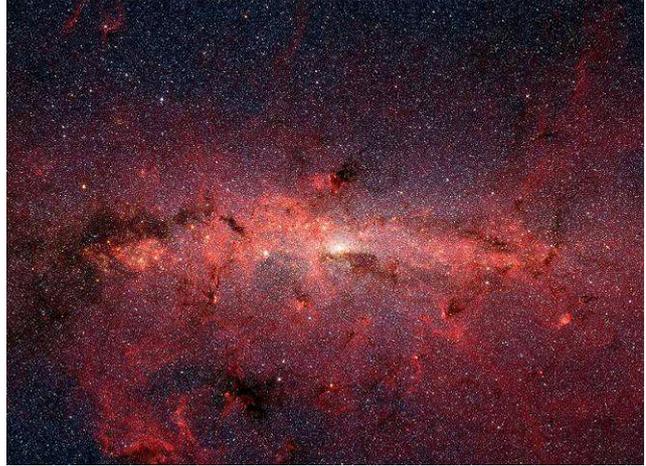
L'origine du nom *Voie lactée* remonte aux anciens Grecs qui pensaient y voir les gouttes de lait qu'Hercule enfant laissa tomber du sein de Junon. En 1610, *Galilée* (1564-1642) conclut qu'elle se compose d'une myriade d'étoiles. Au XVIII^e siècle, les astronomes émettent un certain nombre d'idées sur sa nature. *Emmanuel Kant* (1724-1804) fournit en 1755 dans la *Théorie du Ciel*, une explication de la Voie lactée : une disposition systématique d'étoiles autour d'un plan. En 1785, *William Herschel* (1738-1822) dénombre les étoiles visibles dans son télescope, et conclut que des millions d'étoiles à peu



Structure de la Voie lactée d'après William Herschel en 1785.



près également espacées entre elles forment une couche très mince. Il faut attendre le XX^e siècle pour en connaître aussi bien les dimensions réelles que les différentes caractéristiques : **la Voie lactée est notre galaxie ; on l'appelle aussi la Galaxie**, avec un « G » majuscule.



La Voie lactée observée par le satellite infrarouge Spitzer. © NASA

A quoi ressemble notre Galaxie?

Comme la Terre se trouve à l'intérieur de la Galaxie, il est difficile d'en connaître la forme et la structure ; de même, un promeneur en forêt ne peut avoir aucune idée de la forme de celle-ci s'il ne dispose pas d'une carte. Les travaux des astronomes ont montré que notre Galaxie ressemble à la galaxie M83 située à quinze millions d'années-lumière dans la constellation de l'Hydre femelle. Le Soleil se trouve environ aux 2/3 extérieurs de son rayon. Vu de la Terre, le centre de la Galaxie se situe dans la direction de la constellation du Sagittaire. Les nombreuses mesures effectuées au télescope permettent maintenant de représenter notre Galaxie « de l'extérieur » avec une bonne précision.



La galaxie M83. © ESO

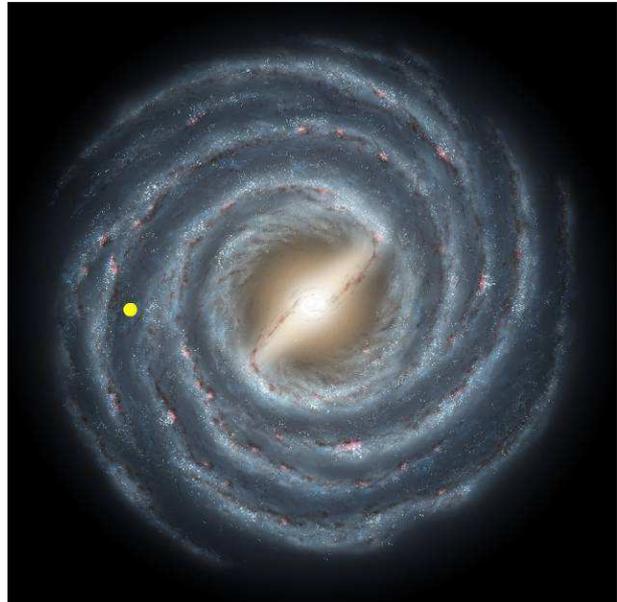


Image simulée de notre Galaxie. Le point jaune indique l'emplacement du Soleil. © NASA/JPL



Carte d'identité

Notre Galaxie est un disque plat avec une structure spirale (voir l'entrée *Galaxie*).

Diamètre : 100 000 années-lumière.

Épaisseur : 1 800 années-lumière.

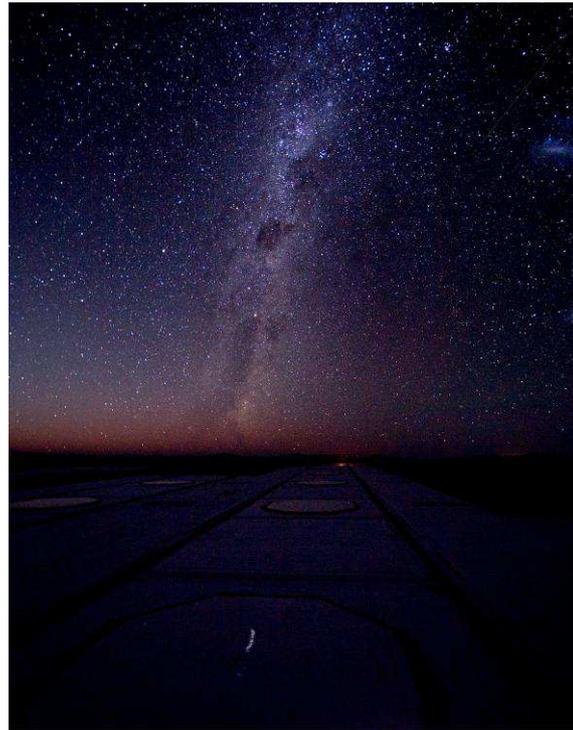
Un gros **bulbe** riche en matière, de 19 000 années-lumière de diamètre et de 3 000 années-lumière d'épaisseur occupe les régions centrales. Le **centre** émet un fort rayonnement X, dans les longueur d'onde infrarouge et radio. Il est formé d'un noyau de 1,5 milliard de kilomètres de rayon seulement, contenant un trou noir. Lorsqu'on se rapproche du centre, la température atteint 10 000 degrés.

Un **disque** de gaz dense où se forment les étoiles est situé à 10 000 années-lumière du centre.

La **Galaxie est en rotation** et effectue un tour sur elle-même en 220 millions d'années, à une vitesse d'environ 220 kilomètres par seconde. Le Système solaire tourne à 27 200 années-lumière du centre de la Galaxie.

La Galaxie contient environ 200 milliards d'étoiles, ainsi que du gaz et de la poussière, répartis principalement dans les bras spiraux.

Les astronomes estiment que la masse de la Galaxie est d'environ 600 milliards de fois celle du Soleil. Il y a dix milliards d'années, la Galaxie était une énorme sphère de gaz qui s'est mise à tourner sur elle-même en s'aplatissant pour devenir le disque que l'on observe de nos jours. Les bras spiraux sont une conséquence de cette rotation. De cette ancienne bulle de gaz, il reste un vaste halo contenant les amas globulaires ainsi que du gaz provenant d'anciennes étoiles disparues.



The Southern Sky Above Paranal

ESO PR Photo 40b/05 (December 21, 2005)

© ESO

La Voie lactée à l'observatoire de Paranal au Chili. © ESO

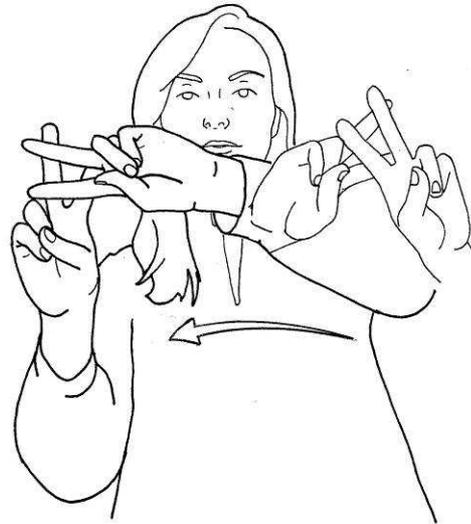


Le centre de notre Galaxie. © ESO

Notre Galaxie est accompagnée d'une dizaine de petites galaxies dont les deux Nuages de Magellan sont les plus brillantes (elles sont visibles à l'œil nu dans l'hémisphère sud). Elle fait partie du Groupe local (voir cette entrée) qui rassemble une trentaine de galaxies proches.

Voûte céleste

Le signe VOUTE CELESTE est un dérivé du signe ETOILES qui stylise les rayons lumineux des étoiles telles qu'elles sont représentées dans l'iconographie populaire. Ce signe diffère de celui qui est utilisé pour parler des étoiles (voir cette entrée) en tant qu'unités distinctes. Pour produire VOUTE CELESTE, ETOILES est animé d'un mouvement qui épouse la forme courbée d'une voûte.



Mots associés: Comète - Etoile - Galaxie - Nuages de Magellan - Planète - Pollution lumineuse - Voie lactée.

La voûte céleste est l'ensemble des astres, planètes, étoiles, galaxies, et parfois comètes, que nous pouvons observer à l'œil nu par une belle nuit claire. Les Anciens pensaient que les étoiles étaient des clous brillants piqués sur une sphère, ou bien de petits trous percés dans une sphère opaque qui laissaient passer la lumière située au-delà.

La voûte céleste est un des plus beaux spectacles que l'œil puisse admirer. Au cours d'une belle nuit claire, nous voyons simultanément des milliers d'étoiles qui ont des distances, des dimensions, des températures et des âges différents. On peut également admirer la Voie lactée qui traverse le ciel, quelques galaxies comme M31 dans la constellation d'Andromède (hémisphère boréal) ou les Nuages de Magellan (hémisphère austral).

Malheureusement, le développement des villes, des industries et plus généralement de toute l'activité humaine font progressivement disparaître ce patrimoine inestimable en raison de la pollution lumineuse (voir cette entrée) qu'elles engendrent.



Une magnifique portion de la voûte céleste dans la Cordillère des Andes chilienne. © ESO



Zénith et Nadir

En conformité avec la définition du mot, le signe ZENITH se fait en pointant l'index vers le haut, l'autre main ouverte représentant la voûte céleste. Le signe NADIR se fait dans la direction opposée.



ZENITH



NADIR

En astronomie, le **zénith** est le point du ciel situé à la verticale du lieu où l'on se trouve sur Terre. Comme celle-ci est ronde, le zénith change d'un endroit à l'autre. Le **nadir** est le point du ciel diamétralement opposé au zénith.



BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE

- Algoud Albert, *Le Tournesol illustré*, Casterman, 1994.
- Benest Daniel, *Les Planètes*, coll. « Points Sciences », Seuil, 1996.
- Bianucci Piero, *Etoile par étoile*, Bordas, 1988.
- Biraud François, Ribes Jean-Claude, *Le Dossier des civilisations extra-terrestres*, Fayard, 1970.
- Burillier Hervé, *Les Plus Belles Curiosités célestes*, Bordas, 1995.
- Collin Suzy, Stasinska Grazyna, *Les Quasars*, coll. « Science et Découverte », Le Rocher, 1987.
- Companys Monica, *Dictionnaire 1200 signes. Français-LSF*, Editions Monica Companys, 2004.
- Crovisier Jacques, Encrenaz Thérèse, *Les Comètes*, Belin / CNRS Editions, 1995.
- Danchin Antoine, *Une aurore de pierre: aux origines de la vie*, coll. « Science Ouverte », Seuil, 1990.
- Danjon André, Couder André, *Lunettes et télescopes*, Editions de la Revue d'optique théorique et instrumentale, 1935.
- Daumas Maurice (sous la direction de), *Histoire de la science*, Encyclopédie de la Pléiade, Gallimard, 1957.
- Delaporte Yves, Pelletier Armand, *Moi, Armand né sourd et muet*, coll. « Terre Humaine », Plon, 2002.
- Delaporte Yves, *Les Sourds, c'est comme ça*, coll. « Ethnologie de la France », Editions de la Maison des sciences de l'homme, 2002.
- Delaporte Yves, *Dictionnaire étymologique et historique de la langue des signes française*, Editions du Fox, 2007.
- De l'Épée Charles Michel, *La Véritable Manière d'instruire les sourds et muets*, 1784. Réédition coll. « Corpus des œuvres de philosophie en langue française », Fayard, 1984.
- Dodray Gilles, *Arpenter l'univers*, Vuibert, 2004.
- Dreyer J.L.E., *A History of Astronomy from Thales to Kepler*, Dover, 1953.
- Einstein Albert, Infeld Léopold, *L'Évolution des idées en physique*, Petite Bibliothèque Payot, 1963.
- Einstein Albert, *Œuvres choisies*, 6 vol., coll. « Sources du Savoir », Seuil.
- Ferrand abbé Jean, *Dictionnaire des sourds-muets*, collection ancienne et moderne d'otologie, 7, 1896. Réédition « Archives de la langue des signes française », Lambert-Lucas, 2008.
- Ferris Timothy, *Histoire du cosmos de l'Antiquité au Big Bang*, Hachette, 1992.
- Girod Michel (sous la direction de), *La Langue des signes. Dictionnaire bilingue LSF / français*, Editions IVT, 1997.
- Heidmann Jean, *Introduction à la cosmologie*, coll. « Sup », Presses Universitaires de France, 1973.
- Hoffleit Dorrit, *Yale Catalogue of Bright Stars*, Yale University Observatory, 1964.
- Hubble Edwin, *The Realm of the Nebulae*, Dover Publications, 1958.
- Koestler Arthur, *Les Somnambules*, Calmann Lévy, 1960.
- Labes Jean-François, *Langue des signes française. Dictionnaire technique*, Langue des Signes Editions, 2000.
- Lambert Louis Marie, *Le Langage de la physionomie et du geste mis à la portée de tous*, Lecoffre, 1865. Réédition sous le titre *La langue des signes française d'autrefois*, Comité des travaux historiques et scientifiques, 2005.
- Laustsen Svend, Madsen Claus, West Richard, *A la découverte du ciel austral*, Editions de Physique, 1989.

- Le Boeuffle André, *Atlas céleste de Flamsteed, Images et légendes du ciel étoilé*, Burillier, 1997.
- Léna Pierre, *Méthodes physiques de l'observation*, CNRS Editions, 1986.
- Levasseur-Regourd Anny, de la Cotardière Philippe, *Les Comètes et les Astéroïdes*, coll. « Points Sciences », Seuil, 1997.
- Luminet Jean-Pierre, *Les Trous noirs*, coll. « Points Sciences », Seuil, 1992.
- Masson Claudine, Masson Jean-Michel, *Copain du ciel*, Milan, 2002.
- Merleau-Ponty Jacques, *Cosmologie du XX^e siècle*, Gallimard, 1963.
- Muller Paul, *Dictionnaire de l'astronomie*, Larousse, 1966.
- Ortoli Sven, Witkowski Nicolas, *La Baignoire d'Archimède*, coll. « Science ouverte », Seuil, 1996.
- Peacock John A., *Cosmological Physics*, Cambridge University Press, 1999.
- Pecker Jean-Claude, Schatzman Evry, *Astrophysique générale*, Masson, 1959.
- Peebles Phillip James Edwin, *Principles of Physical Cosmology*, Princeton University Press, 1993.
- Proust Brigitte, *Bel et Bio*, coll. « Science ouverte », Seuil, 2009.
- Proust Dominique, Breysacher Jacques, *Les Etoiles*, coll. « Points Sciences », Seuil, 1996.
- Proust Dominique, Vanderriest Christian, *Les Galaxies et la structure de l'Univers*, coll. « Points sciences », Seuil, 1997, 2003.
- Proust Dominique, *L'Harmonie des Sphères*, coll. « Science ouverte », Seuil, 2001.
- Proust Dominique, Schneider Jean, *Où sont les autres ?* coll. « Science ouverte », Seuil, 2007.
- Reeves Hubert, *Patience dans l'azur*, coll. « Points Sciences », Seuil, 1988.
- Reeves Hubert, *L'Heure de s'enivrer*, coll. « Points Sciences », Seuil, 1992.
- Reeves Hubert, *Poussières d'étoiles*, coll. « Points Sciences », Seuil, 1994.
- Reeves Hubert, *Malicorne*, coll. « Points », Seuil, 1995.
- Reeves Hubert, Rosnay Joël de, Coppens Yves, Simonnet Dominique, *La Plus Belle Histoire du monde*, Seuil, 1996.
- Roy Jean-René, *L'Astronomie et son histoire*, Masson / Presses de l'Université du Québec, 1982.
- Sagan Carl, *Cosmos*, Mazarine, 1981.
- Sagot Robert, Texereau Jean, *Revue des constellations*, Société astronomique de France, 1963.
- Schatzman Evry (sous la direction de), *Astronomie*, Encyclopédie de la Pléiade, Gallimard, 1962.
- Silk Joseph, *Le Big Bang*, Odile Jacob, 1997.
- Taton René (sous la direction de), *La Science antique et médiévale*, Presses Universitaires de France, 1957.
- Witkowski Nicolas (sous la direction de), *Dictionnaire culturel des sciences*, Seuil / Le Regard, 2001.

