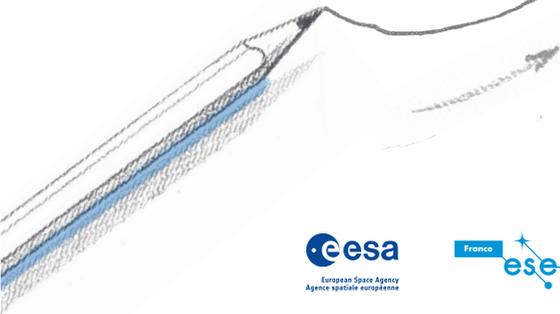
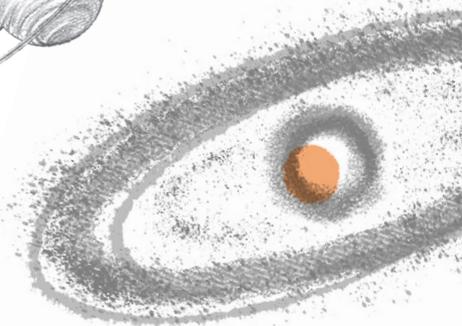


LES MAINS DANS LES ÉTOILES

L'ASTRONOMIE POUR
LES ENTENDANTS ET LES SOURDS

← DOMINIQUE PROUST →



Dominique Proust

Astrophysicien à l'Observatoire de Paris
et à l'Observatoire Européen Austral (ESO).

Cofondateur de l'action « Astronomie vers Tous »

Secrétaire Général de l'association « Les Amis de *La Main à la Pâte* ».

Médaille d'honneur du CNRS - Chevalier de la Légion d'Honneur

Cet ouvrage a été réalisé dans le cadre du partenariat

ESERO France entre le CNES et la Fondation La main à pâte.

**ESERO (European Space Education Resource Office) est un programme
éducatif de l'ESA coordonné en France par le CNES.**

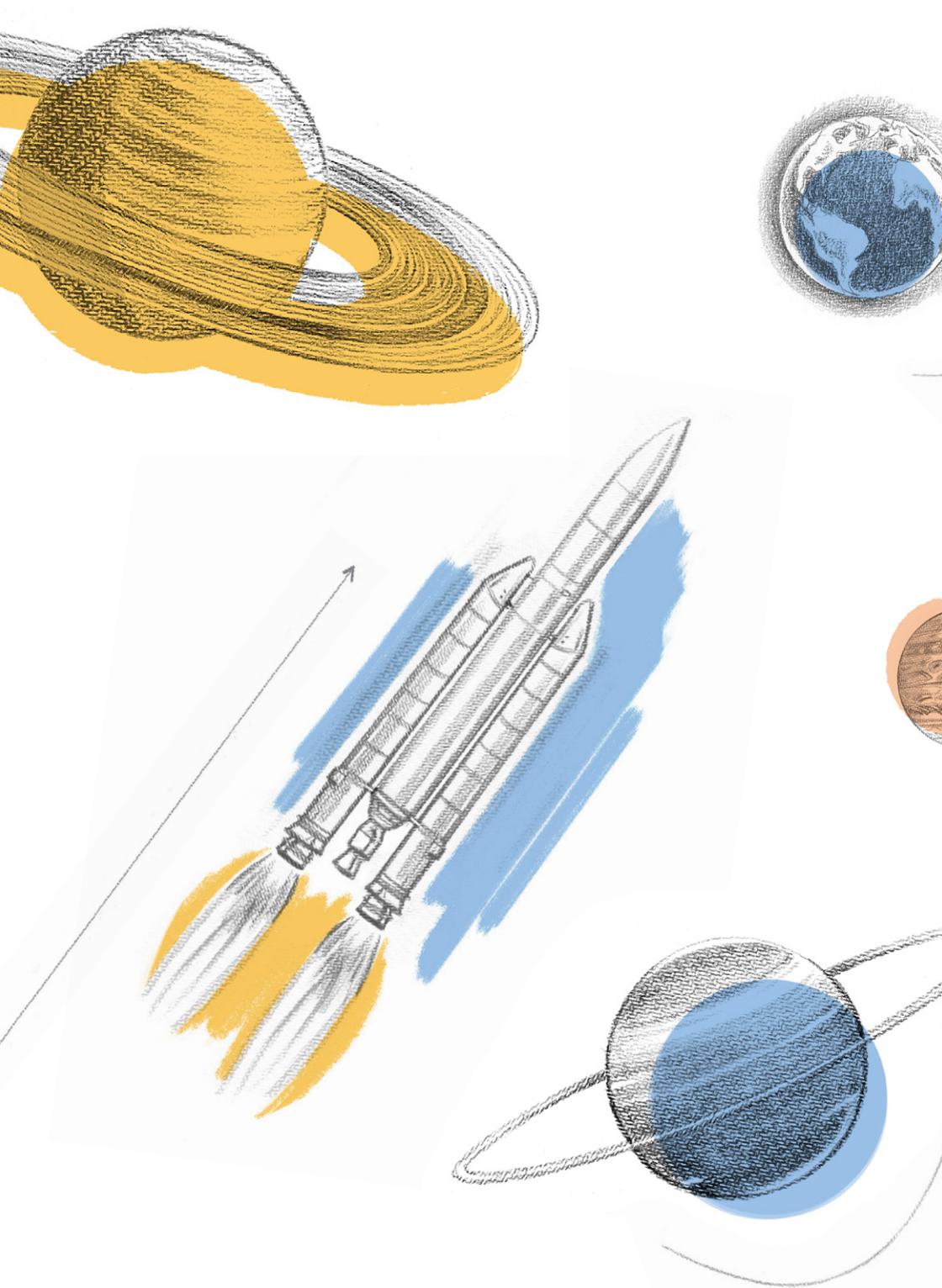
© European Space Agency – Centre National d'Etudes Spatiales – Fondation *La main à la pâte* - 2024

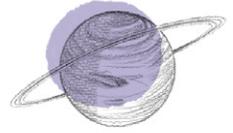
Illustrations : Studio Ogham

Montage : Maïlys Mège

Imprimé en France par Imprimerie Delort

*À Julian, Erevan,
Morgan et Elvire,
mes petits-enfants.*





L'UNIVERS POUR LES JEUNES

Le vivant existe sur Terre depuis des millions d'années, et notre vie humaine est entretenue par la lumière et la chaleur du **Soleil**, notre plus proche étoile. Pour connaître l'Univers qui nous entoure, nous en observons les différentes composantes: les **phases de la Lune**, Premier quartier, Pleine Lune et Dernier quartier, ainsi que les **planètes** comme Vénus, Mars, Jupiter et Saturne, et une myriade d'**étoiles** regroupées en constellations: la Grande Ourse, le Cygne, Hercule, Orion etc. Lorsque nous nous trouvons loin des lumières de la ville, une bande laiteuse composée de centaines de millions d'étoiles très distantes, la **Voie lactée**, traverse le ciel: c'est notre **Galaxie** qui existe à des milliards d'exemplaires dans l'**Univers**. Qu'est-ce que le Soleil? Qu'est-ce que la Lune? Que sont les planètes, les étoiles, les galaxies et l'Univers lui-même? Ce livre répond à ces différentes interrogations; il est destiné à **tous les jeunes**.

Tous les jours, nous avons la chance de voir et d'écouter le monde qui nous entoure, mais certaines personnes ne peuvent l'entendre, soit depuis leur naissance, soit des suites d'un accident ou de la maladie: c'est la **communauté sourde**. Pour communiquer avec elle, il existe tout un vocabulaire qui s'exprime avec des signes faits avec les mains. Dans ce livre, on trouvera les signes correspondant à la description et à **l'histoire de la Terre, du Soleil, de la Lune, des planètes, des comètes et des astéroïdes, des étoiles et des galaxies**, ainsi que des conseils pour les observer, et des expériences faciles à réaliser seul ou seule ou avec un adulte, à partir de matériel simple.

On explore ensemble le cosmos avec nos amis et amies sourds et sourdes? Alors c'est parti!

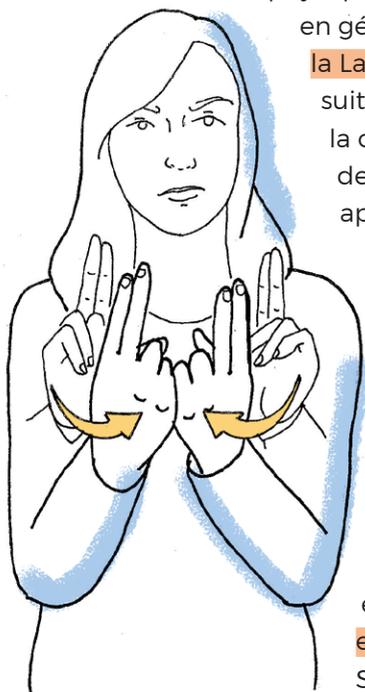
PROLOGUE POUR LES MOINS JEUNES

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 Professeur; dans un enseignement dont les structures sont établies presque exclusivement pour des élèves et des étudiants disposant de leurs cinq sens, on imagine mal le jeune Tournesol appréhendant sans problème l'astrophysique ou la physique nucléaire. 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.

Ce livre est destiné aux jeunes jusque vers 16 ans, mais il peut être aussi lu de 7 à 77 ans. Il fait suite au *Dictionnaire encyclopédique d'astronomie pour la Langue des Signes Française* (Dominique Proust, Daniel Abbou, Nasro Chab, Yves Delaporte, Carole Marion et Blandine Proust) publié en 2009 aux éditions Burillier, établissant un lien détaillé entre l'astronomie et la LSF.

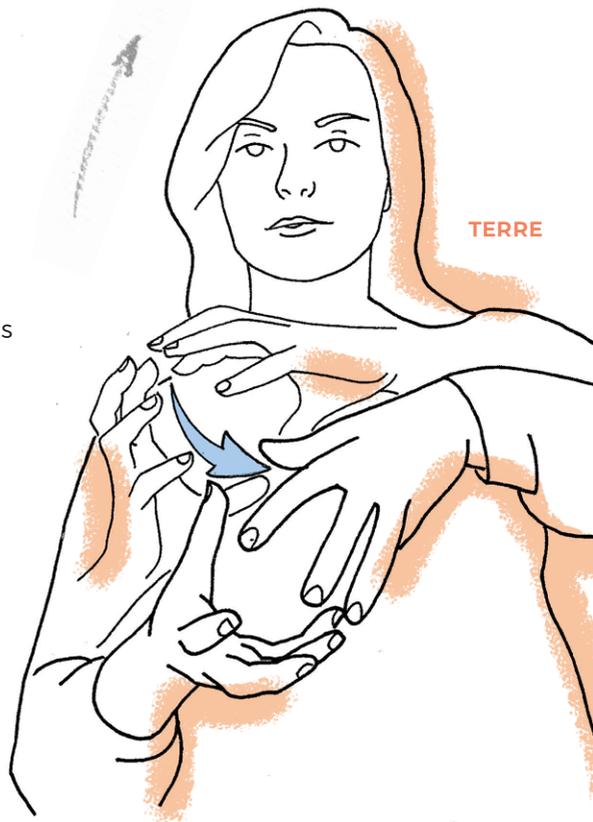
Si l'astronomie est probablement la plus ancienne des sciences, les difficultés de



UNIVERS

perception pour les humains d'un univers immense où l'espace et le temps entrent en jeu rejoignent certaines des préoccupations des sourds dans un monde sonore. Ce livre propose à la fois de rassembler des connaissances essentielles en astronomie pour les jeunes et de les **initier au vocabulaire de la LSF**, sur un ensemble de mots simples à signer. Nous avons ainsi souhaité réaliser un outil de travail, destiné à tous ceux que la culture sourde et l'astronomie intéressent.

Ce livre comprend cinq chapitres rassemblant les connaissances de base sur les objets qui composent l'Univers, en partant de la Terre pour arriver aux confins du cosmos. Le chapitre 1 présente la Terre, la Lune et le Soleil ainsi que les éclipses; le chapitre 2 décrit le Système solaire, incluant les météorites, les astéroïdes, les petites planètes et les comètes; le chapitre 3 concerne les étoiles, leurs caractéristiques et leur évolution ainsi que les exoplanètes; le chapitre 4 s'attache à la Voie lactée et aux autres galaxies quant à leur structure, leur distribution dans l'espace et leur évolution.



Enfin, le chapitre 5 détaille les moyens d'observation au sol (lunettes, télescopes et observatoires) et dans l'espace (*Solar Orbiter*, *James Webb telescope*, *Euclid*, *Cheops*, *Gaia*, *Juice*), en concluant que l'astronomie est une science ouverte à toutes et à tous par son accessibilité et son attrait.

Chaque entrée est accompagnée d'un dessin du signe correspondant en LSF, ainsi que sa description, en précisant éventuellement son étymologie. Les dessins sont dus au talent de [Carole Marion](#); le mouvement est représenté par des flèches. Le signe est suivi d'une description des caractéristiques physiques (dimensions, mouvements de l'astre ou du phénomène astronomique) ainsi que son histoire et son évolution. L'entrée se termine dans certains cas par des expériences à réaliser et des conseils pratiques.



Fig-1. Des pouponnières d'étoiles dans la Voie lactée. © CNES

L'ALPHABET DE LA LANGUE DES SIGNES FRANÇAISE

En Langue des Signes Française (LSF), **les mots qui n'ont pas de signe approprié, comme les noms propres, s'épellent avec la main**; cela est très utile dans la vie courante, comme en astronomie.

Le signe **ALPHABET MANUEL** montre les deux lettres A et Z, séparées par un déplacement latéral de la main et une oscillation des doigts qui indiquent la suite, comme etc.

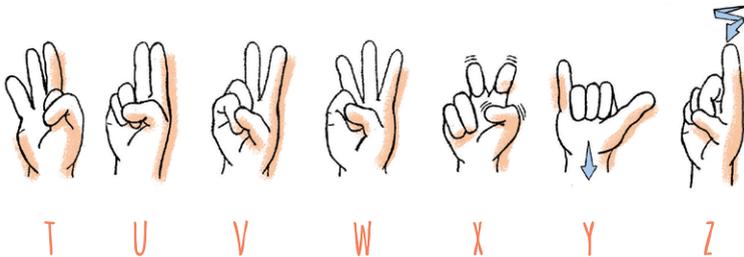
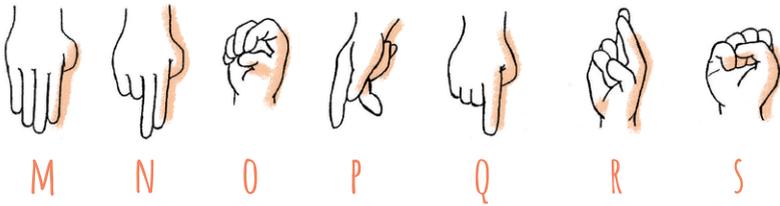
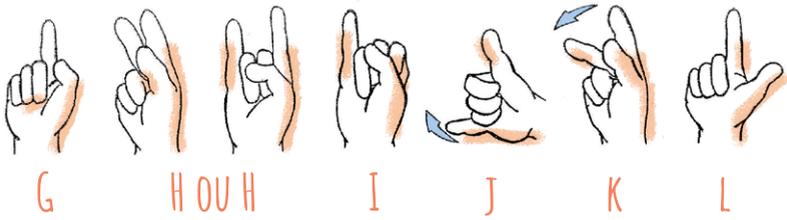
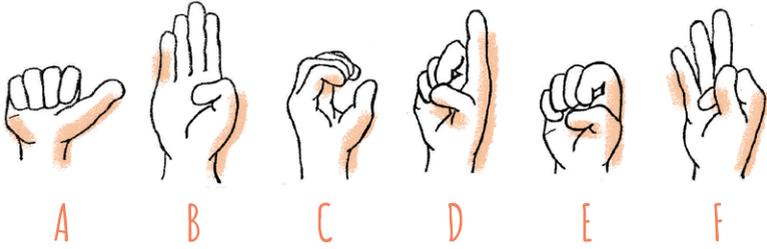


ALPHABET MANUEL



Entraînement :

On se place en face d'une personne, et à partir de l'alphabet ci-dessous, on lui fait deviner les mots qu'on épelle.



LE SIGNE ASTRONOMIE



Au XIX^e siècle, le concept d'astronomie se traduisait par « placer les deux mains en tuyau devant l'œil droit ». Ce mot est devenu le signe **ASTRONOMIE**. Pour le distinguer de **LUNETTE ASTRONOMIQUE**, on le fait suivre de **SCIENCE**, qui représente la cage thoracique, telle qu'on pouvait la voir dessinée dans les livres de sciences naturelles.

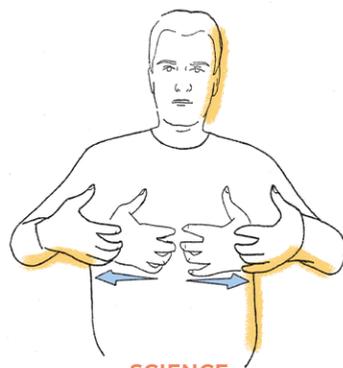
Si l'astronomie est traditionnellement la science des astres, de leur mouvement, du temps, du calendrier, etc., le même signe s'applique à l'astrophysique qui concerne l'étude physique, chimique et chronologique (évolution dans le temps) des planètes, des étoiles, des galaxies et de l'Univers dans son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

LE SIGNE IMAGE

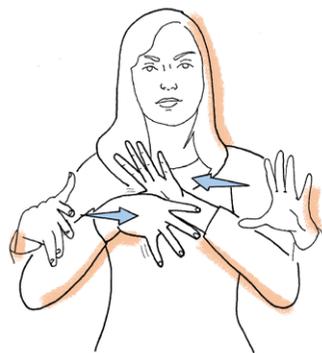
En astronomie, l'image est un document indispensable à tous les travaux scientifiques. Avec les deux mains perpendiculaires, on écarte les pouces et les index; les deux creux ainsi créés se rencontrent plusieurs fois. Le signe **CINÉMA** est identique.



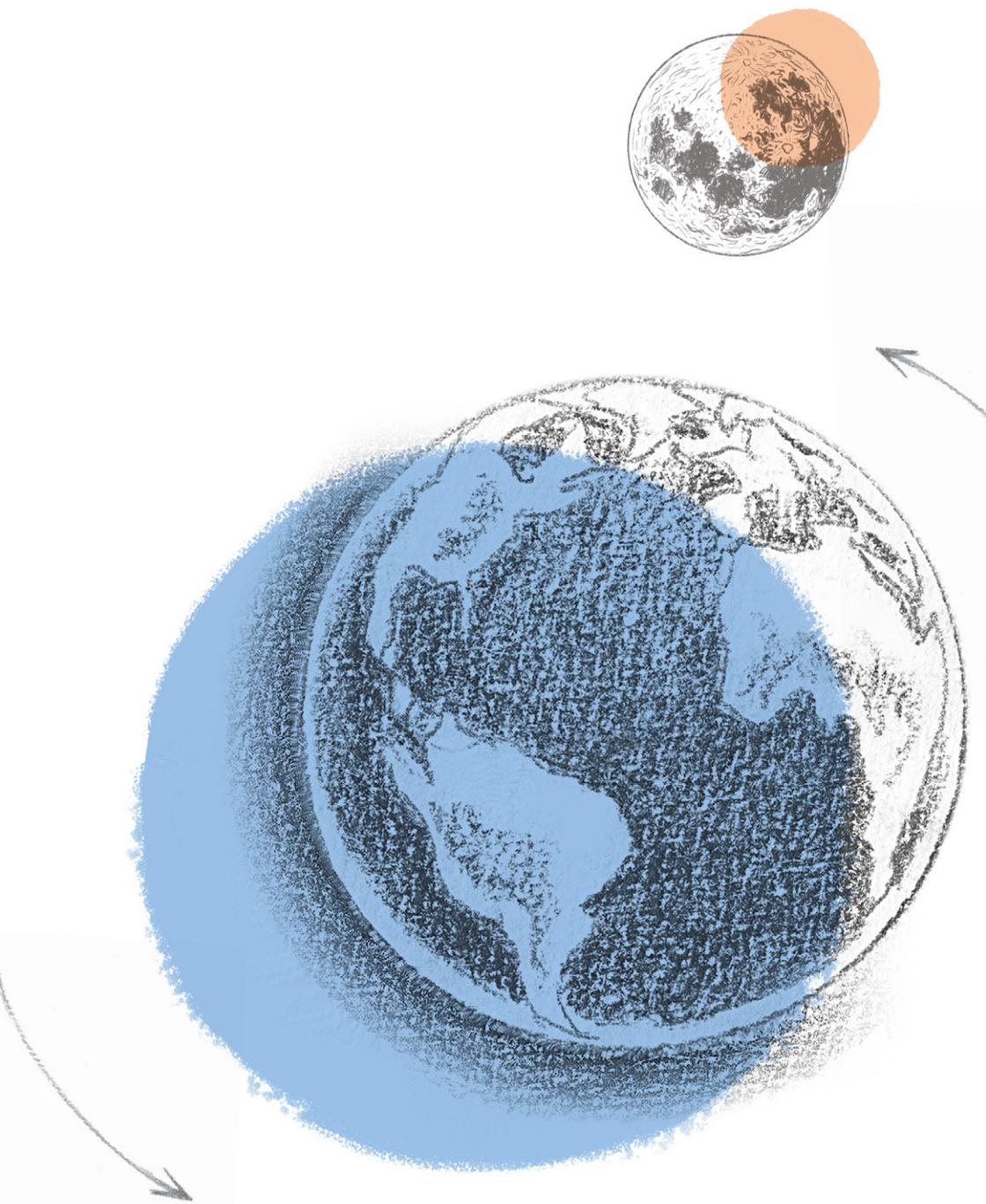
LUNETTE
ASTRONOMIQUE



SCIENCE



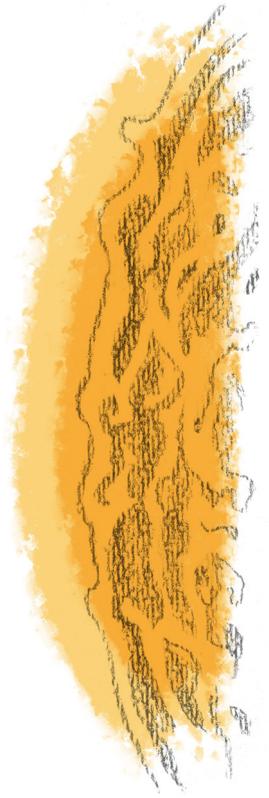
IMAGE





LA TERRE, LA LUNE ET LE SOLEIL

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à notre planète la Terre, à la Lune si familière et pourtant encore mystérieuse, et au Soleil, notre étoile qui nous apporte la lumière et la chaleur, et sans lequel le vivant ne se serait pas développé. Pour chacun d'eux, nous examinons leurs caractéristiques, leur histoire, leur évolution et leurs interactions mutuelles, sans oublier que **la Terre est fragile du fait de l'activité humaine, et qu'il faut en prendre soin.**



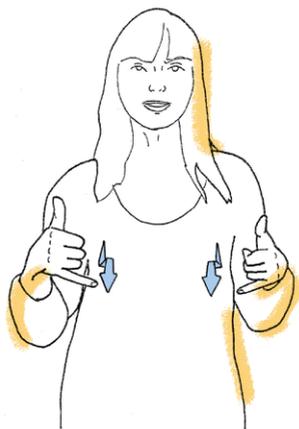
LA TERRE



La **TERRE** se représente en LSF par le signe **PLANÈTE**, les deux mains montrant un objet sphérique qui tourne sur lui-même tout en se déplaçant dans l'espace, suivi du signe **ICI**.



PLANÈTE



ICI

En partant du Soleil, **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. Mais aujourd'hui, l'activité humaine utilise beaucoup trop de ressources naturelles, avec pour conséquences une diminution de la surface des forêts, un appauvrissement des réserves d'eau par exemple, et inversement des villes de plus en plus étendues, qui génèrent une pollution croissante. L'augmentation de gaz carbonique (dioxyde de carbone = CO_2) dans l'atmosphère provoque **un réchauffement global appelé effet de serre**, et une multitude de déséquilibres écologiques: la Terre est fragile, il faut en prendre soin et la protéger.

La Terre est une sphère qui tourne autour du Soleil (c'est la **révolution**) en une année (365,25 jours exactement) à une distance moyenne proche de **150 millions de kilomètres** et à une vitesse proche de **96 000 km par heure**. Son diamètre est de **12 756 km** à l'équateur, et elle tourne sur elle-même (c'est la rotation) en un jour (23 heures 56 minutes et 4 secondes exactement).

L'eau recouvre plus de 70 % de la surface de la Terre, et son atmosphère se compose essentiellement de deux gaz : de l'azote (N_2) à 78 % et de l'oxygène (O_2) à 21 %. L'énergie lumineuse venant du Soleil permet à la végétation de se développer en transformant le dioxyde de carbone (CO_2) en matière organique, et l'eau en dioxygène (O_2) nécessaire à la respiration.



Fig-2. La Terre vue de l'espace. © NASA

Histoire de la Terre

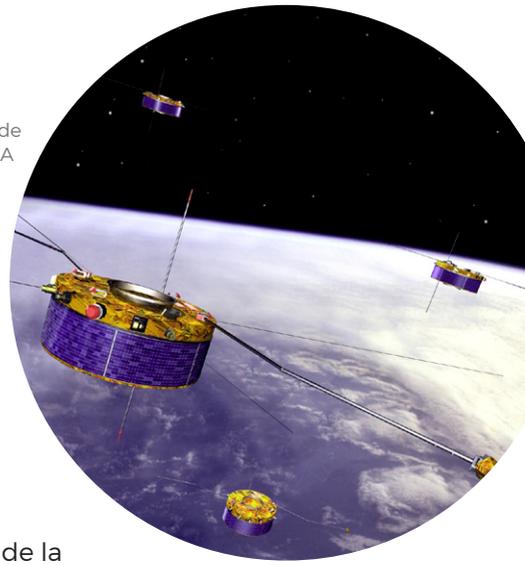
La Terre est née il y a environ **4,6 milliards d'années** avec les autres planètes du Système solaire. Au cours de son évolution, elle a traversé plusieurs périodes importantes. Tout d'abord, la croûte terrestre s'est épaissie tandis qu'une atmosphère se formait, riche en eau, en CO_2 et en azote. Les océans se sont formés avec la vapeur d'eau lorsque la température a diminué. Ensuite, les premières formations rocheuses sont apparues, réunies en un continent unique. Le vivant s'est développé sous forme d'organismes.

Ceux-ci ont pris forme pendant que l'atmosphère terrestre s'est enrichie en oxygène. Le continent unique s'est ensuite fragmenté en morceaux, et le vivant a évolué sous les formes invertébrées et vertébrées. Il y a 66 millions d'années, l'époque des dinosaures, des mammifères et des oiseaux s'est achevée par une violente collision de la Terre avec un astéroïde d'environ 8 km dans la péninsule du Yucatan au Mexique. La période contemporaine voit le renouvellement et la diversification des espèces vivantes, poissons, mammifères, insectes, etc.

Nos lointains ancêtres sont apparus il y a probablement plus de 3 millions d'années.



Fig-3. Vue d'artiste de la mission CLUSTER. © ESA



Le sous-sol et le champ magnétique de la Terre

À 600 km sous le sol, la température de la Terre atteint déjà 1500 °C, et en son centre, jusqu'à 6 000 °C. Les matériaux y sont en fusion : c'est du magma souterrain qui profite des fissures de la croûte terrestre pour s'échapper sous forme de lave par les cheminées des **volcans**. La Terre est entourée d'un **champ magnétique** intense qui relie actuellement le pôle Nord au pôle Sud. Comme un bouclier, il la protège des dangereuses radiations provenant du Soleil et de l'espace. On le met facilement en évidence à l'aide d'une boussole.



LE SAVIEZ-VOUS ?

Il existe une météorologie spatiale pour mieux comprendre et tenter de prévoir les tempêtes solaires qui, en plus de créer de magnifiques aurores boréales dans nos régions polaires, peuvent parfois avoir un impact non négligeable sur les instruments et les astronautes en orbite autour de la Terre ou même sur les installations, notamment électriques et électroniques, sur Terre. Par exemple, les satellites CLUSTER de la mission spatiale NASA/ESA comportant certains instruments financés par le CNES et développés par des laboratoires français, ont apporté plus de 20 ans de données permettant de faire évoluer nos connaissances dans ce domaine.

Expérience : Fabriquer une boussole

Matériel

Une aiguille à coudre, un aimant, un bouchon en liège et un récipient d'eau.

Fabrication

On aimante l'aiguille en frottant une cinquantaine de fois sa pointe sur l'aimant de manière régulière, et toujours dans la même direction.

On découpe une tranche dans le bouchon en liège, d'environ 1 cm d'épaisseur. On pique ensuite l'aiguille dans la tranche de bouchon, de manière horizontale et en faisant en sorte qu'elle passe par le milieu du disque. L'extrémité piquante doit ressortir de l'autre côté. L'aiguille doit dépasser du bouchon de la même longueur des deux côtés. Attention ! Il est important de se faire aider par un adulte pour éviter de se piquer.

Fonctionnement :

La boussole est terminée (Fig-5). Il suffit de la poser à la surface de l'eau, et d'observer. La boussole se met à tourner, et se stabilise avec le chas de l'aiguille pointant vers le nord. On peut alors placer les 4 points cardinaux sur le bouchon.



Fig-4. Une boussole.



Fig-5. Fabrication d'une boussole. © LAMAP



En LSF, pour le signe **BOUSSOLE**, l'index montre l'oscillation d'une aiguille aimantée.



BOUSSOLE

Les points cardinaux en Langue des Signes

Les points cardinaux en LSF se désignent en pointant une direction avec le doigt et en ajoutant une lettre: « **N** » (Nord), « **S** » (Sud), « **E** » (Est), « **O** » (Ouest). Si le doigt pointe verticalement vers le haut: il s'agit du **ZÉNITH**; si le doigt pointe verticalement vers le bas: il s'agit du **NADIR** (le contraire du zénith).



N



S



E



O

Les quatre saisons

Au cours de l'année, le Soleil s'élève plus ou moins au-dessus de l'horizon. En même temps, la vie sur la Terre se modifie. Cela explique que les pays de l'Europe, par exemple, comptent **quatre saisons**. C'est une conséquence de l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport au Soleil et de la révolution de la Terre autour de celui-ci.

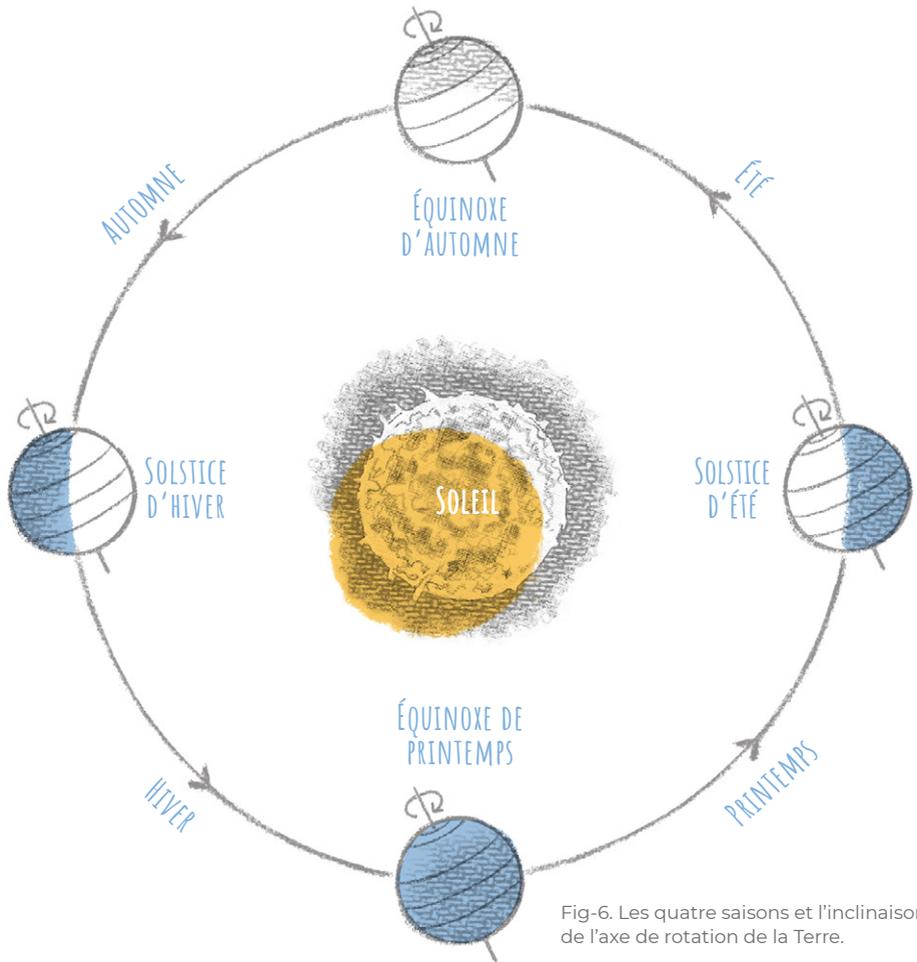


Fig-6. Les quatre saisons et l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre.

La durée du jour et de la nuit change au cours de l'année.

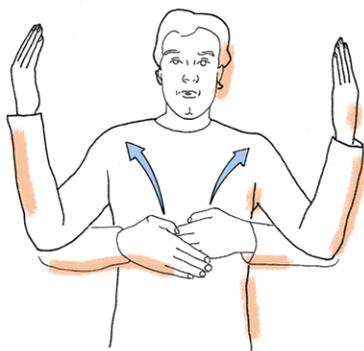
Fin automne, début hiver, nous recevons peu de Soleil, les nuits sont les plus longues. Au **solstice d'hiver**, aux alentours du 21 décembre, la nuit est la plus longue de l'année et le jour le plus court. Au début du printemps, le jour et la nuit deviennent égaux : c'est **l'équinoxe de printemps**, et le Soleil est chaque jour un peu plus haut dans le ciel. À la fin du printemps et au début de l'été, le Soleil est au plus haut dans le ciel et ses rayons, peu inclinés, peuvent échauffer plus intensément le sol et l'air : la lumière et la chaleur sont au maximum.

Les jours sont les plus longs aux alentours du 21 juin : c'est le **solstice d'été**, le jour le plus long de l'année. En automne, le jour et la nuit deviennent égaux : c'est **l'équinoxe d'automne**, et le Soleil est chaque jour un peu plus bas dans le ciel depuis le solstice d'été.

Les signes **JOUR** et **NUIT** sont identiques à « lever du jour » et « tombée de la nuit » : les mains se lèvent en s'écartant (**JOUR**) ou retombent en se refermant (**NUIT**). En changeant l'étendue et la vitesse du mouvement, on produit les signes **JOUR LONG**, **JOUR COURT**, **NUIT LONGUE**, **NUIT COURTE**. Le **SOLSTICE D'ÉTÉ** est un jour long suivi d'une nuit courte ; à l'inverse, le **SOLSTICE D'HIVER** une longue nuit suivie d'une courte journée. Pour les **ÉQUINOXES**, on enchaîne les signes jour et nuit à la même vitesse.

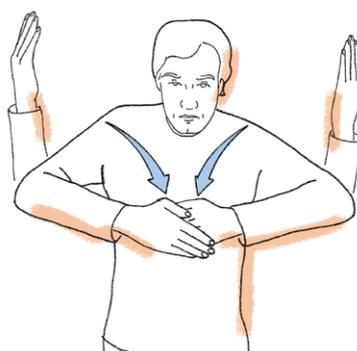


ÉQUINOXE: JOUR ET NUIT SONT IDENTIQUES



JOUR

SOLSTICE D'ÉTÉ:
JOUR LONG ET NUIT COURTE



NUIT

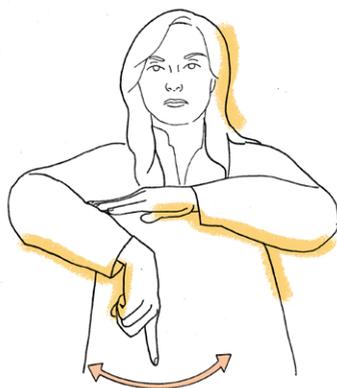
SOLSTICE D'HIVER:
NUIT LONGUE ET JOUR COURT

Quelle heure est-il ?

Aujourd'hui, l'heure est facile à obtenir: il suffit de regarder sa montre. Longtemps on a utilisé le **cadran solaire** qui indique le temps par rapport à la position d'une ombre sur le cadran, cette position étant liée à celle du Soleil. Le cadran date de l'antiquité. La table du cadran est une surface généralement plane, et l'ombre est créée à l'aide d'un objet parallèle à l'axe de rotation de la Terre, le style, ou gnomon s'il est vertical, qui peut avoir des formes différentes. **La direction de l'ombre indique l'heure.**

L'**HORLOGE** se représente en LSF par son balancier.

Pour demander l'**HEURE** à une personne, on tape avec l'index sur le poignet de l'autre main, à l'emplacement de la montre; le visage doit marquer une question.

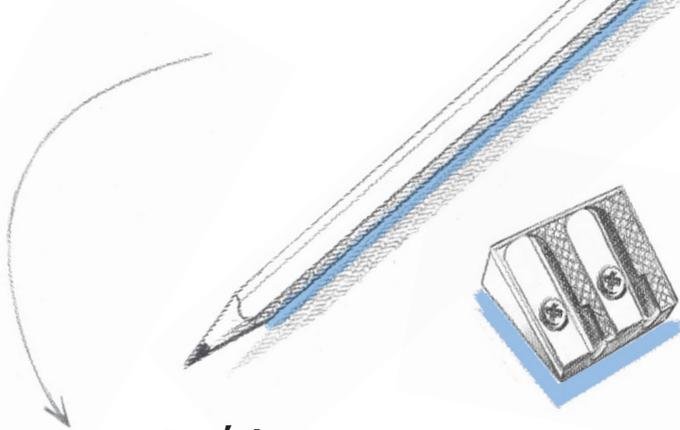


HORLOGE



LE SAVIEZ-VOUS ?

*L'Observatoire de Paris utilise des dispositifs appelés fontaines atomiques pour donner l'heure. Celle-ci a une précision meilleure que le **mille milliardième de seconde** (10^{-12} seconde)!*



Expérience : Fabrication d'un cadran solaire équatorial

Fabriquez votre propre cadran solaire équatorial en suivant les instructions du dépliant situé à la fin du livre.



LA LUNE



Dans le signe **LUNE**, les deux mains en cornes prolongent le visage de profil, pour représenter le croissant lunaire.



LUNE

La Lune offre un spectacle dont on ne se lasse jamais. Avec des jumelles, une petite lunette astronomique ou un petit télescope, on peut observer les cratères, les plaines, les failles et les montagnes dont l'éclairage change avec la phase.

La Lune est le satellite naturel de la Terre; c'est le seul autre monde sur lequel l'être humain soit allé. Beaucoup de calendriers sont établis à partir de son cycle.

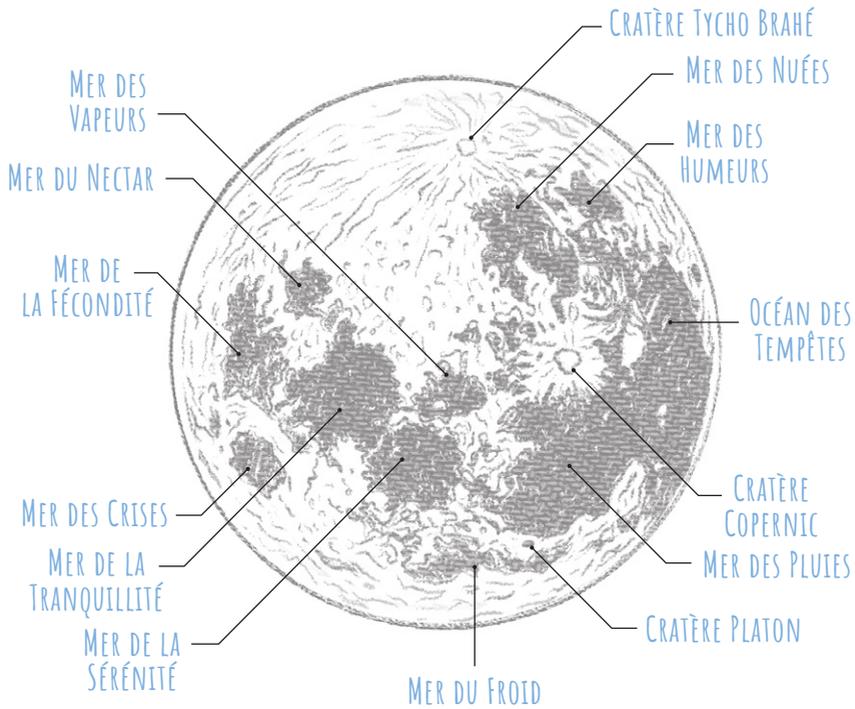


Fig-7. Les principales caractéristiques de la Lune visibles avec une lunette astronomique ou un petit télescope (l'image est inversée, le Nord est en bas).

La révolution de la Lune autour de la Terre

La Lune tourne autour de la Terre en presque un mois (27 jours 7 heures et 43 minutes précisément). Elle met exactement le même temps pour tourner sur elle-même que pour tourner autour de la Terre. C'est **pourquoi la Lune présente toujours la même face orientée vers nous**. Elle tourne autour de la Terre à une distance moyenne de 384 400 km. Trois fois et demie plus petite que la Terre avec un diamètre de 3475 km, la gravité à sa surface est si petite qu'un humain de 75 kg n'en pèse plus que 12,4 sur la Lune. La Lune n'a pas d'atmosphère et sa température varie entre +120 °C lorsque sa surface est éclairée par le Soleil, et -180 °C lorsqu'elle est plongée dans la nuit.



Expérience :

Comprendre la révolution de la Lune autour de la Terre.

Tournez autour d'une chaise (représentant la Terre) sans la quitter des yeux; pendant cette révolution autour de la chaise, les yeux ont balayé tout le fond de la pièce: les deux rotations (vous autour de la chaise, vous autour de vous-même) se sont faites en même temps, à la même vitesse.

Les phases de la Lune

La Lune brille car elle renvoie la lumière du Soleil. En tournant autour de la Terre, elle montre différentes parties de sa face éclairée. Après la Nouvelle Lune (où seule la face cachée est éclairée), les principales phases sont le Premier Quartier, la Pleine Lune (le disque lumineux est circulaire) et le Dernier Quartier. Le cycle de ces quatre phases, appelé cycle lunaire, s'effectue précisément 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 du bas de la lettre « d » (comme dernier).**

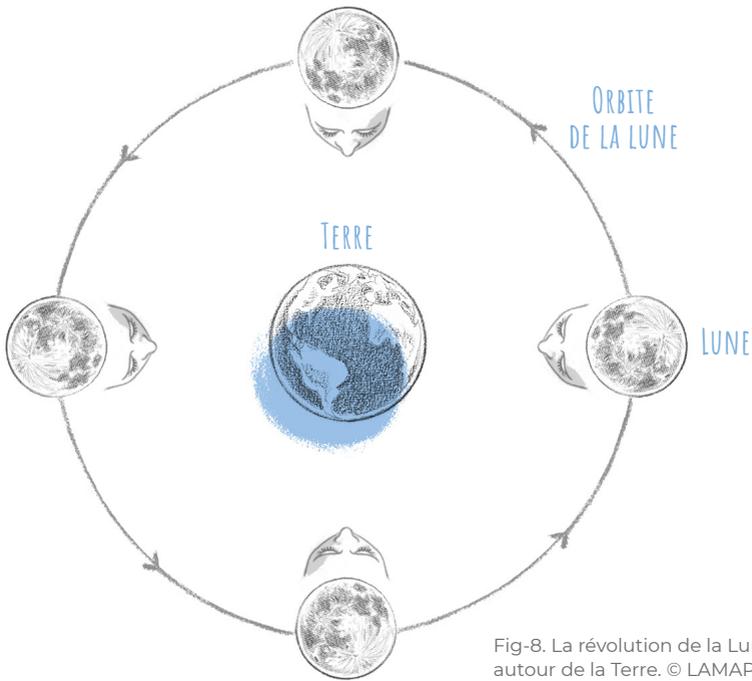


Fig-8. La révolution de la Lune autour de la Terre. © LAMAP



LE SAVIEZ-VOUS ?

Le retour des humains sur La Lune est prévu pour 2026 et jusqu'en 2030, avec les missions ARTEMIS de la NASA sur lesquelles collaborent notamment l'Agence Spatiale Européenne (ESA) et le Centre National d'Études Spatiales français (CNES). Ces missions ont pour objectif de tester plusieurs technologies pour envisager de futures missions vers Mars!



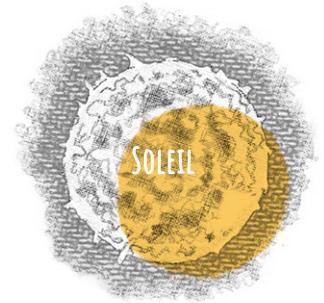
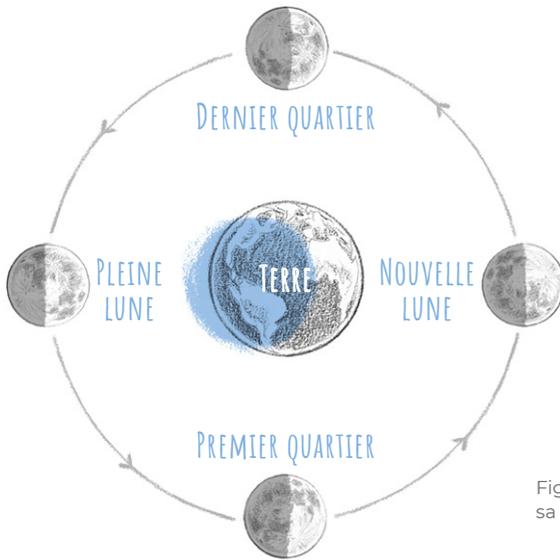


Fig-9. Les phases de la Lune pendant sa révolution autour de la Terre.

Expérience : Comprendre les phases de la Lune.

Matériel:

une lampe de poche (représentant le Soleil), une grosse orange (représentant la Terre) et une petite balle claire (représentant la Lune).

Fonctionnement:

Placer la lampe, l'orange et la balle comme sur la figure ci-dessous et la faire tourner autour de l'orange en suivant un cercle: la face de la Lune tournée vers la Terre est d'abord sombre, puis de plus en plus éclairée et redevient sombre.



© LAMAP

Le relief de la Lune

La surface de la Lune est très tourmentée. On distingue de vastes étendues sombres couvertes de basalte, appelées **mers**. Le sol est criblé d'une multitude de **cratères** atteignant 200 km de diamètre qui résultent de multiples impacts de météorites. Plusieurs chaînes de montagnes importantes sont également visibles, dont certaines culminent à plus de 8000 mètres. Les conditions ne permettent pas d'avoir de traces d'eau liquide ou sous forme de vapeur, mais de l'eau glacée est bien présente dans les régions polaires de la Lune.

L'être humain sur la Lune

La Lune est le seul corps céleste autre que la Terre où l'être humain est allé: Neil Armstrong et Edwin Aldrin ont aluni le 21 juillet 1969. À ce jour, douze astronautes ont marché sur la Lune. Ils ont rapporté sur Terre 380 kg de roches et y ont déposé tout un ensemble d'instruments scientifiques.

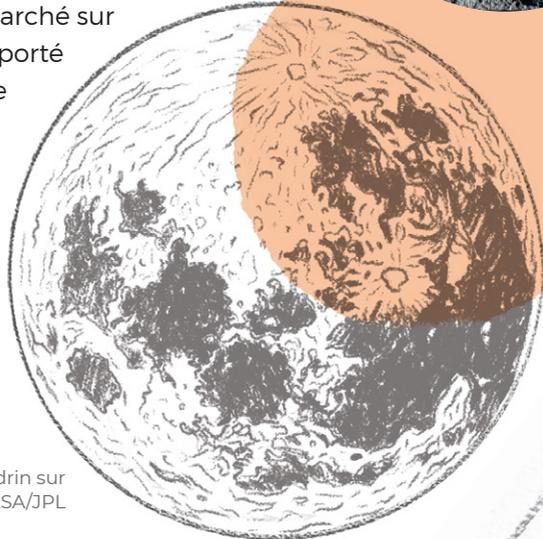
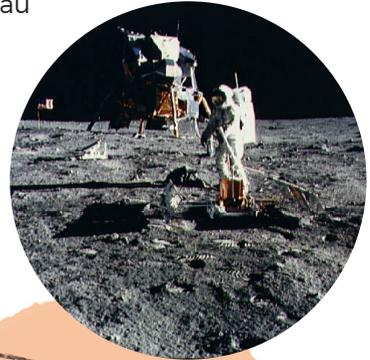
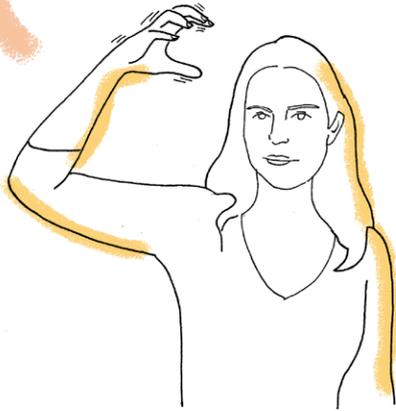
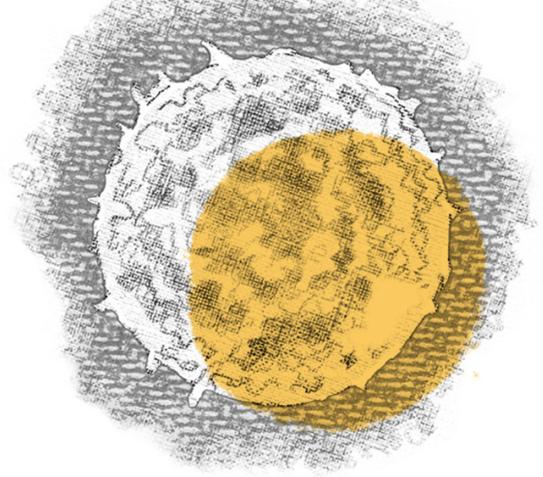


Fig-10. Edwin "Buzz" Aldrin sur la Lune en 1969. © NASA/JPL



SOLEIL



En LSF, 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.

Le Soleil est l'étoile la plus proche de la Terre. S'il était sous la tour Eiffel à Paris et si la Terre tournait autour à deux mètres, la prochaine étoile serait à Lyon! Si le Soleil était un ballon de football, la Terre serait une tête d'épingle.

Le Soleil est une étoile essentiellement composée d'un gaz: le dihydrogène (H_2) communément appelé hydrogène, qui lui sert de carburant et alimente le centre où se produisent des réactions nucléaires semblables à une bombe atomique dont l'explosion se poursuit depuis 4,6 milliards d'années, apportant la chaleur et la lumière. Il se situe à une distance moyenne de près de **150 millions de km** de la Terre. Les distances sont tellement grandes que les astronomes utilisent des unités plus simples que le kilomètre: ainsi **la distance Terre-Soleil est une unité astronomique (1 UA)**. Le Soleil a un diamètre de 1392000 km, et il tourne sur lui-même en 27 jours et 7 heures en moyenne.

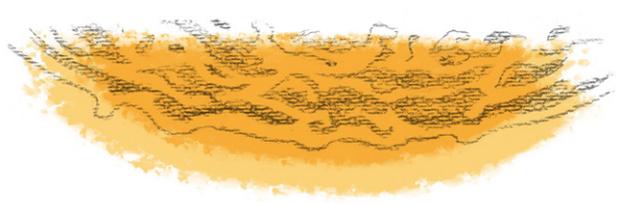


LE SAVIEZ-VOUS ?

Des missions satellite permettent d'observer au plus près et de façon continue le Soleil et son activité. On peut citer par exemple la mission SOHO de l'ESA ayant observé la structure interne du Soleil, son atmosphère et l'origine du vent solaire, avec une forte contribution de la France sur 6 des 12 instruments, et l'exploitation scientifique des mesures. Plus récemment, la mission SOLAR ORBITER de l'ESA (décrite dans ce livre, au chapitre des instruments spatiaux), toujours avec une contribution importante de la France sur 6 des 10 instruments, se situe à une distance de 62 fois le rayon du Soleil, permettant une observation à haute résolution, pour mieux connaître les origines du vent solaire et observer les pôles, inaccessibles depuis la Terre. En décembre 2023, la sonde PARKER SOLAR PROBE s'est approchée encore plus près du Soleil, à une distance de seulement 7,2 millions de km.

La température moyenne à la surface du Soleil est de **5800 °C**. Au centre, elle atteint quinze millions de degrés. Le Soleil est une petite étoile (naine jaune), comparée à bien d'autres étoiles. **Les taches solaires** peuvent atteindre une taille de 1500 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.

On observe de nombreuses éruptions à la surface du Soleil : ce sont des jets de particules à haute énergie qui se propagent à grande vitesse dans toutes les directions. Lorsque ces particules arrivent près de la Terre, elles sont déviées par le champ magnétique de notre planète et suivent celui-ci, nous protégeant ainsi de leurs effets nocifs.



IMPORTANT

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: on risque des lésions irréversibles de la rétine, avec le risque de devenir aveugle.
- Il est également indispensable de se protéger le corps des rayons du Soleil, car ceux-ci peuvent être nocifs, en particulier en été. Une partie de ses rayons ultraviolets agit comme des « coups de Soleil » nuisibles pour la peau.

Fig-11. Le Soleil
à Paris le 18 août 2001. ©
Observatoire de Paris

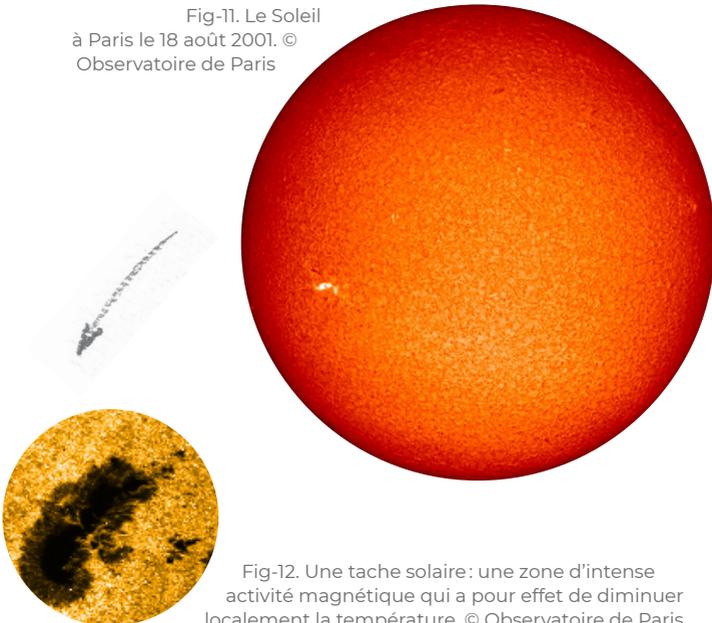
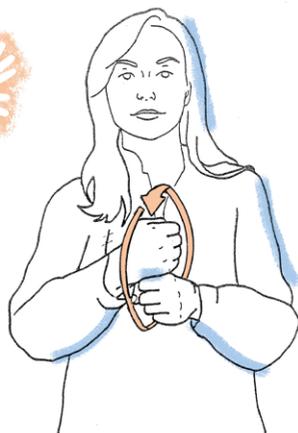


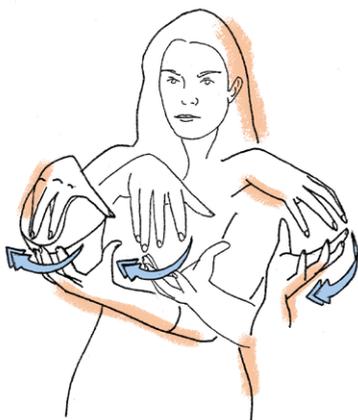
Fig-12. Une tache solaire: une zone d'intense activité magnétique qui a pour effet de diminuer localement la température. © Observatoire de Paris

TROIS SIGNES EN LSF : ANNÉE - ROTATION - RÉVOLUTION.



ANNÉE

Le signe **ANNÉE**, un poing tournant autour de l'autre, représente la trajectoire annuelle de la Terre autour du Soleil.



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.

Le signe **RÉVOLUTION** représente deux corps sphériques, dont l'une tourne autour de l'autre, de la même manière que la Terre tourne autour du Soleil, ou que les satellites tournent autour des planètes.



RÉVOLUTION

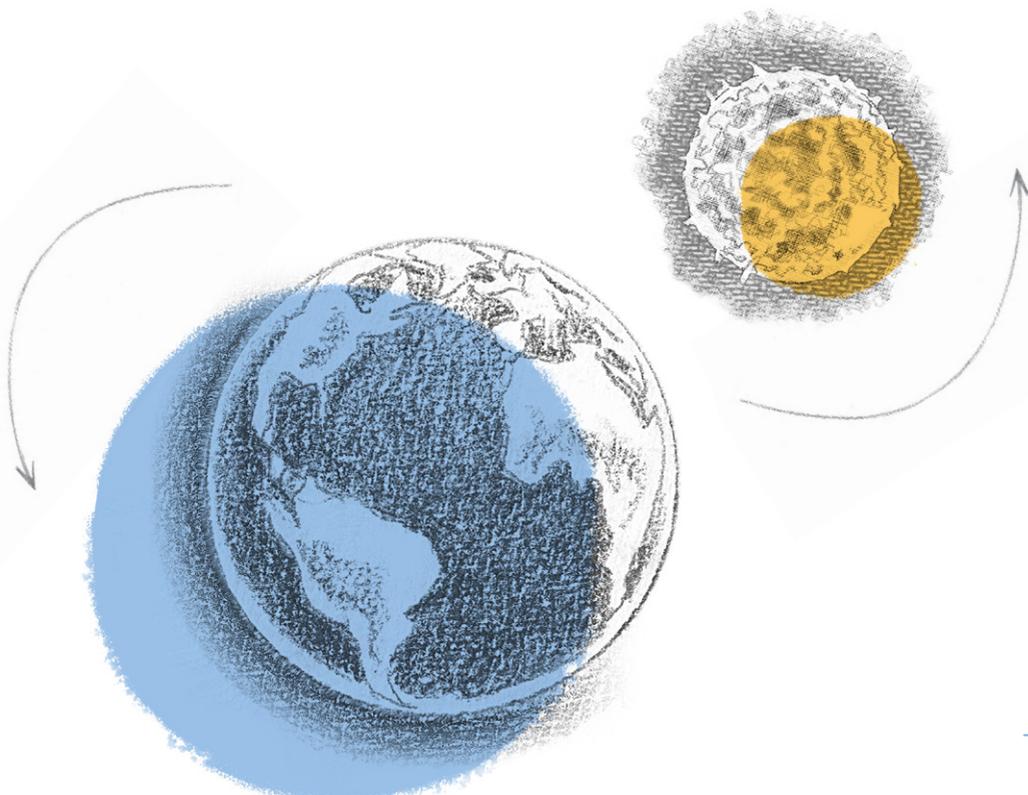
ÉCLIPSE DE SOLEIL, ÉCLIPSE DE LUNE



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.



ÉCLIPSE



Éclipse de Soleil

Une éclipse solaire se produit lorsque la Lune passe entre la Terre et le Soleil en masquant ce dernier. En effet, la Lune est 400 fois plus petite que le Soleil mais aussi 400 fois plus proche de la Terre. Vus de la Terre, les diamètres du Soleil et de la Lune semblent donc identiques; on peut cacher exactement leur disque en tenant une pièce d'un centime à bout de bras. 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 (notamment si on est situé dans la zone de pénombre).

Lorsque la Lune se trouve exactement entre la Terre et le Soleil, celui-ci disparaît et l'ombre de la Lune est projetée sur la Terre. Comme la Lune se déplace, cette ombre se déplace également à la surface de la Terre. Vu du sol, le phénomène est extrêmement spectaculaire: la nuit survient au milieu du jour et des étoiles apparaissent dans le ciel durant quelques minutes. 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 de devenir aveugle.

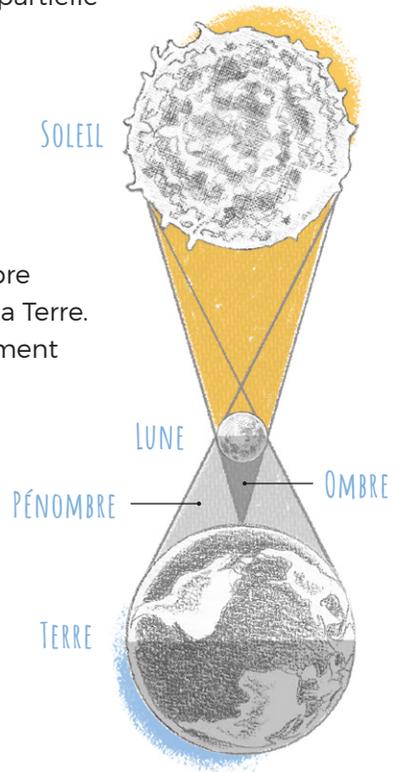


Fig-13. Principe d'une éclipse totale de Soleil. La dimension et la distance du Soleil ne sont pas respectées; celui-ci devrait être ici 400 fois plus gros et 400 fois plus distant.

Éclipse de Lune

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 grande

que le disque de notre

satellite. Contrairement à une

éclipse de Soleil, une éclipse

de Lune s'observe partout sur

la Terre, et ne présente aucun

danger: elle peut être faite à

l'œil nu.

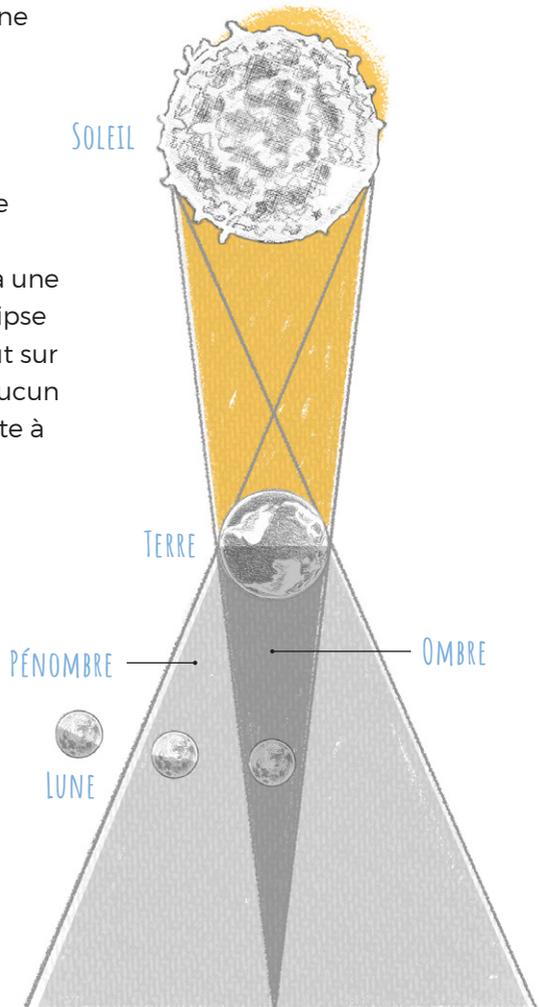


Fig-14. Principe de l'éclipse de Lune. Le Soleil projette l'image de la Terre sur la Lune.

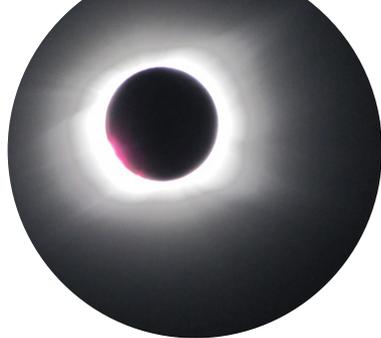
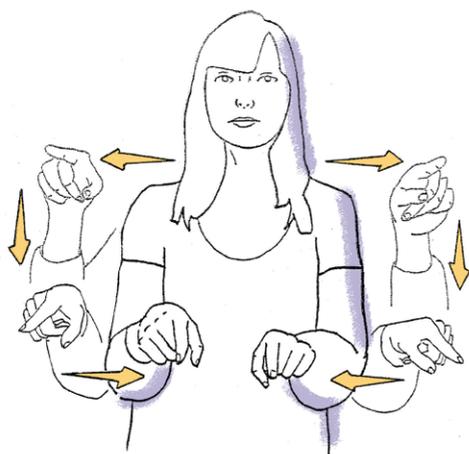


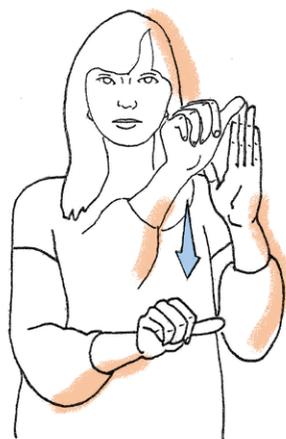
Fig-15. À gauche: L'éclipse totale de Soleil du 10 juillet 2011 à l'Île de Pâques © D. Proust. À droite: Une éclipse de Lune: l'ombre de la Terre se projette sur le disque lunaire. © D. Proust



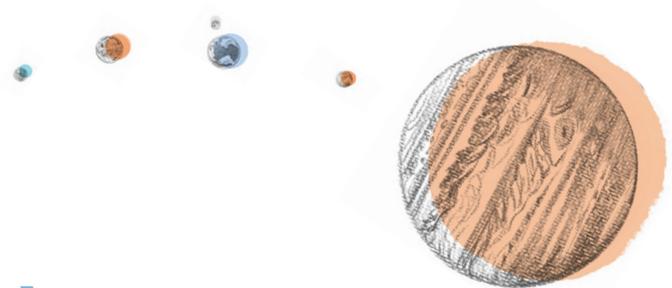
Pour les dates des éclipses, le signe **CALENDRIER** est composé d'un **RECTANGLE** tracé dans l'espace, qui reproduit la forme de l'objet, suivi du signe **MOIS**: on trace sur la main gauche des lignes de haut en bas.



RECTANGLE

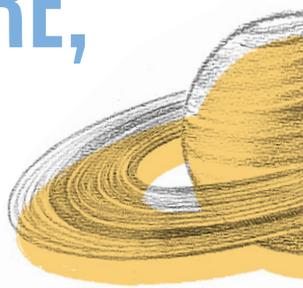


MOIS



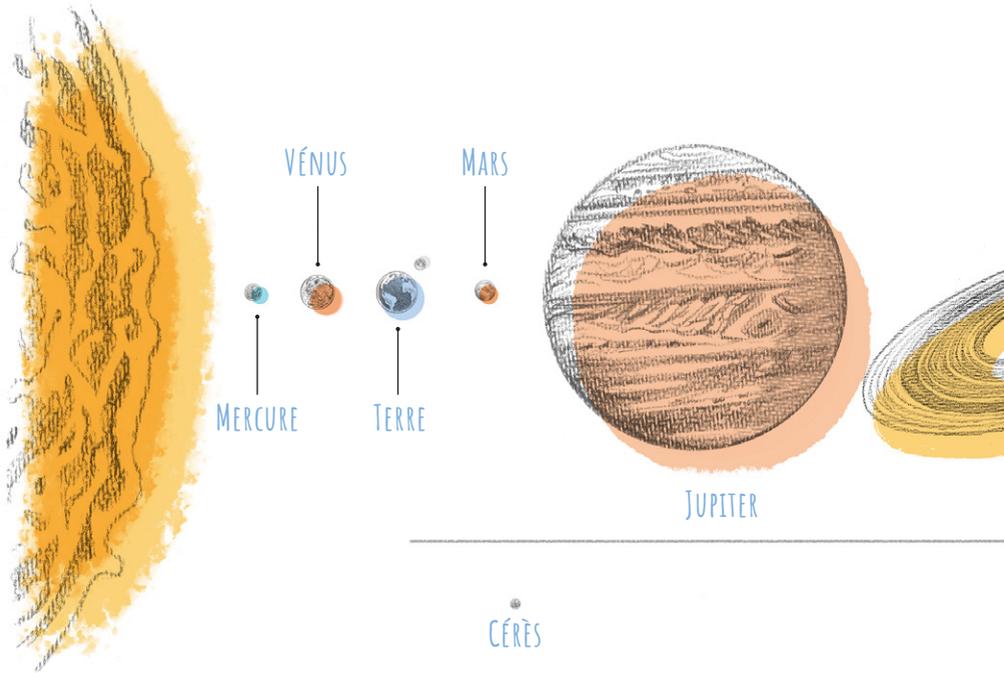
//

LE SYSTÈME SOLAIRE, LES PLANÈTES, LES COMÈTES ET LES MÉTÉORITES

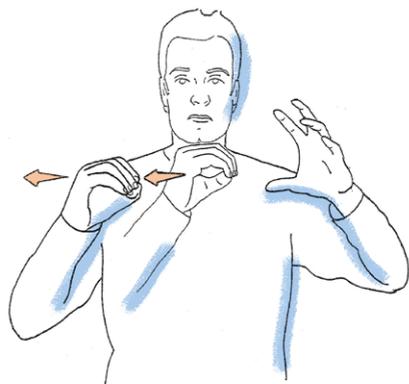
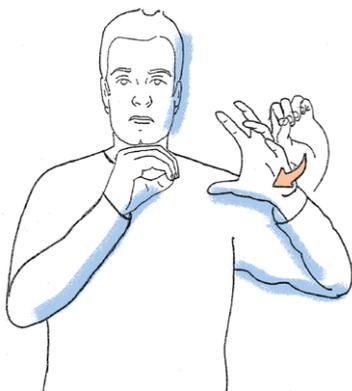


Le Système solaire est essentiellement composé du Soleil et de huit planètes; en partant du Soleil, on trouve dans l'ordre: Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune. On peut s'en souvenir avec la phrase: « **Mon Vieux Toutou Médor, Joue Sur Un Nuage** ». Il est également constitué de **planètes naines** encore plus lointaines comme Pluton et son satellite Charon, Eris, etc., d'**astéroïdes** comme Cérès, Pallas, Vesta, Junon etc., qui circulent essentiellement entre Mars et Jupiter. Il comprend aussi des **milliers de comètes**, et une multitude de débris rocheux qui rencontrent la Terre: les météores et les météorites.





Pour signer le **SYSTÈME SOLAIRE**, un poing qui s'ouvre représente le Soleil. L'autre main, en forme de O, s'en éloigne avec un petit mouvement d'oscillation pour représenter la succession des planètes.



SYSTÈME SOLAIRE

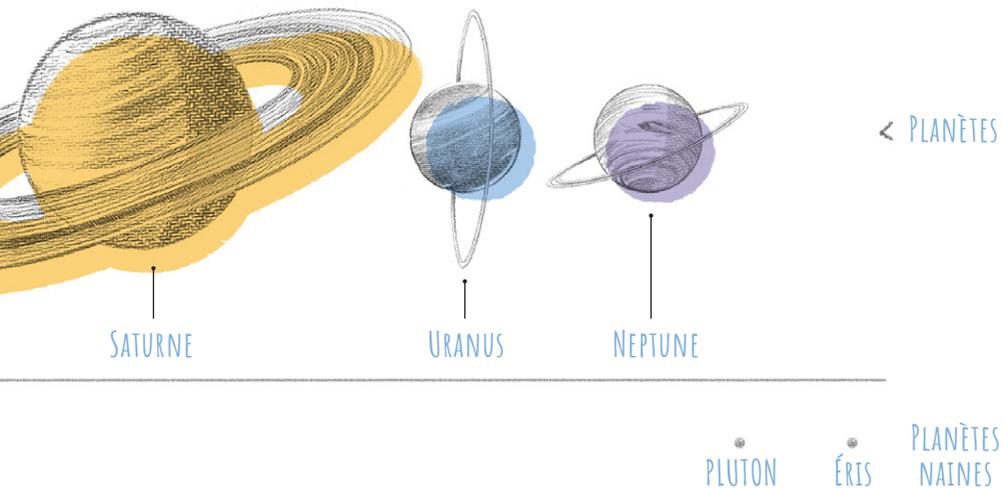
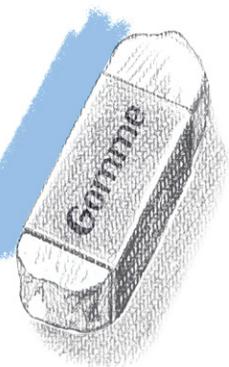


Fig-16. Le Soleil et les planètes (les échelles ne sont pas respectées).

Les planètes du Système solaire 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. Comme la Terre, ces planètes sont rocheuses et elles ont une atmosphère très mince: 100 km d'épaisseur pour la Terre, 150 km pour Vénus, et seulement 50 km pour Mars; en revanche, en revanche, ces deux dernières ont une plus faible gravité que celle de la Terre. Il faut ensuite aller au-delà de 5 unités astronomiques (une unité astronomique est la distance moyenne de la Terre au Soleil) pour trouver les quatre grosses planètes: Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Chacune d'elles est constituée d'un gros noyau rocheux sur lequel repose une énorme couche faite d'un mélange visqueux d'hydrogène et d'hélium: on les appelle **les planètes gazeuses**. Elles sont toutes les quatre accompagnées de nombreux satellites et entourées d'anneaux plus ou moins larges.



Expérience : Fabriquons un Système solaire.

Nous fabriquons un Système solaire miniature plaçant la Terre à 15 centimètres du Soleil. Voici les distances des différentes planètes à cette échelle :

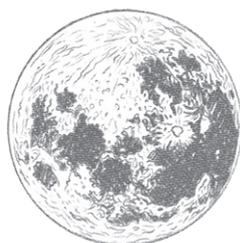
MERCURE	VENUS	TERRE	MARS	JUPITER	SATURNE	URANUS	NEPTUNE
6 cm	11 cm	15 cm	23 cm	78 cm	1,43 m	2,87 m	4,50 m

À cette échelle, la Terre serait trop petite pour être visible à l'œil nu ! Nous allons donc lui donner un diamètre de 2 cm. Le Soleil aurait alors un diamètre de 2,40 m et ne peut pas être représenté. Voici le diamètre des autres planètes à la même échelle :

MERCURE	VENUS	TERRE	MARS	JUPITER	SATURNE	URANUS	NEPTUNE
0,8 cm	2 cm	2 cm	1,2 cm	24 cm	20 cm	8 cm	8 cm

Il suffit maintenant de découper les planètes dans du carton et de les placer à la bonne distance. Bien entendu, les planètes peuvent être décorées selon leur aspect observé par les astronomes, ou selon l'imagination de chacun !

Fig-17. La planète Mercure.
© NASA/JPL



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.



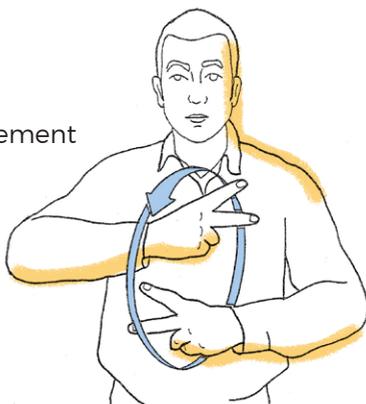
MERCURE

De toutes les planètes, **Mercure est la plus proche du Soleil** : elle est à une distance de 58 millions de km du Soleil, avec un diamètre de 4 880 km. Sa rotation est lente : 58 jours et 15 heures et sa révolution autour du Soleil se fait en 88 jours.

L'atmosphère de Mercure est presque inexistante, ce qui provoque de **grands écarts de température moyenne, entre +430 °C sur la face éclairée par le Soleil et -180 °C sur celle qui est dans la nuit**. Le relief de Mercure est assez plat, mais une grande quantité de cratères recouvre sa surface. Selon que la planète est éclairée de face ou de côté, elle présente des phases comme Vénus et la Lune, avec des quartiers et des croissants, observables avec un petit télescope.

VÉNUS

Le signe **VÉNUS** 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*.



VÉNUS



LE SAVIEZ-VOUS ?

La planète Vénus est, après le Soleil et la Lune, l'astre le plus brillant du ciel quand elle est visible. On la voit toujours à proximité du Soleil, soit à son lever, soit à son coucher. Les anciens avaient surnommé Vénus: l'étoile du Berger.

Vénus est presque aussi grande que la Terre (12300 km de diamètre) à une distance de 108 millions de km du Soleil. Une journée sur Vénus est extrêmement longue, car elle tourne sur elle-même en 243 jours, en sens inverse de la Terre. Elle effectue sa révolution autour du Soleil en 225 jours.

L'atmosphère est extrêmement épaisse avec une température moyenne de +460 °C, composée essentiellement de dioxyde de carbone (CO₂) qui provoque un intense effet de serre en piégeant la chaleur du rayonnement solaire, ce qui explique pourquoi la température est si élevée à sa surface.



LE SAVIEZ-VOUS ?

La mission de la sonde spatiale EnVision en partenariat entre la NASA, l'ESA, le CNES et plusieurs laboratoires français notamment, orbitera autour de Vénus et permettra d'étudier les caractéristiques actuelles et les processus d'évolution de cette planète dans son ensemble. Peut-être aidera-t-elle à répondre à cette question: Pourquoi la planète Vénus, très semblable à la Terre au début de sa formation en taille et composition, est-elle devenue un monde inhabitable subissant un effet de serre catastrophique ?

MARS



Le nom de **MARS** en LSF calque sa dénomination populaire: **PLANÈTE** suivi de **ROUGE**. Ce dernier signe renvoie à la couleur des lèvres avec l'index. Pour **PLANÈTE**, voir l'entrée Terre.

Attention! Le signe utilisé pour le mois de mars est tout différent.



MARS

La planète Mars apparaît au télescope comme un petit disque rose. Elle est une des cinq planètes visibles à l'œil nu (Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne).

Mars se situe à une distance moyenne de 228 millions de km du Soleil, avec un diamètre de moitié celui de la Terre soit 6804 km. Elle tourne sur elle-même en 24 h et 37 min: la durée d'une journée sur Mars est presque égale à celle d'une journée sur la Terre. Mars tourne autour du Soleil en presque deux ans (un an et 322 jours exactement).

Mars a une atmosphère composée de dioxyde de carbone (CO_2) à 95 % et de diazote (N_2) à 3 %. La température sur Mars, descend à -100°C en hiver, mais peut monter à $+15^\circ\text{C}$ à l'équateur en été. Un vent violent souffle souvent, en soulevant de grands nuages de poussière, mais comme son atmosphère est peu dense, on ne le sentirait à peine par rapport à un vent de même intensité sur Terre!

Mars a deux satellites, Phobos (27 km) et Déimos (15 km).



Fig-19. La surface de Mars, avec les traces de roues du véhicule-robot *Perseverance* le 4 mars 2021. © NASA/JPL

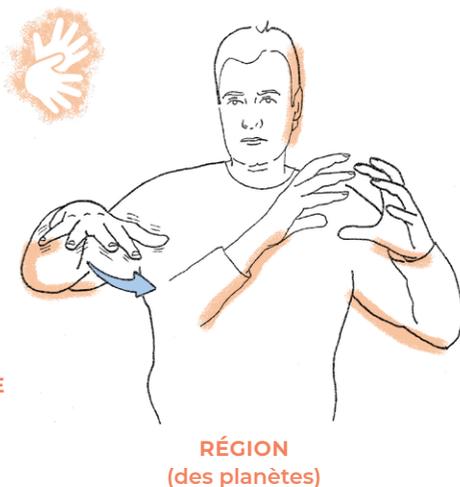


LE SAVIEZ-VOUS ?

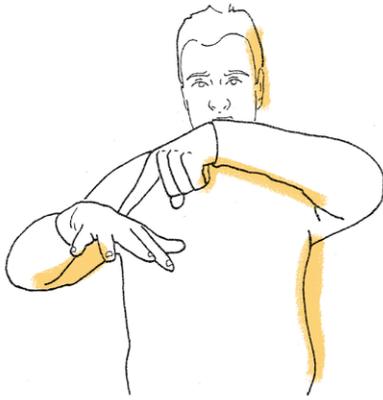
De nombreuses sondes spatiales ont orbité autour de Mars, et des robots se sont posés sur sa surface. Ces missions ont montré des régions pierreuses désertiques, ainsi que des volcans éteints et d'anciens lits de rivières et de torrents asséchés. Une des deux calottes polaires de couleur blanche est bien visible (Fig-20) constituée de glace d'eau. Le robot de la mission Perseverance analyse les roches martiennes à coups de laser et sème des échantillons depuis 2021. La mission EXOMARS est prévue pour récupérer des échantillons afin de les rapporter sur la Terre, à la recherche d'anciennes traces de vie sur la planète rouge!

LES ASTÉROÏDES

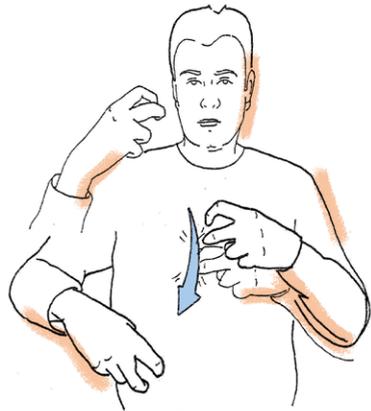
ASTEROÏDE se traduit par une succession de trois signes. Le premier montre une vaste région circulaire autour du Soleil représenté par un poing fermé, remplie d'une multitude d'objets symbolisés par les doigts écartés de l'autre main. Un pointage avec l'index (**ICI**, **LÀ**) précise le contenu de cette zone. Il est suivi du signe **PIERRE / ROCHE**: les deux index et majeurs repliés se choquent.



RÉGION
(des planètes)



ICI, LÀ



PIERRE

De nombreux astéroïdes sont situés dans une région entre Mars et Jupiter. Ce sont des milliers de fragments de planètes, dont la taille varie entre quelques dizaines de mètres et quelques dizaines de kilomètres. Ils forment **la ceinture d'astéroïdes**.

Le plus gros des astéroïdes, Cérès a une taille d'environ 900 km. Ils ont des formes très variées.

Les astronomes estiment qu'un à deux millions d'astéroïdes ont un diamètre supérieur à un kilomètre tandis qu'environ deux cents ont un diamètre supérieur à cent kilomètres.



LE SAVIEZ-VOUS ?

Il y a environ 66 millions d'années, un astéroïde dont la taille est estimée à 8 km a probablement percuté la Terre au niveau du Mexique, provoquant le basculement de l'axe de la Terre qui passait en Afrique du Sud; il est aussi responsable de la dernière extinction de la majorité des espèces.

Fig-21. L'astéroïde Ryugu mesure 980 m de diamètre. © JAXA



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 rouge.



JUPITER

Jupiter est la plus grosse planète du Système solaire. Si elle avait la taille d'une orange, la Terre aurait celle d'une noisette.

Jupiter est à une distance de 780 millions de km du Soleil, avec un diamètre de 143 000 km, soit onze fois le diamètre de la Terre! Cependant une journée sur Jupiter ne dure que 9 h 53 min L'année de Jupiter dure presque 12 ans (11 ans et 315 jours exactement).

L'épaisse atmosphère de Jupiter est constituée de couches de gaz liquéfiés de dihydrogène (H₂) et d'hélium (He), qui provoquent des orages et des cyclones avec des vents atteignant 360 km/h. Sa température moyenne est de -150 °C.



LE SAVIEZ-VOUS ?

La tache rouge de Jupiter visible sur l'image est une tornade de la taille de la Terre que les astronomes observent depuis au moins 200 ans. La planète est accompagnée de 95 satellites dont les quatre plus gros, plus ou moins de la taille de la Lune, ont été découverts par Galilée (1564-1642) en 1609 et sont facilement visibles avec une paire de jumelles: Io, Europe, Ganymède et Callisto. Outre ces quatre lunes,



Fig-22. Jupiter et sa « tache rouge » (tornade). © NASA/JPL

d'autres sont totalement glacées. Aussi, la sonde JUICE de l'ESA, lancée en 2023 depuis Kourou en Guyane à bord d'une fusée Ariane 5 va tenter de mieux cerner les conditions nécessaires à l'apparition de la vie. La France a participé fortement au développement des instruments.



SATURNE



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



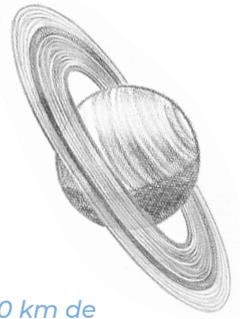
SATURNE

La planète Saturne avec ses anneaux est sans doute la plus célèbre du Système solaire. C'est une véritable merveille, facilement accessible à l'observateur à l'aide d'une petite lunette ou d'un télescope.

Saturne est presque aussi grosse que Jupiter avec un diamètre de 120 550 km, et est située à une distance de près de 1,5 milliard de km du Soleil. Elle a aussi une rotation rapide: une journée sur Saturne dure moins d'une demi-journée terrestre (10h 47min exactement). Elle effectue une révolution autour du Soleil en 29 ans ½ (29 ans et 165 jours exactement). Son atmosphère est aussi très épaisse et identique à celle de Jupiter, à une température moyenne de -190 °C.



LE SAVIEZ-VOUS ?



Les anneaux de Saturne s'étendent sur 360 000 km de diamètre, 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. La planète est accompagnée de 146 satellites, et Titan est le plus gros avec un diamètre de 5150 km : il est facilement visible avec un petit télescope.

Les astronomes ont observé une atmosphère autour de Titan, assez épaisse pour maintenir une température de -179°C par un effet de serre. 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 montrant des régions solides formées de dunes, identiques à des dunes de sable, et de grands lacs de méthane (CH_4) liquide.

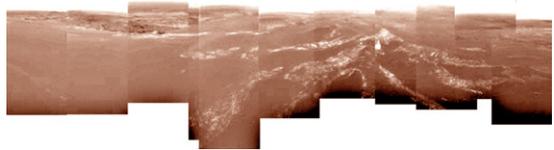


Fig-23. Surface de Titan vue par la sonde Huygens.
© ESA/NASA/JPL

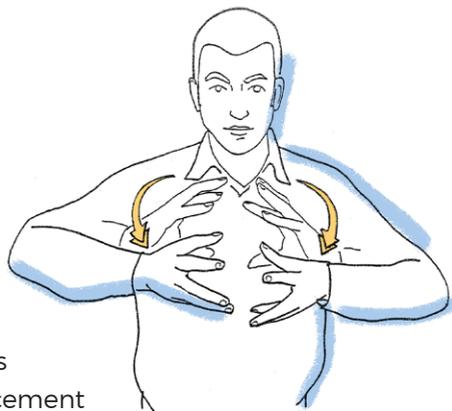


Fig-24. Saturne et ses anneaux.
© NASA/JPL

URANUS



Le signe **URANUS** dérive du signe **PLANÈTE**: 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: la planète « roule » par son inclinaison.



URANUS

Malgré sa distance de près de 3 milliards de km, Uranus est facilement visible avec une paire de jumelles.

Elle est beaucoup plus grosse que la Terre avec un diamètre de 51 000 km. Le plus étonnant: l'axe d'Uranus est incliné de 98° : la planète « roule », et une journée sur Uranus ne dure que 11 heures; elle effectue une révolution autour du Soleil en 84 ans.

Comme elle « roule », il y fait sombre tout l'hiver pendant 40 ans, et clair tout l'été pendant 40 ans, avec une température de -205°C . Son atmosphère est épaisse et composée dihydrogène (H_2) et d'hélium (He). On a détecté des nuages à haute altitude et des vents pouvant atteindre la vitesse de 100 km/h.

Comme Saturne, **Uranus est entourée d'un système d'anneaux** ayant quelques kilomètres d'épaisseur. La planète est accompagnée d'au moins 27 satellites.

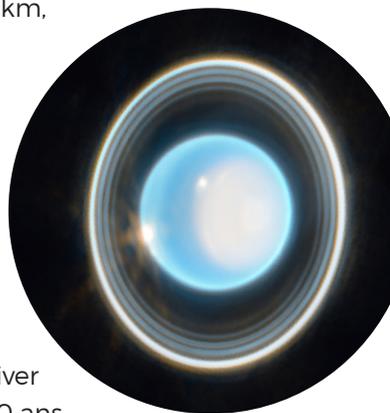


Fig-25. Uranus et ses anneaux.
©NASA/JPL



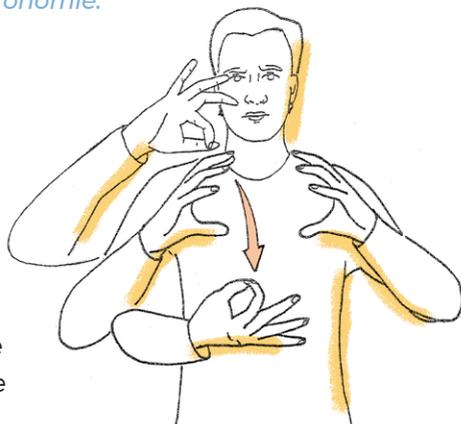
LE SAVIEZ-VOUS ?

La planète **Uranus** fut découverte en Grande-Bretagne par **William Herschel** (1738-1822) le 13 mars 1781 avec un petit télescope qu'il avait construit lui-même. Herschel était musicien, il jouait du violon, du hautbois, du clavecin et de l'orgue. Il a composé des symphonies et des concertos. Après la découverte d'**Uranus**, il a cessé ses activités musicales pour se consacrer à l'astronomie.

NEPTUNE



NEPTUNE se représente par le signe **PLANÈTE**, suivi du tracé d'un anneau fin et incliné: la main prend la forme d'une pince qui, en LSF, signifie **MINCEUR**.



NEPTUNE

Malgré sa distance, Neptune peut être observée avec un petit télescope. Elle n'est pas visible à l'œil nu.

Neptune est à une distance de 4,5 milliards de km du Soleil. Avec un diamètre de 46300 km; elle est aussi beaucoup plus grosse que la Terre. Une journée sur Neptune dure 15 h, et sa révolution autour du Soleil dure 165 ans.

La température moyenne à sa surface est de -220°C avec une atmosphère composée de dihydrogène (H_2) et d'hélium (He). Des cyclones et des violentes tempêtes balayent la surface de la planète, laissant des cortèges de nuages turbulents.

Fig-26. Image de Neptune et de ses anneaux.
© NASA/JPL



Comme Saturne et Uranus,
Neptune a un système d'anneaux.



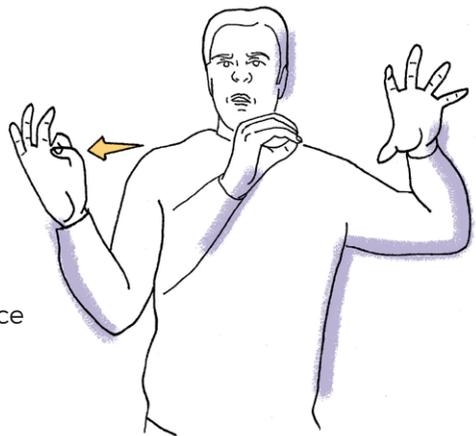
LE SAVIEZ-VOUS ?

Neptune a été découverte le 23 septembre 1846 à partir des calculs de perturbations de l'orbite d'Uranus effectués par Urbain Le Verrier (1811-1877) à l'Observatoire de Paris. En 1984, trois anneaux de Neptune ont été découverts par l'astrophysicien français André Brahic (1942-2016) auxquels il donna les noms de Liberté, Egalité et Fraternité. Neptune est accompagnée d'au moins quatorze satellites, dont un, Triton tourne en sens inverse de la direction de révolution de tous les satellites des autres planètes.

PLUTON ET LES PLANÈTES NAINES



La planète naine **PLUTON** est représentée par une main ouverte qui 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 pour indiquer un objet de petites dimensions.



PLUTON

Pluton fut découverte en 1930 et considérée comme la plus lointaine planète du Système solaire jusqu'en 2006.

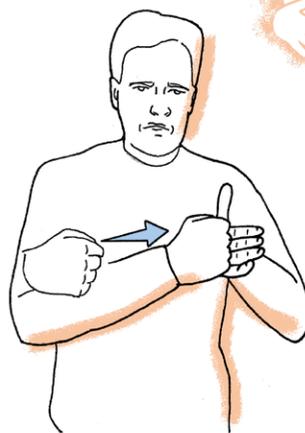
La découverte d'autres planètes plus grosses et plus distantes amena les astronomes à la retirer de la liste des planètes principales. En outre **Pluton est plus petite que la Lune.**

Pluton est à une distance qui varie de 4,4 à 7,4 milliards de km du Soleil avec un diamètre de 2370 km, soit $\frac{2}{3}$ de celui de la Lune. Une journée de Pluton dure un peu plus de 6 jours; elle effectue une révolution autour du Soleil en 248 ans. Sa surface est un désert de rochers et de glace à une température d'environ $-230\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Les **PLANÈTES NAINES**, se représentent par le signe **PIERRE** suivi du signe **TOUT AU BOUT**. Le signe **PIERRE** a une main en double crochet frappant l'autre main dans la même position.



PIERRE



TOUT AU BOUT



Après la découverte de Pluton, les astronomes ont cherché des planètes encore plus éloignées. Depuis 1992 on en a découvert un bon nombre: Orcus, Ixion, Varuna, Quaoar, Sedna, etc. Pour les distinguer des planètes majeures (de Mercure à Neptune), on convient de les appeler ici **planètes naines**.

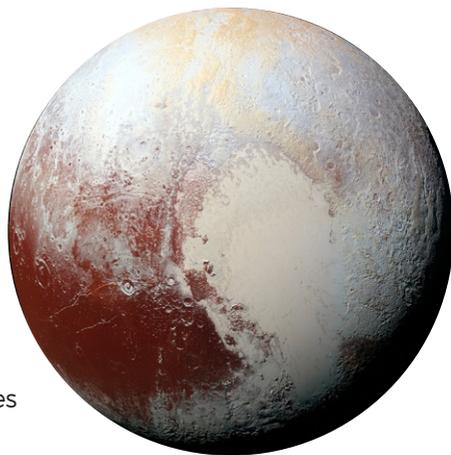


Fig-27. Image de Pluton vue par la sonde New Horizon. © NASA/JPL



LE SAVIEZ-VOUS ?

En 2023, les astronomes ont découvert 36 petites planètes transneptuniennes, tellement distantes du Soleil que celui-ci, vu depuis l'une d'entre elles, apparaît comme une étoile parmi les autres. L'une des plus distantes, a été baptisée Make-Make du nom du dieu qui conduisit les navigateurs vers la découverte de l'Île de Pâques.

Make-Make est à une distance moyenne de 6,7 milliards de km du Soleil. Elle a un diamètre de 1430 km et sa révolution autour du Soleil se fait en 306 ans.

Un jour sur Make-Make dure 23 heures.

La petite planète est accompagnée d'un satellite (au-dessus sur l'image).



Fig-28. Make-Make et son satellite. © Hubble



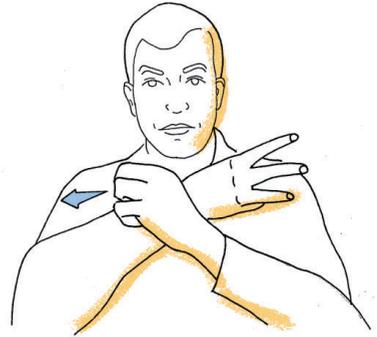
Fig-29. La comète
Hale-Bopp.



LES COMÈTES



Dans le signe **COMÈTE**, 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.



COMÈTE

Le mot comète provient du 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.

Une comète comporte 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** très fine qui s'allonge sur des dizaines de milliers de kilomètres et qui se divise parfois en deux: la queue de poussière la plus importante, et la queue de plasma composée de gaz éjecté par le noyau de la comète, à l'opposé du Soleil, bleutée sur la Fig-29.



LE SAVIEZ-VOUS ?

En 2014, la sonde européenne Rosetta a survolé la comète Tchourioumov-Guérassimenko, surnommée Tchouri. Le petit module Philae se posa sur le noyau de 4 km, en se coinçant dans une falaise, et cessa d'émettre. Bien qu'il ne mesure que 80 cm, Philae fut retrouvé par Rosetta en septembre 2016.

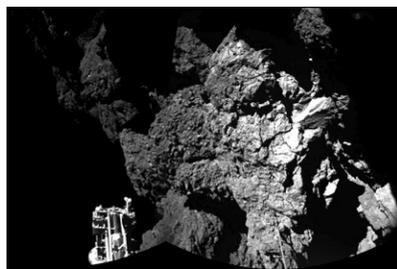
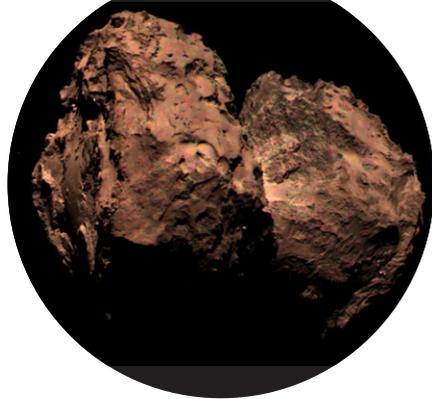


Fig-30. À gauche: le noyau de la comète Tchouri vu par la sonde Rosetta.
À droite: photographie de la comète prise par le petit module Philae posé à sa surface (on aperçoit un des pieds du module en bas à gauche de l'image). © ESA

Expérience : Construisons une maquette du module Philae.



On trouvera les plans au lien suivant :

https://esero.fr/wp-content/uploads/2021/11/maquette_philae.pdf

LES MÉTÉORITES



Le signe **MÉTÉORITE** 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.

La formation du Système solaire s'est achevée il y a environ 4,5 milliards d'années. Comme dans toute construction, il est resté des débris sous forme de rochers, de cailloux et de poussière



MÉTÉORITE

Fig-31. Une étoile filante.



qui sont également en orbite autour du Soleil, et que la Terre rencontre au cours de son mouvement de révolution autour du Soleil.

Lorsqu'ils pénètrent dans l'atmosphère terrestre, ces débris subissent un intense frottement qui provoque un très rapide échauffement. Ils fondent et deviennent visibles depuis le sol avant d'être détruits la plupart du temps. Les plus gros débris forment des **étoiles filantes** très lumineuses que l'on appelle des bolides. Ils peuvent être visibles en plein jour et la roche qui n'a pas fondu peut tomber sur le sol : c'est **une météorite**.



LE SAVIEZ-VOUS ?

*Au cours de sa révolution autour du Soleil, **la Terre traverse des nuages de débris de comètes**, notamment au mois d'août : ce sont **les pluies d'étoiles filantes qui se produisent quand ces débris rencontrent l'atmosphère terrestre**. Ils ne sont pas tous détruits par l'atmosphère, et peuvent tomber sur la Terre : ce sont **les météorites**. On peut en trouver en les cherchant, mais il faut les faire expertiser pour être certain de leur origine extraterrestre.*

Expérience :

La mission japonaise Hayabusa 2 avait pour objectif d'étudier et de rapporter des échantillons de l'astéroïde Ryugu. Cette mission de la JAXA, l'agence spatiale japonaise a été lancée le 3 décembre 2014. Les différentes missions d'explorations ont eu lieu entre juin 2018 et novembre 2019.

Le CNES a participé à cette mission avec le module européen Mascot qui a révélé des informations sur ce petit corps céleste.

Construisons une maquette en papier de la sonde Hayabusa 2. Les plans sont accessibles au lien suivant :



https://www.hayabusa2.jaxa.jp/en/enjoy/material/papercraft/Hayabusa2_paper_en.pdf

LES EXOPLANÈTES ET LA VIE DANS L'UNIVERS



Dans le signe **VIE**, 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.

Si l'exploration du Système solaire laisse assez peu d'espoir de trouver la vie sur les planètes voisines de la Terre, en 2023 plus de **5500 exoplanètes** autour des étoiles ont été détectées. Les observations se font au sol avec les télescopes, et dans l'espace avec les satellites équipés de télescopes spatiaux.

Parmi les exoplanètes, le vivant pourrait se développer si celles-ci sont situées sur **la zone habitable**, autrement dit à une distance de son étoile de référence telle qu'il ne fasse ni trop chaud, ni trop froid ;



il faut aussi détecter une atmosphère et la présence d'eau liquide à leur surface ainsi que les signes d'une activité biologique, comme l'émission de dioxyde de carbone (CO_2) ou de méthane (CH_4).

Expérience : **Partons à la chasse aux exoplanètes.**

Avec le satellite CHEOPS, menons l'enquête au lien suivant:



<https://esero.fr/tutoriels-en-ligne/la-chasse-aux-exoplanetes/>



LE SAVIEZ-VOUS ?

TRAPPIST-1 est une étoile plus froide que le Soleil, située à environ 40,5 années-lumière de la Terre (cette unité est définie un peu plus loin), dans la constellation du Verseau. Elle est entourée d'au moins sept planètes rocheuses de la taille de la Terre. Trois à six d'entre elles sont situées dans la zone habitable. La recherche de la vie extraterrestre est une science à part entière, appelée exobiologie.

Exercice :



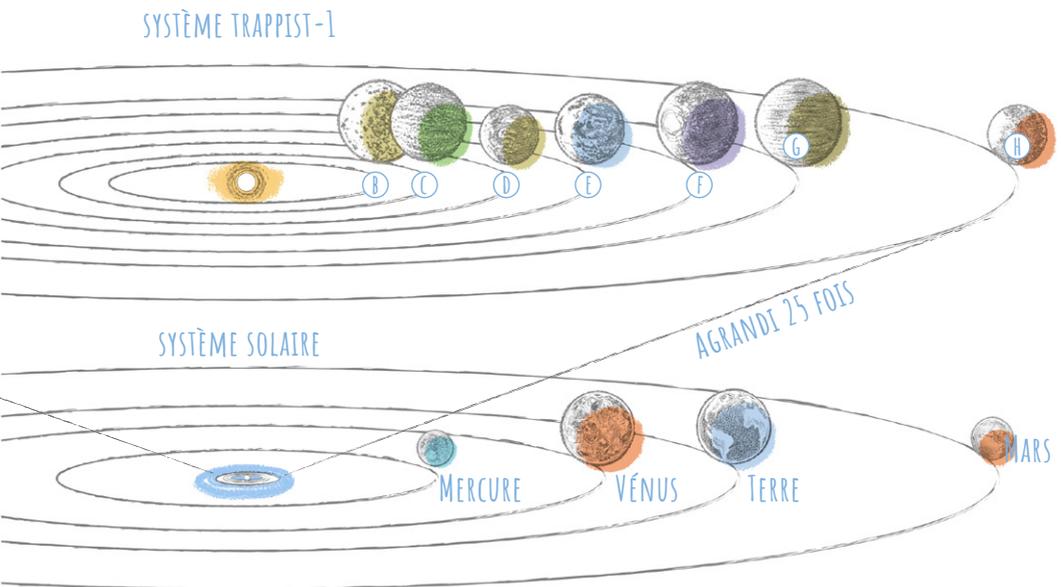


Fig-32. Le système TRAPPIST-1 comparé au Système solaire.

Révision des signes LSF des planètes du Système solaire.

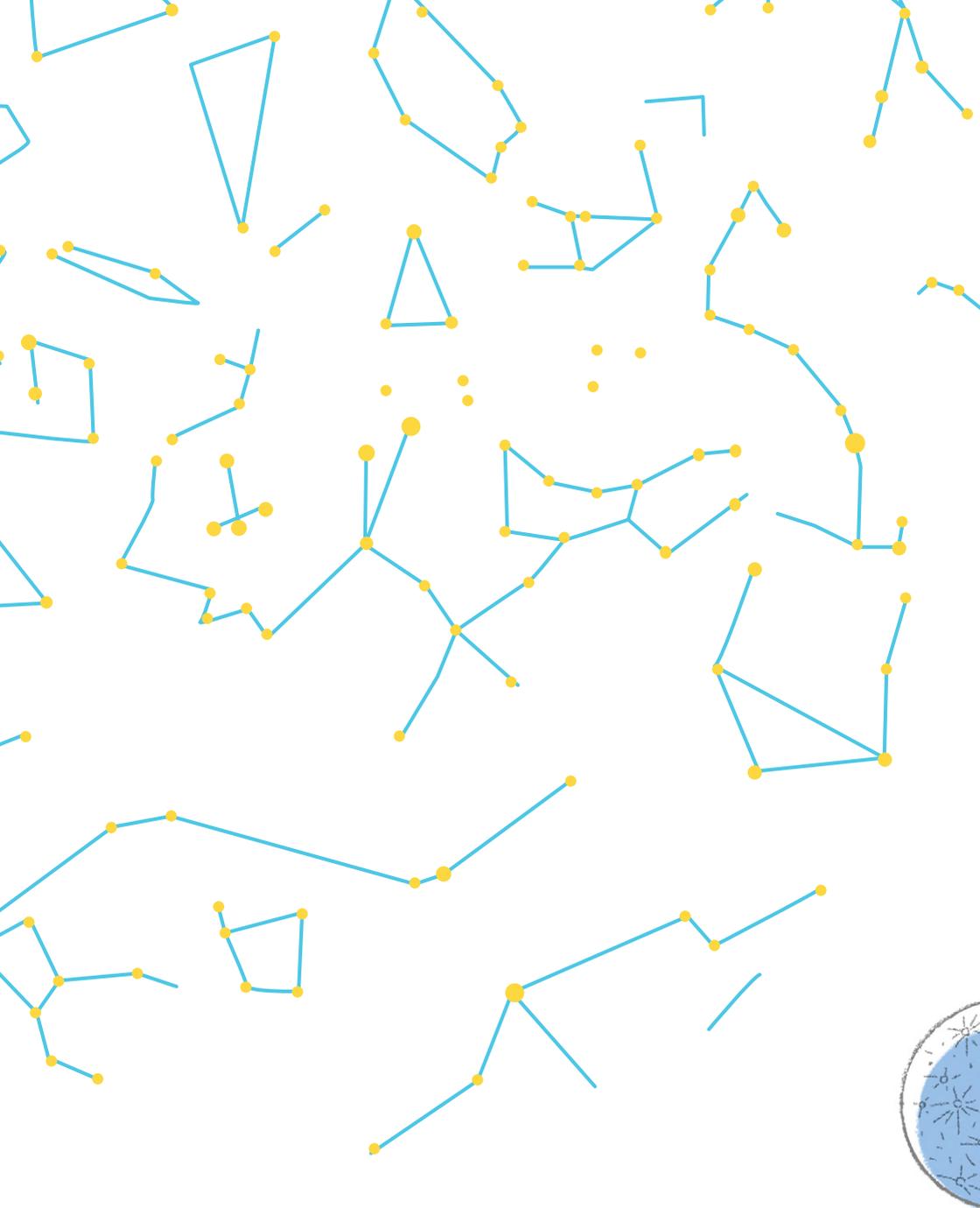
STIM (Science, Technologie, Ingénierie et Mathématiques) est une association qui a trois objectifs : développer la culture en LSF, rassembler et diffuser les signes techniques et scientifiques, et animer un réseau autour de ces thématiques. Le site est :

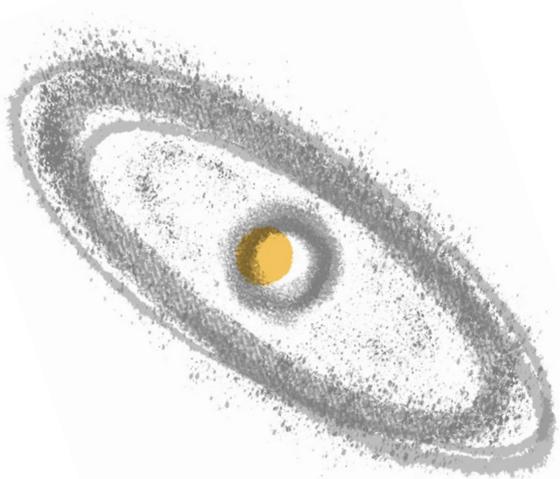
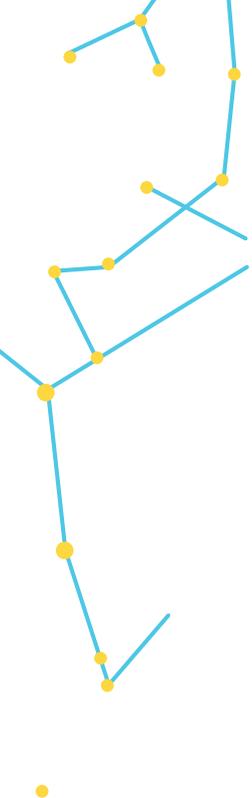
<https://www.stimsourdfrance.org>

Sur ce site, on peut facilement réviser les signes correspondant aux objets du Système solaire en s'aidant de la vidéo sur le lien :

<https://youtu.be/P9hrc0oElmw>

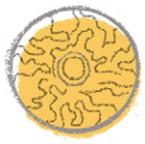
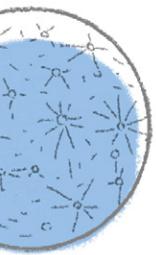






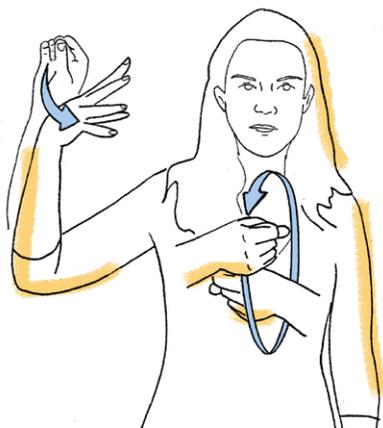
LE MONDE DES ÉTOILES

Les étoiles sont des soleils très lointains. Grâce aux observations, les astronomes parviennent à connaître leur distance, leur physique et leur histoire. Dans ce chapitre et dans les suivants, les distances immenses qui nous séparent des étoiles et des galaxies nécessitent de changer d'unité; aussi utiliserons nous l'année-lumière, correspondant à la distance parcourue par la lumière en une année.





L'**ANNÉE-LUMIÈRE** se signe avec **ANNÉE** qui reproduit le mouvement de révolution de la Terre autour du Soleil, suivi du signe **LUMIÈRE**, main projetée vers soi en s'ouvrant, identique à une source lumineuse qui projette ses rayons.



ANNÉE-LUMIÈRE

La lumière est composée de toutes petites particules : **les photons**. Ils se déplacent à une vitesse de 300 000 km/s dans le vide : l'année-lumière représente la distance parcourue en un an par ces particules.



LE SAVIEZ-VOUS ?

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 km/s × 60 secondes
× 60 minutes × 24 heures
× 365 jours, soit : 1 AL =
9 460 800 000 000 km, soit
environ dix mille milliards
de km !*



Fig-33. Une petite région du ciel avec ses milliers d'étoiles. © ESA/Euclid

Les étoiles que nous observons semblent fixes sur la voûte céleste tellement elles sont éloignées mais en fait elles se déplacent dans le ciel. Avec les progrès de l'astronomie, nous connaissons maintenant leur distance, leur dimension et leur évolution: les étoiles naissent, vivent et meurent.



L'étude des étoiles est un long travail de patience, car la vie d'un humain par rapport à celle d'une étoile correspond environ à deux secondes de notre propre existence!

Dans le signe **ÉTOILE**, 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.



ÉTOILE

L'expression **Voûte céleste** désigne le ciel nocturne dans son ensemble, avec la Lune, les planètes, les étoiles et l'ensemble des astres qui semblent situés sur une sphère.

L'astronome recueille au télescope un maximum d'informations pour reconstituer l'histoire d'une étoile, dont la vie peut atteindre plusieurs milliards d'années. Il est maintenant possible d'associer l'être humain aux étoiles, car nous sommes constitués des mêmes atomes qui ont été fabriqués dans les étoiles, depuis les débuts de l'Univers. Connaître la vie des étoiles, c'est aussi connaître notre histoire lointaine.

LES CONSTELLATIONS

CONSTELLATION se signe en LSF par le signe **ÉTOILE** (voir plus haut) ; on dessine ensuite des traits imaginaires, les index et majeurs écartés d'une main, et croisés avec l'autre, pour relier entre elles les étoiles.



CONSTELLATION

Les êtres humains ont toujours cherché à se repérer la nuit pour s'orienter. Ils ont remarqué que les étoiles forment des figures qui, avec un peu d'imagination, évoquent des personnages, des animaux ou des objets : ce sont les constellations.

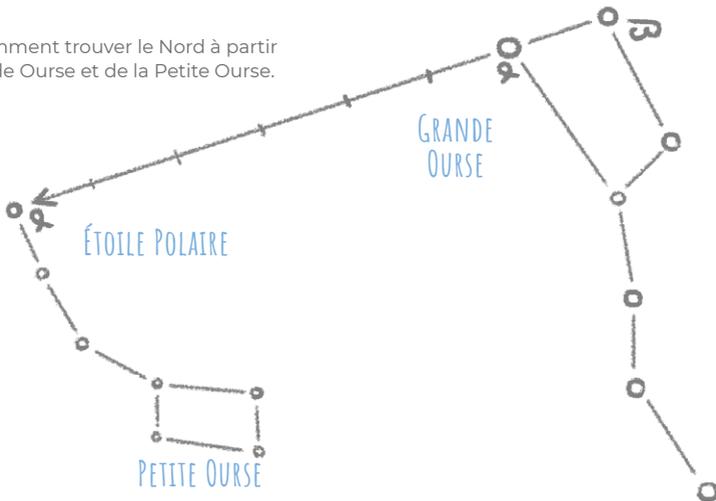
Chaque civilisation s'est inspirée de son histoire et de ses traditions pour nommer ses propres constellations. Ainsi les aborigènes d'Australie plaçaient dans le ciel leurs animaux familiers comme le kangourou, tandis que les Grecs y plaçaient les héros de leur mythologie, tels Hercule ou Orion.

Depuis l'année 1930, les astronomes ont divisé le ciel en **88 constellations**, situées dans trois régions bien précises: l'hémisphère boréal (Nord), l'hémisphère austral (Sud) et la région du zodiaque, celle-ci comprenant treize constellations traversées par le Soleil, la Lune et les différentes planètes du Système solaire.

Expérience : **Repérer le pôle céleste indiquant la direction du Nord.**

La direction du Nord est repérable en cherchant l'étoile Polaire, proche du pôle céleste et qui fait partie de la constellation de la Petite Ourse, comme le montre la fig-34. À partir de la constellation de la Grande Ourse, facilement repérable dans le ciel par sa forme de grande casserole, prolonger 5 fois la longueur du bord externe de cette casserole, pour tomber sur l'étoile Polaire.

Fig-34. Comment trouver le Nord à partir de la Grande Ourse et de la Petite Ourse.



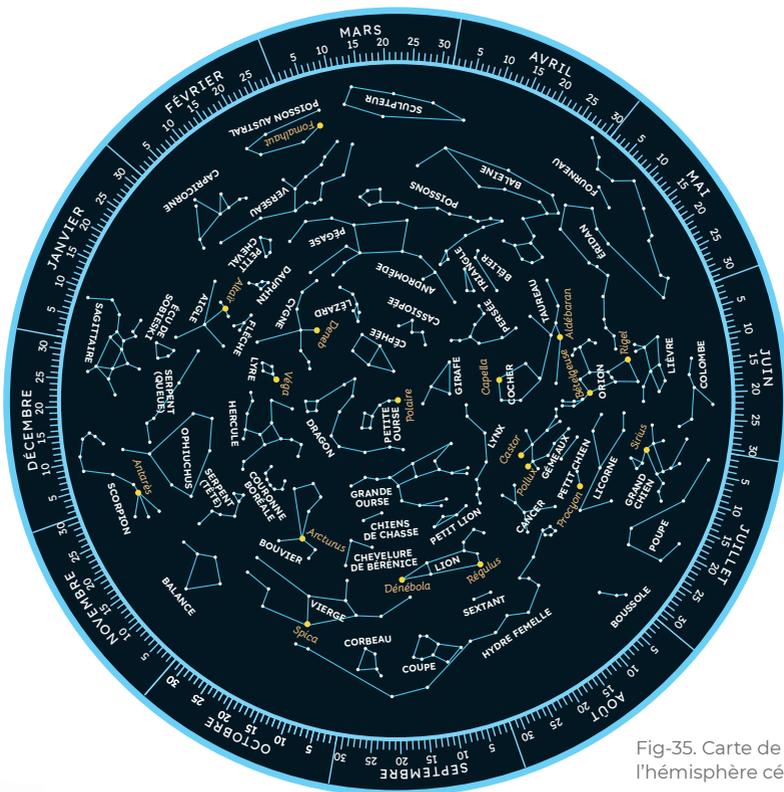


Fig-35. Carte de l'hémisphère céleste Nord.

Expérience : Repérer les constellations

Sortons dehors, par une nuit étoilée. À l'aide de la carte du ciel à construire soi-même que vous trouverez à la fin du livre, essayons de repérer les constellations. Ce n'est pas toujours facile car, par exemple la Grande Ourse ressemble à une casserole et le Bouvier à un cornet de glace! Mais petit à petit, on prend vite l'habitude de les reconnaître. Attention! Elles ne sont pas toutes visibles simultanément, il faut tenir compte de la rotation de la Terre sur elle-même.

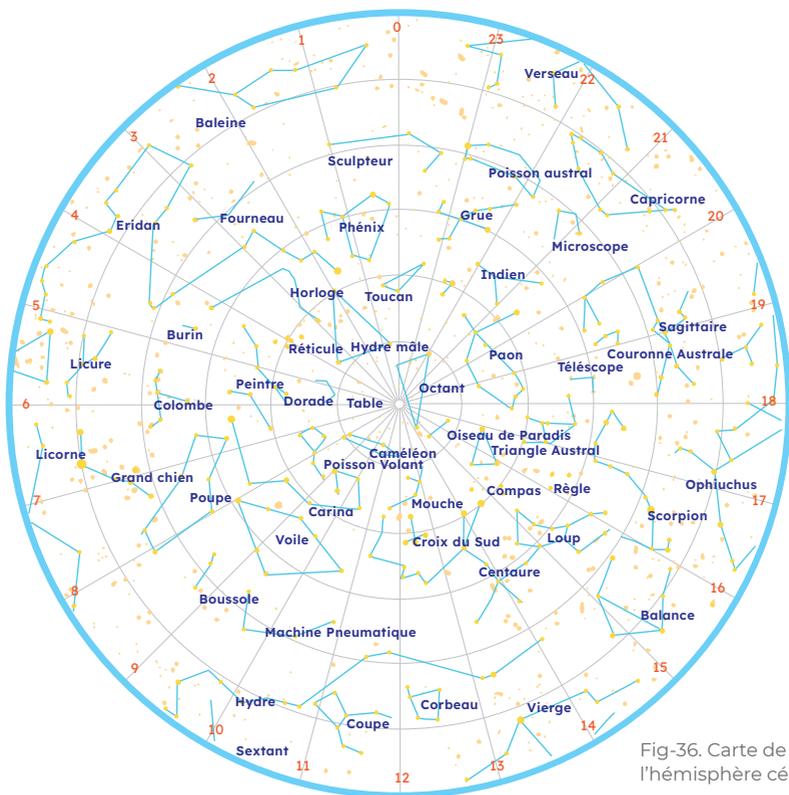


Fig-36. Carte de l'hémisphère céleste Sud.

Beaucoup d'étoiles qui nous environnent sont visibles dans l'hémisphère Sud, au sud de l'équateur; elles forment de nouvelles constellations, dont beaucoup sont invisibles de la métropole. La carte ci-dessus montre ces constellations, pour les habitants des DOM-TOM.



LE SAVIEZ-VOUS ?

Si l'étoile polaire indique le pôle Nord céleste, aucune étoile n'indique le pôle Sud céleste. Il faut repérer la faible constellation de l'Octant pour s'orienter avec précision.



LE SAVIEZ-VOUS ?

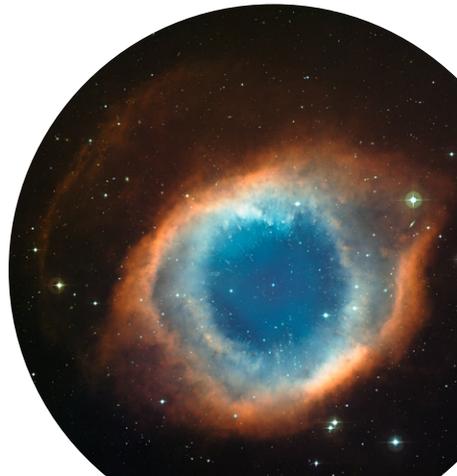
La première mission de l'astronote français de l'ESA Thomas Pesquet à bord de la Station Spatiale Internationale (ISS) en 2017 a été nommée PROXIMA en référence à cette étoile : à cause de sa proximité, on a souvent présenté Proxima Centauri comme la destination la plus logique pour un premier voyage interstellaire, mais PROXIMA rime aussi avec proximité et évoque l'idée que les vols habités ont des retombées directes pour les gens sur Terre.

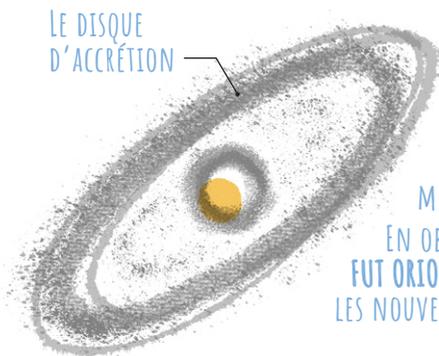
L'étoile Proxima (dans la constellation australe du Centaure) est à une distance de 270 000 fois celle de la Terre au Soleil, soit 4,2 années-lumière.

LA VIE DES ÉTOILES

Les étoiles ont une durée de vie limitée qui est en général de plusieurs milliards d'années. Elles évoluent, elles changent et elles vieillissent au cours de leur existence. Elles naissent dans d'immenses nuages d'hydrogène, puis le centre se contracte et la température s'élève pour atteindre 15 millions de degrés, avec le démarrage de réactions nucléaires, véritables bombes atomiques, en leur centre.

Fig-37. À 650 années-lumière, la nébuleuse de l'Hélice, dans la constellation du Verseau ; l'étoile centrale a éjecté ses couches extérieures, devenant une superbe nébuleuse planétaire. © ESO





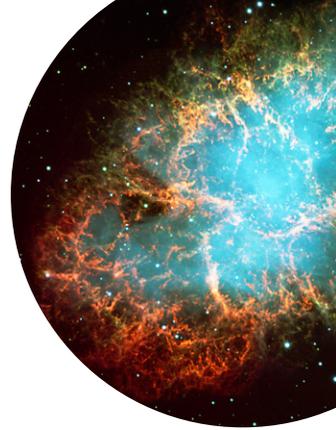
AU DÉBUT, IL Y A UN GROS NUAGE DE GAZ QUI S'EFFONDRE SOUS SON POIDS. IL SE MET ALORS À TOURNER SUR LUI-MÊME ET FORME UNE GALETTE : LE DISQUE D'ACCRETION, DONT LE CENTRE VA FORMER UNE ÉTOILE, ET LA PÉRIPHÉRIE DES PLANÈTES.

EN OBSERVANT DES DISQUES D'ACCRETION COMME FUT ORIONIS, ON CHERCHE À COMPRENDRE COMMENT LES NOUVEAUX MONDES SE FORMENT. . .

Fig-38. Naissance des étoiles. (extrait de Dans le secret des labos, Jean-Yves Duhoo © Dupuis. Avec l'aimable autorisation de l'auteur.)

Ainsi l'étoile est née et va briller pendant plusieurs milliards d'années en des réactions nucléaires qui transforment dans ses régions centrales son dihydrogène (H_2) en un autre élément : l'hélium (He). Au cours du temps, elle commencera à manquer d'hydrogène, mais l'hélium élève encore plus la température et l'étoile s'échauffe de plus en plus, ce qui gonfle ses couches extérieures. En se dilatant, l'étoile change de couleur et devient une géante rouge : le Soleil, par exemple s'étendra jusqu'à l'orbite de la planète Mars ! Si l'étoile a la masse (le poids) du Soleil, le manque de combustible va marquer la fin de son existence.

Après avoir éjecté ses couches extérieures, devenant une brillante nova puis une nébuleuse planétaire, elle se tasse sur elle-même et s'effondre lentement, jusqu'à atteindre la taille d'une planète comme la Terre, mais bien plus massive avec la matière restante : l'étoile est devenue une naine blanche.



Expérience : Comprendre comment s'élève la température d'un gaz comprimé.

Comme au centre des étoiles, il suffit d'utiliser une pompe à vélo dont on bouche l'extrémité, et en actionnant la pompe, cette extrémité devient chaude.

Il existe aussi de très nombreuses étoiles qui naissent avec une masse d'au moins trente fois celle du Soleil. Celles-ci évoluent beaucoup plus vite et la région centrale chauffe en pouvant atteindre plusieurs milliards de degrés! Elles deviennent rapidement instables ce qui provoque une gigantesque explosion de leur cœur, associée à une très grande lumière: ce sont **les supernovae**, qui peuvent même être visibles en plein jour depuis la Terre si elles ne sont pas trop éloignées.

Il ne reste au centre de l'astre qu'un noyau de matière qui s'effondre sur lui-même, au point qu'un dé à coudre peut

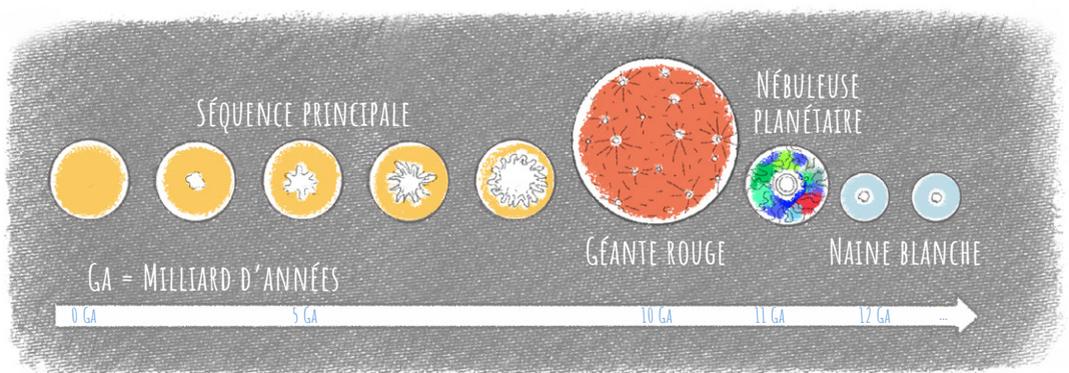


Fig-39. Le cycle d'une étoile de type du Soleil.

Fig-40. La supernova du *Crabe*, dans la constellation du Taureau. © ESO

peser plusieurs millions de tonnes: c'est **une étoile à neutrons**. La lumière finit par ne plus pouvoir s'en échapper, on a alors affaire à **un trou noir**. Ceux-ci sont totalement invisibles, ils absorbent tout ce qui passe à leur portée, étoiles, gaz, poussières; ils grossissent de cette boulimie, mais demeurent invisibles.

Fig-41. La nébuleuse d'Orion Messier 42, véritable maternité d'étoiles. © ESO



À une distance de 6300 années-lumière du Système solaire, une étoile massive explosa dans la constellation du Taureau, et fut visible à l'œil nu pendant plusieurs mois, à partir du 4 juillet 1054. Elle est le premier objet (M1) du catalogue de l'astronome Charles Messier (1730-1817). Depuis son explosion, son gaz se disperse à la vitesse de 1500 km par seconde, et elle a atteint un diamètre de 10 années-lumière. Elle est difficile à observer.



Expérience :

Nous observons des étoiles qui naissent.

Une maternité stellaire est facilement observable, même à l'œil nu, à condition d'être loin des lumières parasites. Au cours de l'hiver, examinons la constellation d'Orion qui se caractérise par Betelgeuse, magnifique étoile rouge, Rigel magnifique étoile bleue et surtout le baudrier d'Orion, 3 étoiles brillantes alignées au centre de la constellation.

Cependant, d'une étoile à l'autre, la température à la surface n'est pas la même, suivant la masse de l'astre : une étoile jeune est chaude et généralement de couleur bleue, une étoile âgée est froide avec une couleur rouge, et le Soleil, étant à la moitié de sa vie, est jaune.

Expérience : La couleur des étoiles.

Muni de notre carte céleste, regardons les étoiles les plus brillantes des différentes constellations. Celles-ci s'appellent en général α (la première lettre de l'alphabet grec qui se dit « alpha »), et notons leur couleur. Le tableau ci-dessous classe quelques étoiles dont on donne le type qui va de O à M, la température de surface et la couleur. Avec une température de surface de 5800° , le Soleil, par exemple, est une étoile de type G.

TYPE	TEMPÉRATURE DE SURFACE (DEGRÉS C)	COULEUR	EXEMPLES
O	$25\ 000^\circ$ à $45\ 000^\circ$	bleue	<i>Mintaka</i> (δ Orion), <i>Naos</i> (ζ Poupe)
B	$9\ 500^\circ$ à $25\ 000^\circ$	bleu - blanc	<i>Rigel</i> (β Orion, voir la constellation ci-dessus), <i>Achernar</i> (α Eridan)
A	$7\ 100^\circ$ à $9\ 500^\circ$	blanche	<i>Sirius</i> (α Grand Chien), <i>Véga</i> (α Lyre)
F	$5\ 800^\circ$ à $7\ 100^\circ$	blanc - jaune	<i>Procyon</i> (α Petit Chien)
G	$4\ 600^\circ$ à $5\ 800^\circ$	jaune	<i>Capella</i> (α Cocher), le Soleil
K	$3\ 200^\circ$ à $4\ 600^\circ$	jaune - orange	<i>Arcturus</i> (α Bouvier), <i>Antarès</i> (α Scorpion), <i>Bételgeuse</i> (α Orion, voir la constellation ci-dessus).
M	$1\ 800^\circ$ à $3\ 200^\circ$	rouge	



LE SAVIEZ-VOUS ?

La couleur des étoiles est le contraire de la couleur des robinets: le bleu correspond au chaud, le rouge correspond au froid (de 1800 à 3000°C).

SOUVENT L'ÉTOILE VARIE

Les astronomes ont longtemps pensé 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, souvent avant de redevenir visibles quelques semaines ou quelques mois plus tard. Ce sont des 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*), déjà évoquées plus haut à propos de M1 qui fut visible le 4 juillet 1054 (Fig-40). Les étoiles, 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 suivant les caractéristiques de leurs variations. Ces astres sont de véritables phares dans le ciel, qui se distinguent par leur jeunesse ou leur maturité. Elles peuvent être des géantes bleues qui se gonflent et se dégonflent comme un poumon, ou des géantes rouges à la fin de leur existence. Les étoiles variables montrent la vitalité des astres qui nous entourent.

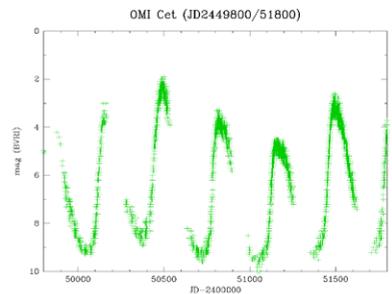
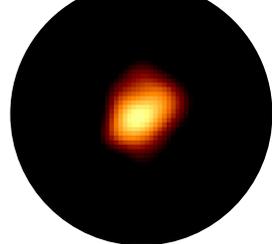


Fig-43. La variation de l'éclat de Mira Ceti pendant 5 années. © AFOEV

Fig-44. L'étoile Mira Ceti et son atmosphère étendue vue par le Télescope Spatial Hubble. © NASA/HST



Expérience :

Nous repérons l'étoile variable *Mira* : est-elle là ce soir ?

La plus célèbre des étoiles variables est Mira Ceti, « la Merveilleuse » dans la constellation de la Baleine, et est connue depuis l'Antiquité. Elle est visible à l'œil nu pendant quelques semaines, à son maximum d'éclat tous les 333 jours (Fig-45). Entre son minimum et son maximum, Mira devient 1500 fois plus brillante ! De nos jours, des milliers d'étoiles de ce type ont été recensées : ce sont des étoiles supergéantes extrêmement froides de type M (voir le tableau plus haut), entourées de vastes régions nuageuses qui viennent les obscurcir régulièrement, comme le montrent les variations lumineuses de la Fig-43, et les images de son atmosphère à la Fig-44. Si Mira était à la place du Soleil, la Terre serait à l'intérieur ! Elle est distante de 300 années-lumière.

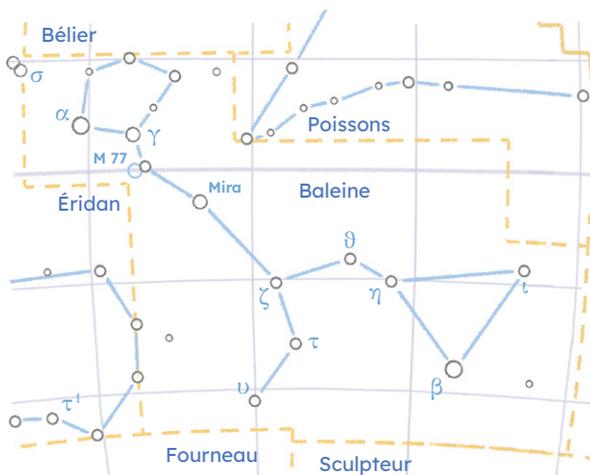


Fig-45. L'étoile « Mira Ceti » dans le cou de la constellation de la Baleine.



LE SAVIEZ-VOUS ?

L'étoile Polaire a son éclat qui varie tous les quatre jours, mais elle ne perd que 10 % de sa luminosité : cette variation n'est pas détectable à l'œil nu.

SOUVENT L'ÉTOILE EST DOUBLE

Les étoiles ont aussi une particularité : parfois **elles sont doubles ou multiples**. De même que les planètes sont en révolution autour du Soleil, il existe des couples d'étoiles qui sont en révolution mutuelle. Leur étude donne des résultats très intéressants, notamment pour mesurer leur masse, autrement dit : les peser.

Expérience :

Je teste ma vue et j'observe une étoile double.

Regardons la carte avec la casserole de la Grande Ourse (Ursa major en latin, Fig-46). L'étoile Mizar est facilement repérable. Elle se trouve à 78 années-lumière de nous : la lumière qui nous parvient est partie de l'étoile il y a 78 ans.

Si la nuit est bien noire, on voit à l'œil nu à proximité une petite étoile nommée Alcor : c'est un très bon test de la vue.

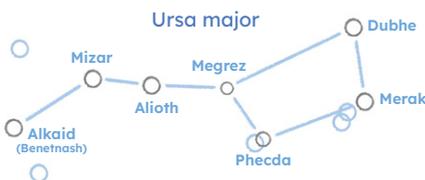


Fig-46. La casserole de la Grande Ourse.

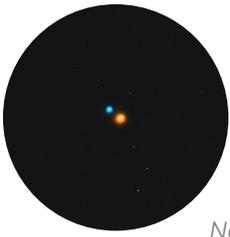


Fig-47. Les deux composantes d'Albiréo.

Nous repérons à l'œil nu la constellation du Cygne qui a la forme d'une grande croix brillante dans la Voie lactée. L'étoile nommée par la lettre grecque β qui se dit « bêta » est facilement repérable; elle se nomme aussi Albiréo et elle est distante de 430 années-lumière: Henri IV était roi de France quand sa lumière est partie vers nous!

Dans une lunette ou un télescope, nous voyons deux étoiles: la principale de couleur orange, et son compagnon de couleur bleue. Le compagnon est en fait beaucoup plus éloigné qu'Albiréo.

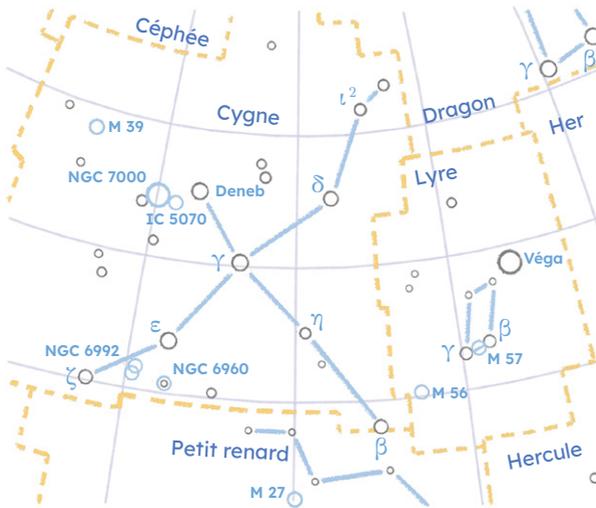
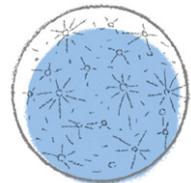


Fig-48. La constellation du Cygne.



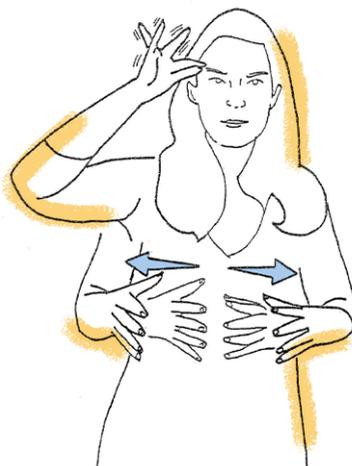
NOUS FAISONS DES SIGNES AUX ÉTOILES



IMPORTANT

Pour ces différents signes, il faut toujours d'abord effectuer le signe **ÉTOILE**, suivi du signe que l'on choisit.

Une **ÉTOILE VARIABLE** se signe avec **ÉTOILE**, suivie d'un mouvement des mains qui évoque aussi bien la **DILATATION** et la contraction d'un astre que son changement d'éclat.

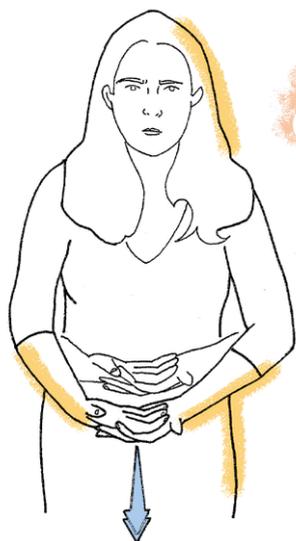


ÉTOILE VARIABLE



ÉTOILE DOUBLE

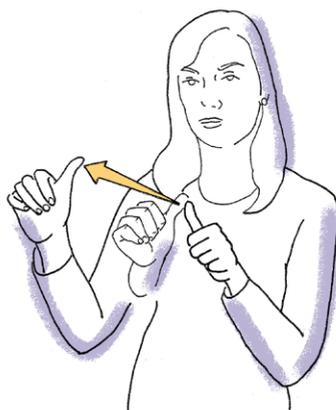
Pour signer **ÉTOILE DOUBLE**, on signe **ÉTOILE**, puis les mains en forme de pince représentant deux petits objets de forme ronde qui viennent se placer l'un à côté de l'autre.



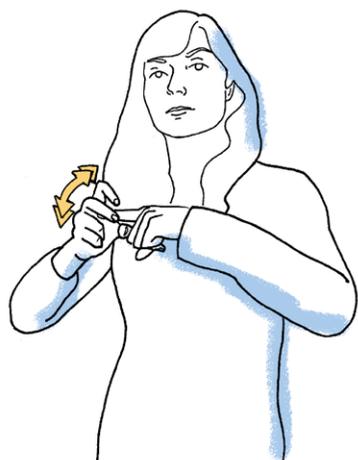
MASSE

La **MASSE** des étoiles est associée à leur poids. On signe **PESER** en simulant une balance, et en précisant si l'on a affaire à un corps « léger » ou « lourd » avec le visage.

Le signe **DISTANCE** se traduit par *loin*, *éloignement*. Il montre deux pouces, dont l'un s'éloigne de l'autre.



DISTANCE



TEMPÉRATURE

Le signe **TEMPÉRATURE** montre un thermomètre: l'index d'une main représente le tube, tandis que l'autre main en petite griffe représente le réservoir.



Le signe **ÉVOLUTION** (la vie d'une étoile) se représente avec les mains qui inversent leurs orientations au cours d'un mouvement lent et continu se déployant vers l'avant.



ÉVOLUTION



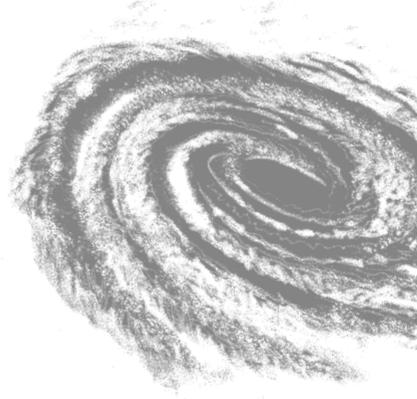
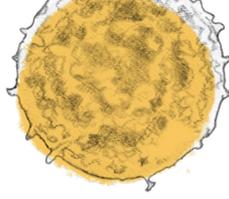
NOVA

Pour **NOVA**, il faut faire jaillir les doigts d'une main de l'autre main en écartant les doigts.

Pour le signe **SUPERNOVA**, il faut reproduire le signe **NOVA** et ajouter le signe **EXPLOSION** avec les mains qui s'écartent brusquement.



SUPERNOVA



IV

LE MONDE DES GALAXIES

Les galaxies évoquent par leur forme d'immenses galettes, la majorité avec un noyau central où naissent, évoluent et s'éteignent **des milliards d'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.



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 les bras d'une galaxie; ils permettent d'éviter toute confusion avec un objet entouré d'un disque, tel Saturne.



GALAXIE

Fig-49. La Voie lactée à l'Observatoire Européen Austral (ESO) de Paranal (Chili). © ESO



LA VOIE LACTÉE

Imaginez-vous dans un endroit isolé, en attendant le coucher du Soleil. Petit à petit l'atmosphère se débarrasse de la lumière solaire et, au-dessus du fin voile d'air, apparaît un magnifique spectacle. Une large bande lumineuse traverse le ciel, jouant avec des nuages sombres et des ondulations de lumière. Son éclat est suffisamment intense pour que votre ombre soit projetée sur le sol.

Ce que nous voyons (et nous le savons maintenant avec certitude depuis trois siècles), est un immense disque en rotation sur lui-même, composé d'étoiles, de gaz et de poussières (comme nous l'avons vu plus haut). Le Soleil et les planètes sont immergés au sein de ce disque, et notre emplacement à l'intérieur de celui-ci nous fait percevoir ce chemin lumineux, qui nous entoure dans toutes les directions. **Les astronomes nomment ce disque la Voie lactée**, c'est aussi une galaxie, structure qui existe à des milliards d'exemplaires dans l'Univers.

La Voie lactée est un immense disque contenant près de 300 milliards d'étoiles, qui tourne sur lui-même en 240 millions d'années environ. La lumière met près de 100 000 ans (toujours à la vitesse de 300 000 km/s) pour en parcourir le diamètre!

Le Système solaire se trouve plongé à peu près aux deux-tiers du rayon vers l'extérieur; il tourne aussi avec la Voie lactée à la vitesse de 805 000 kilomètres par heure.

La Voie lactée s'appelle également la Galaxie (avec un grand « G »).

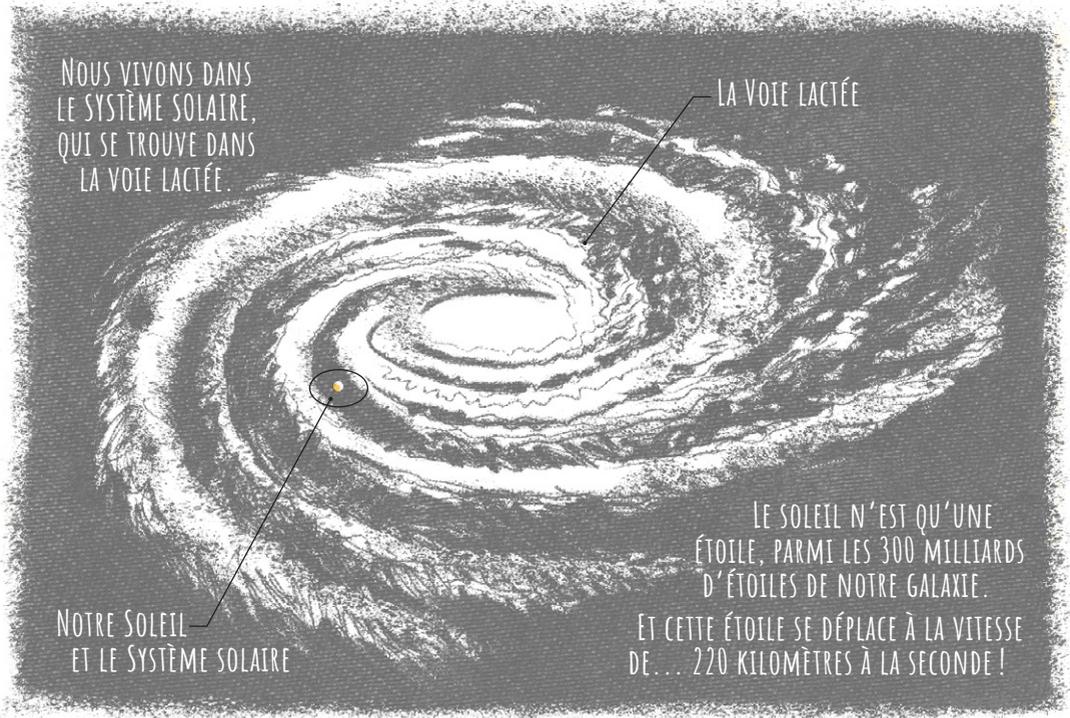


Fig-50. La Voie lactée. (extrait de Dans le secret des labos, Jean-Yves Duhoo © Dupuis. Avec l'aimable autorisation de l'auteur.)



LE SAVIEZ-VOUS ?

Notre Galaxie elle-même est accompagnée de deux petites galaxies, bien visibles à l'œil nu dans l'hémisphère austral : le Grand et le Petit Nuage de Magellan. Ils sont distants de 157 000 années-lumière (1,53 milliard de milliards de km) et de 197 000 années-lumière du Système solaire.

LES DIFFÉRENTES GALAXIES

Nous avons vu que les étoiles ne sont donc pas réparties au hasard dans l'Univers, mais regroupées en galaxies. On les classe en fonction de leur forme :

- les **galaxies elliptiques** constituent une structure ovale, avec un noyau brillant au centre qui contient la grande majorité des étoiles.
- les **galaxies irrégulières**, comme leur nom l'indique, n'ont pas de forme définie.
- les **galaxies spirales** ont un noyau central brillant, et de longs bras plats qui s'enroulent autour de ce noyau (c'est le cas de la Voie lactée). Dans ces galaxies, les étoiles les plus âgées sont vers le centre, et les étoiles plus jeunes dans les bras.

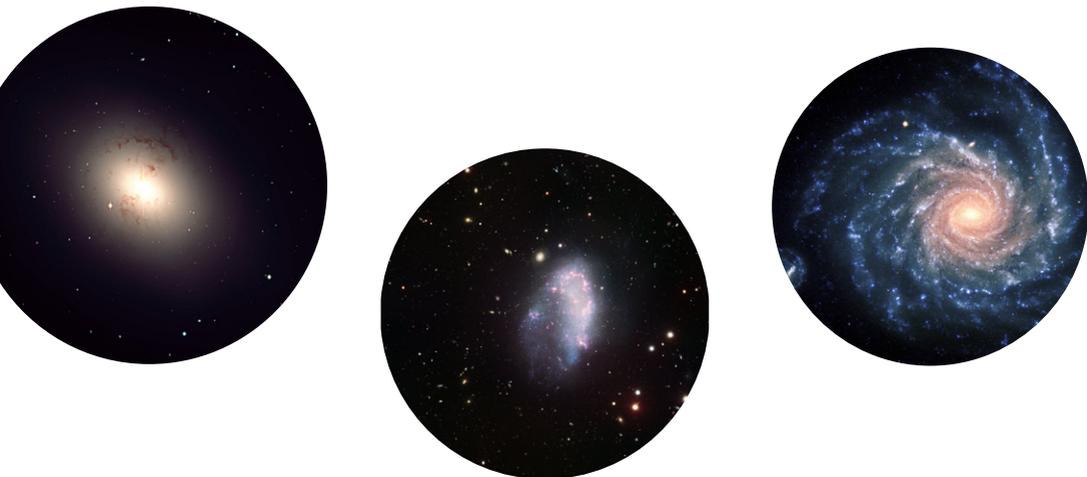


Fig-51. Les trois types de galaxies: elliptique (à gauche), irrégulière (au centre) et spirale (à droite). © ESO

Fig-52. La galaxie spirale M31 et sa compagne M32 © ESO



Expérience :

Observation de la galaxie spirale d'Andromède, Messier 31.

La première galaxie dont il est 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 sans en connaître la nature. Charles Messier (1730-1817) que nous avons déjà rencontré lui donne le numéro 31 de son catalogue, d'où son nom actuel: Messier 31 (ou M31). Elle est distante de 2550 000 A.L.: c'est l'objet le plus lointain visible à l'œil nu.

Pour l'observer, nous devons tout d'abord nous isoler dans un endroit où il n'y a pas de lumière parasite, loin des villes. À partir de la grande carte du ciel, nous repérons la constellation d'Andromède, visible en été et en automne. La galaxie M31 est visible à l'œil nu, comme une tache floue.

Avec une petite lunette ou un télescope, nous pouvons même voir une petite galaxie à proximité: c'est la galaxie M32.

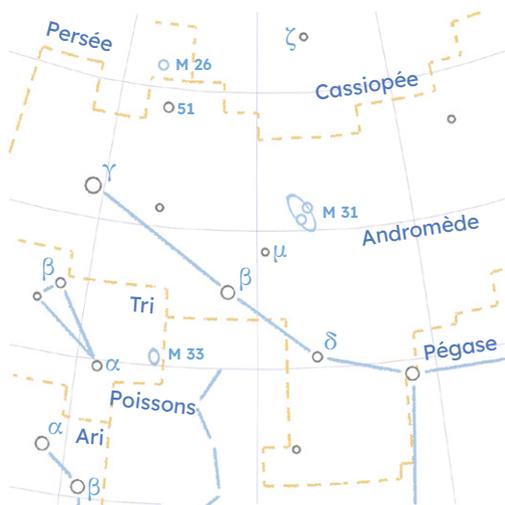


Fig-53. La constellation d'Andromède.



LE SAVIEZ-VOUS ?

Supposons que notre Galaxie, la Voie lactée, a la taille de la ville de Paris (sans les banlieues), Messier 31 se situerait alors à Nevers. La quarantaine de galaxies proches de la Voie lactée qui constitue le Groupe Local trouverait alors ses limites dans un cercle passant par Lille, Rennes, Clermont-Ferrand et Nancy.

LA VIE DES GALAXIES

Les galaxies se forment à partir d'un immense nuage de gaz en rotation qui s'effondre lentement sur lui-même tout en formant des étoiles. Ainsi, il y a une dizaine de milliards d'années, notre propre Galaxie était une bulle de gaz gigantesque qui s'est aplatie pour devenir le disque plat que nous observons aujourd'hui.

Dans l'Univers, les galaxies sont comme les humains sur la Terre: elles ne sont pas isolées, et se répartissent en groupe, en amas et même en superamas, où elles peuvent se rencontrer, fusionner et donner naissance à une nouvelle galaxie. Deux galaxies spirales qui entrent en collision donnent une grosse galaxie elliptique: ainsi vont la vie des galaxies et l'évolution de l'Univers.



Fig-54. L'amas de galaxies Abell 1689 situé à une distance de 2,65 milliards d'années-lumière de la Terre. Chaque petite tache est une galaxie. © ESO

L'HISTOIRE DE L'UNIVERS

L'Univers que nous observons, c'est tout ce qui existe, c'est toute la matière, toute l'énergie, le vivant, les planètes, les étoiles et les galaxies que l'on connaît. Il est apparu il y a 13,8 milliards d'années à la suite d'un événement cataclysmique, appelé *Big Bang*. Au début, toute la matière est concentrée dans un tout petit espace, extrêmement chaud (10^{37} degrés, soit un 10 suivi de 37 zéros!). Le volume de ce petit espace augmente rapidement tout en se refroidissant lentement, et les particules qui le remplissent profitent du refroidissement pour former les premiers noyaux atomiques, puis les atomes qui donneront naissance aux planètes, aux étoiles, aux galaxies. Cette dilatation se poursuit aujourd'hui, et les astronomes observent que les galaxies s'éloignent les unes des autres.

Expérience :

Imaginez par exemple un ballon de baudruche (Fig-55) qui serait couvert de taches, chacune représentant une galaxie. On verrait ces taches s'éloigner les unes des autres quand on le gonfle. On dit que l'Univers est en expansion.



Fig-55. L'expansion de l'Univers. © LAMAP



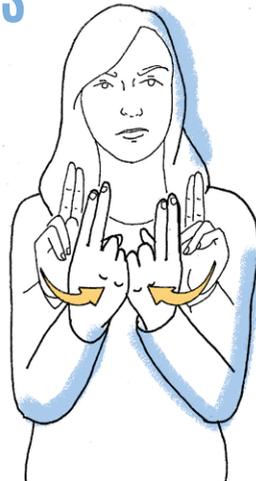
LE SAVIEZ-VOUS ?

La géométrie de l'Univers est un espace-temps à quatre dimensions. Avec une dimension (la longueur), on définit une ligne droite; avec deux dimensions (la longueur et la largeur), on définit un plan (une feuille de papier par exemple). Avec trois dimensions (longueur, largeur et hauteur), on définit un volume d'espace (une boîte ou un ballon par exemple). Enfin si nous avons un rendez-vous, par exemple avec un ami ou une amie, il faut connaître la longitude, la latitude et l'altitude du lieu de rendez-vous (les trois coordonnées d'espace); mais il faut ajouter l'heure de ce rendez-vous, autrement dit une quatrième dimension: le temps.

NOUS FAISONS DES SIGNES AUX GALAXIES



L'**UNIVERS** se représente par les deux mains en forme de U, initiale du mot *Univers*, qui dessinent les contours d'un objet sphérique.

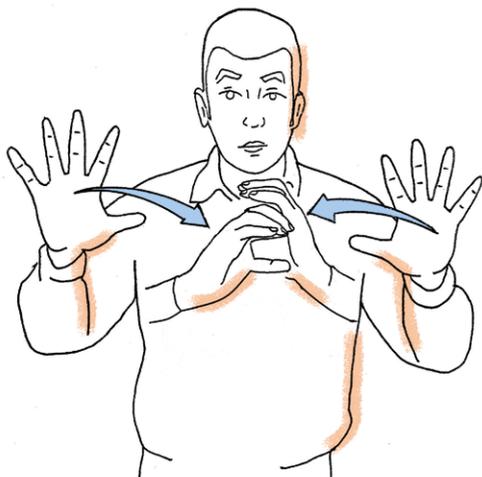


UNIVERS

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.



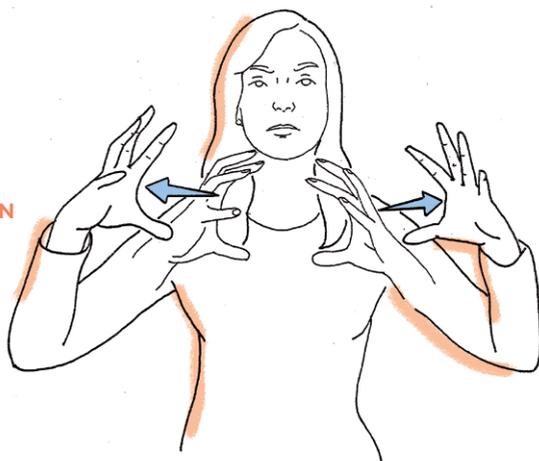
EXPLOSION



AMAS

Le concept d'**AMAS DE GALAXIES** se traduit par le signe **GALAXIE** (voir plus haut) suivi du signe **AMAS**: les mains se rejoignent pour indiquer un regroupement.

On représente l'**EXPANSION DE L'UNIVERS** par le signe **UNIVERS** suivi du signe **DILATATION** qui montre un objet sphérique augmentant de volume.



EXPANSION

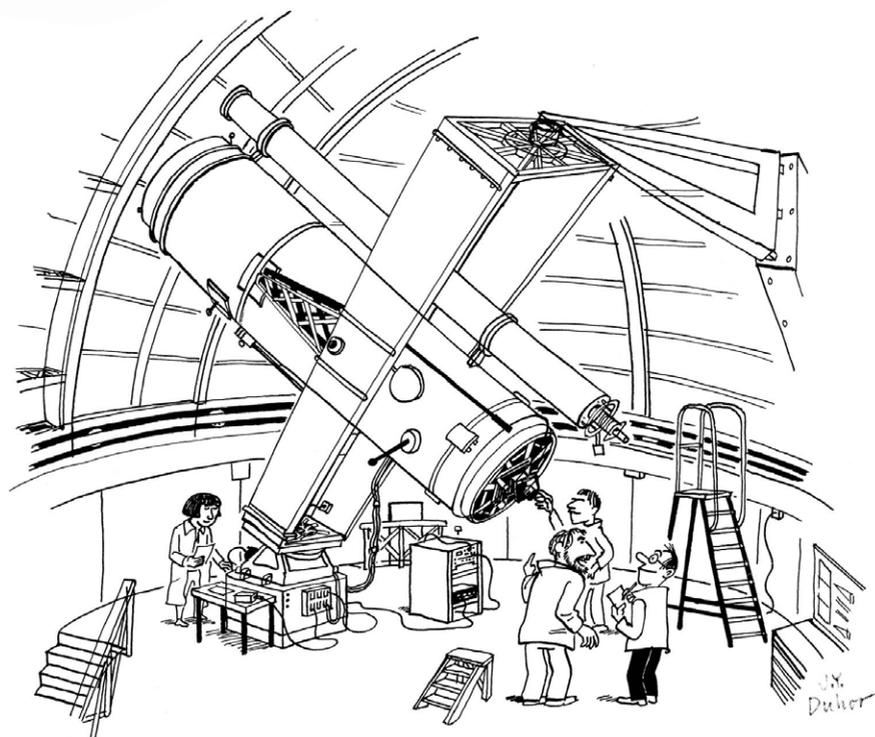
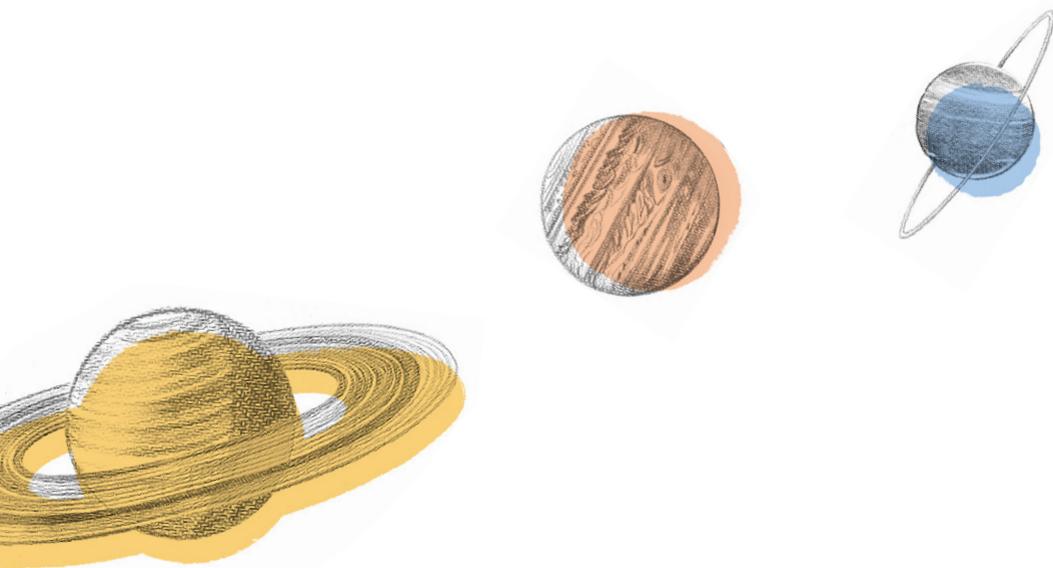


Fig-56. Le télescope d'un mètre de l'Observatoire de Meudon (extrait de Dans le secret des labos, Jean-Yves Duhor © Dupuis. Avec l'aimable autorisation de l'auteur.)



LUNETTES ET TÉLESCOPES : LES YEUX DE LA TERRE

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.

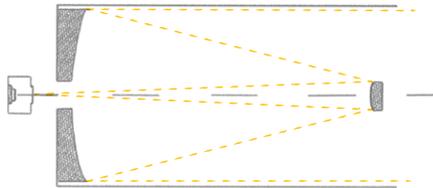
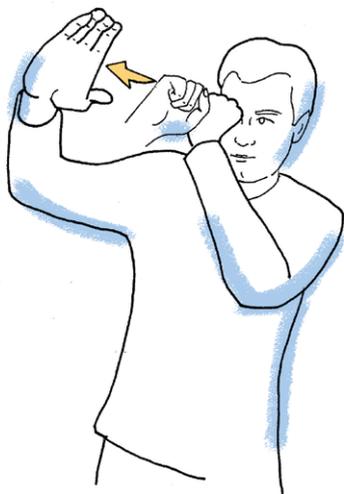


Fig-57. Principe de la lunette astronomique.

Le signe **LUNETTE ASTRONOMIQUE** stylise la forme d'un instrument d'optique que l'on dirige vers le ciel. Le **TÉLESCOPE** se représente par le même signe, suivi du signe **MIROIR** qui précise la nature de l'instrument.



LUNETTE ASTRONOMIQUE



MIROIR

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.

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 (un miroir creux). Celui-ci concentre les rayons d'une source céleste

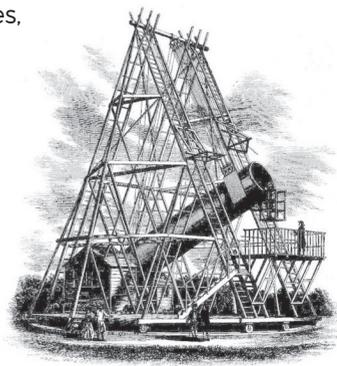


Fig-58. Un des télescopes construits par William Herschel (1738-1822).

(planète, étoile, galaxie etc.) en un point appelé foyer, comme le fait une loupe, pour être ensuite étudiée par toutes sortes d'instruments. 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.

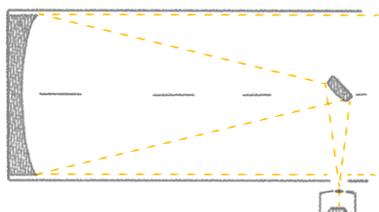


Fig-59. Combinaison optique de type Newton. On observe sur le côté de l'instrument.

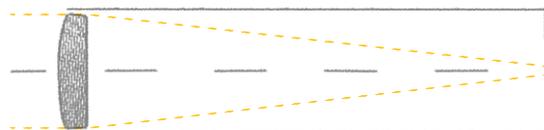


Fig-60. Combinaison optique de type Cassegrain. On observe derrière le miroir principal.

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.



Fig-61. La grande lunette de l'observatoire de Meudon en 1877. © Observatoire de Paris

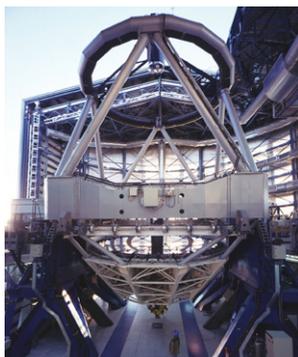


Fig-62. Un des quatre télescopes du « Very Large Telescope » de l'ESO au Chili. © ESO

LES OBSERVATOIRES AU SOL

Dès l'antiquité, les humains ont construit des observatoires pour mieux connaître la nature et le mouvement des astres qui nous environnent, et cela en de nombreux endroits du globe.

Avant les lunettes et les télescopes, les observations se faisaient à l'œil nu, en utilisant des repères naturels (sommets de montagne par exemple) ou artificiels (une construction de bois ou de pierre). Les Polynésiens de l'Île de Pâques par exemple construisaient des tours de pierre appelées *tupa* pour observer le passage des étoiles au zénith et les Péruviens se repéraient avec les sommets du *Machu Picchu*.



Fig-63. Deux observatoires historiques: à gauche un tupa de l'Île de Pâques, à droite le Machu Picchu au Pérou. © D.Proust

Petit à petit, les observatoires se modernisent, les instruments s'agrandissent et sont abrités dans des coupoles. On en trouve aujourd'hui dans les grandes villes, mais petit à petit l'éclairage des rues par les lampadaires, les publicités et les enseignes a vite posé un problème de pollution lumineuse, ce qui a amené les astronomes à s'éloigner des sites urbains au profit des montagnes, comme à l'observatoire du Pic du Midi, dans les Pyrénées.



Fig-64. Les observatoires de Paris et du Pic du Midi dans les années 1930. © D.Proust

Aujourd'hui, la sensibilité des instruments est telle que les observatoires sont installés dans les lieux les plus désertiques de notre planète, ainsi que dans l'espace, en orbite autour de la Terre ou se déplaçant à travers le Système solaire. La communauté européenne a, par exemple, créé un observatoire européen il y a plus de 60 ans : l'*European Southern Observatory* (ESO) et a construit quatre observatoires dans les Andes chiliennes, dont l'altitude est comprise en 2300 et 5200 mètres, avec des télescopes dont le diamètre du miroir est compris entre 1 mètre et 8,20 mètres.

Dans les prochaines années, un télescope géant, l'*Extremely Large Telescope* (ELT) sera opérationnel, avec une coupole qui pourrait contenir l'Arc de Triomphe et un miroir de 39 mètres de diamètre, composé de 798 éléments hexagonaux juxtaposés. Le télescope est installé dans la Cordillère des Andes, au nord du Chili à une altitude de 2600 mètres. Les conditions climatiques permettent d'observer en moyenne 330 nuits par an.



Fig-65. Le *Very Large Telescope* (VLT) de l'ESO composé de quatre instruments dont les miroirs ont 8,20 m de diamètre, pouvant observer séparément ou simultanément. Un des télescopes est reproduit un peu plus haut. © ESO

Fig-66. La maquette de l'*Extremely Large Telescope* (ELT) de l'ESO avec sa gigantesque coupole et son miroir segmenté de 39 m de diamètre. © ESO

LES OBSERVATOIRES DANS L'ESPACE

Si l'astronomie s'est développée au sol depuis l'antiquité, aujourd'hui les satellites lancés depuis la Terre permettent d'embarquer des instruments de plus en plus performants pour observer les composantes de l'Univers sans être dépendants des conditions météorologiques. Cependant, les satellites ont une capacité limitée, notamment pour héberger les miroirs des télescopes à grand diamètre. Inversement, certains satellites explorent de près les composantes du Système solaire après des mois de voyage dans l'espace, effectuent des mesures précises sur les planètes, les étoiles et analysent les galaxies, notamment dans les très courtes longueurs d'onde (en particulier les rayons X qui sont stoppés par l'atmosphère terrestre). Voici quelques-uns de ces satellites.

Le satellite Solar Orbiter

Solar Orbiter (<https://solar-orbiter.cnes.fr/fr>) est un satellite d'observation du Soleil qui a été lancé le 10 février 2020. Le satellite d'un peu plus de 1,6 tonne circule autour du Soleil, et s'en approche à **33 millions de km**. Il a emporté 10 instruments qui effectuent des observations à haute résolution des régions polaires du Soleil, difficiles à observer depuis la Terre. Le CNES a participé à la fabrication de 6 de ces instruments en collaboration avec les observatoires français.



Fig-67. Les dernières vérifications avant le lancement du satellite Solar Orbiter. © CNES

Fig-68. Le télescope James Webb.



Le télescope James Webb

Le télescope Webb (<https://miri.cnes.fr/fr>) est un télescope développé par la NASA avec la participation de l'Agence spatiale européenne (ESA) et de l'Agence spatiale canadienne (ASC). Webb a été lancé le 25 décembre 2021. Il est conçu pour effectuer des observations de tous les objets de l'Univers dans des grandes longueurs d'onde (domaine infrarouge) et à grande résolution. Il est équipé d'un miroir primaire de 6,5 mètres de diamètre et de quatre instruments. Le CNES a participé au développement de la partie imageur d'un des 4 instruments en collaboration avec des laboratoires français.

Le satellite Gaïa

Le satellite Gaïa (<https://gaia-mission.cnes.fr/fr>) qui a été lancé le 19 décembre 2013, mesure 3 mètres de haut, 10 mètres de large, et est aussi lourd qu'un éléphant adulte, mais le bouclier qui le protège du soleil et lui fournit de l'électricité est beaucoup plus grand que les oreilles de l'éléphant. Ce satellite est placé sur une orbite stable, à 1,5 million de km de la Terre.

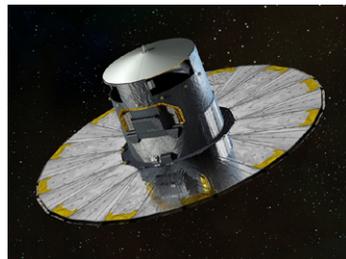


Fig-69. Le satellite Gaïa. © CNES

Après 10 ans d'observations, Gaïa a étudié une immense quantité d'objets de la Galaxie, notamment 1,7 milliard d'étoiles et 14 000 astéroïdes. Il a détecté de nombreuses planètes en dehors du Système solaire que l'on appelle des exoplanètes. Le CNES participe fortement au traitement des données scientifiques récoltées par GAÏA.

Fig-70. Une vue d'artiste du satellite Euclid.
© CNES



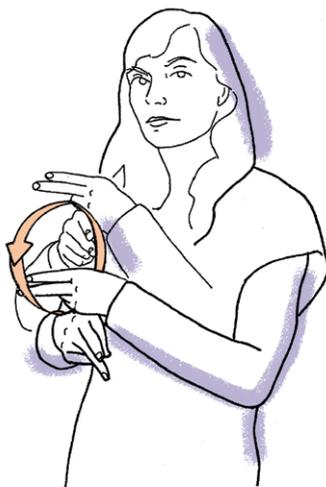
Le satellite Euclid

Le satellite Euclid (<https://euclid.cnes.fr/fr>) lancé par l'Agence Spatiale Européenne (ESA)

étudie les grandes composantes de l'Univers, ainsi que sa structure et son expansion, dont la vitesse augmente avec le temps, comme cela a été écrit précédemment. Il mesure la distance et la taille des galaxies et des amas de galaxies jusqu'à une distance de 10 milliards d'années-lumière. Le satellite pèse 2,1 tonnes; il a une longueur de 4,5 mètres et un diamètre de 3,1 mètres. Il a été lancé le 1^{er} juillet 2023. Il est placé sur une orbite stable à 1,5 millions de km de la Terre. Les laboratoires français sont fortement impliqués dans le développement des 2 instruments permettant le colossal travail de cartographie du satellite Euclid.

Le signe **SATELLITE**

Le mouvement circulaire, effectué simultanément 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.



SATELLITE

CONCLUSION

Nous avons arpenté l'Univers en partant de la Terre, tout d'abord pour découvrir la Lune, le Soleil et le Système solaire, puis les étoiles qui constituent la Voie lactée, et enfin la multitude des galaxies qui remplissent l'Univers. Nous savons maintenant que ce dernier est apparu il y a 13,8 milliards d'années, à la suite d'un événement cataclysmique appelé *Big Bang*. Ce qu'il s'est passé par la suite aboutit à la formation des galaxies, des étoiles, des planètes, puis l'apparition de la vie sur Terre, et peut-être sur d'autres planètes.

Dans ce voyage avec nos amis et amies sourds et sourdes, nous avons rencontré plusieurs dizaines de signes qui nous permettent de communiquer avec eux et, petit à petit de pouvoir partager la science sans doute la plus ancienne qu'est l'astronomie. Comme nous connaissons la valeur de la vitesse de la lumière, nous sondons le passé en observant les composantes de l'Univers (planètes, étoiles, galaxies etc.) - le temps que la lumière émise parvienne jusqu'à notre œil. Ainsi nous pouvons connaître la longue histoire qui va des débuts de l'espace et du temps jusqu'à nos jours. *Que sommes-nous dans cette immensité?* Très peu de chose. Mais cependant nous sommes capables de comprendre des mécanismes multiples dont l'humain sur Terre est un des éléments.

Un des aspects les plus remarquables de l'astronomie est de pouvoir parcourir des millions de kilomètres ou d'années-lumière simplement avec une lunette, un télescope et même à l'œil nu.

RÉPERTOIRE DES SIGNES UTILISÉS

- ALPHABET MANUEL, 7
ALPHABET SOURD, 8
AMAS, 87
ANNÉE, 30
ANNÉE-LUMIÈRE, 60
ASTÉROÏDE, 42 & 43
ASTRONOMIE, 9
BIG BANG, 87
BOUSSOLE, 17
CALENDRIER, 34
CINÉMA, 9
COMÈTE, 52
CONSTELLATION, 62
DILATATION, 76 & 87
DISTANCE, 77
ÉCLIPSE, 31
EST, 17
ÉQUINOXE, 19
ÉTOILE, 61
ÉTOILE DOUBLE, 76
ÉTOILE VARIABLE, 76
ÉVOLUTION, 78
EXPANSION (UNIVERS), 87
EXPLOSION, 87
GALAXIE, 79 & 87
HEURE, 20
HORLOGE, 20
ICI, LÀ, 12 et 43
IMAGE, 9
JOUR, 19
JUPITER, 44
LUNE, 21
LUNETTE ASTRONOMIQUE, 9 & 90
MARS, 41
MASSE, 77
MERCURE, 39
MÉTÉORITE, 53
MINCEUR, 48
MIROIR, 90
MOIS, 34
NADIR, 17
NEPTUNE, 48
NORD, 17
NOVA, 78
NUIT, 19
OUEST, 17
PIERRE, 43 et 50
PLANÈTE, 12
PLUTON, 49
RECTANGLE, 34
RÉGION, 42
RÉVOLUTION, 30
ROTATION, 30
SATURNE, 45
SATELLITE, 96
SCIENCE, 9
SOLEIL, 27
SOLSTICE, 19
SUD, 17
SUPERNOVA, 78
SYSTÈME SOLAIRE, 36
TÉLESCOPE, 90
TEMPÉRATURE, 77
TERRE, 5 & 12
TOUT AU BOUT, 50
UNIVERS, 4 & 86
URANUS, 47
VÉNUS, 39
VIE, 55
ZÉNITH, 17

BIBLIOGRAPHIE

Abbou Daniel, Chab Nasro, Delaporte Yves, Marion Carole, Proust Blandine, Proust Dominique: *Dictionnaire encyclopédique d'astronomie pour la Langue des Signes Française (LSF)*, 2009, Burillier.

Burillier Hervé: *Les plus belles curiosités célestes*, 1995, Bordas.

Dodray Gilles: *Arpenter l'Univers*, 2004, Vuibert.

Girod Michel, Galant Philippe: *La langue des Signes, dictionnaire bilingue*, 1997 (tome 1 à 3) et 2013 (tome 4), IVT et Ellipses.

Proust Dominique: *Fond de Ciel*, 2016, Hermann.

Proust Dominique, Nazé Yaël: *Enquêtes d'astronomie*, 2018, Hermann.

Rouan Daniel: *Expérimenter l'espace*, 2022, ESA, CNES et Fondation LAMAP.

Salviat Béatrice, Proust Brigitte, Allégaud Katia: *Une énergie, des énergies*, 2015, Belin.

REMERCIEMENTS

Ce livre, destiné à la jeunesse, a vu le jour dans le cadre du programme éducatif européen ESERO de l'ESA, coordonné en France par le CNES et en partenariat avec la fondation « La main à la pâte » (LAMAP), fondation dont ma compagne Brigitte, agrégée de chimie et musicienne, fut membre du Conseil Scientifique. Un grand merci à deux de ses fondateurs, Pierre Léna et Yves Quéré, à son directeur, David Jasmin et à son président, Didier Roux. Un grand merci à Angélique Gaudel-Vacaresse (CNES) pour l'édition de ce livre.

Mes remerciements à Béatrice Salviat, présidente de l'association « Les amis de La Main à la Pâte » (www.lesamis-lamap.org), à mes collègues et amis astronomes de l'Observatoire de Paris et de l'Observatoire Européen Austral: Jean-Michel Martin, Régis Courtin, Ivo Saviane, ainsi que Serge Pineault (Université LAVAL, Québec),

Merci à Bernadette Guesnard-Meisser (Université de la Sarre), Sébastien Giroux (Université de Lorraine), Christine Cannicconi (inspectrice de l'Education Nationale Honoraire), et à ma famille: Blandine et Clotilde, Fabrice et Eric.

Je remercie également Carole Marion, Jean-Yves Duhoo et les éditions Dupuis.

BIOGRAPHIE

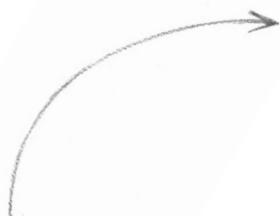
Dominique Proust est astrophysicien à l'Observatoire de Paris-PSL. Il étudie les galaxies et les amas de galaxies de l'Univers avec les grands télescopes internationaux. Il est cofondateur de l'action *Astronomie vers Tous*, notamment auprès des communautés sourdes, et secrétaire général de l'association « Les amis de La Main à la Pâte ». Il est également musicien, organiste concertiste.

TABLE DES MATIÈRES

	L'UNIVERS POUR LES JEUNES	3
	PROLOGUE POUR LES MOINS JEUNES	4
	L'ALPHABET DE LA LANGUE DES SIGNES FRANÇAISE	7
I	LA TERRE, LA LUNE ET LE SOLEIL	11
	La Terre	12
	La Lune	21
	Le Soleil, notre étoile	27
	Trois signes en LSF: Année - Rotation - Révolution	30
	Éclipse de Soleil, éclipse de Lune	31
II	LE SYSTÈME SOLAIRE, LES PLANÈTES, LES COMÈTES ET LES MÉTÉORITES	35
	Mercure	39
	Vénus	39
	Mars	41
	Les astéroïdes	42
	Jupiter	44
	Saturne	45
	Uranus	47
	Neptune	48
	Pluton et les planètes naines	49
	Les comètes	52
	Les météorites	53
	Les exoplanètes et la vie dans l'Univers	55



III	LE MONDE DES ÉTOILES	59
	Les constellations.....	62
	La vie des étoiles.....	66
	La couleur des étoiles.....	70
	Souvent l'étoile varie.....	72
	Souvent l'étoile est double.....	74
	Nous faisons des signes aux étoiles.....	76
IV	LE MONDE DES GALAXIES	79
	La Voie lactée.....	80
	Les différentes galaxies.....	82
	La vie des galaxies.....	84
	L'histoire de l'Univers.....	85
	Nous faisons des signes aux galaxies.....	86
V	LUNETTES ET TÉLESCOPES : LES YEUX DE LA TERRE	89
	Les observatoires au sol.....	92
	Les observatoires dans l'espace (Solar Orbiter, télescope James Webb, Euclid, Gaia).....	94
	CONCLUSION	97
	RÉPERTOIRE DES SIGNES UTILISÉS	98
	TABLE DES MATIÈRES	101





NOTES

.....

.....

.....

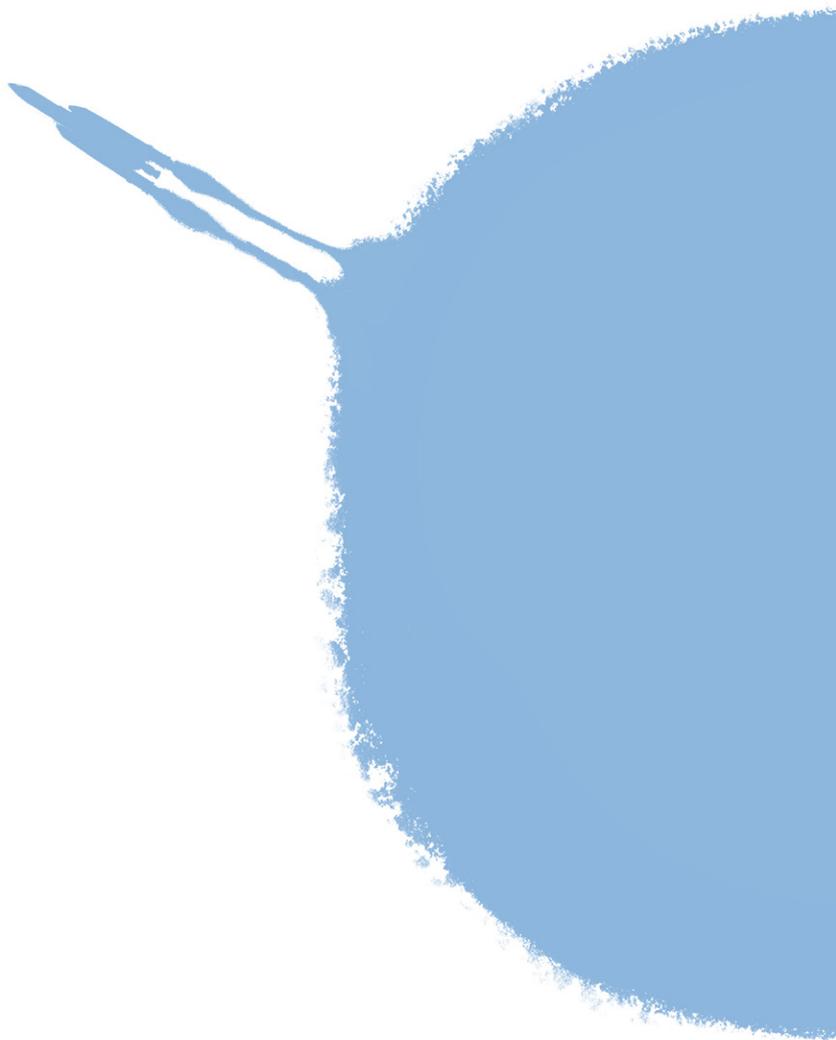
.....

.....

.....

.....

.....



**Fabriquez
votre propre cadran solaire !**



CADRAN SOLAIRE ÉQUATORIAL

Construction

- 1 Découper le cadran en un seul morceau.
- 2 Percer un trou au centre de chaque cadran.
- 3 Plier les deux cadrans l'un contre l'autre en vérifiant que les lignes et les deux trous correspondent dos à dos. Les coller.
- 4 Plier les arêtes entre les deux parties 1, les parties 1 et 2 et les parties 1 et 3.
- 5 Coller face à face les deux parties 1 en ne mettant de la colle que sur les zones colorées et en veillant bien à ce que les triangles se superposent. Coller face à face les parties 2 ensemble et les parties 3 ensemble.
- 6 Enfoncer un cure-dent (qui sera le style du cadran) dans le trou du cadran en l'enfilant jusqu'au bout dans l'espèce de tube formé par l'arête des parties.

Matériel

- une paire de ciseaux
- un pot de colle
- un cure-dent

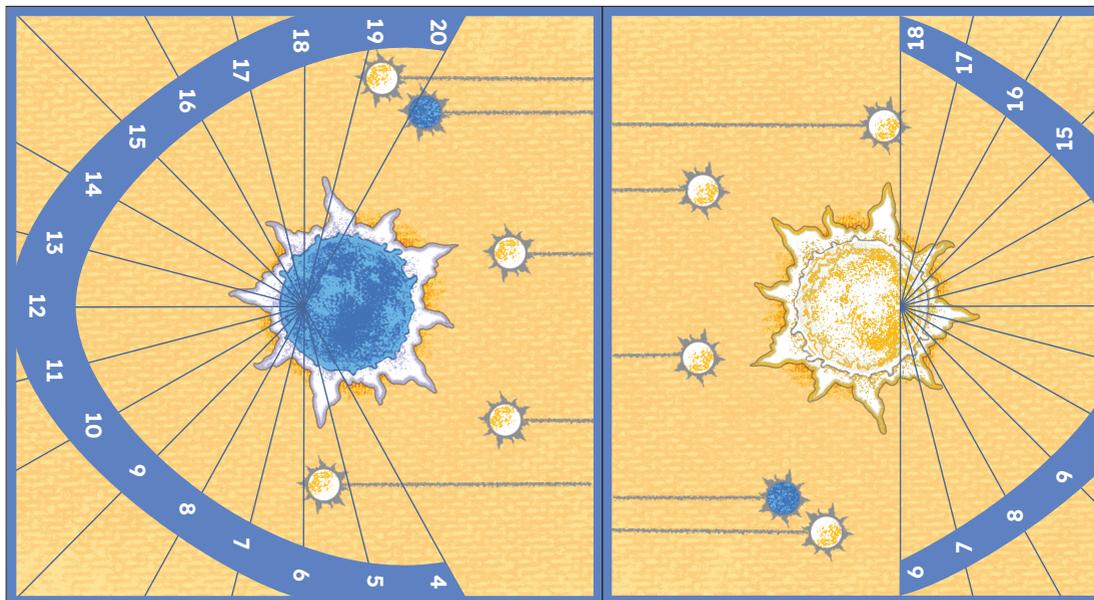
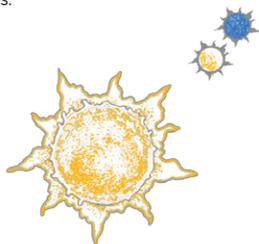


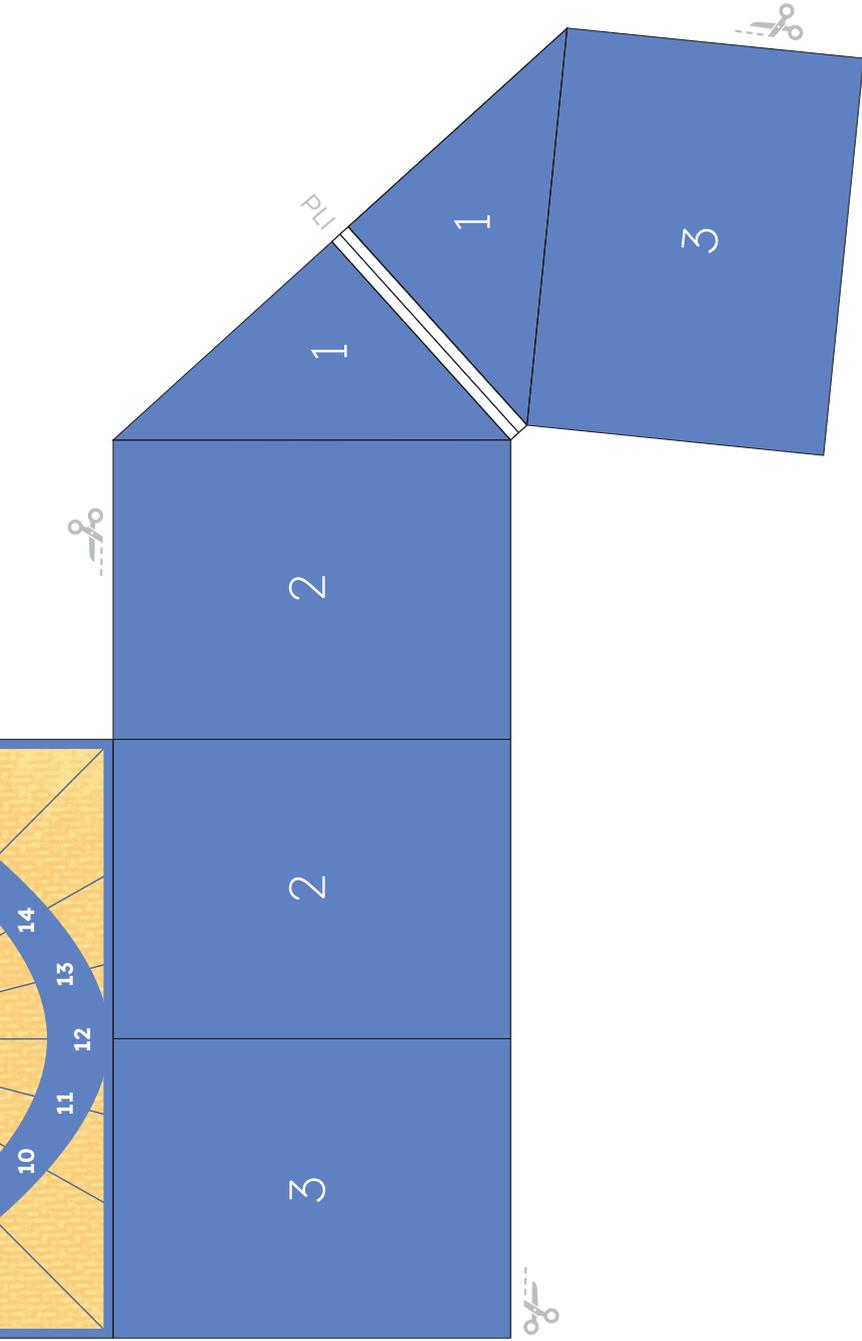
Fonctionnement

Placer le style dans la direction du **nord**, la base du cadran horizontale.

En **été**, les heures seront indiquées par l'ombre du style sur le **cadran du dessus**. En **hiver**, par l'ombre de l'arête des deux parties 1 sur le **cadran du dessous**.

L'heure fournie par ce cadran est l'heure solaire vraie. Pour donner l'heure légale, elle doit être corrigée de la longitude, du fuseau horaire, de l'heure d'été/hiver et de l'équation du temps.





**Fabriquez
votre propre carte du ciel !**



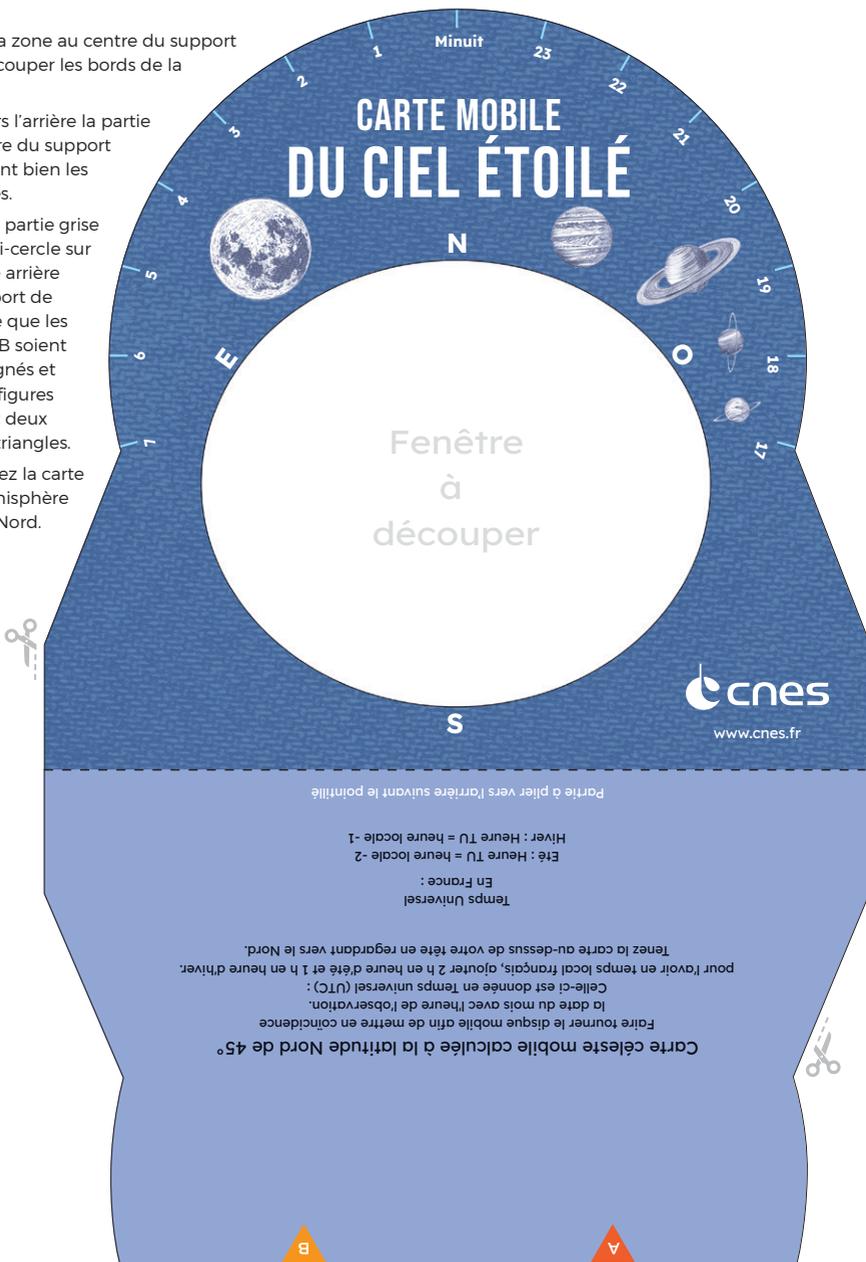
CARTE MOBILE DU CIEL ÉTOILÉ

Construction

- 1 Découpez le support de la carte du ciel ainsi que le demi-cercle en suivant bien les lignes noires.
- 2 Évidez la zone au centre du support sans découper les bords de la carte.
- 3 Pliez vers l'arrière la partie inférieure du support en suivant bien les pointillés.
- 4 Coller la partie grise du demi-cercle sur la partie arrière du support de manière que les A et les B soient bien alignés et que les figures forment deux grands triangles.
- 5 Découpez la carte de l'hémisphère céleste Nord.

Matériel

- une paire de ciseaux
- un pot de colle



Fonctionnement

Insérez la carte dans le support
et visualisez le ciel nocturne à travers
la zone évidée.

Réglez la carte en alignant la date
avec l'heure à laquelle vous observez
le ciel.

*N'oubliez pas de retirer
1 heure en hiver et 2
heures en été.*

Vous n'avez plus
qu'à orienter la
carte vers le nord
et chercher les
constellations
présentes dans
le ciel.

