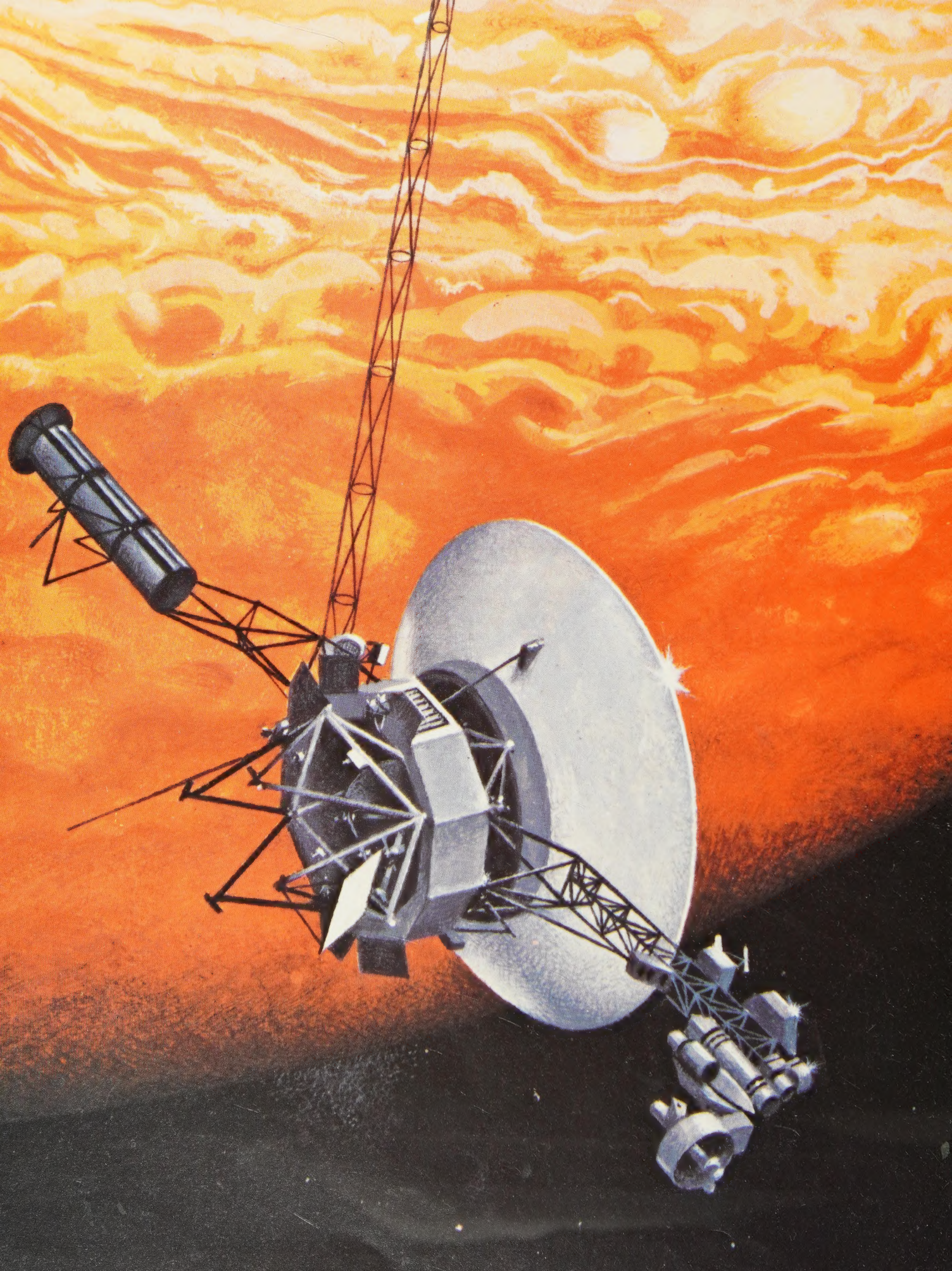
LE TEMPS DE LA DÉCOUVERTE

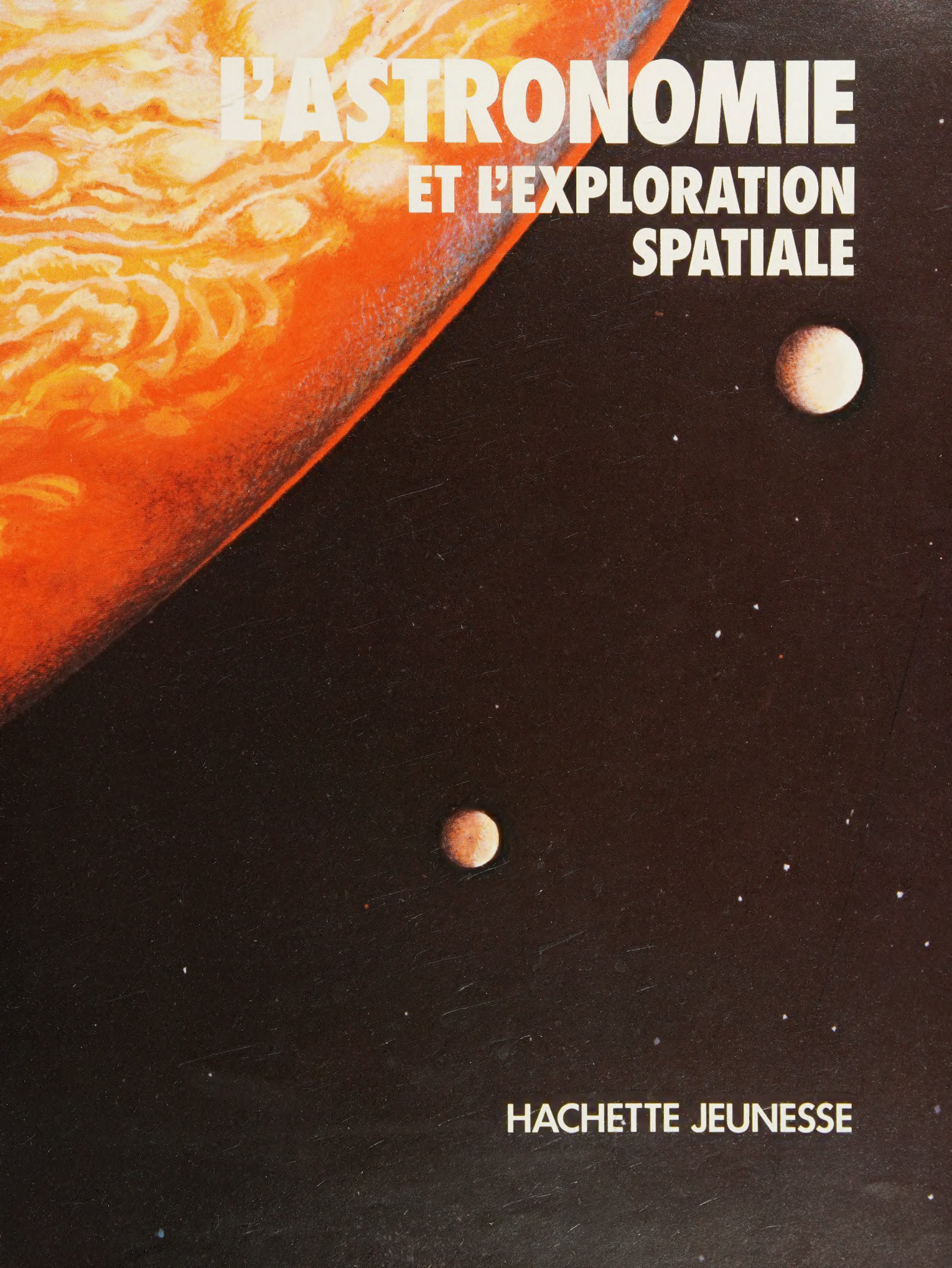
L'ASTRONOMIE ET L'EXPLORATION SPATIALE

HACHETTE JEUNESSE

Digitized by the Internet Archive
in 2023 with funding from
Kahle/Austin Foundation

https://archive.org/details/lastronomieetlex0000na

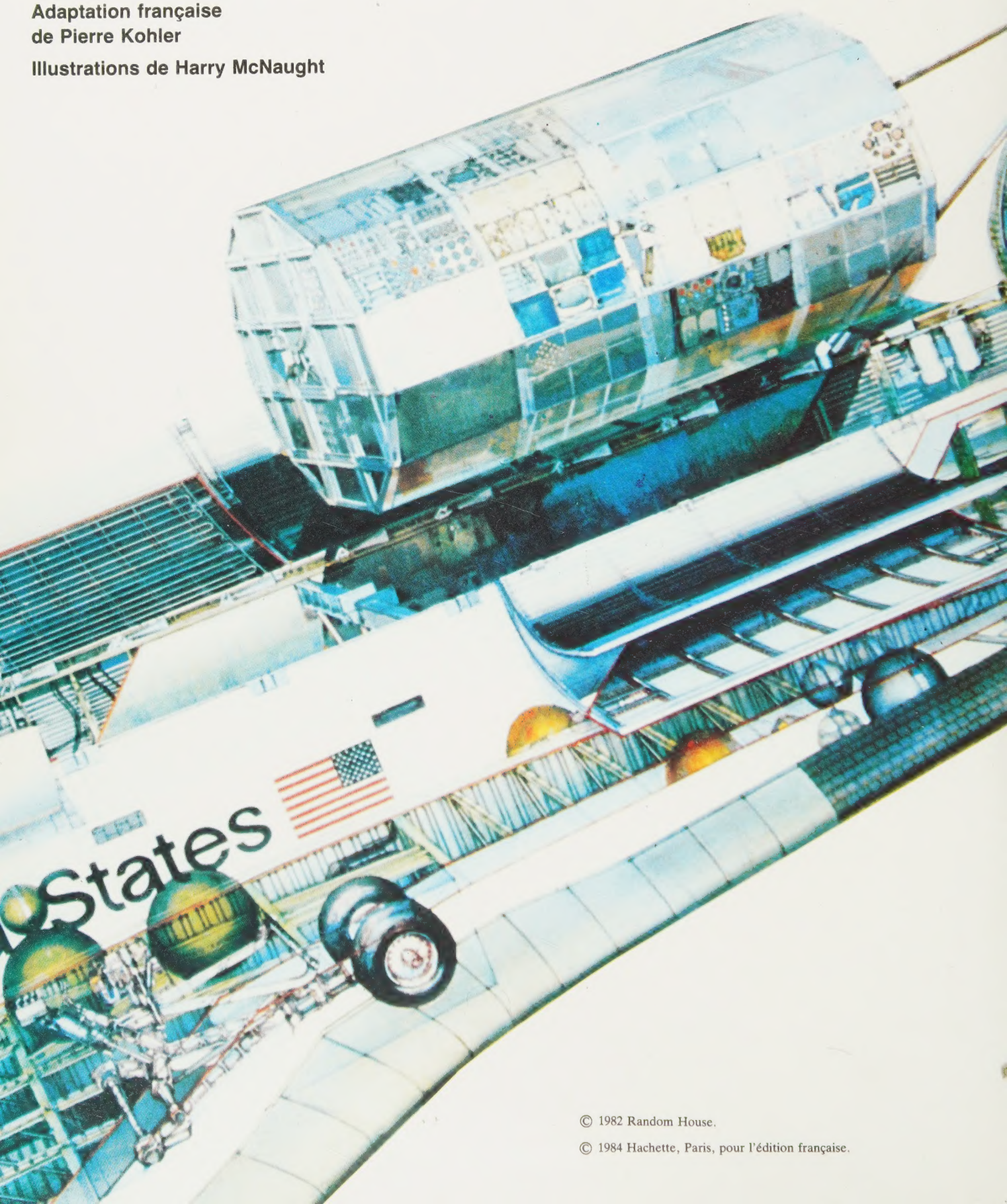



L'ASTRONOMIE
ET L'EXPLORATION
SPATIALE
HACHETTE JEUNESSE

Texte anglais
de Dinah L. Moché

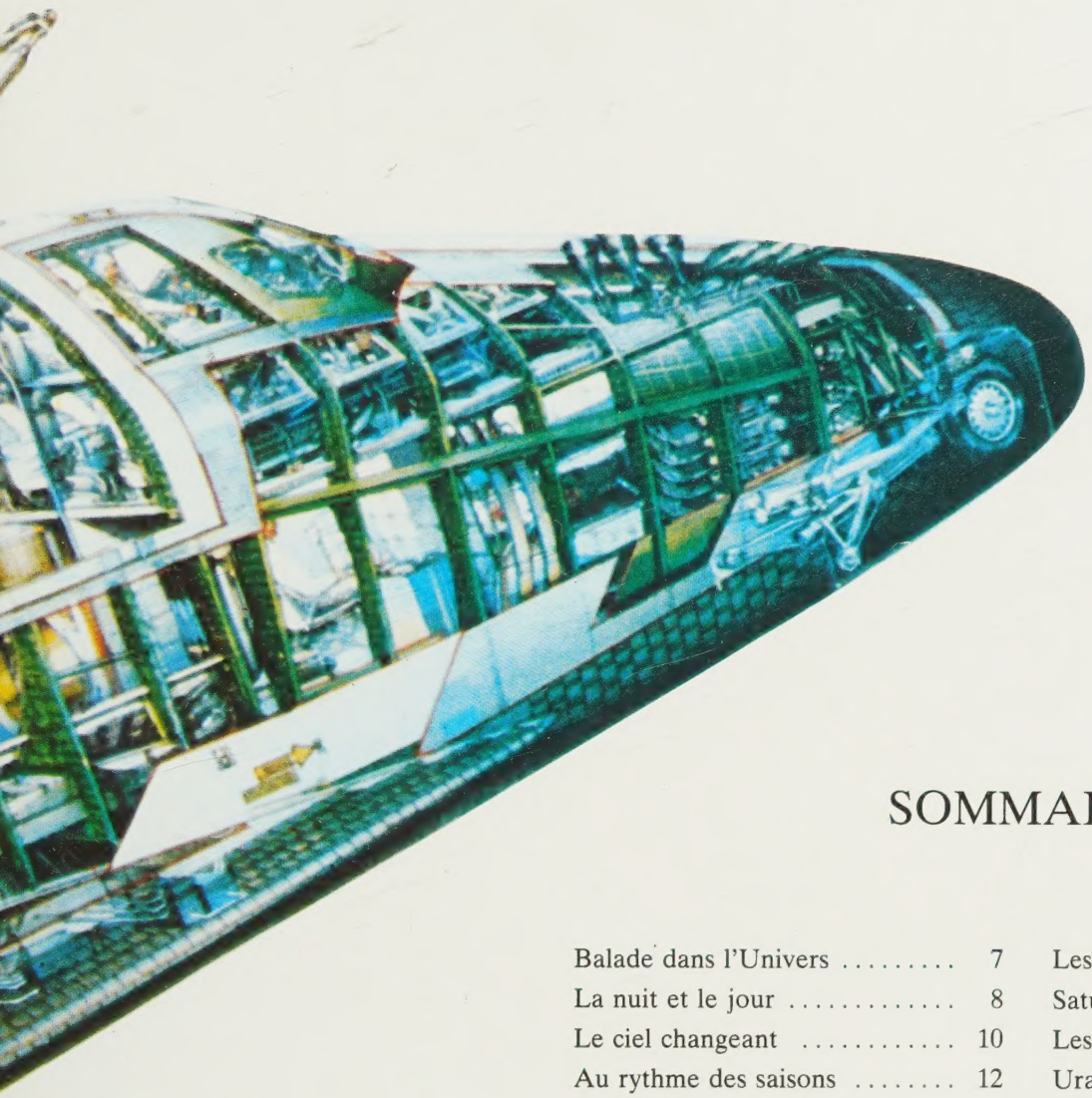
Adaptation française
de Pierre Kohler

Illustrations de Harry McNaught



© 1982 Random House.

© 1984 Hachette, Paris, pour l'édition française.



SOMMAIRE

Balade dans l'Univers 7
La nuit et le jour 8
Le ciel changeant 10
Au rythme des saisons 12
La lumière des étoiles 14
Les télescopes optiques 16
Fusées en tous genres 18
Satellites et sondes spatiales ... 20
Le système solaire 22
Les planètes 25
Notre étoile : le Soleil 26
Une véritable fournaise 29
Mercure : un monde grillé 30
Inhabitable : Vénus 32
La planète bleue 35
Continents à la dérive 36
L'environnement de la Terre .. 38
La Lune 39
Phases, marées, éclipses lunaires 40
Plan de vol d'une mission Apollo 45
Mars : la planète rouge 46
À la découverte de Mars 48
Une planète géante : Jupiter ... 51
Les lunes de Jupiter 52
Saturne et ses anneaux 55
Les lunes de Saturne 56
Uranus, un monde de glace ... 59
Neptune : la dernière planète géante 60
Pluton : aux frontières du système solaire 61
Les innombrables astéroïdes ... 63
Fugitives comètes 64
Étoiles filantes et météorites ... 66
Des hommes dans l'espace 68
Les stations de l'espace 70
La navette spatiale 73
Plan de vol de la navette 74
Observer les étoiles 78
La grande famille des étoiles .. 84
Étoiles multiples et variables .. 86
Vie et mort des étoiles 88
La Voie lactée : notre Galaxie .. 90
Les galaxies proches 92
L'Univers : d'où vient-il, où va-t-il ? 94
Index 95

Balade dans l'Univers

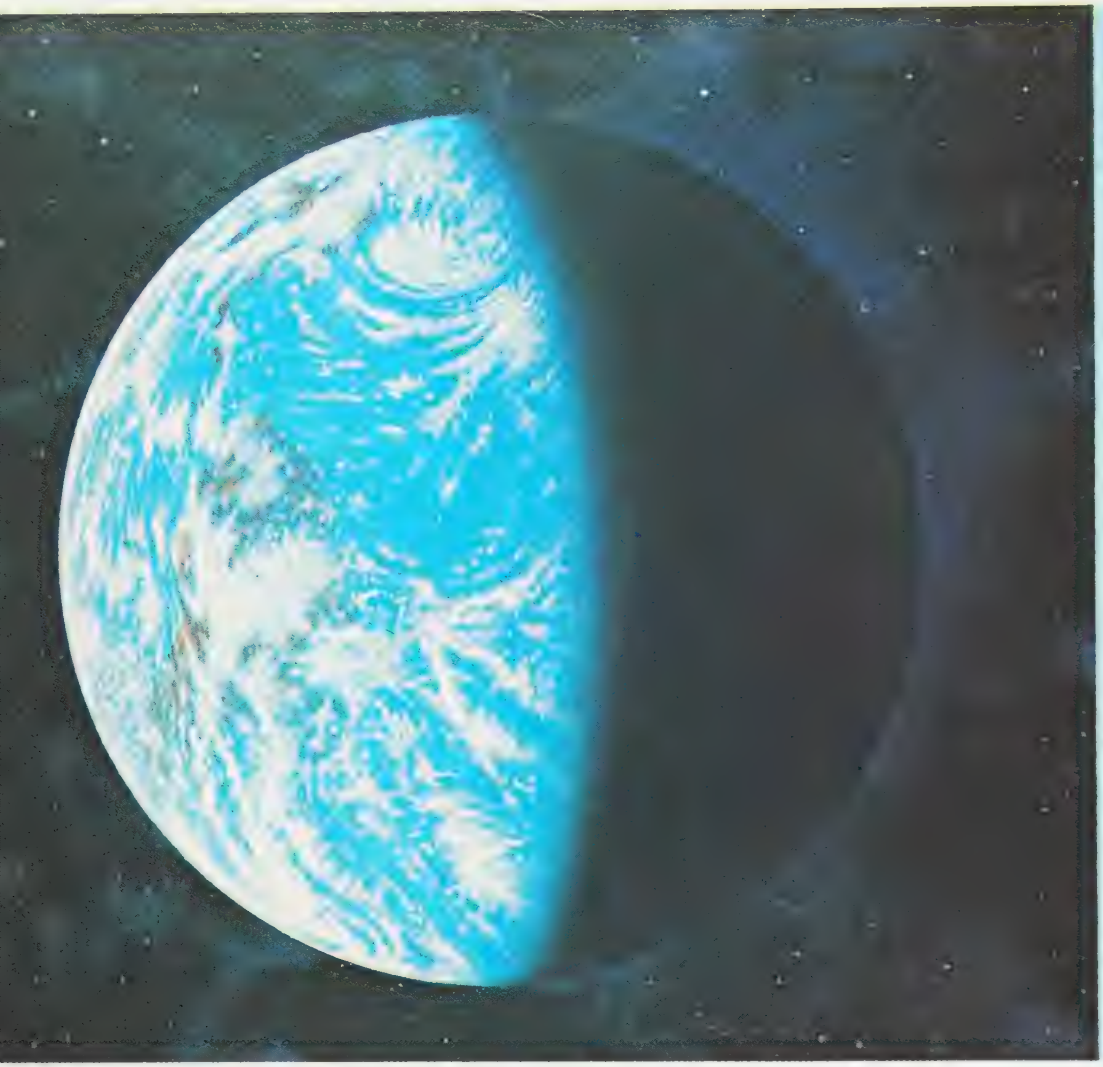
Les étoiles que l'on peut voir dans le ciel, quand la nuit est bien noire, sont à des centaines de milliers de milliards de kilomètres de nous. Leur lumière a voyagé pendant plusieurs années, et parfois même plusieurs siècles pour certaines d'entre elles, avant d'atteindre notre œil.

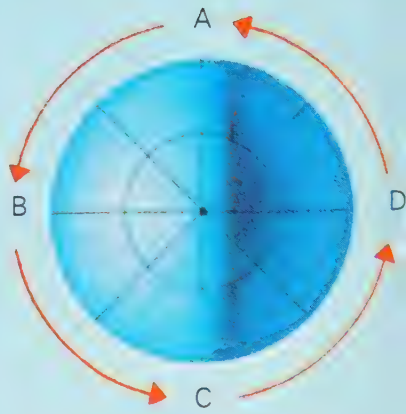
Notre planète, la Terre, n'est proportionnellement qu'un grain de poussière dans le vaste Univers. Même au sein du système solaire, c'est une toute petite planète. Le système solaire lui-même, dominé par le Soleil, appartient à un ensemble encore plus vaste, qui regroupe plus de 100 milliards de soleils ; c'est la Galaxie, dont la Voie lactée représente le centre. Cette galaxie est si étendue qu'il faut 100 000 ans à la lumière pour la traverser, malgré sa fantastique vitesse de 300 000 km/s (environ un milliard de km/h !). Il existe beaucoup d'autres galaxies dans l'Univers, mais elles sont très éloignées les unes des autres. La plus proche des grandes galaxies, celle d'Andromède, se situe déjà à plus de 2 millions d'années-lumière. Or une année-lumière représente la distance parcourue par la lumière en un an, c'est-à-dire 9 500 milliards de kilomètres.

Ce livre vous aidera à apprécier les merveilles innombrables que recèle le ciel. Vous y trouverez les toutes dernières observations et découvertes effectuées par les astronomes, ainsi que les ambitieux programmes spatiaux mis sur pied pour pénétrer toujours plus profondément ce vaste Univers.

Les cartes du ciel des pages 80 à 83 vous aideront tout particulièrement (ainsi que les indications données en encadré tout au long de ce livre), pour explorer par vos propres moyens la voûte céleste.

Notre système solaire n'est qu'un point (marqué ici en rouge) dans la Galaxie. Il y a des millions d'autres galaxies dans l'Univers.





Imaginons que nous soyons très loin, dans l'espace, regardant au-dessus du pôle Nord de la Terre. L'heure locale au point A correspond au lever du Soleil ; il est midi au point B, le Soleil se couche en C et il est minuit en D.

Sur l'image de gauche, l'hémisphère de la Terre qui fait face au Soleil est dans le jour, tandis que l'autre moitié est plongée dans la nuit. Au fur et à mesure que la Terre tourne, d'ouest en est, les zones éclairées par la lumière du Soleil voient celui-ci baisser sur l'horizon et se trouvent à leur tour plongées dans la nuit.

La nuit et le jour

Le Soleil est une étoile, et il brille tout le temps. C'est parce que notre Terre tourne sur elle-même, en 24 heures, que nous le voyons disparaître le soir et réapparaître le matin. Ainsi, la nuit succède au jour et le jour à la nuit. Si la Terre était immobile, la moitié du monde se trouverait toujours éclairée par le Soleil tandis que l'autre serait perpétuellement plongée dans l'obscurité.

Il est facile de remarquer que le Soleil se lève à peu près en direction de l'est et se couche en direction de l'ouest le soir, après avoir culminé au sud à midi. Pendant la nuit, l'on peut ensuite voir les étoiles se déplacer, elles aussi. En réalité, le Soleil comme les étoiles ne se déplacent pas dans le ciel : c'est une impression due au fait que la Terre tourne sur elle-même. Notre regard balaie donc le ciel, exactement comme si nous étions sur un manège.

Quand la portion de Terre sur laquelle nous nous trouvons est éclairée par le Soleil, la diffusion de sa lumière par l'atmosphère donne au ciel une luminosité qui efface le faible éclat des étoiles. Voilà pourquoi nous ne voyons pas les étoiles en plein jour. Sur la Lune, où le ciel reste noir même en plein jour parce qu'il n'y a

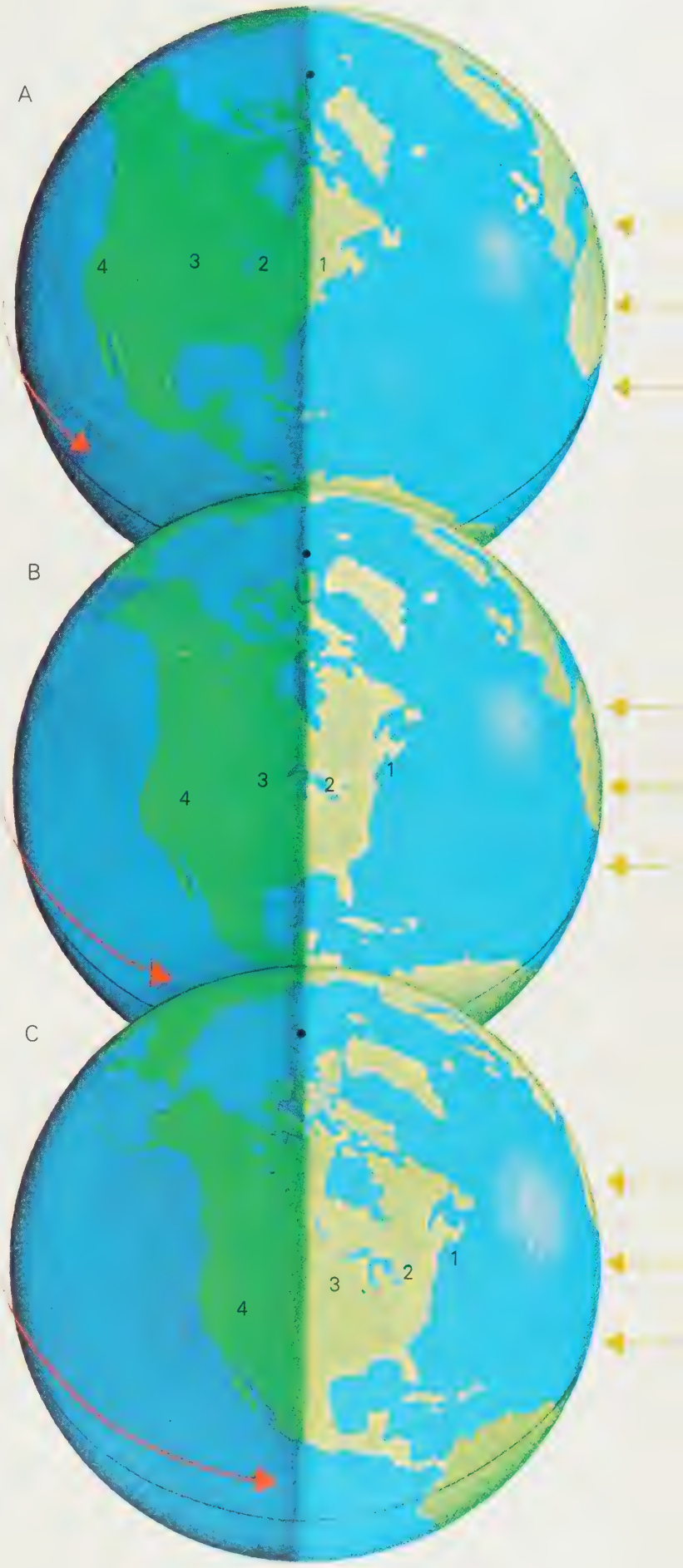
pas d'air pour diffuser la lumière, nous pourrions voir des étoiles tout à côté du Soleil.

La nuit et le jour constituent une grande division du temps, et depuis longtemps les hommes ont su se servir de la position du Soleil dans le ciel pour évaluer l'heure. Le moment où il est au plus haut correspond à midi. L'intervalle de temps qui s'écoule du midi d'un jour au midi du jour suivant a été divisé en 24 parties égales : ce sont les heures. A mesure que nous nous déplaçons, vers l'est ou vers l'ouest, nous trouvons un temps local différent : c'est le décalage horaire.

Le moment du « midi » est différent suivant les endroits de la Terre parce que notre planète tourne, d'ouest en est. Des lieux situés en Europe de l'Est, par exemple, voient le soleil plus tôt que ceux situés en Europe de l'Ouest. C'est la même chose pour un territoire très étendu en longitude, comme les États-Unis. Chaque endroit de la Terre possède donc sa propre heure locale.

Pour simplifier notre vie, parce qu'il n'est pas possible de changer d'heure dès que l'on voyage un peu, on a divisé le monde en 24 zones : ce sont les fuseaux horaires. Si bien que toutes les villes situées à l'intérieur d'un même fuseau possèdent la même heure locale, même si ce n'est pas tout à fait vrai dans la réalité. D'un fuseau à l'autre, l'écart est d'une heure, et il faut alors régler sa montre.

Le méridien origine est celui de Greenwich, une petite ville de la banlieue de Londres, en Angleterre. Pour chaque fuseau de plus vers l'est, le temps augmente d'une heure, et pour chaque fuseau vers l'ouest il diminue d'une heure. Quand il est midi à Londres il est 7 heures du matin à New York, car il y a 5 fuseaux horaires d'écart entre les deux villes.



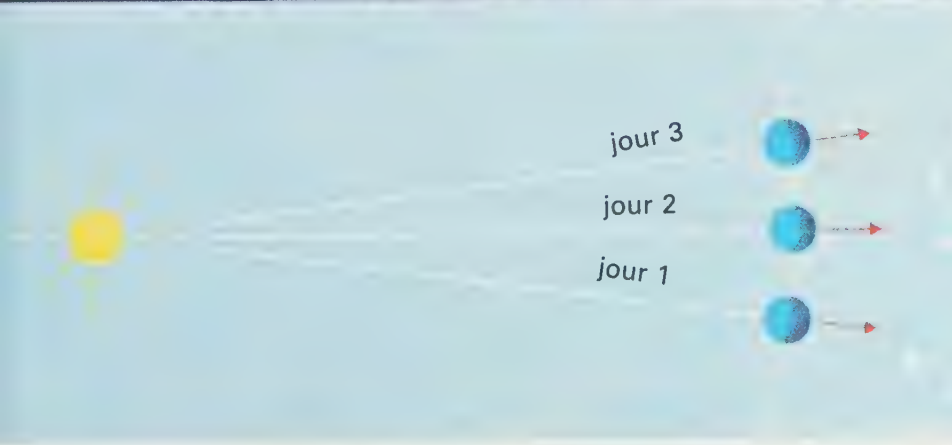
Les dessins de droite représentent la Terre à trois moments différents. En A nous voyons l'Amérique du Nord telle qu'elle se présente une heure plus tôt qu'en B, et en B une heure plus tôt qu'en C. En A, la ville 1 voit le Soleil se lever. Les villes 2, 3 et 4 sont toujours plongées dans la nuit. En B, une heure plus tard, le globe terrestre a tourné de 15° en longitude, en direction du Soleil. C'est maintenant la ville n° 2 qui voit le Soleil se lever. Puis c'est au tour de la ville 3, et à ce moment là le Soleil est déjà levé depuis deux heures pour la ville 1. Quant à la ville 4, elle ne se trouvera dans le jour qu'une heure plus tard.

Le ciel changeant

Par une nuit bien sombre il est possible de voir environ 2 000 étoiles. Si vous êtes attentif, vous constaterez que ces étoiles semblent se déplacer dans le ciel tout au long de la nuit. En réalité, c'est notre Terre qui tourne. En repérant la position des différentes constellations d'un mois à l'autre il est facile de constater par ailleurs que le ciel change suivant les saisons. Ce changement est encore dû au mouvement de la Terre, mais cette fois à cause de sa révolution autour du Soleil.

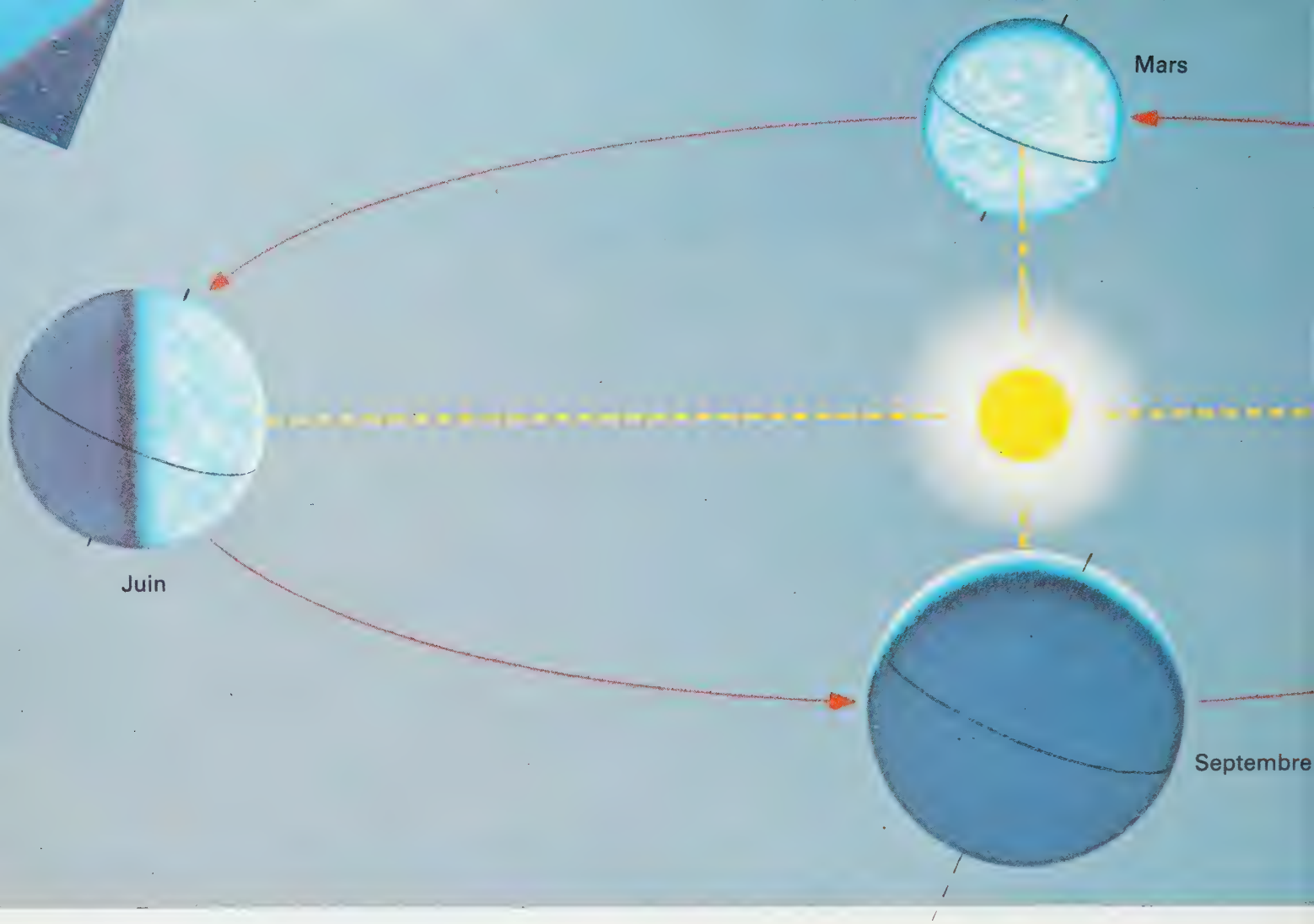
Pour bien comprendre ce phénomène, imaginons que nous ayons pris place à bord d'une voiture de course, sur un circuit de compétition automobile. A mesure que l'on roule, on voit défiler des panneaux publicitaires différents. C'est la même chose sur Terre, où les constellations changent et sont remplacées par d'autres à mesure que la Terre avance sur son circuit autour du Soleil. Après un tour de piste complet l'on découvre de nouveau les mêmes panneaux et ainsi de suite. Depuis notre observatoire terrestre, après un an, nous retrouvons également les mêmes constellations.

Les pages 80 à 83 donnent l'aspect du ciel pour chacune des quatre saisons.



L'illustration ci-dessus montre les positions de la Terre chaque mois, tout au long de son périple d'une année autour du Soleil. Au fur et à mesure que notre planète accomplit son mouvement de révolution, nous voyons des étoiles différentes dans le ciel.

Le schéma de gauche montre la position de la Terre sur son orbite trois jours consécutifs. Parce que notre planète tourne sur elle-même tout en se déplaçant autour du Soleil, nous voyons les mêmes étoiles, chaque nuit, avec 4 minutes d'avance.



Au rythme des saisons

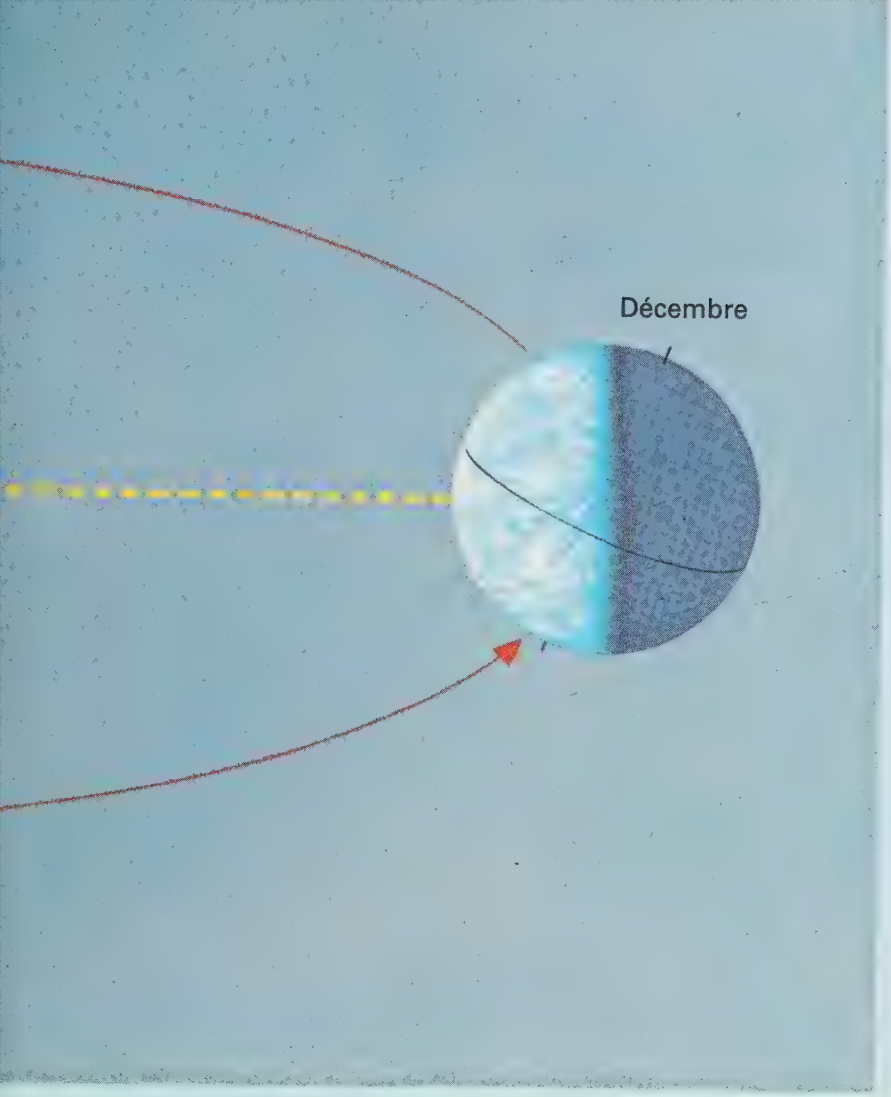
La Terre tourne sur son axe : c'est en quelque sorte une tige imaginaire qui traverserait les pôles Nord et Sud. Cet axe est incliné de 23,5°, ce qui fait que la direction d'arrivée des rayons solaires change tout au long de l'année. Si notre planète possédait un axe parfaitement vertical, ces rayons arriveraient toujours sous le même angle et il n'y aurait pas de saisons.

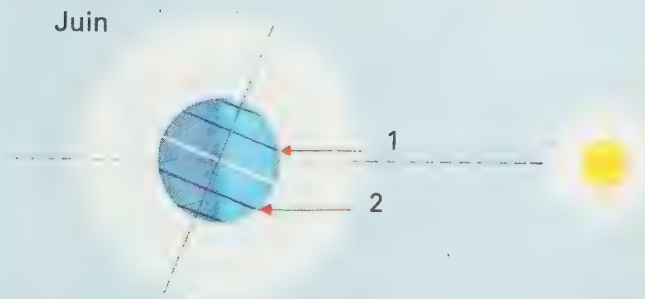
Le 21 juin l'axe de rotation de la Terre est dirigé vers le Soleil, si bien que celui-ci se trouve très haut dans le ciel des habitants de l'hémisphère Nord. Il brille donc longtemps dans la journée et il fait chaud : c'est l'été. Au-delà du cercle arctique, c'est même le jour perpétuel. Dans l'hémisphère Sud, par contre, le Soleil est bas, et pour l'Antarctique c'est la nuit polaire continue : au sud de l'équateur c'est donc l'hiver.

Six mois plus tard, le 22 décembre, c'est au tour des habitants de l'hémisphère Nord d'avoir un Soleil bas sur l'horizon, des jours courts et une nuit longue : nous sommes maintenant en hiver, tandis que c'est l'été dans l'hémisphère Sud. L'hiver et l'été correspondent aux solstices.

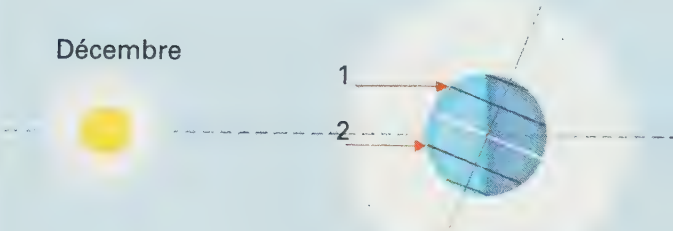
Deux fois par an, le 21 mars et le 23 septembre, le Soleil se trouve exactement à la verticale de l'équateur. Pour tous les lieux du monde, les jours ont alors la même durée que les nuits : ce sont les équinoxes, de printemps et d'automne.

Un moyen commode de voir ce que représente un angle de 23,5° consiste à ouvrir la main, bras tendu : l'écartement entre les extrémités des doigts correspond à un angle d'environ 23,5°.

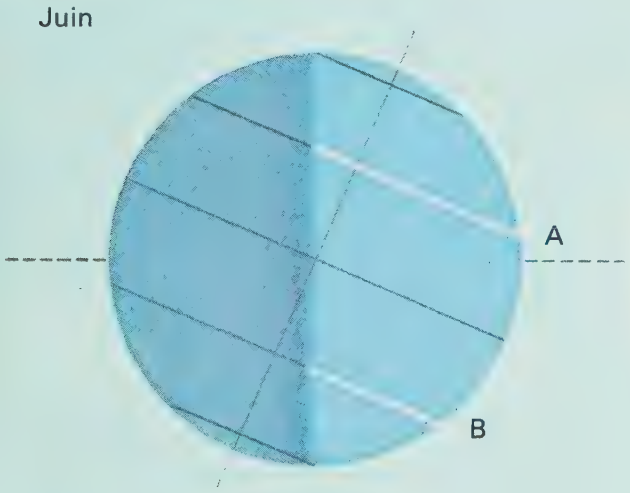




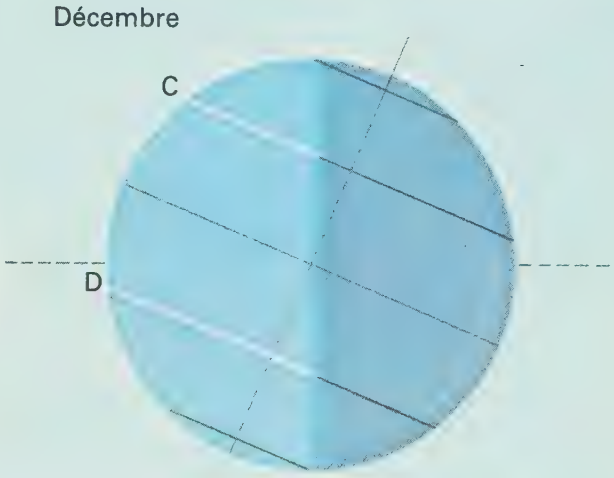
En été le Soleil est haut dans le ciel. Les rayons du Soleil arrivent presque verticalement à la surface : c'est pourquoi le Soleil chauffe plus en été qu'en hiver. L'on voit très bien qu'en 1 les rayons frappent cette région de la Terre plus verticalement qu'en 2.



En hiver, les rayons qui arrivent en 2 sont plus efficaces que ceux qui arrivent en 1 : l'éclairement sur cette région 1 est plus dispersé et provoque donc moins de chaleur. C'est l'été au sud de l'équateur, en décembre.



L'illustration ci-dessus montre l'hémisphère Nord durant l'été, quand le pôle Nord est incliné dans la direction du Soleil. Cet hémisphère reçoit donc la lumière solaire pendant de plus longues périodes que l'hémisphère Sud. Au nord de l'équateur, les jours sont plus longs et les nuits plus courtes. En juin, un observateur placé en A connaît une plus longue période de Soleil qu'un autre placé en B.



Ci-dessus, nous nous trouvons dans la situation opposée. Nous sommes maintenant en décembre, et l'hiver débute dans l'hémisphère Nord : le pôle Nord est incliné dans la direction opposée au Soleil. Au nord de l'équateur les jours sont courts et les nuits longues, tandis que c'est l'inverse au sud. Le point D connaît une durée d'ensoleillement plus grande que le point C.

La lumière des étoiles

Les étoiles sont tellement éloignées de nous que même dans un puissant télescope elles restent toujours de simples points. Nous pouvons cependant apprendre beaucoup de choses sur elles en analysant leur lumière.

La lumière des étoiles est un mélange de rayonnements de différentes longueurs d'onde, qui forment ce que les physiciens appellent le spectre électromagnétique. La lumière à laquelle notre œil est sensible n'est qu'une toute petite partie de ce vaste spectre. Ainsi les astres émettent également des ondes radio, des infrarouges, de l'ultraviolet, des rayons X et gamma, mais nous ne pouvons pas les percevoir car nous ne disposons pas de sens adaptés pour cela. Les astronomes utilisent des récepteurs appropriés, qui sont des récepteurs de radio ou des plaques photographiques spéciales.

Chaque étoile rayonne donc un mélange variable d'ondes, qui voyagent toutes à près de 300 000 km/s. En une seconde, elles pourraient faire 7 fois le tour de la Terre ! On aura une idée de leur fantastique vitesse en songeant qu'il faut moins d'une seconde et demie à la lumière pour venir de la Lune, alors que les plus rapides de nos fusées mettent 2 ou 3 jours pour faire le même parcours.

C'est avec des télescopes que les astronomes collectent la lumière qui nous arrive des étoiles. Cette lumière est ensuite analysée grâce à tout un ensemble d'appareils de mesure placés derrière le télescope. Ils peuvent ainsi connaître, par exemple, la composition et la température des étoiles. Les rayonnements qui ne sont ni de la lumière ni des ondes radio sont partiellement ou complètement absorbés par l'atmosphère terrestre. C'est pourquoi, de plus en plus souvent, des télescopes sont placés à bord d'avions, de ballons, de fusées ou de satellites.

Le Soleil est une étoile, et sa lumière, comme celle des autres étoiles, est un mélange de plusieurs couleurs. Il est facile de le constater en plaçant un prisme dans un rayon de lumière : il se forme alors une image appelée spectre, composée des sept couleurs de l'arc-en-ciel.

La vapeur d'eau contenue dans l'air bloque les rayons infrarouges. Quelques-uns d'entre eux peuvent toutefois être perçus par des télescopes placés au sommet de montagnes élevées, à bord d'avions spéciaux, de ballons ou de fusées-sondes.

Les étoiles sont observées dans de meilleures conditions si le ciel est pur et parfaitement noir, loin des brumes et des lumières parasites. C'est pourquoi l'on installe les grands observatoires sur des montagnes.

La plupart des radiotélescopes consistent en une surface métallique en forme de coupe, qui concentre les ondes radio reçues vers une antenne placée au centre ; de là, ces ondes sont acheminées vers le récepteur par un câble. Le radiotélescope américain V.L.A. (sigle qui signifie « très grand réseau »), installé dans le désert de l'État du Nouveau Mexique, est formé par 27 antennes disposées le long des branches d'un Y. L'ensemble constitue un super radiotélescope.

Infrarouge

Le télescope spatial sera placé en orbite à 500 km, bien au-dessus de l'atmosphère dense. Il permettra aux astronomes d'observer les astres dans des conditions idéales.

Lumière visible

Ultraviolet

Rayons X

De plus en plus, les astronomes utilisent des satellites-observatoires automatiques, en orbite autour de la Terre, comme le I.U.E. (sigle signifiant « Explorateur ultraviolet international »). Ils peuvent les télécommander du sol et voir le résultat de l'observation immédiatement sur un écran.

Rayons gamma

Ballon

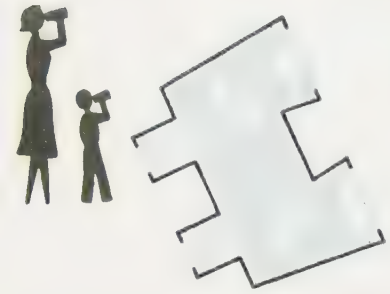
Des détecteurs placés à bord de fusées-sondes ont découvert les premières sources de rayons X dans le ciel en 1962.

Des satellites-observatoires comme le H.E.A.O. (sigle signifiant « Observatoire astronomique pour les hautes énergies ») nous ont permis de dresser une carte du ciel des sources de rayons X ou gamma, qui transportent beaucoup plus d'énergie que les rayons lumineux : des milliers de fois plus pour les rayons X, des millions de fois plus pour les rayons gamma.

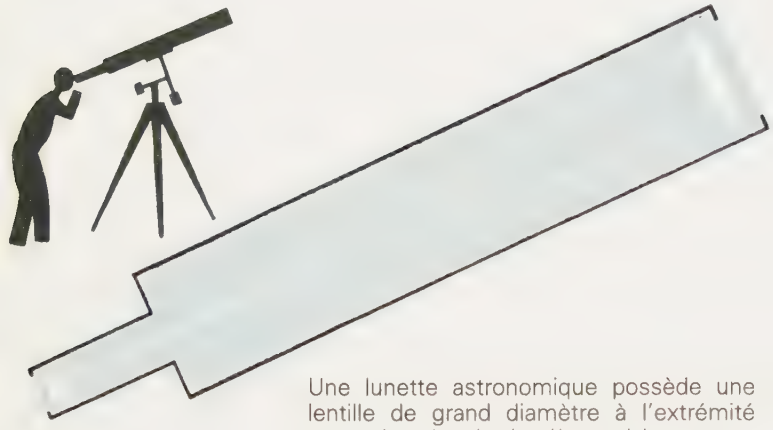
Des stations de réception au sol sont chargées de recevoir les émissions radio envoyées par les satellites. Les résultats transmis sont stockés et analysés sur ordinateur ; l'on peut ensuite les visualiser sur un écran ou les transformer en photographies couleur.

Des ballons-sondes transportent parfois des détecteurs de rayons X et gamma dans la haute atmosphère.

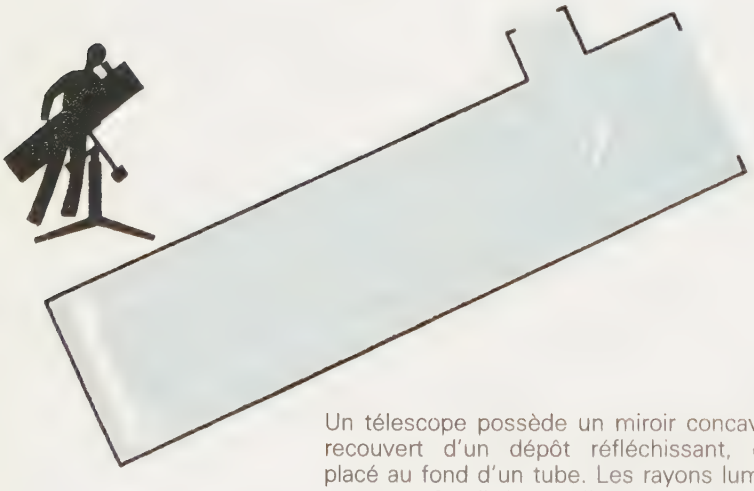
Les télescopes optiques



Les jumelles recueillent plus de lumière que nos yeux. Elles se caractérisent par leur grossissement et le diamètre de leurs objectifs. Des jumelles marquées 7 × 50 sont idéales pour l'observation astronomique : elles grossissent 7 fois et ont un diamètre d'objectif de 50 mm.



Une lunette astronomique possède une lentille de grand diamètre à l'extrémité avant du tube. La lumière qui la traverse est réfractée pour former une image à l'arrière de ce tube. Cette image est grossie à l'aide d'une loupe appelée oculaire. Un jeu de plusieurs oculaires permet ainsi de varier les grossissements.



Un télescope possède un miroir concave recouvert d'un dépôt réfléchissant, et placé au fond d'un tube. Les rayons lumineux sont focalisés vers l'avant, puis généralement déviés sur le côté, où se forme l'image, que l'on grossit également avec un oculaire.

Nos yeux ne peuvent découvrir qu'une toute petite partie des merveilles que renferme l'Univers. Mais une simple lunette astronomique d'amateur peut déjà révéler des étoiles trop faiblement lumineuses pour êtres vues à l'œil nu.

Une lunette ou un télescope collectent la lumière des astres pour en former une image qui est grossie à l'aide d'une loupe appelée oculaire. Il est également possible d'enregistrer et d'analyser cette lumière, sur une pellicule photographique par exemple, ou à travers un spectroscope.

Mais quelle est la différence entre une lunette (ou réfracteur) et un télescope (ou réflecteur) ? Une lunette possède une lentille, placée à l'avant, qui concentre la lumière vers l'arrière du tube. Le télescope, lui, possède un miroir concave et réfléchissant, placé cette fois à l'arrière du tube, l'image se formant vers l'avant. Là, un miroir plus petit intercepte le faisceau lumineux pour le renvoyer sur le côté (montage Newton), ou parfois vers l'arrière à travers un trou percé dans le miroir principal (montage Cassegrain).

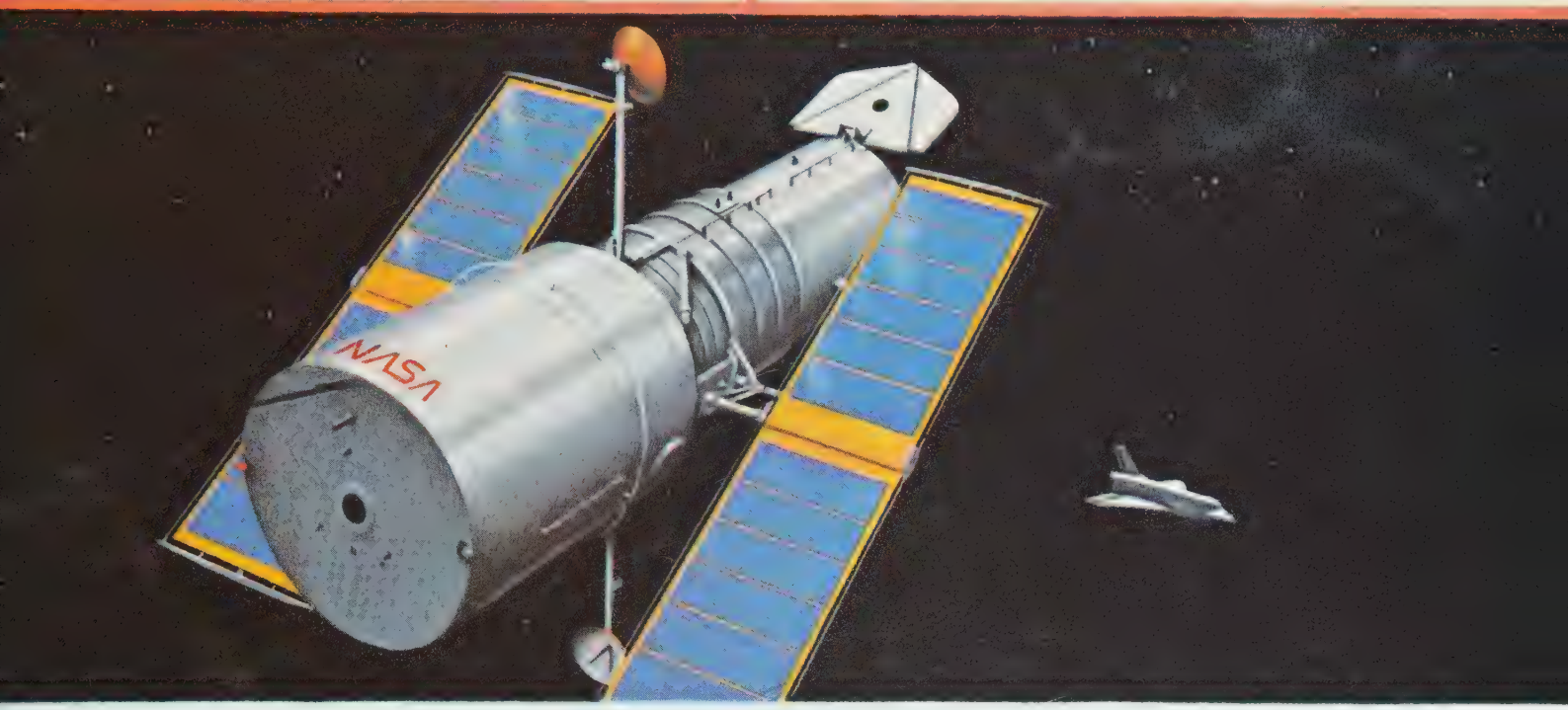
Ces objectifs (lentilles ou miroirs) doivent être de grande taille afin de collecter la lumière d'astres lointains et donc faiblement lumineux. La plus grande lentille de lunette mesure 1 mètre de diamètre ; elle se trouve à l'observatoire Yerkes, près de Chicago, aux États-Unis. Le miroir du plus grand télescope mesure 6 mètres de diamètre et se trouve à l'observatoire de Zelentchouk, dans le Caucase, en U.R.S.S.

Les performances d'un télescope ou d'une lunette dépendent avant tout des dimensions et de la qualité de leur objectif, c'est-à-dire du miroir ou de la lentille qui les équipent. La puissance d'un instrument astronomique se juge au diamètre de cet objectif et non au grossissement. Plus ce diamètre est important, meilleure est l'image obtenue.

Pour observer le ciel en amateur on peut utiliser soit une lunette, facile à manier mais peu puissante, ou un télescope, plus fragile mais plus puissant. A puissance égale, les télescopes sont moins chers que les lunettes. On peut aussi construire soi-même une petite lunette.

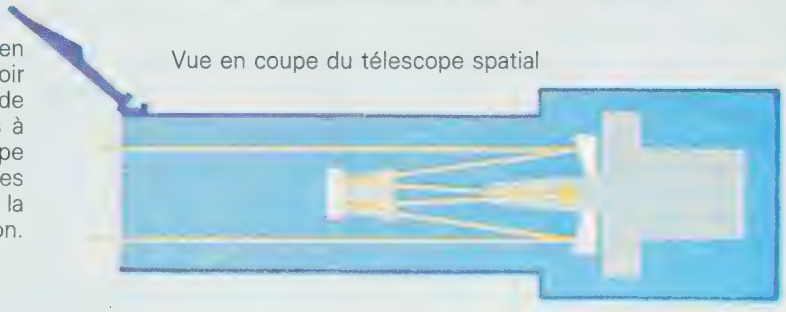
Le plus grand télescope américain est celui du mont Palomar, en Californie ; son miroir mesure 5 mètres de diamètre. Des moteurs électriques permettent de pointer ce lourd instrument dans la direction voulue. Le plus grand télescope du monde mesure 6 mètres de diamètre : c'est celui de Zelentchouk, installé dans le Caucase.

Le télescope multi-miroirs (M.M.T.), implanté au sommet du mont Hopkins, dans l'Arizona, est le troisième plus puissant télescope du monde. Ses six réflecteurs de 1,80 m de diamètre, groupés côte à côte, représentent l'équivalent d'un miroir unique qui aurait 4,50 m d'ouverture ; il est utilisé pour observer aussi bien en lumière normale que dans l'infrarouge. Les futurs grands télescopes pourraient être de ce type, car ils sont plus économiques, à puissance égale, que les miroirs simples.



Notre vue de l'Univers se trouvera considérablement améliorée en 1986, lorsque sera mis en orbite le télescope spatial. Avec son miroir de 2,40 m, observant dans des conditions idéales au-dessus de l'atmosphère, cet instrument fournira des images bien supérieures à celles des plus puissants télescopes placés sur Terre. Ce télescope spatial sera télécommandé du sol, ses informations étant enregistrées à bord puis transmises par radio. Il sera largué depuis la soute de la navette spatiale et pourra être récupéré tous les cinq ans pour révision.

Vue en coupe du télescope spatial



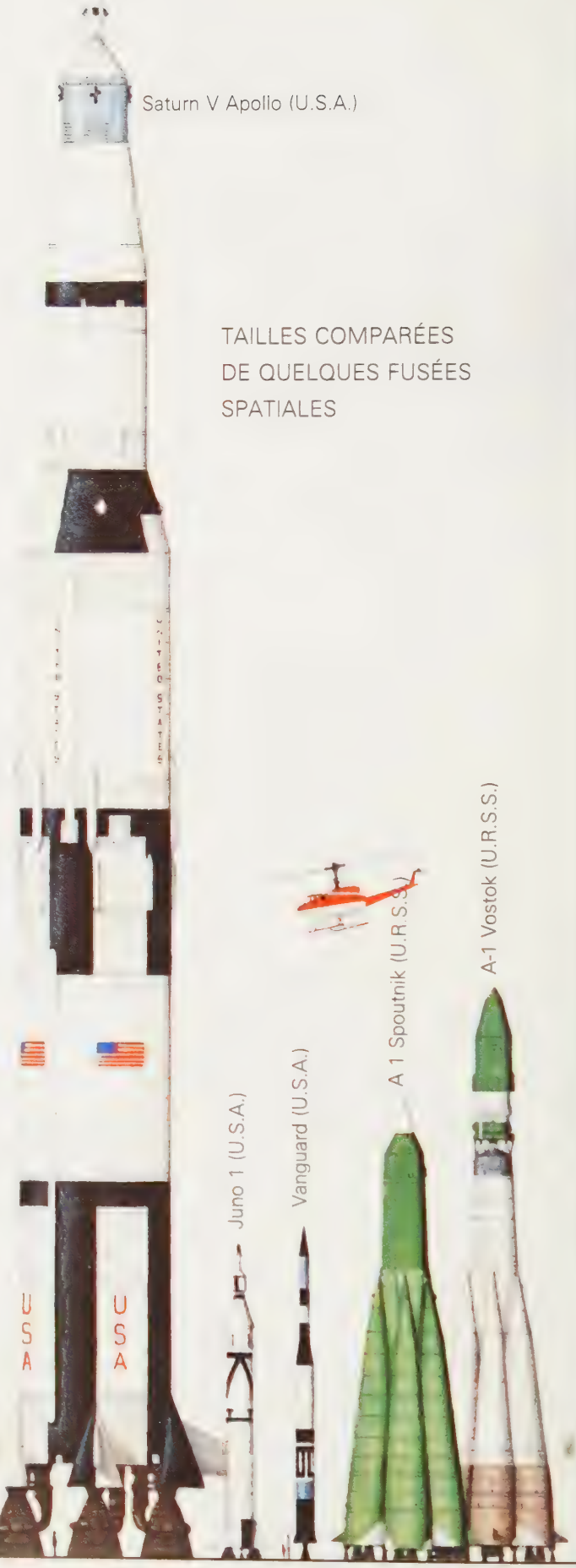
Fusées en tous genres

Les fusées sont utilisées pour expédier dans l'espace des satellites scientifiques et utilitaires, mais aussi des hommes. Elles sont le seul moyen de se rendre dans l'espace parce que, au contraire des avions, elles n'ont pas besoin d'air pour fonctionner.

Les fusées se déplacent par réaction. C'est le même principe qui fait se déplacer un ballon de baudruche bien gonflé qu'on relâche d'un seul coup. Tant que l'on pince l'orifice, rien ne se passe car la pression à l'intérieur du ballon est la même partout ; dès que l'orifice est ouvert, l'air s'échappe par cette ouverture et la pression n'est plus équilibrée : il y a une réaction dans la direction opposée et le ballon se déplace. Dans la chambre de combustion d'une fusée sont brûlés des produits chimiques, liquides ou solides, qui produisent un grand volume de gaz : en s'échappant vers l'arrière ces gaz propulsent la fusée vers l'avant.

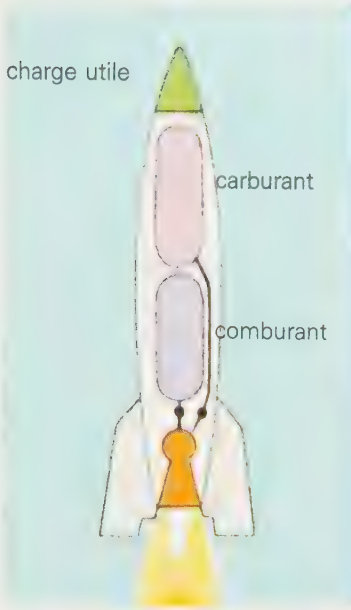
Les fusées qui sont utilisées pour les feux d'artifice sont de simples tubes de carton remplis de poudre, fermés à une extrémité et pincés à l'autre pour augmenter la pression des gaz de sortie. Quelques grosses fusées spatiales utilisent également la poudre, mais la plupart sont propulsées par des propergols liquides, dont le débit est plus facile à contrôler. Les propergols vont par paire ; il y a un réservoir de carburant (par exemple de l'hydrogène liquide) et un réservoir de comburant (qui est toujours de l'oxygène ou un produit contenant beaucoup d'oxygène). Il n'y a pas de combustion possible, en effet, sans oxygène ; or il n'y a pas d'oxygène dans l'espace, ce qui fait que la fusée doit l'emporter avec elle.

Les grosses fusées spatiales ont le plus souvent deux ou trois étages. Chacun d'entre eux ajoute sa propre vitesse au précédent, jusqu'à atteindre la vitesse requise pour la mise en orbite (28 000 km/h) ou l'élancement vers la Lune et les planètes proches (40 000 km/h).

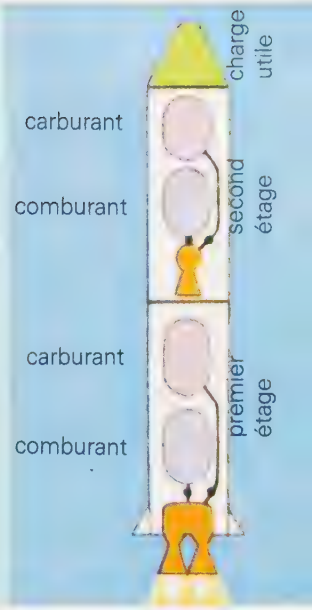


TAILLES COMPARÉES DE QUELQUES FUSÉES SPATIALES

Si vous gonflez un ballon et le lâchez (à gauche), l'air qui s'échappe crée une poussée qui le propulse vers l'avant. Le carburant et le comburant d'un étage de fusée (à droite) brûlent dans la chambre de combustion et c'est la réaction provoquée par l'échappement des gaz qui fait avancer la fusée. Le premier étage d'une fusée spatiale (à l'extrême droite) est destiné à vaincre la force de pesanteur au décollage et à s'élever le plus rapidement possible au-dessus de l'atmosphère. Le ou les étages supérieurs, qui travaillent presque horizontalement, ont pour but de communiquer au satellite la vitesse orbitale.



fusée mono-étage



fusée multi-étages

Mercury Redstone (U.S.A.)

Mercury Atlas (U.S.A.)

Navette spatiale (U.S.A.)

USA

Ariane 1 (E.S.A.)

D-1-e Zond (U.R.S.S.)

Titan 111E-Centaur (U.S.A.)

Europa II (E.L.D.O.)

Diamant BP4 (France)

Black Arrow (Prospero) (G.-B.)

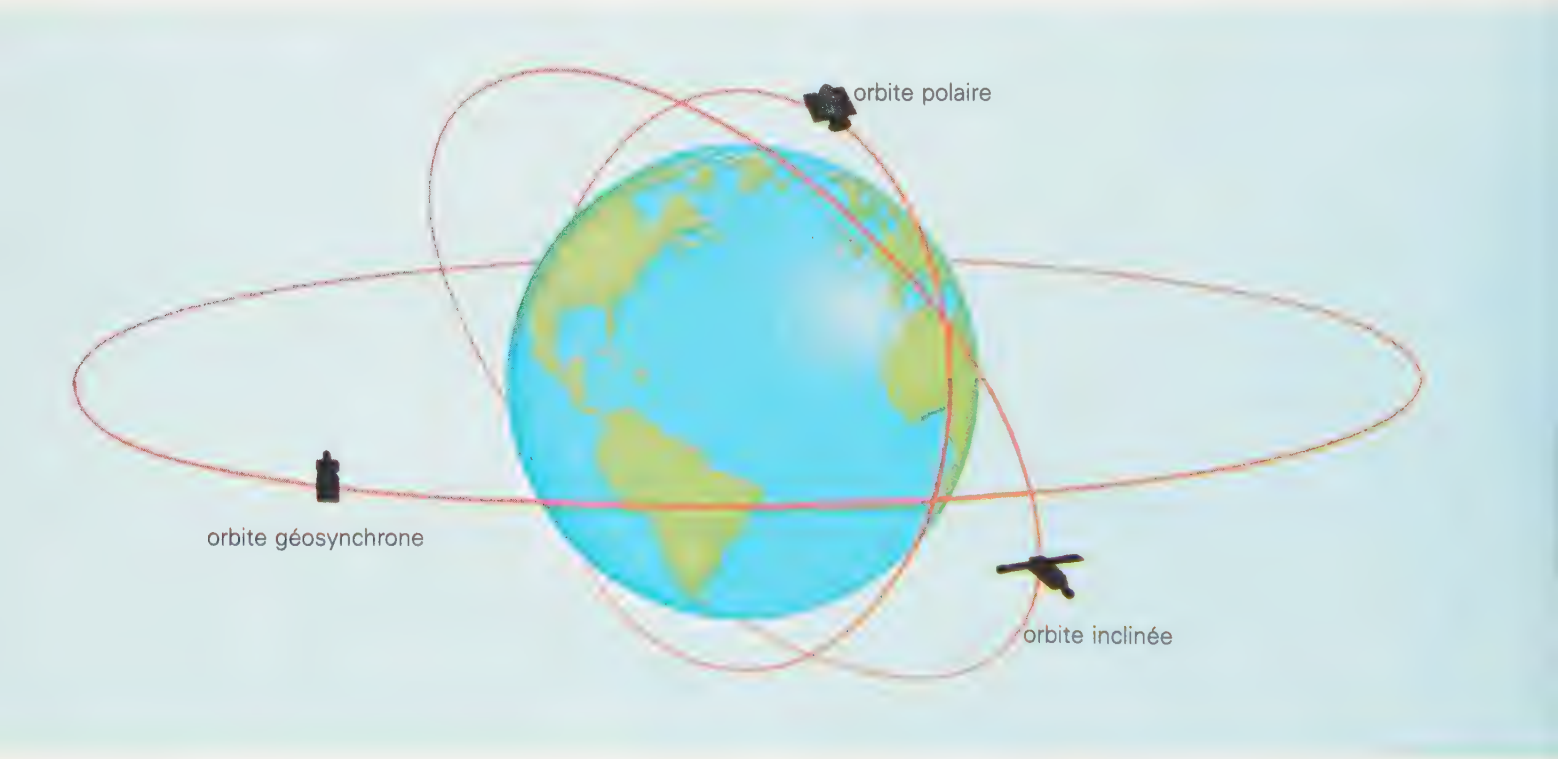
Mu-3H (Japon)

Satellites et sondes spatiales

Les satellites qui tournent autour de la Terre suivent presque tous des orbites elliptiques ; autrement dit, leur trajectoire n'est pas un cercle mais un ovale. Le point le plus bas de cette ellipse, par rapport à la Terre, est le périgée ; le point le plus éloigné est l'apogée. C'est l'équilibre entre la force d'attraction de la Terre et la force centrifuge provoquée par sa vitesse qui maintient le satellite en orbite.

La plupart des satellites sont lancés en direction de l'est car, en procédant de cette façon, la vitesse de rotation de la Terre s'ajoute à celle de la fusée. L'économie de propergols ainsi réalisée permet d'augmenter un peu la charge utile, c'est-à-dire le poids du satellite. Près de l'équateur ce gain de vitesse atteint 1 670 km/h, ce qui n'est pas négligeable. Pour certaines missions (observation de la surface terrestre par exemple) il est préférable de placer les satellites sur une orbite polaire, qui passe au-dessus des pôles Nord et Sud. Dans ce cas, l'appoint de vitesse est nul.

Les satellites de télécommunications, eux, sont placés sur une orbite très particulière, à la verticale de l'équateur à 36 000 km au-dessus du sol ; c'est une altitude très élevée : la plupart des autres satellites circulent à moins de 1 000 km. A 36 000 km le temps qu'il faut pour boucler



Les satellites en orbite polaire (ci-dessus) survolent alternativement les pôles Nord et Sud, tandis que ceux qui ont une orbite inclinée ne survolent jamais des latitudes supérieures à celle de leur inclinaison. En orbite géosynchrone l'inclinaison est nulle : le satellite survole donc toujours l'équateur. Surtout, son altitude (36 000 km) est telle qu'il met un jour pour faire le tour de la Terre. Il tourne ainsi à la même vitesse qu'elle, et reste donc fixe au-dessus du même point.

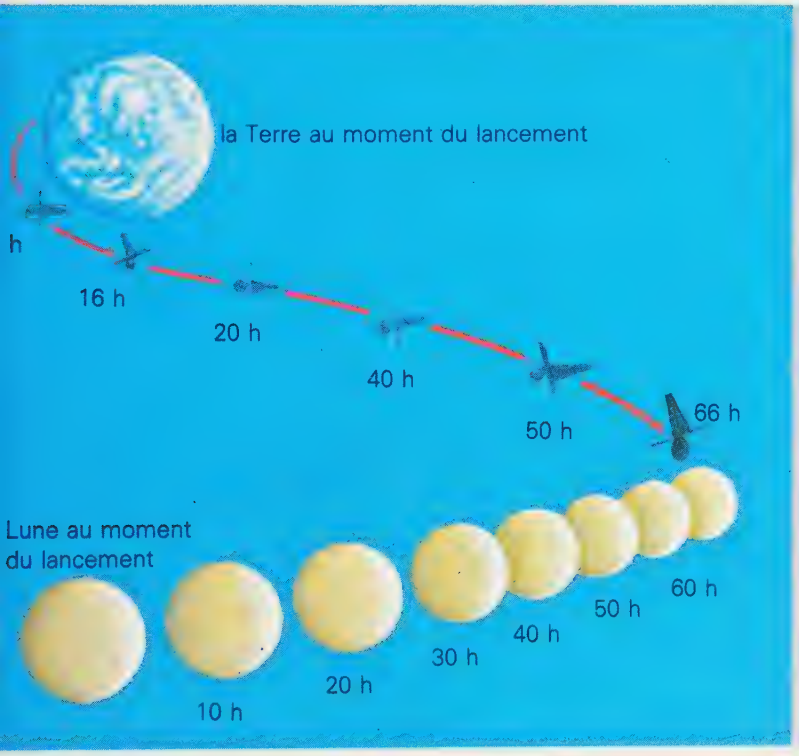
En orbite circulaire (à droite) un satellite se déplace à une altitude et à une vitesse constantes. Mais la plupart des orbites sont elliptiques : avec un périgée (point le plus rapproché de la Terre) et un apogée (point le plus éloigné). C'est au périgée qu'un satellite est le plus rapide, à l'apogée qu'il est le plus lent.

une orbite complète est exactement de 24 heures. Comme c'est aussi le temps que la Terre met pour tourner sur elle-même, le satellite l'accompagne dans sa rotation et reste toujours fixe au-dessus du même point de l'équateur. De là il est possible de découvrir d'un seul coup d'œil, si l'on peut dire, presque une moitié de la Terre. Le satellite peut alors relayer d'un continent à l'autre des émissions de radio (pour le téléphone) ou de télévision.

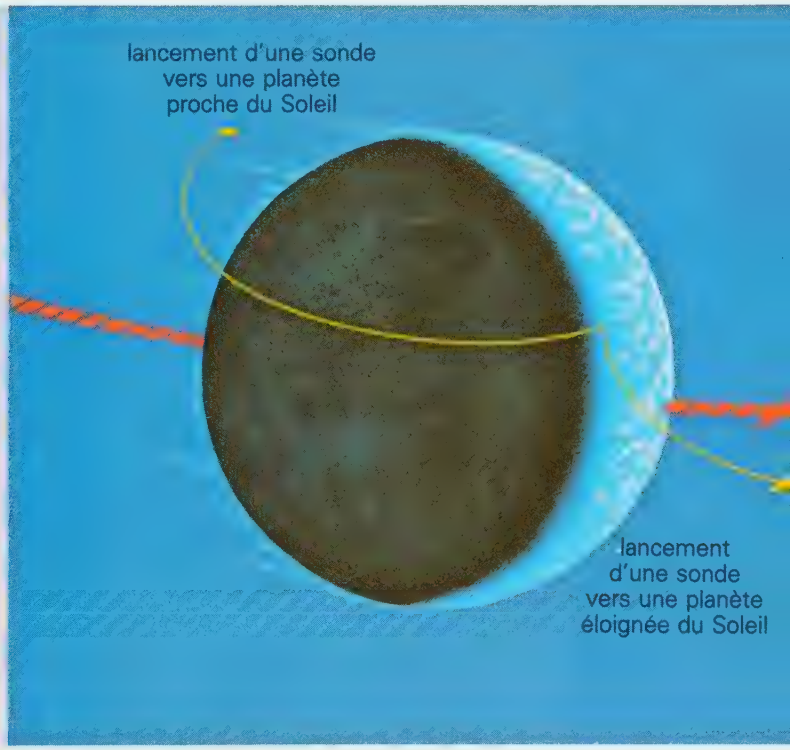
Cette orbite particulière, appelée orbite géostationnaire, ou géosynchrone, est de plus en plus utilisée. Elle reçoit non seulement des satellites de télécommunications mais aussi des satellites de surveillance militaire et des satellites météorologiques.

Les satellites artificiels qui circulent à moins de 3 000 km d'altitude ne sont pas éternels. Il existe en effet des traces d'air qui freinent peu à peu leur mouvement et les fait descendre sur des orbites de plus en plus basses. Parvenus à 130 km environ, ils subissent un freinage si important qu'ils ne peuvent plus accomplir une orbite supplémentaire et plongent dans l'atmosphère dense, où ils se désagrègent en brûlant.

Les sondes spatiales sont équipées comme les satellites mais sont envoyées plus loin que la Terre, vers la Lune ou les planètes. Certaines deviennent même des satellites autour d'autres planètes, comme Vénus et Mars. On ne peut pas lancer ces sondes n'importe quand, mais durant des périodes de quelques jours ou quelques semaines que l'on appelle des « fenêtres » de lancement. Elles correspondent au moment où la planète se présente dans la position la plus favorable pour l'atteindre.



Quand les ingénieurs ont établi le plan de vol des sondes et des vaisseaux spatiaux vers la Lune, il leur a fallu effectuer des calculs d'une très grande précision. Car la Terre et la Lune bougent l'une par rapport à l'autre, de façon plus complexe qu'on ne le croit. Les ordinateurs ont évidemment été d'un grand secours dans cette tâche.



Pour expédier une sonde spatiale vers une planète plus éloignée du Soleil que la Terre, il faut lui communiquer une vitesse supérieure à celle de la Terre tournant autour du Soleil ; dans le cas d'une planète intérieure, cette vitesse doit être plus faible : la sonde est alors lancée dans la direction opposée, pour que sa vitesse se retranche de celle de la Terre.

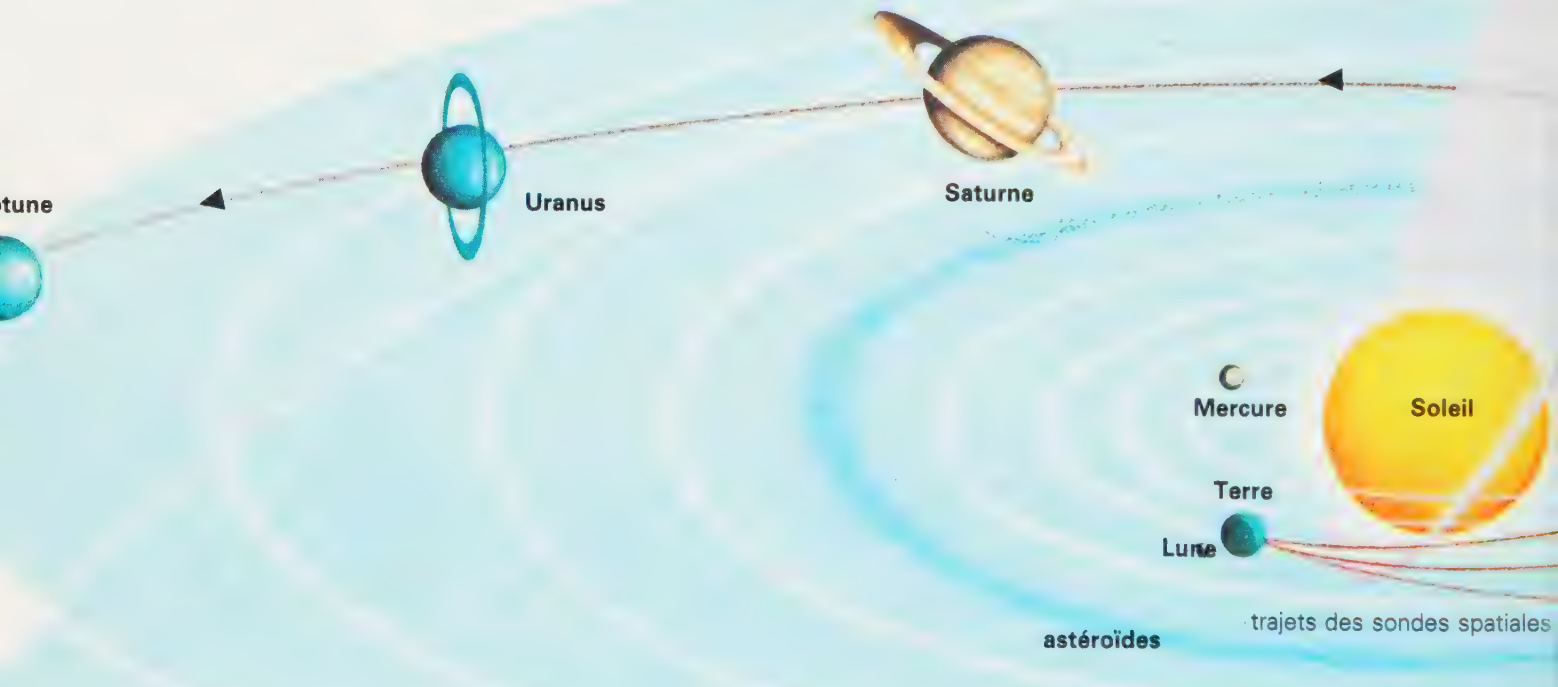
Le système solaire

Le Soleil et tous les astres qui tournent autour de lui — y compris la Terre — constituent le système solaire. Le Soleil est le plus gros, le plus lourd et le plus chaud des corps du système solaire. C'est aussi la seule source de lumière et de chaleur ; les planètes et leurs satellites ne font que réfléchir son rayonnement.

Le Soleil, qui est une étoile, règne sur tous les corps qui gravitent autour de lui. Même la petite Pluton, à près de 6 milliards de kilomètres de distance, est retenue prisonnière par la force de gravitation du Soleil.

Chaque planète est animée de deux mouvements : d'une part elle tourne sur elle-même (rotation), d'autre part elle tourne autour du Soleil (révolution).

Le temps mis pour accomplir une rotation est appelé jour. Notre jour terrestre dure 24 heures, mais celui de Jupiter est beaucoup plus court : 10 heures seulement. Vénus, la plus lente des



Des milliers d'astéroïdes tournent autour du Soleil. Ce sont d'énormes blocs rocheux de toutes tailles et de toutes formes, qui orbitent pour la plupart entre Mars et Jupiter, en formant un anneau. Les comètes sont des noyaux de roches et de glace, enrobés de poussières et de gaz congelés. La plupart s'éloignent à de grandes distances du Soleil, sur des orbites très allongées. Il arrive qu'elles passent suffisamment près de la Terre et du Soleil pour être observables à l'œil nu (en moyenne une tous les 4 ans).

planètes, tourne sur elle-même en 243 de nos jours.

Le temps mis pour accomplir une révolution est appelé année. Une année terrestre vaut 365 jours. Les planètes plus proches du Soleil tournent plus rapidement, les plus éloignées tournent, au contraire, plus lentement. Ainsi l'année de Mercure vaut-elle trois mois terrestres alors que celle de Pluton atteint deux siècles et demi.

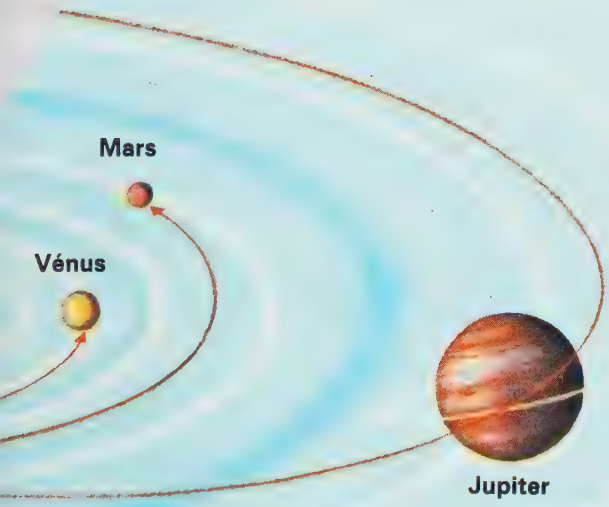
Toutes les planètes, excepté Mercure et Vénus, ont des lunes, c'est-à-dire des satellites naturels. La plus grosse de toutes, qui appartient à Jupiter, est Ganymède. En outre, Jupiter, Saturne, Uranus et peut-être Neptune sont entourées d'anneaux.

Comète

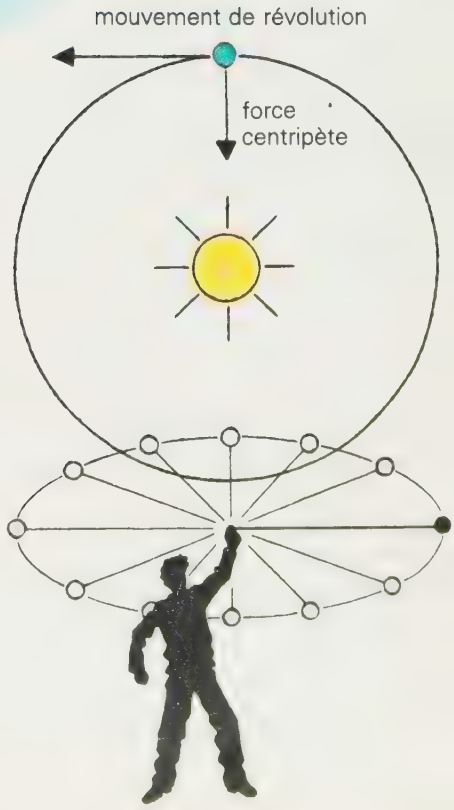
Il y a également dans le système solaire un grand nombre de petits astres, appelés astéroïdes ou petites planètes. Ils circulent surtout entre Mars et Jupiter. Autour du Soleil gravitent enfin quelques comètes, véritables boules de glace et de poussière, qui laissent derrière elles des sillages de petits graviers : les météorites.

Dans le ciel, les planètes ressemblent à des étoiles. Mais elles ne restent pas fixes : au fil des jours et des semaines, elles se déplacent parmi les constellations. D'où leur nom, qui, en grec, signifie « vagabondes ».

Les astronomes pensent que le système solaire est né à partir d'un gigantesque nuage de poussières tourbillonnant, il y a presque 5 milliards d'années. La plus grande partie du gaz s'est rassemblée au centre en une énorme sphère qui est devenue une étoile : le Soleil. Les poussières en tournant autour de lui, ont formé un disque aplati dans lequel les planètes sont nées, par collisions et collage de corps de plus en plus gros.



Tout le système solaire se déplace à travers l'espace



Le schéma de droite explique comment les planètes sont maintenues prisonnières du Soleil. En haut, l'on voit une planète sur son orbite. Il y a équilibre entre la force centripète (attraction du Soleil) et la force centrifuge créée par sa vitesse, ce qui fait qu'elle se déplace vers l'avant. Au-dessous, l'on voit qu'une pierre attachée à une ficelle tourne de la même façon autour d'un personnage central : la ficelle, qui remplace l'attraction du Soleil, retient la pierre, et le mouvement de cette pierre (qui figure une planète) crée une force centrifuge qui tend la corde. Tant qu'il y a équilibre entre les deux, la pierre tourne. C'est donc la force de gravité du Soleil qui fait que les planètes tournent autour de lui plutôt que de s'échapper dans l'espace.

Les planètes géantes Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, sont considérablement plus volumineuses que la Terre. En revanche, elles sont beaucoup moins denses, car elles sont constituées de gaz (hydrogène, hélium), et sans doute de glace pour les deux dernières. Elles possèdent toutes de nombreuses lunes.

Le Soleil est beaucoup plus gros et plus lourd que toutes les planètes réunies. Il a 900 fois le volume de Jupiter et pèse 740 fois plus que les neuf planètes qui tournent autour de lui.

rcure, Vénus, la Terre et Mars, relativement proches du Soleil, nt appelées planètes telluriques. Toutes les quatre possèdent e forte densité due à la présence d'un noyau métallique central. is seule la Terre est recouverte d'eau en abondance et abrite la e. Elle est aussi la seule à posséder une lune de taille importante. rcure et Vénus, en effet, n'ont aucun satellite autour d'elles, ndis que Mars en possède deux, minuscules.

La mystérieuse Pluton pose un problème aux astronomes. Elle ne ressemble, en effet, à aucune autre : par sa taille elle serait plutôt du type tellurique, mais elle circule en fait dans le domaine des planètes géantes. De plus, son orbite est inhabituelle, très inclinée et très elliptique ; elle pénètre même à l'intérieur de celle de Neptune. Il est possible qu'il s'agisse d'un ancien satellite de Neptune, qui aurait pris sa liberté il y a déjà quelques milliards d'années. D'après les plus récentes observations, Pluton est un astre de la taille de la Lune, recouvert de méthane gelé.

Les planètes

Soleil

Toutes les planètes, excepté Mercure et peut-être Pluton, sont entourées d'une atmosphère. Suivant leur composition, ces planètes ont des colorations différentes. Le soufre donne au ciel de Vénus une coloration jaunâtre, l'oxygène donne à l'air terrestre une teinte bleutée, et les fines particules de sable ferrugineux en suspension dans l'atmosphère martienne colorent celle-ci en rose-saumon.

La plus grosse des planètes est Jupiter, devant laquelle on pourrait aligner 11 fois la Terre. Si Jupiter était creuse, on pourrait y loger plus de mille planètes comme la nôtre ! Les plus petites sont Mercure et Pluton.

Les planètes se distinguent aussi par leur densité : celle des quatre premières (Mercure, Vénus, la Terre et Mars) est assez importante — environ 5 fois celle de l'eau — car elles renferment un noyau métallique. Les planètes géantes (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune) sont faites essentiellement de gaz et de glace : leur densité est à peu près celle de l'eau.

Notre étoile : le Soleil

Comparée aux autres étoiles de l'Univers notre Soleil apparaît bien ordinaire. Il n'est ni le plus chaud, ni le plus froid ; il n'est ni le plus petit ni le plus gros. S'il nous apparaît si gros et si lumineux dans le ciel c'est parce qu'il est comparativement très rapproché : 150 millions de kilomètres. La plus proche étoile, Proxima Centauri, est 300 000 fois plus éloignée.

Le Soleil est une gigantesque boule de gaz chauds : 6 000 degrés en surface, et sans doute plus de 15 millions de degrés au centre ! L'hydrogène et l'hélium sont les deux principaux constituants du Soleil. Mais il renferme aussi une soixantaine d'autres éléments chimiques que l'on trouve également sur Terre, comme le calcium, le sodium ou le fer. Le « carburant » qui permet au Soleil de briller, c'est l'hydrogène : l'astre en consomme 600 millions de tonnes par seconde, qui sont transformées en 596 millions de tonnes d'hélium. La différence, soit 4 millions de tonnes, est perdue en tant que matière mais se trouve convertie en énergie. Ces 4 millions de tonnes de gaz que le Soleil perd chaque seconde sont transformées en lumière et en chaleur. La réaction qui permet cela est une réaction thermonucléaire, comme celle que l'on utilise pour les bombes H.

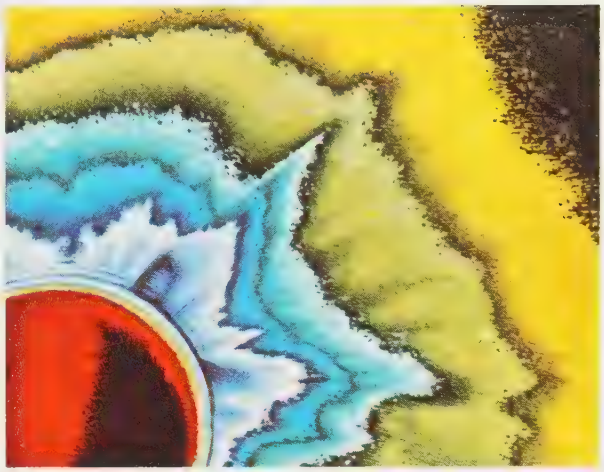
Il faut cependant plusieurs années à cette énergie pour se rendre du cœur de l'astre jusqu'à la surface. Là elle rayonne à travers l'espace, et c'est pourquoi le Soleil brille. Mais seulement une toute petite partie de cette énergie atteint la Terre, après un peu plus de 8 minutes de voyage.

Sans l'énergie solaire, il n'existerait aucune forme de vie à la surface de la Terre. Mais une trop longue exposition au Soleil peut aussi entraîner des dangers, notamment à très haute altitude ou au-dessus de l'atmosphère. Car l'astre n'émet pas que de la lumière et de la chaleur ; il y a aussi dans son rayonnement des rayons ultraviolets, X et gamma, qui sont nocifs pour les cellules vivantes ; ainsi, les rayons ultraviolets détruisent les microbes. C'est notre atmosphère qui nous protège de ces dangereux rayonnements, en les absorbant.

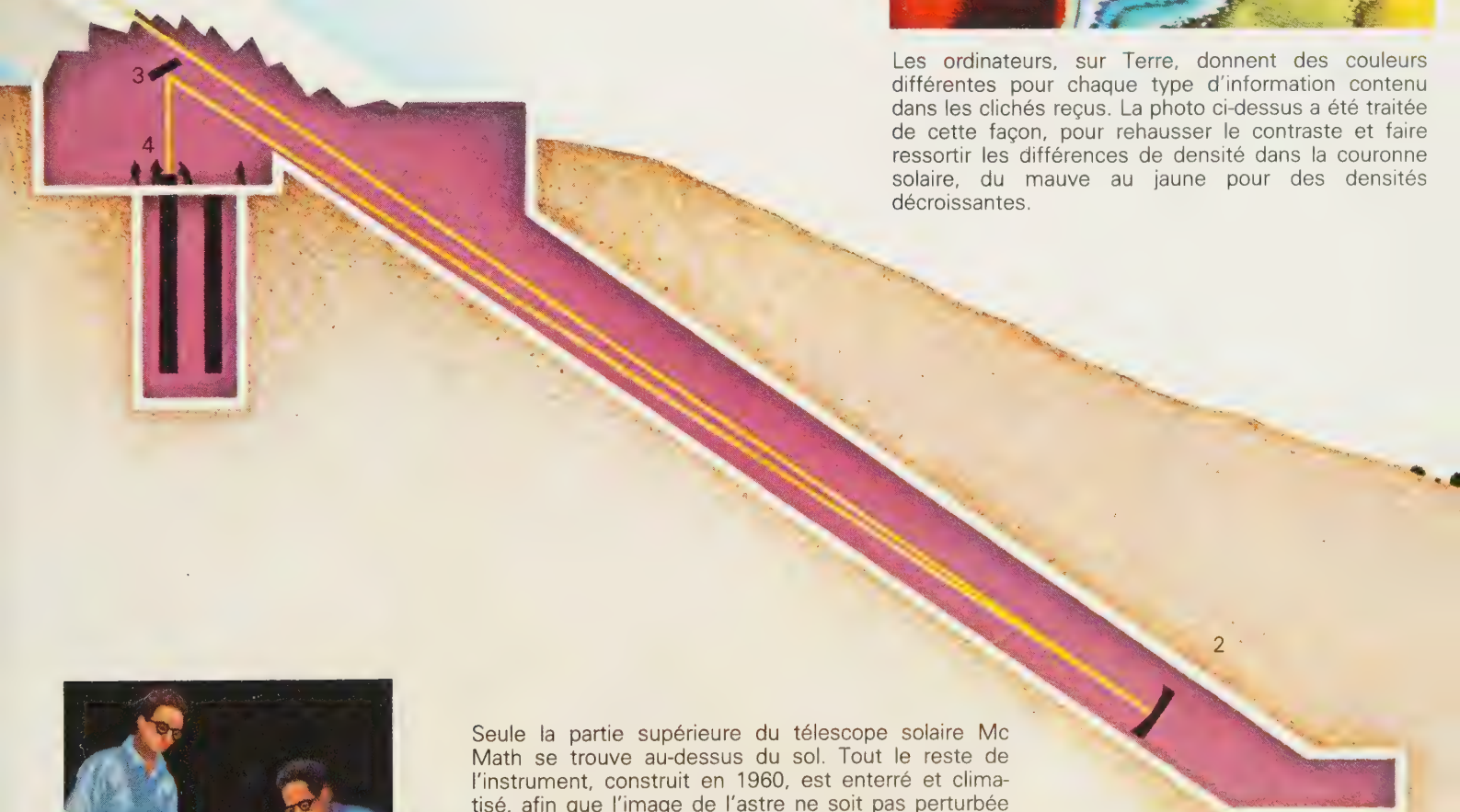
Le télescope solaire « Mc Math » installé à Kitt Peak, dans l'Arizona, est le plus grand télescope solaire du monde. Il suit le Soleil tout au long de sa course dans le ciel. Un miroir de 1,50 m de diamètre, placé au sommet de la tour, reçoit les rayons du Soleil (1) et les envoie sous terre (2). Un autre miroir (3), renvoie l'image de l'astre, très agrandie, dans une salle d'observation (4).

Le Soleil, observé au télescope, apparaît comme un astre changeant. Des points brillants, appelés granules, donnent l'impression de grains de riz à sa surface. Ils correspondent au sommet de bulles de gaz chauds venues des entrailles de l'astre. Sur cette surface l'on voit également des taches noires, qui sont au contraire des régions plus froides (1 000 à 1 500° de moins que la surface). Certains jours on n'en voit aucune, et à d'autres périodes on peut en compter plus d'une centaine, tellement larges que l'on pourrait aligner plusieurs fois la Terre devant elles. Ces taches sont plus nombreuses tous les 11 ans en moyenne : c'est le cycle solaire, qui est en relation avec des variations du champ magnétique de l'astre. Les grandes taches sont parfois le point de départ d'éruptions solaires ; ce sont des jets de particules électrisées qui provoquent sur Terre des orages magnétiques, perturbant les télécommunications, affolant les boussoles, et entraînent l'apparition d'aurores polaires.

Le satellite S.M.M. (Solar Maximum Mission) présenté ci-dessus avait pour mission de surveiller les éruptions solaires. Il a été lancé en 1980, au moment où le Soleil passait par le maximum de son cycle d'activité de 11 ans. Ses instruments enregistrent tout à la fois les rayonnements gamma, X, ultraviolets, et la lumière. S.M.M. a photographié des éruptions particulièrement violentes, qui sont parmi les plus fortes jamais enregistrées.



Les ordinateurs, sur Terre, donnent des couleurs différentes pour chaque type d'information contenu dans les clichés reçus. La photo ci-dessus a été traitée de cette façon, pour rehausser le contraste et faire ressortir les différences de densité dans la couronne solaire, du mauve au jaune pour des densités décroissantes.



Seule la partie supérieure du télescope solaire Mc Math se trouve au-dessus du sol. Tout le reste de l'instrument, construit en 1960, est enterré et climatisé, afin que l'image de l'astre ne soit pas perturbée par la moindre variation de température. Ci-contre l'on voit des astronomes examinant le disque solaire dans la chambre d'observation.

éruption
photosphère
zone convective
zone radiative
noyau
sens giratoire
chromosphère
couronne

Une véritable fournaise

protubérance

tache solaire

Dans le noyau qui se trouve au centre du Soleil, de puissantes réactions nucléaires produisent de la lumière, de la chaleur et quelques autres rayonnements. Cette énergie se propage du noyau superchaud à travers une masse de gaz : c'est la zone radiative. Finalement, ce sont des courants qui reçoivent cette énergie pour la transporter vers la surface, à travers la zone convective.

La partie visible de la surface solaire s'appelle la photosphère. C'est une très fine couche de gaz qui rayonne de la lumière.

Au-dessus de cette photosphère s'étend une autre couche : la chromosphère ; c'est en quelque sorte la basse atmosphère du Soleil. Elle s'élève jusqu'à environ 10 000 km au-dessus de la photosphère.

La haute atmosphère, la couronne, s'étale sur plusieurs millions de kilomètres dans l'espace et dessine une sorte d'ovale brillant, cependant un million de fois moins lumineux que le ciel bleu ; c'est pourquoi on ne voit cette couronne qu'à l'occasion des éclipses totales de Soleil, car le ciel devient alors noir. La couronne est très chaude : sa température est comprise entre 1 et 2 millions de degrés.

Les taches qui parsèment de temps à autre la photosphère sont, elles, des points froids ; cette faible température est cependant relative car les taches sont quand même portées à 4 000 °C au moins ! Au-dessus d'elles s'élèvent souvent de grandes arches d'hydrogène lumineux ressemblant à des flammes : ce sont les protubérances. De ces taches partent également, de temps à autre, des jets de particules, qui constituent les éruptions solaires.

Le Soleil tourne sur lui-même, mais pas d'un seul bloc comme la Terre : en 25 jours à l'équateur, en 34 jours dans les régions polaires, parce que l'astre n'est pas un corps solide mais une sphère de gaz.

LE SOLEIL

Distance moyenne à la Terre :
149,5 millions de km

Diamètre à l'équateur :
1 392 000 km

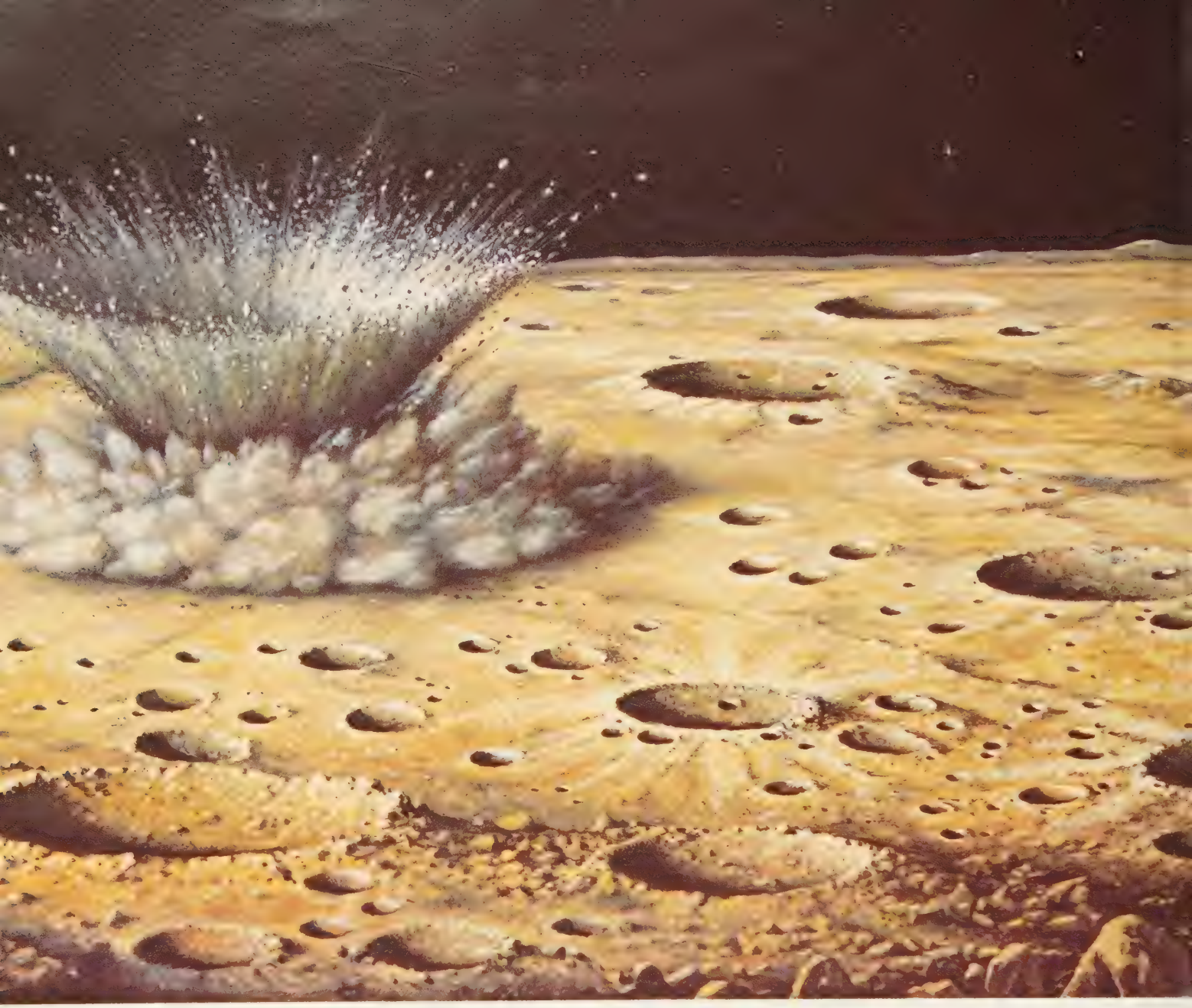
Température de surface :
5 800 °C

Période de rotation :
25 j à l'équateur, 35 j aux pôles

Densité moyenne :
1,4 (l'eau = 1)

Une personne qui pèse 70 kg sur Terre pèserait 2 tonnes sur le Soleil !

Attention :
Ne jamais regarder le Soleil directement, surtout avec des jumelles ou un instrument astronomique. Vous pouvez vous brûler la rétine et rester aveugle d'un œil.
Il est préférable de projeter l'image de l'astre sur un écran blanc, comme ci-dessus.



Une météorite s'écrase à la surface de Mercure

Mercure : un monde grillé

Mercure est une petite planète, à peu près moitié moins large que la Terre. De ce fait, la pesanteur à sa surface est aussi assez faible : une personne de 70 kg n'en pèserait que 26 sur Mercure.

Tournant à moins de 58 millions de kilomètres du Soleil, plus près qu'aucune autre planète, Mercure accomplit une révolution complète autour de l'astre du jour en trois mois seulement, à la vitesse moyenne de 173 000 km/h. Surtout, cette proximité entraîne une température de + 400 °C pour la face tournée vers le Soleil. Mais comme il n'y a pas d'air pour égaliser les températures, la face qui est plongée dans la nuit se trouve, elle, soumise au froid de l'espace interplanétaire : – 180 °C. Entre midi et minuit une même région de Mercure connaît donc des écarts de température proches de 600 degrés !

Mercure est la plus dense des planètes, cette densité étant à peine inférieure à celle de la Terre (5,45 au lieu de 5,52). On en déduit donc que cette planète possède un important noyau de

La plupart des cratères de Mercure ont été creusés par des météorites qui se sont écrasées sur la planète voici des milliards d'années. Certains d'entre eux montrent des « raies » claires qui s'étalent radialement. Des fragments éjectés lors de la formation du cratère principal peuvent, en rebondissant, creuser des cratères secondaires, plus petits.

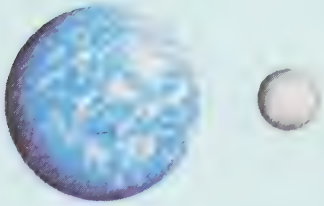
Notre meilleure vision de Mercure a été fournie par la sonde spatiale Mariner 10. En 1974-75, elle survola la planète à trois reprises, en prit des photographies, mesura sa température, son champ magnétique, etc. Toutes ces informations ont été transmises vers la Terre par radio.

fer, qui occupe près de la moitié du volume de la planète.

Il existe de très nombreux cratères à la surface de Mercure, et même de grands bassins formés par l'impact d'astéroïdes, au début de l'histoire de la planète. Le plus important, « Mare Caloris », mesure 1 300 km de diamètre. Il y a aussi sur Mercure, comme sur la Lune, des falaises et des failles, qui courent à travers de vastes plaines de lave.

Parce qu'elle est proche du Soleil, Mercure est une planète difficile à observer, toujours dans l'aube ou le crépuscule.

MERCURE



Le diamètre de Mercure vaut 1/3 de celui de la Terre

Position :
première planète à partir du Soleil

Distance moyenne au Soleil :
57,9 millions de km

Diamètre à l'équateur :
4 880 km

Période de révolution :
88 j

Période de rotation :
59 j

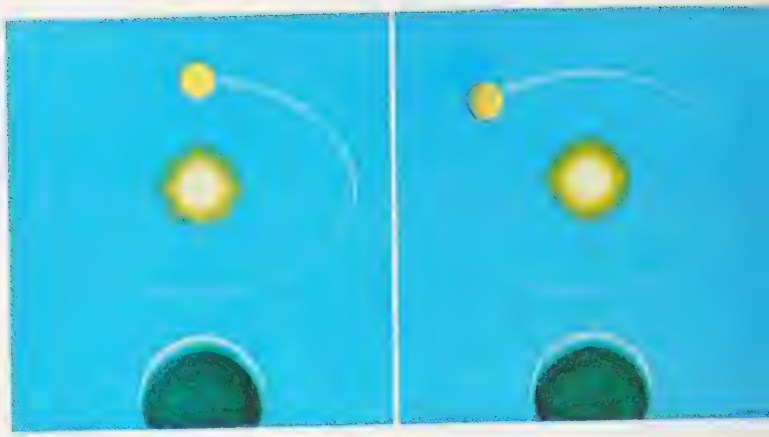
Densité :
5,4

Une personne qui pèse 70 kg sur Terre pèserait 27 kg sur Mercure

Satellites connus :
aucun

Dans le ciel :
Mercure n'est pas facile à repérer. Toujours proche du Soleil son éclat se fond, dans les lueurs de l'aube ou du crépuscule.

Dans une lunette d'amateur :
on ne voit qu'un petit disque minuscule, qui change de forme suivant les mois, au fil des phases de la planète ; mais on ne peut distinguer aucun détail à sa surface.



Tous les 19 mois Vénus est directement située à l'opposé de la Terre, par rapport au Soleil. Elle est alors à sa plus grande distance (ci-dessus, à gauche) et l'on découvre son disque complètement éclairé. Puis elle se déplace et nous montre un disque qui n'est plus complètement éclairé (ci-dessus à droite)

Inhabitable : Vénus

Pendant des siècles, on a imaginé Vénus comme une planète sœur de la Terre, qui pouvait être habitée. Les sondes spatiales, il y a quelques années, nous ont fait découvrir une tout autre réalité : Vénus est un monde infernal, tout à fait hostile à la vie.

Des nuages jaunâtres l'entourent complètement et nous masquent son sol. Ces nuages ne sont pas, comme sur Terre, formés de vapeur d'eau, mais de gouttelettes d'acide sulfurique ! En outre, ils sont très élevés, puisqu'ils se tiennent entre 42 et 59 km d'altitude, alors que la plupart des nuages terrestres se trouvent entre le sol et 12 km d'altitude. L'atmosphère de Vénus est, de plus, totalement irrespirable, car composée pour 97 pour 100 de gaz carbonique (0,03 pour 100 seulement sur Terre) ; nous serions donc asphyxiés sur Vénus.

La température en surface varie très peu. Près du pôle ou de l'équateur, et quelle que soit la période de l'année, il règne toujours en surface une température de + 470 °C en moyenne : des métaux comme le plomb et l'étain fondraient à la surface de Vénus. C'est la forte proportion

Vue imaginaire d'un orage, avec de puissants éclairs, dans l'atmosphère dense et surchauffée de Vénus

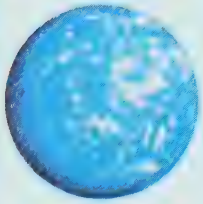
Quand la planète a parcouru un quart d'orbite (en haut à gauche), nous découvrons un hémisphère obscur et un hémisphère éclairé ; nous voyons donc Vénus en quartier. Puis la portion de disque éclairé diminue (ci-dessus au centre) et nous ne voyons plus qu'un croissant. Finalement (en haut à droite), la planète devient invisible car elle se présente à contre-jour, sa face obscure tournée vers nous ; c'est l'équivalent de la Nouvelle Lune. La planète est alors au plus près de nous (42 millions de km) et il arrive (mais c'est très rare) qu'elle passe devant le Soleil.

de gaz carbonique dans l'atmosphère qui provoque cette fournaise, par suite d'un effet de serre : ce gaz agit comme le verre de la serre des jardiniers, en laissant passer la lumière mais en bloquant la chaleur. Enfin, il existe une autre raison qui interdit la vie sur Vénus : la pression atmosphérique écrasante, 90 fois plus forte que sur Terre. Cette planète, qui porte le doux nom de la déesse de l'amour, serait donc stérile.

Le jour s'écoule lentement sur Vénus car cette planète tourne sur elle-même en 243 jours, alors qu'elle met 225 jours pour tourner autour du Soleil. C'est un cas unique : aucune autre planète n'a une période de rotation plus longue que sa période de révolution. La combinaison de ces deux mouvements fait qu'une journée vénusienne dure quatre mois et qu'il y a seulement deux jours dans une année ! Ce n'est pas tout : cette rotation se fait à l'envers du sens normal, si bien qu'un hypothétique habitant de Vénus verrait le Soleil se lever à l'ouest et se coucher à l'est...

C'est une planète très facile à voir dans le ciel car elle est la première à apparaître dans l'aube ou le crépuscule, tellement elle est brillante. Une bonne paire de jumelles suffit à découvrir son croissant, à certaines époques. Des sondes spatiales nous ont transmis des photos en couleur de sa surface, et une autre en orbite, équipée d'un radar, a permis de dresser une carte de son relief, puisqu'on ne peut pas voir son sol à travers les nuages. Ce relief est moins accidenté que celui de la Terre, et il y a un certain nombre de volcans en activité à la surface de Vénus.

VÉNUS



Le diamètre de Vénus vaut 95 pour 100 de celui de la Terre

Position :
seconde planète à partir du Soleil

Distance moyenne au Soleil :
108,2 millions de km

Diamètre à l'équateur :
12 100 km

Période de révolution :
225 j

Période de rotation :
243 j

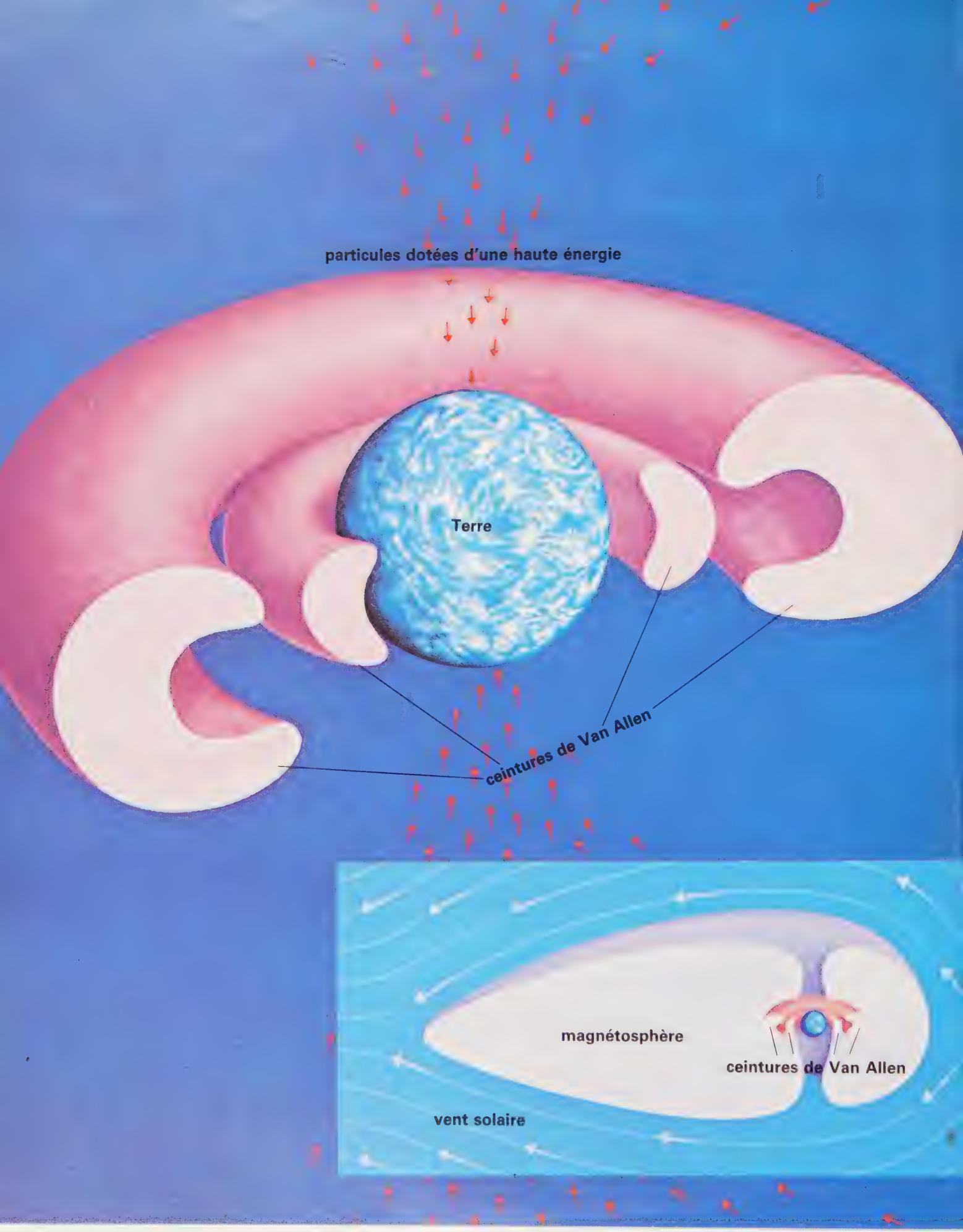
Densite :
5,3

Une personne qui pèse 70 kg sur Terre pèserait 64 kg sur Vénus*

Satellites connus :
aucun

Dans le ciel :
Vénus est la planète la plus facile à voir. C'est l'astre le plus brillant après la Lune et le Soleil. C'est parce qu'elle est assez proche de nous, proche du Soleil et recouverte de nuages clairs que Vénus est aussi lumineuse

A travers une lunette :
L'on peut facilement suivre les changements de phases de la planète, dont on distingue le disque même avec un faible grossissement. Mais on ne peut rien distinguer à sa surface en raison de la présence d'un manteau de nuages uniforme.


particules dotées d'une haute énergie
Terre
ceintures de Van Allen
magnétosphère
ceintures de Van Allen
vent solaire

La planète bleue

La Terre, vue depuis l'espace, est une planète bleue. Cette couleur est due à son atmosphère et à l'importance des surfaces océaniques. C'est la seule planète du système solaire sur laquelle il y ait de la vie.

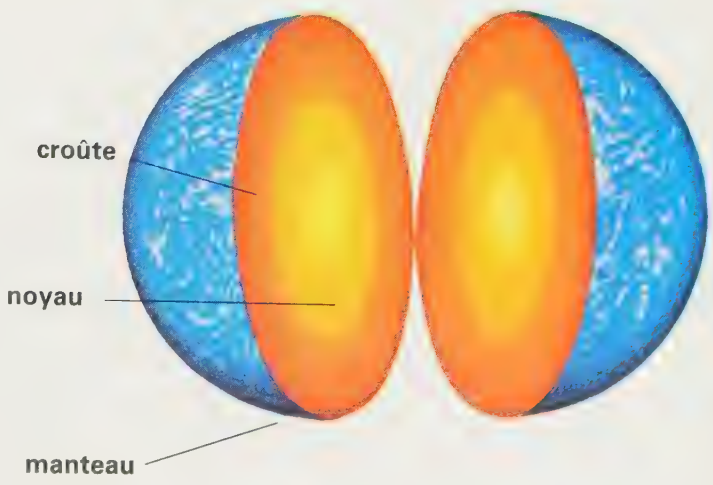
Distante du Soleil de 150 millions de kilomètres, la Terre n'est ni trop proche ni trop éloignée de cette source d'énergie sans laquelle la vie ne pourrait pas subsister. La température moyenne à sa surface est de 15 °C et la pression atmosphérique y est modérée, ce qui permet à de grandes quantités d'eau de subsister à l'état liquide. La Terre, c'est donc aussi la planète-océan. Aucun autre astre du système solaire ne possède autant d'eau liquide.

La Terre pèse 6 000 milliards de milliards de tonnes, ce qui peut paraître énorme ; en réalité c'est peu dans le système solaire : seulement la deux millième partie de toutes les autres planètes réunies. Notre planète s'est formée, en même temps que les autres astres du système solaire, voici 4,6 milliards d'années. A l'origine, son atmosphère n'avait pas du tout la composition qu'elle a maintenant : elle renfermait surtout du méthane, de l'ammoniac, du gaz carbonique et de la vapeur d'eau. Le rayonnement solaire et de violents éclairs d'orages ont fourni l'énergie qui permit à des molécules organiques de s'assembler pour donner naissance aux premières cellules vivantes.

Personne ne sait exactement quand la vie est apparue sur Terre, mais les plus anciens fossiles que l'on ait retrouvés ont plus de 3 milliards d'années. En tout cas, la Terre a beaucoup évolué depuis l'origine, et continue de changer. Les espèces vivantes se multiplient et se diversifient, tandis que le visage géologique de la planète se transforme. Le vent et l'eau, par les différentes formes d'érosion, modèlent et usent les reliefs, tandis que les continents se déplacent et que de nouvelles montagnes apparaissent.

Si l'on pouvait couper la Terre en deux l'on verrait, tout au centre, un noyau, d'environ 6 900 km de diamètre, formé de fer et de nickel portés à 5 000 °C : c'est presque la température qui règne à la surface du Soleil ! Au-dessus du noyau s'étend un manteau de basalte d'environ 2 900 km d'épaisseur, surmonté d'une écorce (ou croûte terrestre) dont l'épaisseur moyenne est de 35 km. Cette croûte de silice forme les continents et le fond des océans.

La Terre n'est pas parfaitement ronde, mais légèrement aplatie aux pôles. Si l'on en fait le tour au niveau de l'équateur, on parcourt ainsi 134 km de plus qu'en suivant un trajet nord-sud passant par les pôles.



La magnétosphère est la région dans laquelle, autour de la Terre, agissent les lignes de force magnétiques (encadré à gauche). La Terre est en effet un gigantesque et puissant aimant, dont l'action se fait sentir à des dizaines de milliers de kilomètres de distance. Le vent solaire donne à cette enveloppe magnétique qu'est la magnétosphère une forme de larme : aplatie vers l'avant, étirée vers l'arrière. A l'intérieur de la magnétosphère, les particules électrisées du Soleil, prisonnières, forment les ceintures de radiations Van Allen, qui ont en coupe la forme d'un croissant, laissant un vide au-dessus des pôles. Lorsque des particules particulièrement intenses, émises par une éruption solaire, arrivent sur Terre, elles se précipitent par ce trou magnétique et provoquent dans les régions polaires des aurores boréales ou australes, ainsi que des perturbations dans les télécommunications.

Continents à la dérive

Bien que la Terre se soit formée il y a 4,6 milliards d'années, les plus vieilles roches que l'on ait retrouvées n'ont pas plus de 3,6 milliards d'années. Le premier milliard d'années de l'histoire de notre planète s'est donc trouvé effacé. C'est que notre monde est toujours très actif et continue de se transformer avec les volcans, les tremblements de terre, la formation de montagnes et l'érosion.

L'on sait aussi, aujourd'hui, que les continents ne sont pas immobiles, figés pour l'éternité, mais qu'ils se trouvent sur de grandes plaques qui dessinent une espèce de gigantesque puzzle à la surface du globe. Or ces plaques bougent lentement les unes par rapport aux autres, de quelques centimètres par an. Au bout de 200 millions d'années (ce qui est relativement peu à l'échelle des temps géologiques) cela peut représenter un déplacement de 5 000 km, c'est-à-dire à peu près la distance qui sépare l'Europe de l'Amérique du Nord. Les éruptions volcaniques, les tremblements de terre et la naissance des montagnes se produisent justement là où deux plaques bougent l'une contre l'autre.

Il y a plusieurs millions d'années dans le passé, le visage de la Terre était très différent de ce qu'il est aujourd'hui. Il y a 200 millions d'années, justement, l'Amérique du Sud était séparée de l'Amérique du Nord et se trouvait accolée à l'Afrique : le Brésil s'emboîtait dans le golfe de Guinée. L'Antarctique n'était pas un continent de glace mais se trouvait au contraire à un endroit chaud de la planète. L'Amérique du Nord, le Groenland, la Grande-Bretagne et l'Europe se touchaient, tandis que l'Inde était complètement séparée de l'Asie.

Les roches d'Amérique du Sud et d'Afrique occidentale sont du même âge, et l'on retrouve les mêmes espèces de plantes ou d'animaux fossilisés de part et d'autre de l'Atlantique, ce qui prouve bien que ces deux continents étaient autrefois raccordés. C'est le géologue et météorologiste allemand Alfred Wegener (1880-1930) qui, en 1912, a suggéré le premier l'idée de la dérive des continents. Mais c'est seulement depuis 1967 que cette idée est admise par l'ensemble des scientifiques : depuis que l'on a découvert au fond de l'Atlantique une immense lèvre par laquelle s'écoule lentement un magma frais qui repousse les deux plaques supportant les continents européen et américain. Au niveau de cette lèvre (il en existe d'autres ailleurs) affleurent des courants chauds venus des profondeurs de la Terre.

Un volcan est une montagne, formée à l'origine de roches fondues. Par sa cheminée, des cendres et des vapeurs sont éjectées dans l'atmosphère, provenant de l'intérieur de la Terre par des fissures.

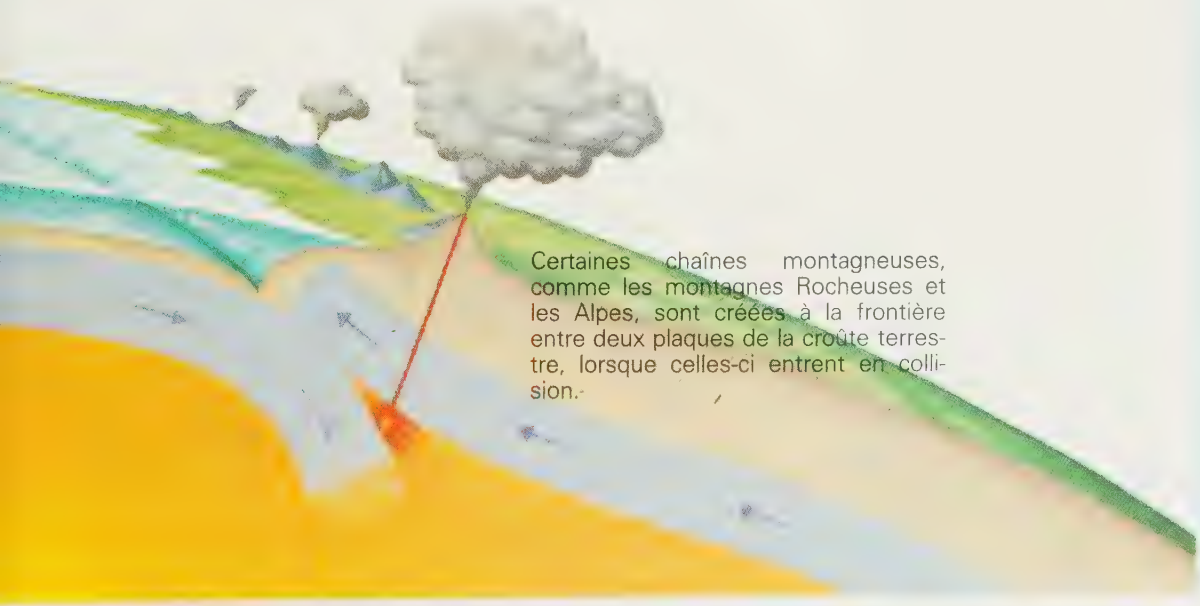
Les tremblements de terre sont des mouvements de la croûte terrestre qui se produisent surtout aux endroits où les différentes plaques continentales s'affrontent. Les sismographes détectent et enregistrent ces mouvements.

Une faille médio-océanique est une longue chaîne de montagnes sous-marines, formées par une succession d'éruptions volcaniques. Leur hauteur peut dépasser 3 000 mètres, et leur sommet émerge alors à la surface de l'océan, formant des îles. Par cette faille la croûte terrestre se renouvelle sans cesse.

Le globe de gauche montre le super-continent, la Pangée, qui existait il y a 200 millions d'années. Le globe de gauche présente, en vert, l'aspect actuel des continents sur une partie de la Terre, et sous forme d'un trait noir la position qu'ils occuperont dans 50 millions d'années.

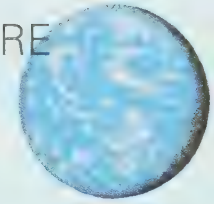
Il y a 200 millions d'années environ, avant qu'ils ne se dispersent à la surface de la Terre, les continents se trouvaient rassemblés en un super-continent unique : la Pangée. Cette masse s'est ensuite fragmentée pour donner la Laurasie au nord, la Gondwanie au sud, qui elles-mêmes se sont brisées pour donner naissance aux continents actuels.

Eux aussi continuent de bouger. Dans quelques dizaines de millions d'années la Méditerranée sera fermée car l'Afrique du Nord viendra buter contre l'Europe, la Californie sera une île détachée de l'Amérique, et une mer nouvelle se sera ouverte en Afrique, là où se trouvent actuellement les grands lacs du Kenya, d'Éthiopie, de Tanzanie et du Mozambique.



Certaines chaînes montagneuses, comme les montagnes Rocheuses et les Alpes, sont créées à la frontière entre deux plaques de la croûte terrestre, lorsque celles-ci entrent en collision.

LA TERRE



Position :
troisième planète à partir du Soleil

Distance moyenne au Soleil :
149,6 millions de km

Diamètre équatorial :
12 756 km

Période de révolution :
365 jours

Période de rotation :
23 h 56 mn 4 s

Densité :
5,5

Satellites connus :
1 seul, la Lune

Surface recouverte par les océans :
71 pour 100

Plus haut sommet :
l'Everest (8,8 km)

Plus grande fosse océanique :
fosse Challenger des Mariannes (11 km)

Températures extrêmes enregistrées :
+ 58° à Azziza (Libye) en 1922 et – 88° à la base Vostok (Antarctique) en 1960.

Vue de l'espace,
la Terre est une planète bleue, largement recouverte par les taches blanches des nuages, entre lesquels on peut distinguer des portions de continents, brun-vert.

L'environnement de la Terre

Nous ne pouvons pas sentir tout le poids de l'atmosphère qui se trouve au-dessus de nous parce que notre corps renferme aussi de l'air, et que les deux forces s'équilibrent. Il n'empêche que l'atmosphère terrestre est extrêmement pesante : 5 millions de milliards de tonnes ! Au niveau de la mer, cette atmosphère pèse de 1 kilogramme (1 033 g exactement) sur chaque centimètre carré de la surface terrestre.

L'atmosphère s'élève jusqu'à environ 3 000 km d'altitude. Toutefois, la pression de l'air diminue très vite à mesure que l'on s'élève puisque à 5 500 mètres, au sommet d'une haute montagne, on a déjà en dessous de soi la moitié de tout l'air contenu dans l'atmosphère ! L'air que nous respirons au niveau du sol est surtout composé d'azote (78 pour 100) et d'oxygène (21 pour 100), mais on y trouve également de l'argon, de la vapeur d'eau et du gaz carbonique.

Cette atmosphère (et notamment la couche d'ozone qui s'étale vers 25 km d'altitude) nous protège contre certains rayonnements du Soleil. L'ultraviolet qui permet le bronzage, par exemple, serait dangereux à forte dose. L'atmosphère joue également un rôle important pour conserver et égaliser les températures ; sans elle nous serions gelés la nuit et cuits le jour.

La plus basse couche atmosphérique est la troposphère, qui s'étend jusqu'à 12 km d'altitude en moyenne, donc un peu au-delà des plus hauts sommets terrestres ; c'est là que se déroulent presque tous les phénomènes météorologiques. Au-dessus, c'est la stratosphère, dans laquelle évoluent les ballons-sondes et certains avions. Plus haut s'étendent la mésosphère, la thermosphère, et l'exosphère. Entre 70 et 400 km, existent des couches électrisées (ionosphère) qui permettent aux ondes radio, sur certaines fréquences, d'être renvoyées vers le sol et donc de porter sur de grandes distances, comme si elles se réfléchissaient sur un miroir.

L'atmosphère terrestre est constituée de plusieurs couches. Elle nous protège des rayonnements les plus dangereux du Soleil pendant le jour, et maintient une certaine température la nuit.

La Lune

Pour l'instant, la Lune est le seul astre sur lequel des êtres humains se soient promenés. Les douze hommes des expéditions Apollo qui ont eu le privilège de s'y rendre ont constaté que c'est un monde désolé, sans air, ni eau, ni vie.

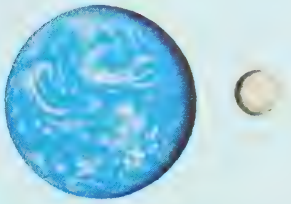
Le ciel de la Lune reste noir même en plein jour parce qu'il n'y a pas d'air pour diffuser la lumière du Soleil. Les astronautes, sur la Lune, pouvaient donc voir en même temps le Soleil et les étoiles. Du fait qu'il n'y a pas d'air, les sons non plus ne se propagent pas sur la Lune : une montagne entière pourrait s'écrouler dans le plus parfait silence. Pour cette raison, les astronautes ne pouvaient se parler que par radio.

N'ayant pas d'air, la Lune n'a pas non plus d'eau, et par conséquent ni nuages, ni pluies, ni vent. Aucune plante ne peut pousser dans le sol lunaire (qu'on appelle le régolithe) et aucun animal ne peut vivre à sa surface. Il n'y a d'ailleurs jamais eu de vie sur la Lune, même dans un lointain passé, car les astronautes n'ont pas trouvé le moindre fossile en creusant son sol.

Toutes les roches lunaires rapportées par les astronautes sont des roches ignées. Cela signifie qu'elles se sont formées par fusion de magma. Les régions sombres, que l'on appelle des mers, sont des plaines de lave solidifiées, plus jeunes que les reliefs environnants. Actuellement, la Lune est un astre calme, sur lequel il ne se passe pas grand-chose. Comme il n'y a pas d'érosion due au vent ou à l'eau, les traces de pas laissées par les astronautes devraient rester visibles pendant au moins un million d'années. Seuls les petits grains des micrométéorites, à la longue, les effriteront.

Un astronaute d'une mission Apollo accomplit une expérience scientifique avant de regagner la jeep lunaire, de l'autre côté du rocher. La Terre en quartier brille au-dessus de l'horizon.

LA LUNE



Diamètre :
un quart de celui de la Terre

Distance moyenne à la Terre :
384 400 km

Diamètre équatorial :
3 476 km

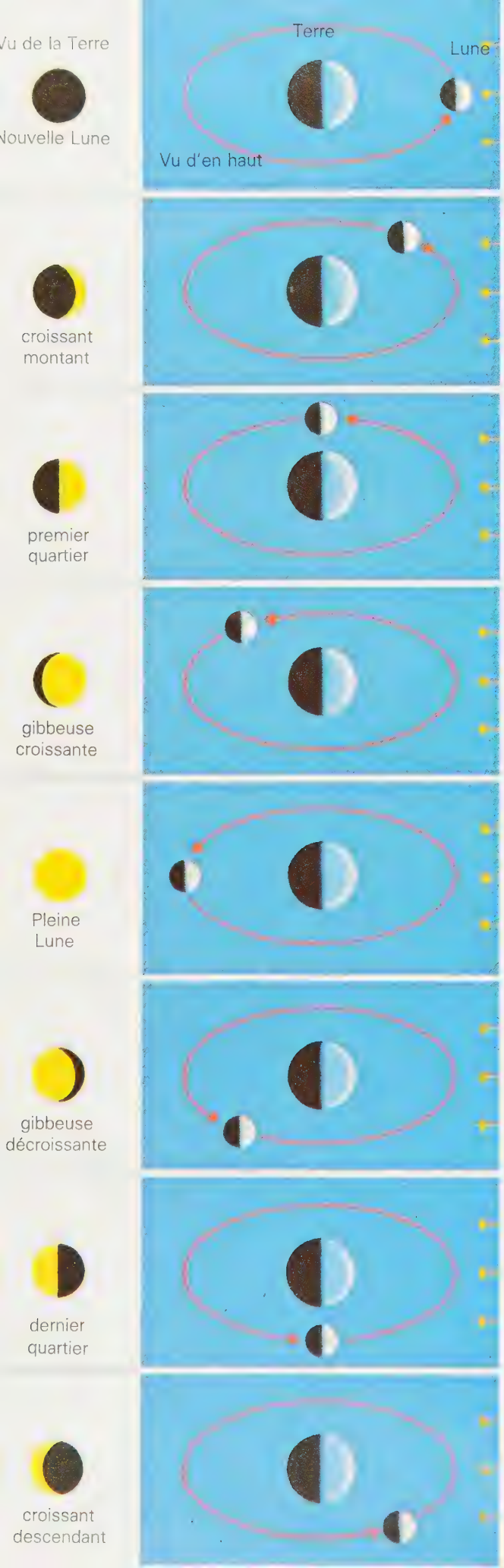
Période de rotation :
27,3 j

Durée d'une lunaison
(répétition des phases) : 29,5 j

Densité :
3,34

Une personne qui pèse 70 kg sur Terre pèserait 12 kg sur la Lune.

A travers une lunette :
On peut observer la Lune aussi bien avec une paire de jumelles que dans une lunette ou un télescope. La Pleine Lune est si lumineuse que l'on ne voit pas beaucoup de détails à sa surface mais les quartiers sont par contre très intéressants.
La carte des pages 42-43 montre la face de l'astre qui est visible depuis la Terre. Les cratères portent des noms, qui sont ceux de philosophes ou d'astronomes, comme Platon ou Copernic. Les zones sombres, appelées « mers » sont en réalité des plaines désertiques recouvertes de cailloux et de poussières. Ce sont les premiers observateurs qui les ont appelées ainsi, pensant qu'il s'agissait d'étendues d'eau comparables aux mers et océans terrestres ; ce nom leur est resté. Il y a par exemple la mer des Pluies, très étendue, et la mer de la Tranquillité, dans laquelle se sont posés les premiers hommes qui ont mis le pied sur la Lune. Il y a aussi des montagnes sur la Lune, que l'on baptise du nom de chaînes terrestres : Alpes, Pyrénées, Caucase, Apennins.



Phases, marées, éclipses lunaires

La Lune est le seul satellite naturel que possède la Terre. Elle tourne autour de notre planète en un mois environ, pendant que la Terre tourne sur elle-même et autour du Soleil. La combinaison de ces différents mouvements fait que la Lune se présente à nous de façon changeante : ce sont des phases.

En réalité, il y a toujours une moitié de la Lune éclairée et une autre moitié dans l'ombre. Mais au fur et à mesure qu'elle tourne autour de la Terre, la Lune se montre à nous sous des angles différents ; aussi la voyons-nous tantôt en croissant, tantôt en quartier, tantôt pleine.

Les phases commencent à la Nouvelle Lune, c'est-à-dire lorsque l'astre est invisible car situé à contre-jour, dans la direction du Soleil. De temps à autre, quand l'alignement Terre-Lune-Soleil est parfait, la Lune s'interpose devant le Soleil et nous masque son disque : il y a alors éclipse totale de Soleil ; il peut aussi y avoir éclipse partielle lorsque seulement une partie du disque se trouve échancrée. Dans les jours qui suivent, la Lune s'écarte un peu du Soleil et nous en voyons alors une faible partie éclairée, en forme de croissant.

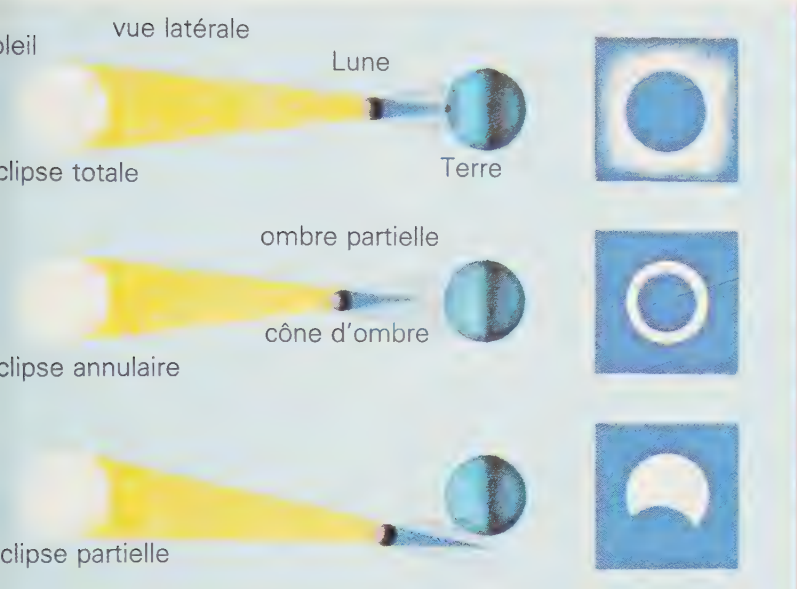
Au fil des jours ce croissant s'agrandit, et une semaine après la Nouvelle Lune notre satellite est éclairé à moitié : c'est le premier quartier ; la partie obscure est à gauche et la partie éclairée dessine la partie supérieure d'un P (comme Premier). Encore une semaine de plus, et c'est le disque tout entier qui est éclairé : nous sommes à la Pleine Lune. Si l'alignement Soleil-Terre-Lune est parfait, notre satellite traverse alors l'ombre que la Terre projette derrière elle, et il y a éclipse de Lune, totale ou partielle.

Une autre semaine s'écoule et l'on retrouve un quartier inversé, la partie sombre étant cette fois à droite : c'est le dernier quartier, pour lequel la partie éclairée dessine un D majuscule (comme Dernier). Lorsque 29 jours et demi se sont écoulés, c'est de nouveau la Nouvelle Lune et le cycle est bouclé. Ce cycle s'appelle une lunaison.

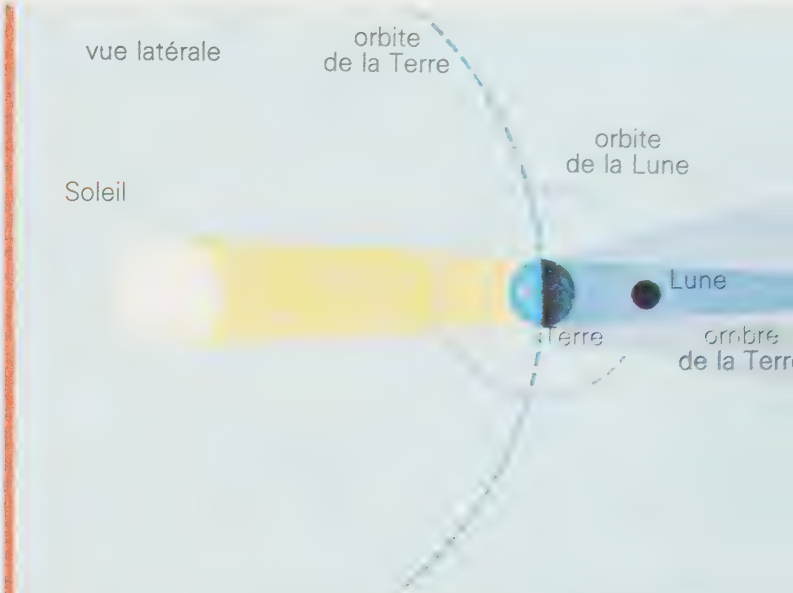
Sur le schéma de gauche les flèches jaunes indiquent la direction des rayons du Soleil. Tandis que la Lune tourne autour de la Terre, en un mois, nous pouvons voir des parties plus ou moins grandes de sa surface éclairée

La Lune se lève sur l'horizon, chaque jour, environ 50 minutes plus tard que la veille. Elle se lève à l'est, culmine au sud, et se couche à l'ouest, comme le Soleil.

L'attraction de la Lune provoque un phénomène bien connu : c'est celui des marées. Deux fois par jour, au bord des océans, la mer monte et se retire suivant la position de la Lune. Le Soleil agit aussi, mais avec deux fois moins de force car il est beaucoup plus éloigné. Toutefois, quand les attractions des deux astres se combinent, les marées sont particulièrement fortes : c'est le cas aux équinoxes.

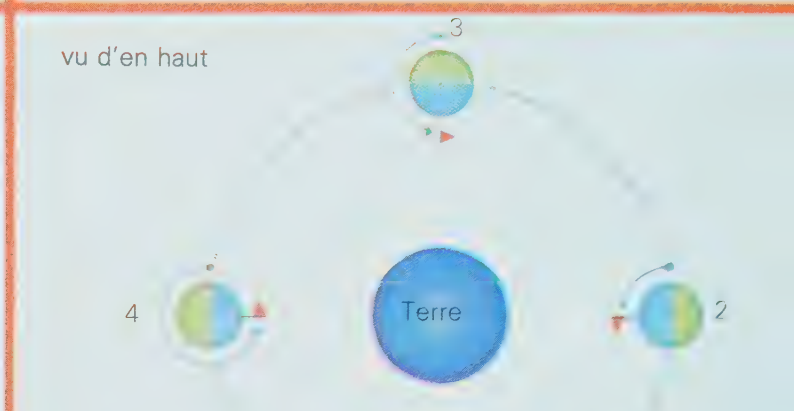


Le type d'éclipse de Soleil visible depuis la Terre dépend de la fraction du disque solaire éclipsée par la Lune quand elle passe entre nous et le Soleil.

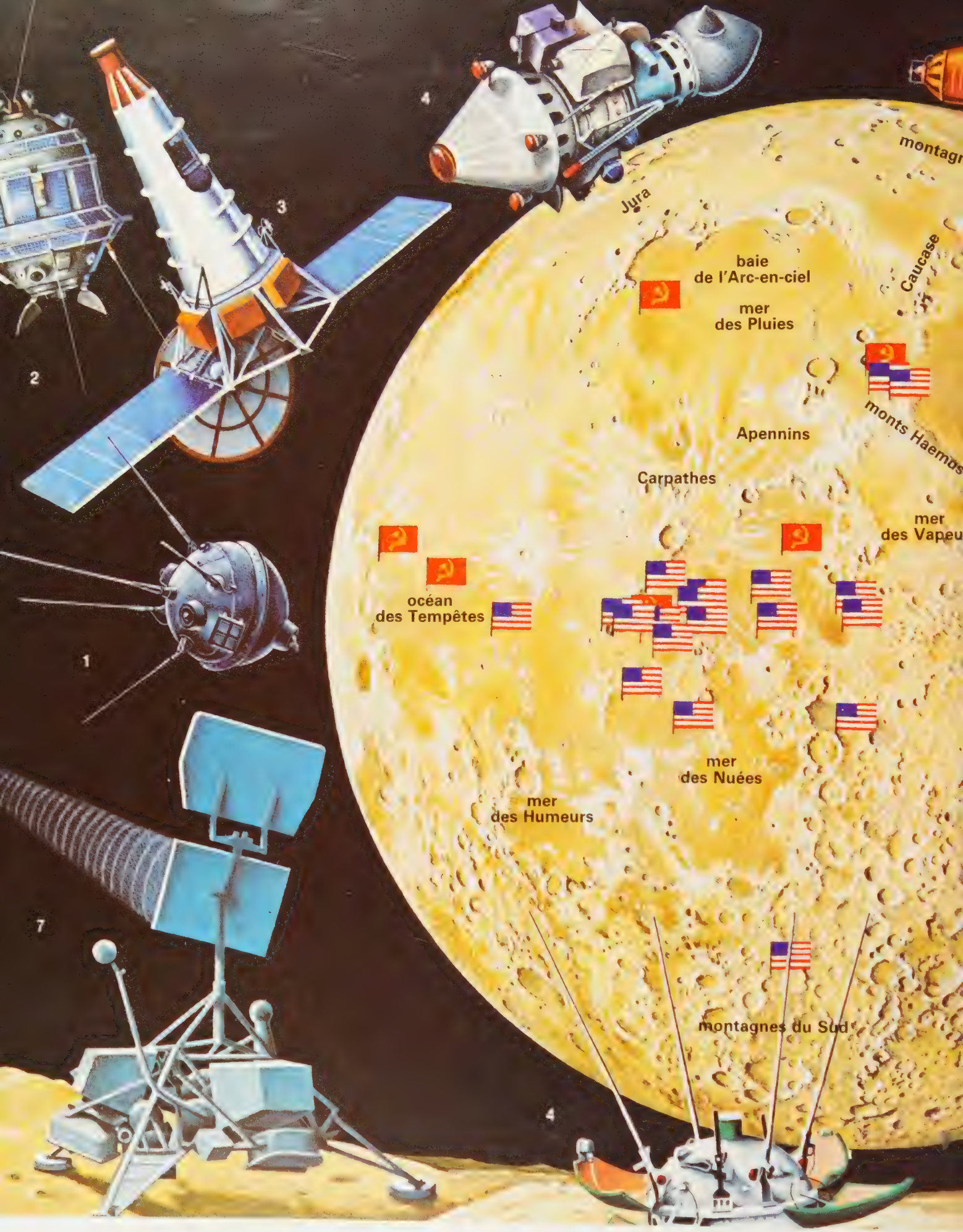


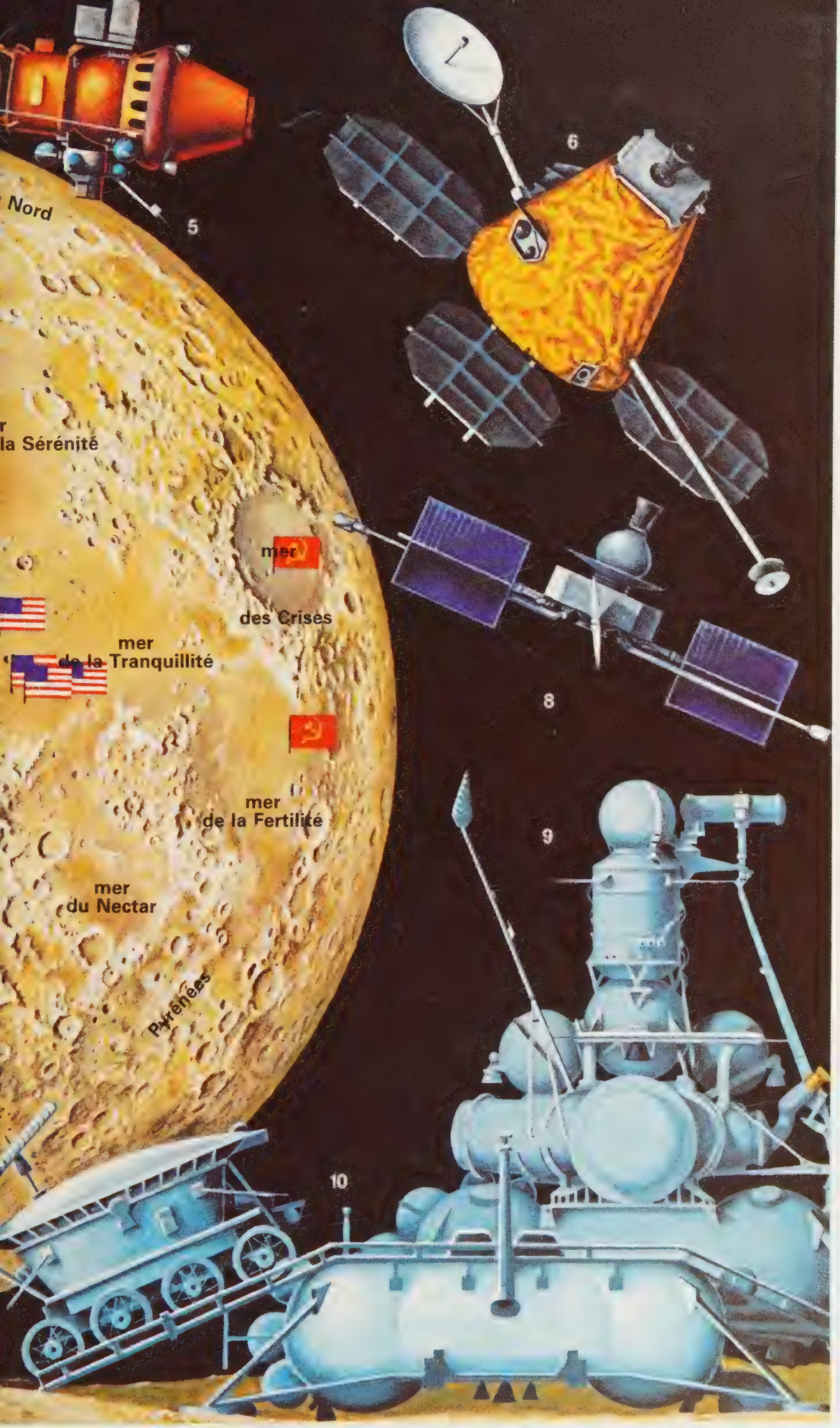
Quand la Lune pénètre dans le cône d'ombre de la Terre, elle disparaît quasiment complètement, obscurcie. C'est une éclipse de Lune.

La zone d'océan tournée vers la Lune est attirée par la Lune, et ce mouvement s'effectue symétriquement de l'autre côté : ce sont des zones de fortes marées. Les deux points (noir et rouge) permettent de suivre la progression d'un endroit de la planète au cours de sa rotation, à trois moments différents de la journée. En position 2 c'est la basse mer ; en position 3, 12 heures environ après la position 1, c'est de nouveau la marée haute. Il y a ainsi une marée toutes les 12 h 25 mn, soit à peu près deux marées par jour.



Depuis la Terre l'on peut voir seulement une moitié de la Lune. L'autr face nous est toujours invisible car l'astre tourne sur lui-même dans l même temps (27 j 1/3) qu'il accomplit un tour autour de la Terre. L même face (en bleu) se trouve donc toujours tournée vers nous


4
3
2
1
7
4
montagn
Jura
baie
de l'Arc-en-ciel
mer
des Pluies
Caucase
monts Haemos
Apennins
Carpathes
mer
des Vapeu
océan
des Tempêtes
mer
des Nuées
mer
des Humeurs
montagnes du Sud



Les robots explorateurs de la Lune

1. Luna 2 (U.R.S.S.) fut la première sonde à percuter la Lune, le 14 septembre 1959.

2. Le 4 octobre 1959 l'U.R.S.S. lança Luna 3. Cette sonde survola la Lune et en prit les premières photographies de sa face cachée.

3. Ranger 7 (U.S.A.) lancée le 28 juillet 64 transmit 4 000 photos par radio, durant sa chute libre vers la Lune.

4. Le premier engin spatial à se poser en douceur sur la Lune fut Luna 9 (U.R.S.S.). La capsule se posa sur l'astre le 3 février 1966 et envoya des clichés du sol pendant trois jours.

5. Le 31 mars 1966 fut lancée Luna 10 (U.R.S.S.) : c'est la première sonde qui se soit mise en orbite autour de la Lune.

6. Entre août 1966 et août 1967, les États-Unis ont placé cinq « Lunar orbiter » en orbite autour de la Lune. Leur mission était de photographier l'astre sous toutes les coutures, afin d'établir des cartes permettant de choisir les sites d'atterrissage des futures missions Apollo.

7. Les sondes Surveyor (U.S.A.) ont atterri en douceur sur la Lune entre mai 1966 et janvier 1968. Il y eut cinq missions réussies sur sept tentatives. Le but était de prendre des photos de la surface et de procéder à des analyses chimiques du sol.

8. Explorer 35 (U.S.A.) s'est mis en orbite autour de la Lune le 22 juillet 1967 pour mesurer son champ magnétique.

9. L'U.R.S.S. a lancé Luna 16 le 12 septembre 1970. La sonde s'est posée sur la Lune huit jours plus tard pour y prélever 100 grammes de poussière et revenir automatiquement sur Terre le 24 septembre.

10. Luna 17 (U.R.S.S.), lancée le 10 novembre 1970, s'est posée en douceur sur la Lune sept jours plus tard. Elle y a déposé un véhicule télécommandé, le Lunokhod 1. Les drapeaux dessinés sur la Lune indiquent les points explorés par les sondes automatiques américaines et soviétiques ou par les équipages d'astronautes américains

6
7
13
5
8
14
12
15
9
4
11
10
3
16

Plan de vol d'une mission Apollo

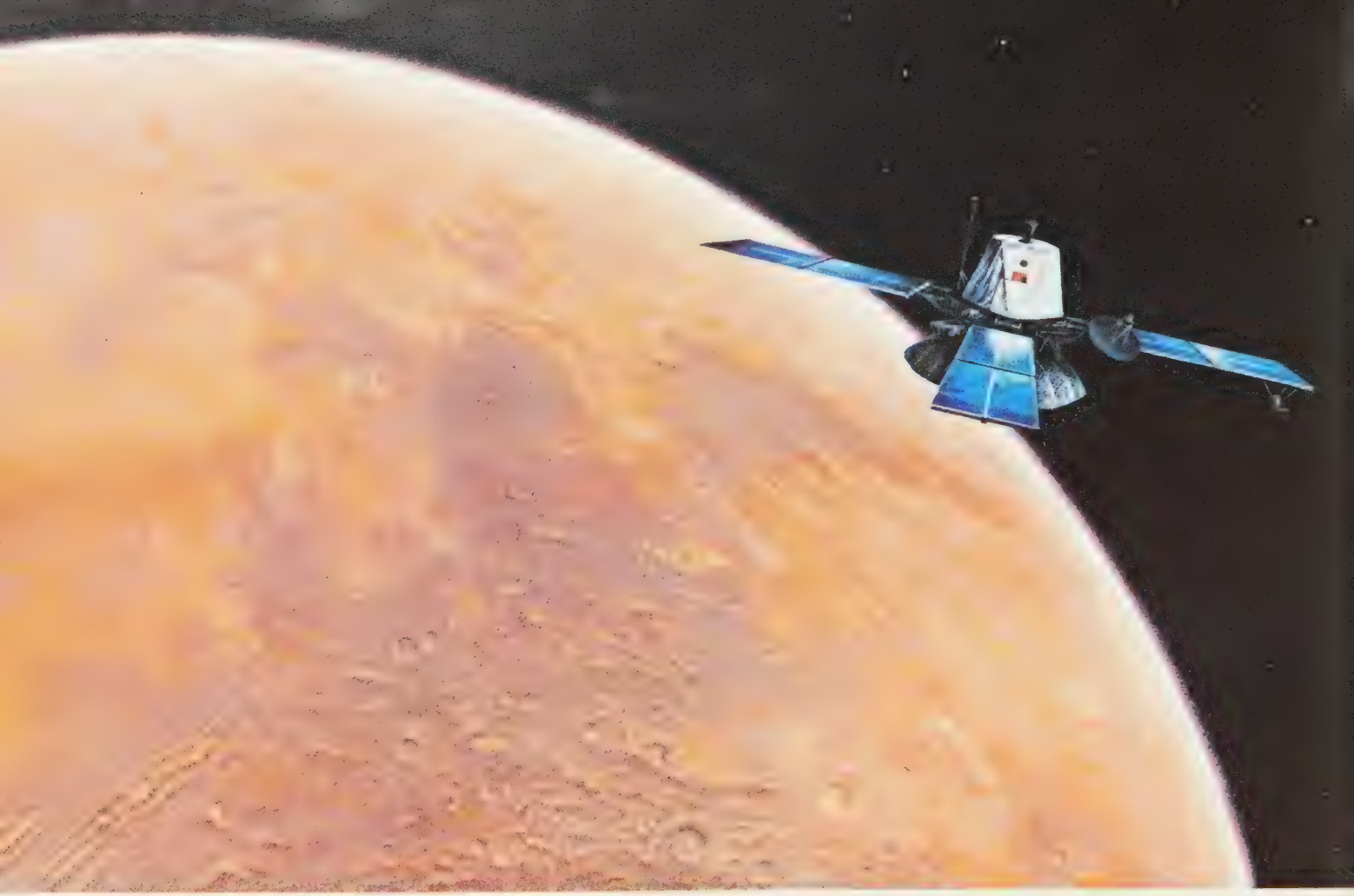
Tous les vaisseaux spatiaux Apollo ont été lancés du Centre spatial Kennedy, en Floride, par des fusées Saturne V.

Le premier étage, qui développait une poussée de 3 500 tonnes, grimpait jusqu'à 40 kilomètres d'altitude, atteignant en deux minutes et demie près de 10 000 km/h (1). Ayant épuisé son combustible, ce premier étage retombait dans l'Atlantique et le second prenait le relais, pour atteindre 185 km et 25 000 km/h (2). Après séparation, lui aussi retombait dans l'Atlantique, mais beaucoup plus loin, au large des côtes africaines. C'est le troisième étage qui devait fournir au train spatial Apollo la vitesse de 28 000 km/h requise pour une satellisation à basse altitude autour de la Terre (3).

Le troisième étage restait soudé au train spatial. N'ayant pas consommé tout son combustible, il lui restait la charge de propulser les astronautes vers la Lune. Après une orbite et demie, le temps d'effectuer des vérifications, cet étage était remis à feu pour atteindre la vitesse de 40 000 km/h permettant de quitter la banlieue de la Terre. Alors intervenait une opération de haute voltige spatiale consistant à se séparer du troisième étage (4) pour venir s'y amarrer dans l'autre sens après une manœuvre de retournement. C'est en effet dans la tête de cet étage que se trouvait enchâssé, pattes repliées, le module lunaire (5). Après quoi, une fois correctement constitué, le train spatial pouvait voguer vers la Lune (6) avec ses trois tronçons : module de service (ou salle des machines), module de commande (cabine Apollo) et module lunaire.

Après trois jours de voyage, c'est l'entrée dans la banlieue de la Lune. Le moteur-fusée du module de service est mis à feu pour ralentir la vitesse et provoquer la satellisation autour de l'astre. L'un des trois astronautes reste à bord du vaisseau Apollo (7), tandis que les deux autres s'installent dans le module lunaire. Après la séparation des deux autres éléments du train spatial, c'est la descente vers la Lune (8). Près de la surface, le moteur fusée du module lunaire est allumé pour ralentir la descente et obtenir un alunissage en douceur (9). Une fois sur la Lune les astronautes sortent pour explorer les alentours (10), prélever des échantillons du sol et déposer des instruments de mesure scientifique. Une fois leur travail terminé, ils regagnent l'étage supérieur du module lunaire.

Cet étage possède son propre moteur-fusée et décolle en se servant de l'étage de descente comme plate-forme (11). Quelques minutes plus tard il se place en orbite (12) et une série de manœuvres permettent le rendez-vous avec le vaisseau Apollo resté en orbite d'attente (13). Les trois hommes se retrouvent, se séparent du module lunaire (14), et remettent à feu le moteur-fusée principal de leur vaisseau pour échapper à l'attraction de la Lune. A l'approche de l'atmosphère terrestre, cette salle des machines est elle-même larguée (15) et c'est dans leur petite cabine conique que les astronautes affrontent l'épreuve du feu qu'est la rentrée dans l'atmosphère (16), durant laquelle le bouclier de la cabine Apollo est porté à 2 800 °C (17). A 3 000 mètres d'altitude les trois parachutes principaux s'ouvrent pour ralentir la descente à 35 km/h (18) avant l'amerrissage dans l'océan.



Viking 1 s'approche de Mars.

Mars : la planète rouge

Mars, la planète rouge, fascine les hommes depuis des millénaires. Au début de ce siècle de nombreux astronomes étaient convaincus qu'il y avait des habitants à sa surface. Quatrième planète par sa distance au Soleil, Mars n'est cependant pas assez proche pour recevoir du Soleil la quantité d'énergie qui pourrait assurer l'existence d'êtres vivants. Les sondes qui se sont posées à sa surface nous ont révélé un monde froid, sec et sans vie.

Avec un diamètre de 6 790 km, Mars est moitié moins large que la Terre. Sur cette planète il n'existe ni lacs ni océans, et on n'y observe pas davantage de pluies. Il y a seulement, l'hiver, des dépôts de givre. Dans son ensemble, c'est une planète désertique.

Comme la Terre, Mars connaît des saisons, avec cette différence qu'elles sont deux fois plus longues. Les jours martiens sont par contre de la même durée que les jours terrestres, à quelques minutes près. La nuit, aux pôles, la température descend parfois en dessous de − 120 °C, et à l'équateur à midi il est rare qu'elle excède 0°.

L'air martien n'est pas respirable car il est composé pour 95 pour 100 de gaz carbonique. De plus, l'atmosphère est extrêmement ténue, la pression au sol n'atteignant même pas 1 pour 100 de la pression terrestre : c'est celle que l'on rencontre sur notre planète à 35 km d'altitude, ce qui est considérable quand on sait qu'au sommet de l'Everest (moins de 9 000 m) la pression est déjà trop faible pour que l'on puisse

vivre normalement ; la pression sur Mars est si faible que notre sang se mettrait à bouillir si l'on se promenait à sa surface sans scaphandre, ce qui de toutes façons n'est pas possible puisqu'il n'y a pas d'oxygène.

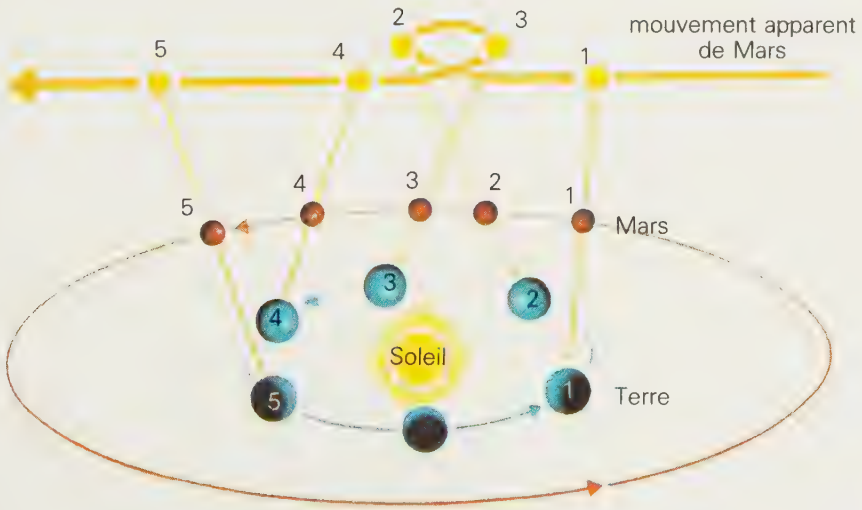
La vie telle que nous la connaissons sur Terre a besoin d'eau pour apparaître, subsister et se développer. Sur Mars il n'y a pas d'eau à l'état liquide mais il existe certainement de la glace emprisonnée dans le sous-sol. Il y a également un noyau de glace au pôle, entouré d'une calotte de givre carbonique.

Dans le ciel, Mars apparaît comme une belle étoile rouge, qui passe près de la Terre tous les 780 jours. Lors de certains de ces passages, plus rapprochés que d'autres tous les 15 ou 17 ans, la planète se trouve à seulement 56 millions de kilomètres de nous et s'observe alors très bien dans le moindre télescope. On distingue nettement ses calottes polaires et des taches sombres sur un fond ocre de déserts.

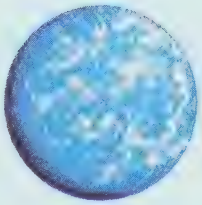
C'est à l'occasion d'un de ces rapprochements favorables que l'astronome italien Giovanni Schiaparelli, en 1877, crut voir des canaux à la surface de Mars. D'autres astronomes, notamment Percival Lowell aux États-Unis, affirmèrent avoir vu ces canaux et imaginèrent qu'ils avaient été creusés par des êtres intelligents. Mais les sondes spatiales, qui ont cartographié Mars avec une grande finesse par rapport à ce que l'on peut voir depuis la Terre, n'ont pas découvert le moindre canal. Les martiens n'existent pas.

Mars possède deux lunes minuscules, Phobos et Deimos, découvertes par l'astronome américain Asaph Hall en 1877. Ils ont respectivement 23 et 13 kilomètres de diamètre et se présentent comme de gros rochers difformes, recouverts de petits cratères.

La Terre tourne autour du Soleil plus rapidement que Mars. En 1 et 2 la Terre rattrape la planète, et la double en 3. En 4 et 5 Mars prend du retard. Au moment où la Terre passe devant (en 2 et 3), Mars semble décrire une boucle sur le ciel.



MARS



Le diamètre de Mars est la moitié de celui de la Terre.

Position :
en quatrième place à partir du Soleil

Distance moyenne au Soleil :
228 millions de km

Diamètre équatorial :
6 794 km

Période de révolution :
687 jours

Période de rotation :
24 h 37 mn

Densité :
3,9 (eau = 1)

Une personne qui pèse 70 kg sur Terre pèserait 27 kg sur Mars

Satellites connus :
2 (Phobos et Deimos)

Dans le ciel :
Mars ressemble à une brillante étoile rouge. Elle tourne autour du Soleil plus loin que la Terre, si bien que nous la voyons décrire dans le ciel une trajectoire assez bizarre, avec des boucles, du fait que la Terre est plus rapide, comme l'indique le schéma ci-contre. Mars nous apparaît toujours éclairée de face puisqu'elle est plus éloignée que nous du Soleil. Tous les 780 jours elle redevient particulièrement brillante car elle passe au plus près de la Terre.

A travers un télescope :
Quand Mars est proche, elle apparaît comme un disque orangé avec deux calottes polaires blanches, qui fondent en été. Quelques taches irrégulières, vaguement verdâtres, apparaissent sur ce disque par ciel pur, si l'instrument est de bonne qualité.

A la découverte de Mars

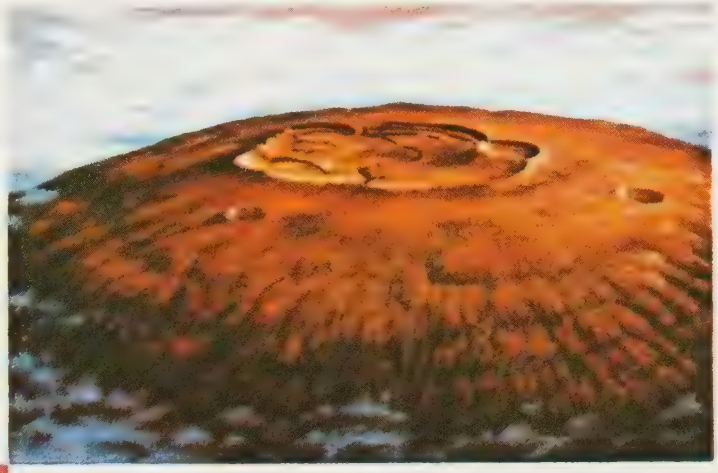
Aucune planète n'a été plus explorée que Mars par l'intermédiaire de sondes spatiales : Mariner 4 la survola en 1965, les Mariner 6 et 7 en 1969, et Mariner 9 fut la première à se satelliser autour d'elle en 1971. Grâce à cette dernière, on a pu établir la première carte détaillée de la planète rouge.

Puis des sondes plus lourdes et encore plus perfectionnées sont arrivées dans la banlieue de Mars en 1976 : Ce sont les Viking. Chacune d'entre elles s'est mise en orbite autour de la planète, puis a largué deux modules d'atterrissage qui se sont posés dans l'hémisphère Nord. Les sondes restées en orbite ont permis de compléter la cartographie de la planète et d'étudier son atmosphère, plusieurs années durant. Les modules d'atterrissage ont pris des milliers de photographies panoramiques qui nous ont révélé pour la première fois l'aspect des paysages martiens ; ils ont également procédé, en prélevant du sable à l'aide d'une pelle mécanique télécommandée, à des analyses chimiques du sol de la planète. Les résultats obtenus ne permettent pas de prouver qu'il y a de la vie à la surface de Mars. Il y avait, sur ces modules, une petite station météorologique, qui a permis de connaître le climat martien au fil des saisons.

Les paysages de Mars ressemblent à certains

déserts terrestres, sauf qu'ici le sol est d'un rouge-ocre prononcé, dû à une importante proportion d'oxyde de fer. Les grains les plus fins de ce sable, soulevés par les vents parfois violents qui soufflent au-dessus de la planète, forment un nuage presque invisible qui donne au ciel une teinte rose-saumon assez étonnante. En hiver, on s'est aperçu que les roches qui jonchent le sol se recouvrent d'une mince pellicule de givre carbonique : on pourrait presque dire qu'il neige ! Les sondes Viking ont beaucoup fait progresser notre connaissance de Mars.

Dans l'avenir, de nouvelles sondes se mettront en orbite autour de la planète et se poseront sur son sol, mais il ne semble pas que des hommes s'y rendent avant l'an 2000. Une mission vers Mars coûterait au moins trois fois plus cher que le programme Apollo qui a permis d'envoyer des hommes sur la Lune. Surtout, il faudra pouvoir mener à bien une mission beaucoup plus longue, qui ne durera plus une semaine, mais environ deux ans ; or des cosmonautes ne sont encore jamais restés plus de 7 mois dans l'espace. Le bond à accomplir, on le voit, est important.



Il y a de gigantesques volcans à la surface de Mars (à droite). Le plus grand d'entre eux est Nix Olympica, dont le sommet culmine à 25 km d'altitude au-dessus de la surface environnante. Ce volcan est donc deux fois plus élevé que le massif du Mauna Kea aux îles Hawaï, mesuré depuis le fond du Pacifique. La caldeira au sommet du volcan, est un cratère de 60 km de diamètre.

Il y a également, sur Mars, d'énormes canyons (à gauche) ; ils résultent probablement de fractures de la croûte martienne survenues il y a peut-être un milliard d'années, en même temps que la formation des volcans. Le plus grand de ces canyons, la vallée Mariner, mesure près de 5 000 km de long, 240 km de large par endroits, et jusqu'à 5 000 mètres de profondeur. Le grand canyon de l'Arizona, pourtant si imposant sur Terre, serait noyé dans la vallée Mariner.

Sur Mars l'on trouve aussi des rivières sèches (à droite). Les sondes Viking ont décelé de la glace et de la vapeur d'eau au-dessus de Mars, mais pas d'eau courante, à l'état liquide. Autrefois, cependant, Mars a pu être plus chaude et posséder une atmosphère plus dense, permettant à de l'eau de couler dans ces rivières dont il ne reste aujourd'hui que le lit tressé d'alluvions.

Une planète géante : Jupiter

La planète Jupiter est plus grosse et plus massive que n'importe quelle autre planète du système solaire. Mais elle ne l'est pas encore assez pour briller par elle-même et devenir une étoile. Les astronomes ont calculé qu'il faudrait qu'elle renferme 80 à 90 fois plus de gaz pour se transformer en étoile. On peut donc dire que Jupiter est un Soleil raté.

L'aspect de Jupiter est très différent de celui de la Terre. Lorsqu'on l'observe, on ne découvre que sa couche nuageuse mouvante et colorée. En dessous de cet épais manteau de nuages la planète elle-même est certainement une énorme boule d'hydrogène, solide au centre, liquide à l'extérieur, en rotation rapide sur elle-même. Jupiter renferme également une petite proportion d'hélium. Quant aux nuages colorés, ils sont composés de méthane, d'ammoniac, de phosphore, de vapeur d'eau et sans doute de quelques autres gaz.

Au sommet des nuages la température est très basse : – 130 °C. On a même observé des éclairs orageux de grande puissance dans les régions polaires. Au fur et à mesure que l'on s'enfonce dans cette épaisse couche de nuages la température doit augmenter, et il est probable qu'elle atteint 30 000 degrés (peut-être plus) au centre.

Jupiter possède un champ magnétique extrêmement puissant, bien plus puissant que celui de la Terre. Ce champ piège des particules électrisées en provenance du Soleil, ce qui forme autour de la planète des ceintures de radiations mortelles.

L'une des principales curiosités de Jupiter est une grande tache rouge de forme ovale, qui s'incruste dans les nuages de l'hémisphère Sud, et qui existe depuis au moins quatre siècles. Elle a la forme d'un ovale de 40 000 km de long, devant lequel on pourrait aligner trois planètes comme la Terre ! Les photos en gros plan prises par les sondes spatiales Voyager ont montré que cette tache était en fait un tourbillon de nuages qui tournait sur lui-même en six jours dans le sens contraire des aiguilles d'une montre. Il s'agit sans doute d'un anticyclone.

Seize satellites (au moins) et un anneau de fines particules sombres tournent par ailleurs autour de Jupiter.

Quatre sondes spatiales ont survolé Jupiter. Les Pioneer 10 et 11 en 1973-74, les Voyager 1 et 2 en 1979, qui ont transmis quelque 33 000 clichés de la planète géante

JUPITER

Son diamètre vaut 11,2 fois celui de la Terre

Position :
cinquième planète à partir du Soleil

Distance moyenne au Soleil :
778 millions de km

Diamètre équatorial :
143 000 km

Période de révolution :
11,9 ans

Période de rotation :
9 h 56 mn

Densité :
1,3 (eau = 1)

Une personne qui pèse 70 kg sur Terre pèserait 164 kg sur Jupiter

Satellites connus :
16 + 1 anneau

Dans le ciel :
Jupiter est la plus brillante planète après Vénus. Sa luminosité tient au fait qu'elle est grosse et enveloppée de nuages.

A travers un télescope :
Un petit instrument permet de voir les quatre principaux satellites, la forme aplatie du disque de la planète, et les nuages qui zèbrent ce disque parallèlement à l'équateur. Un instrument un peu plus puissant permet de distinguer la grande tache rouge.

Les lunes de Jupiter

Les astronomes connaissent maintenant seize lunes gravitant autour de Jupiter, les sondes spatiales qui ont survolé cette planète ayant permis d'en découvrir de nouvelles ces dernières années. Les quatre plus brillantes sont connues depuis fort longtemps puisque Galilée les observa en 1610 quand il braqua pour la première fois une lunette astronomique vers le ciel. C'est pourquoi ces quatre lunes, baptisées Io, Europe, Ganymède et Callisto, portent le nom de satellites « galiléens ».

Io et Europe ont à peu près la taille de notre propre Lune mais ne présentent pas de cratères, à la différence de cette dernière. Leur surface est en effet modifiée en permanence par des dépôts volcaniques pour Io (car il y a des volcans en activité sur ce petit astre !) et par des dépôts de glace sur Europe.

Ganymède et Callisto, sont énormes : plus grosses que la planète Mercure. Ganymède est d'ailleurs, avec ses 5 280 km de diamètre, le plus gros satellite de tout le système solaire. Callisto est sans doute le mieux conservé : il est criblé de cratères provoqués par la chute d'astéroïdes et de grosses météorites et sa surface ne semble pas avoir subi de modifications depuis lors.

Un énorme nuage circule autour de Jupiter à la distance de Io. Il est formé de particules de soufre et d'oxygène émises par des volcans actifs, ces particules se groupant pour former une sorte de bouée à l'intérieur de laquelle évolue le satellite. La surface de Io que l'on découvre actuellement n'a probablement pas plus de 10 millions d'années d'existence, ce qui est jeune pour une lune.

Europe, elle, est sillonnée de traînées sombres plus ou moins droites, qui s'entrecroisent : ce sont certainement des fractures dans la couche de glace qui recouvre l'astre sur peut-être 100 km d'épaisseur ; ces fractures sont peu profondes (50 m maximum), et constituent le seul trait de relief sur ce satellite qui est donc pratiquement lisse.

Ganymède présente de vastes zones sombres

IO
diamètre 3 636 km
distance à la planète :
422 000 km

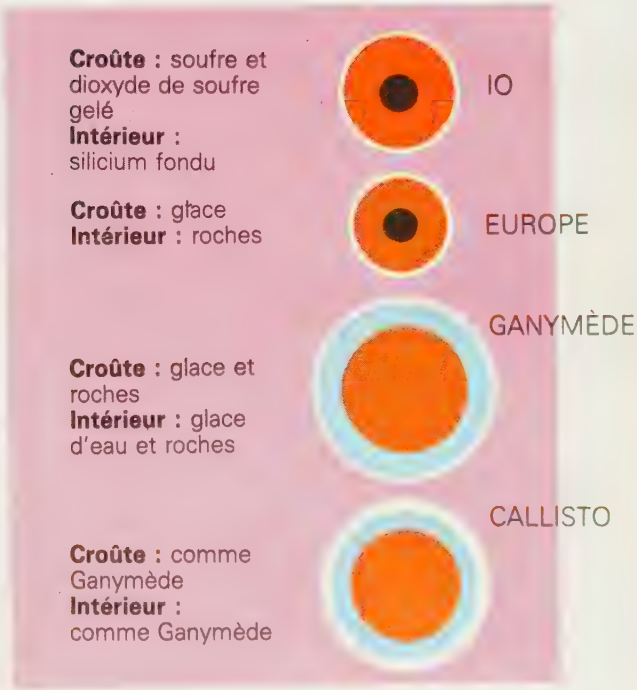
parsemées de cratères assez semblables à ceux de notre Lune. Il y a aussi des zones claires, géologiquement plus jeunes.

Callisto, enfin, est saturée de cratères : des petits dans les moyens, des moyens dans les gros. Il n'y a pas la moindre place libre à sa surface. Les traces de ce bombardement sont restées intactes depuis au moins 4 milliards d'années.

CALLISTO
diamètre 4 890 km
distance 1 884 000 km

GANYMEDE
diamètre 5 216 km
distance 1 071 000 km
(c'est le plus gros des satellites de Jupiter, et le plus gros de tout le système solaire)

EUROPE
diamètre 3 066 km
distance 671 400 km



Saturne et ses anneaux

Les étonnants anneaux qui entourent Saturne ont fasciné les astronomes pendant des siècles. Quand Galilée les découvrit, le premier, dans sa lunette, il les compara à des anses, ne sachant pas de quoi il s'agissait. En utilisant une lunette plus puissante l'astronome hollandais Christian Huygens (1629-1695) fit de ces anneaux une description correcte en 1655.

Les anneaux de Saturne sont constitués par des milliards de blocs de glace recouverts de givre, dont la taille ne dépasse pas 10 mètres. Ces blocs sont autant de minuscules lunes, qui tournent en rangs serrés autour de la planète et donnent, de loin, l'illusion d'une surface continue. C'est parce qu'ils sont constitués de glace que les anneaux renvoient aussi bien la lumière du Soleil et peuvent être vus depuis la Terre.

Saturne, planète géante comme Jupiter, et seconde dans le système solaire par la taille, pourrait contenir 760 fois la Terre si elle était creuse. Mais sa masse vaut « seulement » 95 fois celle de la Terre car sa densité est extrêmement faible, inférieure à celle de l'eau (0,7) ; autrement dit, si l'espace était un océan, Saturne y flotterait !

Saturne ressemble à Jupiter par bien des côtés. C'est également une énorme boule de gaz (hydrogène et hélium), avec sans doute au centre un noyau rocheux qui pourrait être plus gros que la Terre.

Une épaisse couche de nuages en mouvement rapide entoure aussi cette planète, formant des bandes claires et sombres parallèles à l'équateur. Au sommet des nuages règne une température de − 190 °C. Les sondes spatiales ont observé des aurores dans une couronne entourant les pôles. Le champ magnétique de Saturne est toutefois moins puissant que celui de Jupiter.

Vision imaginaire d'un spectateur placé à bord de la sonde spatiale Voyager 1, passant au large des anneaux de Saturne, faits de blocs de glace et de rochers givrés. Ces anneaux s'étalent sur plus de 65 000 kilomètres mais ne mesurent que quelques centaines de mètres d'épaisseur.

Les lunes de Saturne

La plus intéressante des lunes de Saturne est, de loin, celle qui s'appelle Titan. Par la taille elle arrive juste derrière Ganymède, le plus important des satellites de Jupiter, avec 5 150 km de diamètre. Si Titan intéresse particulièrement les astronomes, c'est qu'elle est la seule lune, dans tout le système solaire, à être entourée d'une atmosphère. Celle-ci renferme surtout de l'azote, mais aussi des gaz comme l'éthane et le méthane, qui donnent à cette enveloppe aérienne une couleur orangée.

De l'atmosphère de Titan s'échappe un immense nuage d'hydrogène qui fait le tour de Saturne entre les orbites de Titan et de Rhéa. Invisible sous son atmosphère, la surface du satellite est sans doute faite de roches recouvertes de glace, et il n'est pas impossible que de l'azote liquide forme des lacs ou même des océans. C'est donc un monde tout à fait étonnant qui se trouve là, à 1 222 000 km de Saturne, et de nombreux projets d'exploration de Titan sont prévus vers 1990-1992.

La lune la plus distante de Saturne est Phoebé, qui orbite à 12 954 000 km de distance. C'est un corps très sombre, de forme à peu près sphérique, qui tourne sur lui-même en 9 heures, et tourne autour de la planète en sens inverse du mouvement normal suivi par tous les autres satellites. Phoebé, qui mesure 220 km de diamètre, est probablement un ancien astéroïde, capturé autrefois par Saturne.

Plus près de la planète, à 3 561 000 km, nous trouvons Japet, qui présente la particularité d'avoir une face très sombre, comme badigeonnée au goudron, et une autre très claire, comme de la glace pure. C'est la face sombre qui se trouve tournée vers l'avant, dans le sens de sa révolution autour de Saturne ; car Japet, comme tous les satellites du système solaire, présente toujours la même face à sa planète-mère. On peut donc parler de face avant et de face arrière.

Le satellite Hypérion présente une forme irrégulière : il mesure 260 km sur 410 km. Sa surface, plutôt sombre, est criblée de cratères.

Rhéa, de taille nettement plus importante (1 530 km de diamètre), est également recouvert de cratères d'impact. En trois endroits, cependant, l'on distingue des plaines de forme vaguement circulaire où les cratères sont moins nombreux : ce sont sans doute de grands bassins d'impact creusés plus récemment par de gros astéroïdes. Rhéa se trouve à 527 000 km de Saturne.

Dioné ressemble beaucoup à Rhéa, par son diamètre (1 120 km) et son aspect : on y voit également des cratères, ainsi que des failles, creusées dans sa surface de glace. Une tache blanche, baptisée Amata, pourrait correspondre à un grand cratère rempli de glace fraîche. Dioné circule à 377 000 km de Saturne.

Téthys, à 295 000 km, est à peu près de la même taille que les deux lunes précédentes

L'on connaît à ce jour 23 satellites à Saturne. Les plus gros d'entre eux sont présentés ci-dessous. Mais le recensement n'est peut-être pas achevé.

Le satellite Titan est surmonté d'une épaisse atmosphère

(1 060 km de diamètre) et se caractérise par un énorme cratère de 400 km de large, avec une petite montagne au centre. Une longue ligne de fracture, baptisée Ithaca chasma, court sur environ les trois quarts de la circonférence du satellite ! Cette grande vallée est probablement une fracture dans la croûte de glace.

Encelade, une lune de plus petite dimension (500 km de diamètre) est également recouverte de glace, mais un effet de marée provoqué par l'attraction de Dioné entraîne semble-t-il un réchauffement de l'intérieur du satellite et une fusion partielle de sa surface. Les cratères formés autrefois se sont ainsi trouvés ensevelis et l'on ne voit plus qu'une surface assez lisse. Encelade tourne à 238 000 km de Saturne.

Le plus proche satellite de quelque importance, c'est Mimas (390 km de diamètre) qui tourne à 185 000 km de la planète, donc pas très loin du bord extérieur de l'anneau. Sa surface est grélée de cratères à fond plat.

SATURNE

Son diamètre vaut 9,4 fois celui de la Terre

Position :
6e rang à partir du Soleil

Distance moyenne au Soleil :
1 426 000 km

Diamètre à l'équateur :
121 000 km

Période de révolution :
29,5 ans

Période de rotation :
10 h 40 mn

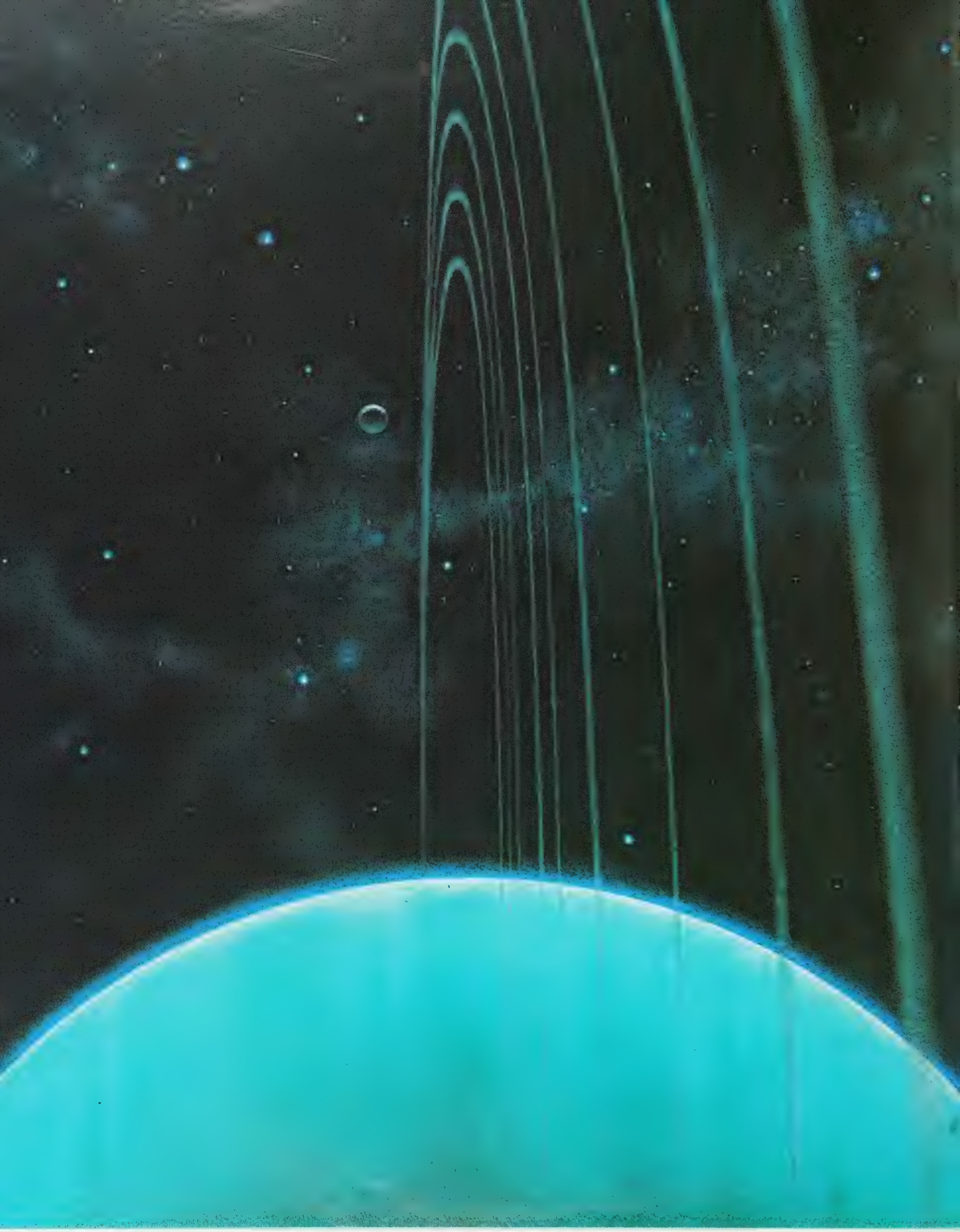
Densité :
0,7 (eau = 1)

Une personne pesant 70 kg sur Terre pèserait 65 kg sur Saturne

Satellites connus :
23 (le plus gros est Titan) + anneaux

Dans le ciel :
Jusqu'au XVIIIe siècle Saturne était la plus lointaine planète connue, parce que c'est la plus éloignée que l'on puisse voir à l'œil nu

A travers un télescope :
Un assez faible grossissement suffit pour voir nettement le disque de la planète et les étonnants anneaux qui l'entourent. Ces anneaux apparaissent plus ou moins ouverts suivant les années en raison des inclinaisons respectives des axes de rotation de Saturne et de la Terre



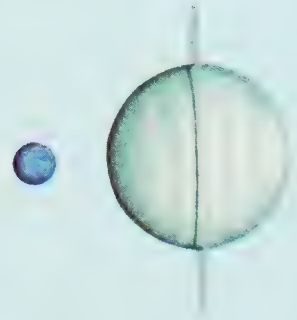
Uranus, un monde de glace

Jusqu'en 1781, nous ne connaissions que cinq planètes dans le ciel. Cette année-là le musicien et astronome anglais William Herschel (1738-1822) remarqua parmi les étoiles une petite tache claire un peu floue qu'il prit pour une comète. Lorsque d'autres astronomes l'eurent observée à leur tour, ils constatèrent qu'elle suivait l'orbite d'une planète : on l'appela Uranus.

Depuis la Terre, dans un télescope, on ne découvre que les nuages d'Uranus, composés surtout d'hydrogène, d'hélium et de méthane ; cette composition n'est pas très différente de celle des nuages de Jupiter et de Saturne. C'est le méthane qui donne au disque d'Uranus cette coloration verdâtre que l'on remarque bien dans un télescope. Uranus est probablement un monde formé d'une énorme boule de glace entourant un noyau rocheux.

Cinq lunes tournent autour de cette planète, mais nous ne savons pas grand-chose d'elles. Il faudra attendre que la sonde spatiale Voyager 2 les photographie, en 1986. Il y a aussi, autour d'Uranus, neuf anneaux très sombres et très minces, découverts par hasard en 1977.

URANUS



Son diamètre vaut 4 fois celui de la Terre

Position :
7e rang à partir du Soleil

Distance moyenne au Soleil :
2 867 millions de km

Diamètre équatorial :
51 800 km

Période de révolution :
84 ans

Période de rotation :
16 h environ

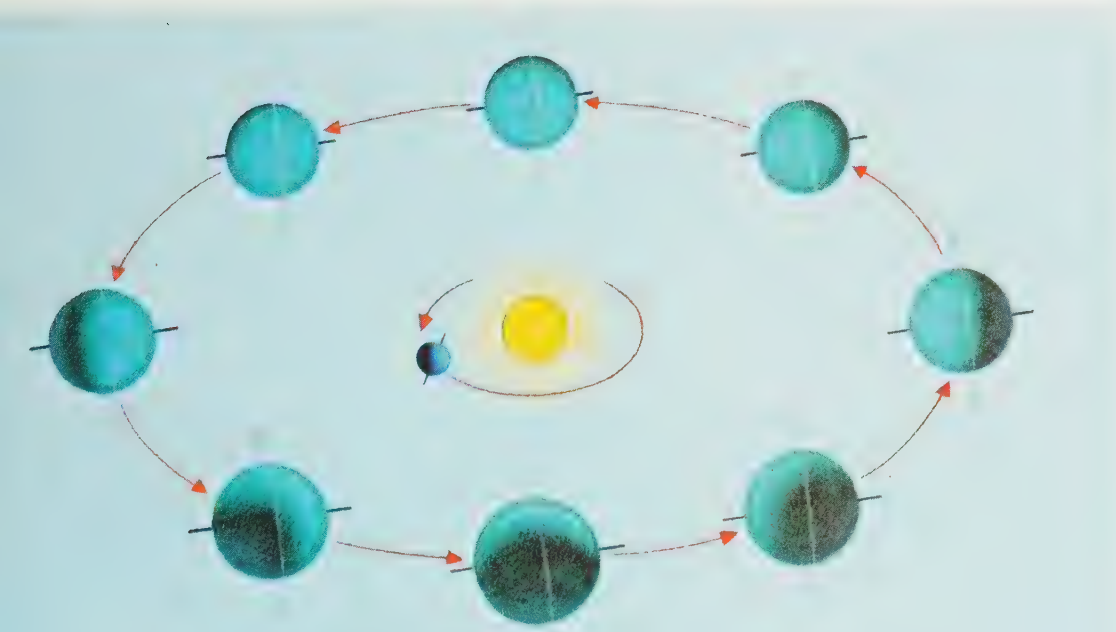
Densité :
1,2 (eau = 1)

Une personne qui pèse 70 kg sur Terre pèserait 60 kg sur Uranus.

Satellites connus :
5 (Ariel, Umbriel, Titania, Obéron, Miranda) + 9 anneaux.

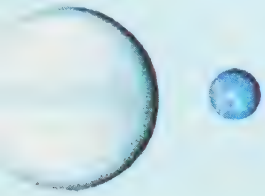
Dans le ciel :
Uranus est à la limite de visibilité pour l'œil nu, et peut donc être vue comme une petite étoile dans une paire de jumelles, si l'on sait où la trouver. Avant sa découverte en 1781 Uranus fut observée à plusieurs reprises, mais on la prit pour une étoile.

A travers un télescope :
Son disque ne commence à être apparent que pour un assez fort grossissement ; mais on ne distingue rien à sa surface.



L'axe de rotation d'Uranus présente la particularité unique d'être pratiquement dans le plan de l'orbite, c'est-à-dire « couché ». Là où se place l'équateur des autres planètes, Uranus présente ses pôles. Au cours de son mouvement de 84 ans autour du Soleil, Uranus présente successivement ses pôles dans toutes les directions. Ainsi, pendant la moitié du temps, un pôle est perpétuellement éclairé, tandis que l'autre est dans une nuit continuelle ; dans les 42 années qui suivent, c'est l'inverse. Cinq satellites tournent autour d'Uranus, ainsi qu'un ensemble de 9 anneaux très fins.

NEPTUNE



Son diamètre équivaut à environ 4 fois celui de la Terre

Position :
huitième planète à partir du Soleil

Distance moyenne au Soleil :
4 486 millions de km

Diamètre équatorial :
49 500 km

Période de révolution :
164 ans

Période de rotation :
19 h environ

Densité :
1,7 (eau = 1)

Une personne qui pèse 70 kg sur Terre pèserait 80 kg sur Neptune

Satellites connus :
2 (Triton et Néréïde)

Dans le ciel :
On ne peut voir Neptune qu'avec une bonne paire de jumelles, une lunette ou un télescope. Cette planète est si éloignée du Soleil que son éclat est extrêmement faible.

A travers un télescope :
Un fort grossissement montre un disque minuscule, sans détails.

Les sondes Voyager 1 et 2 ont quitté la Terre durant l'été 1977. Voyager 2 a le plus grand périple, avec survol de Jupiter en novembre 79, de Saturne en août 81, d'Uranus en janvier 86 et de Neptune en août 1989, soit une mission étalée sur 12 ans. A chaque passage près d'une planète, la sonde reçoit une impulsion de vitesse qui lui permet d'atteindre la planète suivante.

Neptune : la dernière planète géante

Après avoir découvert Uranus, les astronomes se sont aperçus avec étonnement que la nouvelle planète ne « tournait pas rond ». Son déplacement était perturbé par la présence d'un corps massif, inconnu, dont plusieurs mathématiciens entreprirent de déterminer la position. John Adams en Angleterre et Urbain Le Verrier en France, s'attelèrent à cette tâche. En 1846, sur les indications de ce dernier, l'astronome allemand Jean Galle pointa sa lunette dans la direction calculée et trouva l'astre mystérieux. Ainsi fut découverte Neptune, la huitième planète du système solaire.

Neptune est une planète géante, très semblable à Uranus par sa taille comme par son aspect. Mais elle est si éloignée (un peu plus de 4 milliards de kilomètres) qu'on ne voit pas grand-chose à sa surface. On sait seulement qu'elle est, elle aussi, enveloppée d'une épaisse atmosphère d'hydrogène et de méthane, entourant un globe de glace possédant sans doute un noyau rocheux au centre.

Neptune possède deux lunes : Triton (plus grosse que notre propre Lune), et Néréïde (petite et très éloignée). Nous en saurons plus sur Neptune en 1989, lorsqu'elle sera survolée par la sonde Voyager 2.

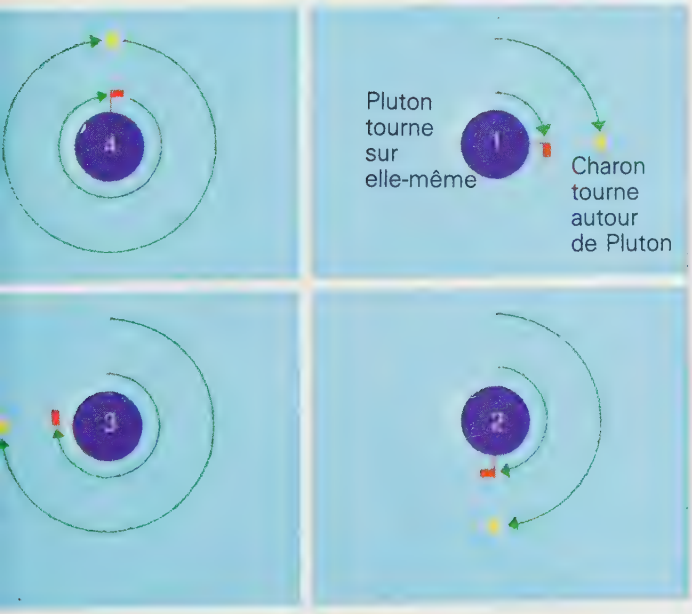
Pluton : aux frontières du système solaire

Comme Uranus, Neptune ne semblait pas se déplacer normalement sur son orbite, et les astronomes se mirent en devoir, comme précédemment, de localiser l'astre perturbateur. C'est surtout l'Américain Percival Lowell qui entreprit ce calcul et cette recherche, mais en vain. Finalement, par hasard, son confrère et compatriote Clyde Tombaugh, en examinant des photos de la constellation des Gémeaux, découvrit en 1930 la neuvième planète.

La distance moyenne au Soleil de Pluton (tel est son nom) dépasse 5 milliards de kilomètres, mais son orbite est loin d'être quasiment circulaire comme pour les autres planètes. Si bien qu'à certaines époques, au cours de son périple de deux siècles et demi autour du Soleil, Pluton pénètre à l'intérieur de l'orbite de Neptune, et n'est plus alors la plus lointaine planète : c'est le cas depuis 1979, pour 20 ans.

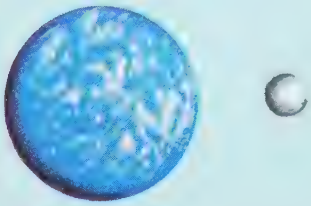
De nombreux astronomes pensent que Pluton n'est pas une vraie planète mais plutôt un satellite échappé du giron de Neptune. Beaucoup d'éléments le laissent penser : sa taille (qui est proche de celle de Triton, le plus gros satellite de Neptune), son orbite anormale (très allongée et très inclinée) et sa distance trop faible, alors que les autres planètes se répartissent suivant une progression parfaitement établie.

Pluton, c'est finalement une minuscule planète de 3 000 km de diamètre (plus petite que notre Lune), recouverte de méthane gelé. En 1978, on a découvert avec surprise qu'elle possédait pourtant elle-même un satellite, baptisé Charon.



En 1978 l'astronome américain James Christy remarqua une protubérance formant une sorte de boursouflure sur l'image de Pluton. Cette excroissance s'avéra être un satellite orbitant autour de cette petite planète, à 17 000 km de distance. Ce satellite, baptisé Charon, effectue un tour en 6 jours et 9 heures, ce qui est exactement le temps que Pluton met pour tourner sur elle-même. Comme le montre le diagramme, Charon reste toujours à la même place dans le ciel de Pluton, exactement comme nos satellites géostationnaires ; le satellite reste donc toujours invisible pour un hémisphère de la planète.

PLUTON



Son diamètre vaut à peu près le quart de celui de la Terre

Position :
neuvième planète à partir du Soleil

Distance moyenne au Soleil :
5 890 millions de km

Diamètre :
3 000 km

Période de révolution :
247 ans

Période de rotation :
6 jours 9 heures

Densité :
0,8 (eau = 1)

Une personne pesant 70 kg sur la Terre pèserait seulement 3 kg sur Pluton.

Satellite :
1 (Charon)

Dans le ciel :
Pluton est invisible, car trop petite et trop éloignée.

A travers un télescope :
il faut déjà un instrument assez puissant pour voir le petit point lumineux de cette planète, sur laquelle même le plus puissant télescope du monde ne montre aucun détail.

Les innombrables astéroïdes

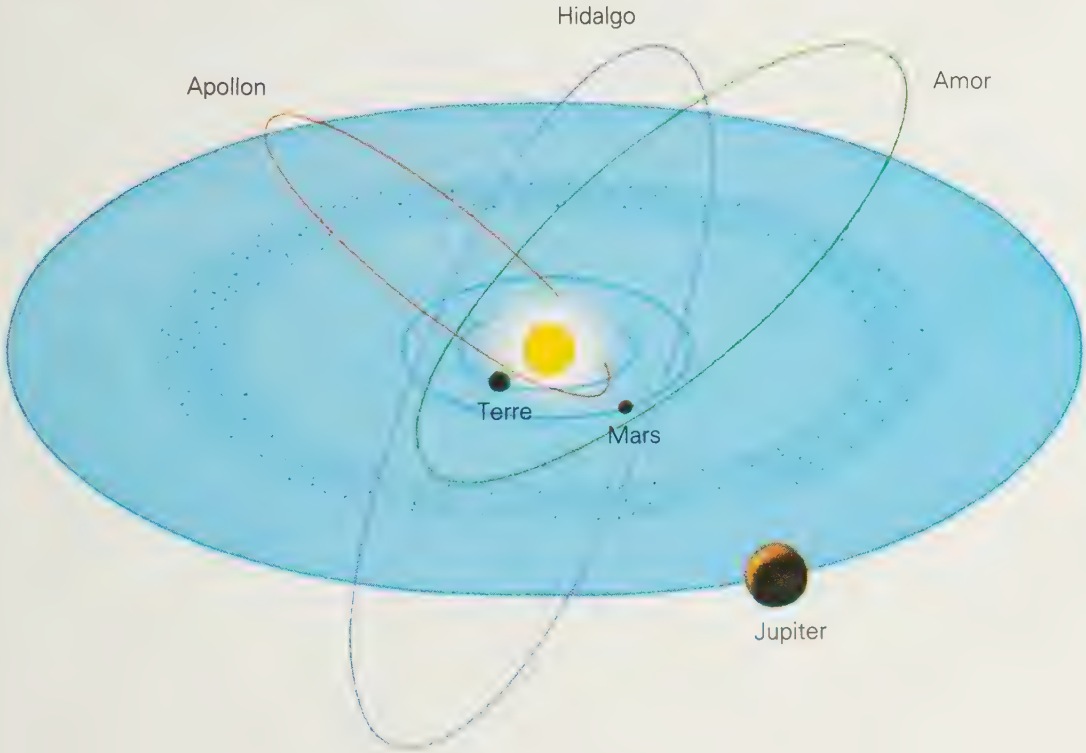
Des milliers de petites planètes, connues sous le nom d'astéroïdes, tournent autour du Soleil au-delà de Mars. La plus grosse d'entre elles, Cérès, mesure seulement 1 000 km de diamètre, soit à peu près la taille de la France.

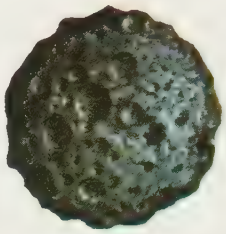
Les astronomes ont découvert et répertorié un peu plus de 2 600 astéroïdes, mais la liste s'allonge sans cesse. Les plus petits observables depuis la Terre ont tout juste 1 km de diamètre, et leur nombre est de plus en plus grand au fur et à mesure que leur taille diminue. Leur dénombrement ne sera donc jamais terminé.

La plupart d'entre eux circulent dans un anneau de 400 millions de kilomètres de large entre Mars et Jupiter, mais certains s'écartent sensiblement de cette route pour plonger presque jusqu'à Mercure (au passage il leur arrive de frôler la Terre !), ou au contraire pour s'éloigner jusqu'à Saturne. D'autres orbitent même franchement hors de la ceinture : c'est le cas des astéroïdes « troyens » groupés sur l'orbite de Jupiter, et de Chiron, une petite planète isolée découverte en 1977 entre Saturne et Uranus.

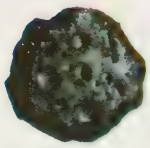
Les astéroïdes sont probablement des résidus de la formation du système solaire, qui n'ont pu se regrouper pour constituer un astre unique. Des missions d'exploration par sondes spatiales sont envisagées en direction des astéroïdes après 1990. Il sera alors possible d'en savoir plus sur ces petits astres, et donc sur l'origine du système solaire, puisqu'ils n'ont pratiquement pas évolué depuis 5 milliards d'années.

ORBITES DES ASTÉROÏDES





Cérès
1 020 km de diamètre



Vesta
549 km de diamètre

Les astéroïdes du groupe Apollon recoupent l'orbite de la Terre et se trouvent donc à passer près d'elle quelquefois. Éros, le plus gros des astéroïdes de ce groupe, mesure 16 km dans sa plus grande longueur, et possède donc les dimensions d'une grande ville ; il est passé à 22 millions de km de la Terre en janvier 1975. La plupart des astéroïdes Apollon mesurent moins d'un kilomètre de diamètre, mais si l'un d'eux percutait la Terre, il provoquerait cependant des dégâts considérables et pourrait raser une ville entière ; heureusement, les risques d'un impact sont extrêmement faibles à l'échelle des temps humains.

Fugitives comètes

Depuis longtemps les hommes considèrent que les comètes, qui apparaissent de temps à autre dans notre ciel, sont des astres de mauvais augure, qui annoncent des drames ou des catastrophes : guerres, famines, épidémies, cataclysmes...

Aujourd'hui, nous savons que ce sont des astres bien inoffensifs. Les comètes évoluent dans le système solaire sur des trajectoires très étirées, qui les amènent à frôler le Soleil puis à repartir le plus souvent au-delà des plus lointaines planètes. Certaines d'entre elles reviennent à intervalles réguliers, comme la comète de Halley, qui repasse tous les 76 ans en moyenne : la prochaine fois en 1986. Ce sont des comètes périodiques. D'autres ne sont visibles qu'une seule fois ; soit parce que leur orbite est si longue qu'il s'écoule plusieurs siècles ou peut-être même plusieurs millénaires entre deux passages, soit parce qu'en frôlant une planète géante leur trajectoire se trouve déformée au point de s'ouvrir : la comète s'échappe alors du système solaire et file vers d'autres étoiles.

L'astronome américain Fred Whipple pense (et beaucoup d'autres comme lui) que les comètes sont des « boules de neige sale ». Autrement dit, leur noyau n'est qu'un amalgame de roches et de glaces, de quelques kilomètres de diamètre (moins de 5 km pour la plupart). Dans cette glace sont inclus des gaz comme la vapeur d'eau, le méthane, l'ammoniac, le dioxyde de carbone, le cyanogène, etc.

Lorsque la comète s'approche du Soleil, la chaleur de l'astre entraîne la vaporisation partielle de cette glace et la libération des gaz : il se forme alors une vaste atmosphère, que le Soleil va souffler dans la direction opposée, faisant apparaître une queue spectaculaire faite de gaz et de poussières, dont la longueur peut atteindre plusieurs centaines de millions de kilomètres. Si la comète est proche de la Terre, cette queue peut traverser tout le ciel d'un horizon à l'autre. Un tel spectacle est cependant assez rare. Une ou deux dizaines de comètes sont observées chaque année par les astronomes, mais c'est seulement tous les quatre ans en moyenne qu'on peut en voir une à l'œil nu.

gaz

poussières

Le schéma ci-dessus indique les trajectoires de quelques comètes importantes. Si la comète ne se brise pas en frôlant le Soleil, elle repart vers les régions lointaines du système solaire, son noyau se congèle à nouveau et la queue disparaît progressivement. A chaque fois qu'elle repasse près du Soleil, la comète fond partiellement, libérant des gaz et des poussières que le soleil souffle de manière à former une longue et magnifique queue. Après un grand nombre de passages, la comète finit par se désagréger.

noyau

chevelure

nuage d'hydrogène

Le noyau d'une comète est probablement formé de gaz gelés mêlés à de petites particules solides. Ce noyau n'a que quelques kilomètres de diamètre. Autour de lui se forme une chevelure, vaste auréole de gaz et de poussières de 100 000 km de diamètre, voire davantage. Le rayonnement solaire, lorsque la comète est suffisamment proche du Soleil, souffle cette chevelure et l'étire jusqu'à former une queue de plusieurs centaines de millions de kilomètres de long ; il y a souvent deux queues : l'une rectiligne, composée de gaz, l'autre courbe, contenant des poussières. Mais ces queues sont si ténues que l'on peut voir les étoiles au travers. Les comètes sont sans doute formées à partir des matériaux primitifs du système solaire.

Étoiles filantes et météorites

Une étoile filante, c'est un petit trait de feu tracé sur le ciel parmi les étoiles, pendant une fraction de seconde : elle correspond à la destruction dans l'atmosphère d'un petit fragment de roche ou de métal appelé météorite, qui a brûlé en s'échauffant contre les couches d'air. Si la météorite pèse plus de quelques kilos en pénétrant dans l'atmosphère elle n'aura pas le temps de brûler entièrement et des fragments toucheront le sol ; dans le ciel, s'il fait nuit, on pourra voir alors non plus une étoile filante mais un « bolide », c'est-à-dire une boule de feu suivie d'une longue traînée d'étincelles. Les étoiles filantes que nous voyons habituellement correspondent à des corpuscules de la taille d'un grain de sable ou, au plus, d'un gravier.

Si les chutes sont nombreuses, il est cependant très rare qu'un fragment de grande taille atteigne la Terre. D'ailleurs, personne n'a encore été tué par la chute d'une météorite. La plus grosse que l'on ait retrouvée, en Afrique du Sud (à Hoba West), pèse pourtant 66 tonnes !

Les météorites nous renseignent sur la matière primitive qui donna naissance à notre système solaire. Et jusqu'à ce que les astronautes rapportent des échantillons de la Lune, nous n'avions pas d'autre moyen de connaître des matériaux extra-terrestres. Certaines météorites, comme celle qui tomba à Murchison, en Australie, en 1969, sont particulièrement intéressantes. Elles renferment en effet des molécules organiques et des acides aminés, qui sont en quelque sorte les « briques » des cellules vivantes. Elles sont donc précieuses pour les chercheurs qui s'intéressent à la vie extra-terrestre.

La vitesse des météorites, à leur arrivée dans l'atmosphère, peut atteindre 72 km/s, c'est-à-dire 260 000 km/h. Elles s'allument vers 100 km d'altitude sous l'effet de l'échauffement contre les couches d'air, et s'éteignent généralement

Une énorme météorite plonge vers la Terre en brûlant dans l'atmosphère.

au-dessus de 40 km. Les très grosses météorites, qui parviennent au sol, peuvent creuser des cratères : on en a recensé plusieurs centaines à la surface de notre planète. Tous sont relativement âgés (plus de 10 000 ans), mais il n'y en a pas non plus de très anciens car l'érosion, due à l'eau et au vent, finit par les effacer. Sur les astres dépourvus d'atmosphère, comme la Lune ou Mercure, les météorites ont laissé des traces qui sont autant de cicatrices.

La plupart des météorites sont des fragments de comètes désagrégées, qui ont fini par se disperser dans l'espace interplanétaire. Il arrive aussi que la Terre croise à certaines époques de l'année la trajectoire de comètes disparues, tout au long de laquelle sont disséminés des fragments plus ou moins groupés : on parle alors d'essaims de météorites, et l'on peut assister parfois (comme en 1933 et en 1966) à de véritables « pluies » d'étoiles filantes.

OÙ ET QUAND REGARDER POUR VOIR BEAUCOUP D'ÉTOILES FILANTES

Date du maximum	Constellation
23 avril	Lyre
12 août	Persée
21 octobre	Orion
16 novembre	Lion
13 décembre	Gémeaux

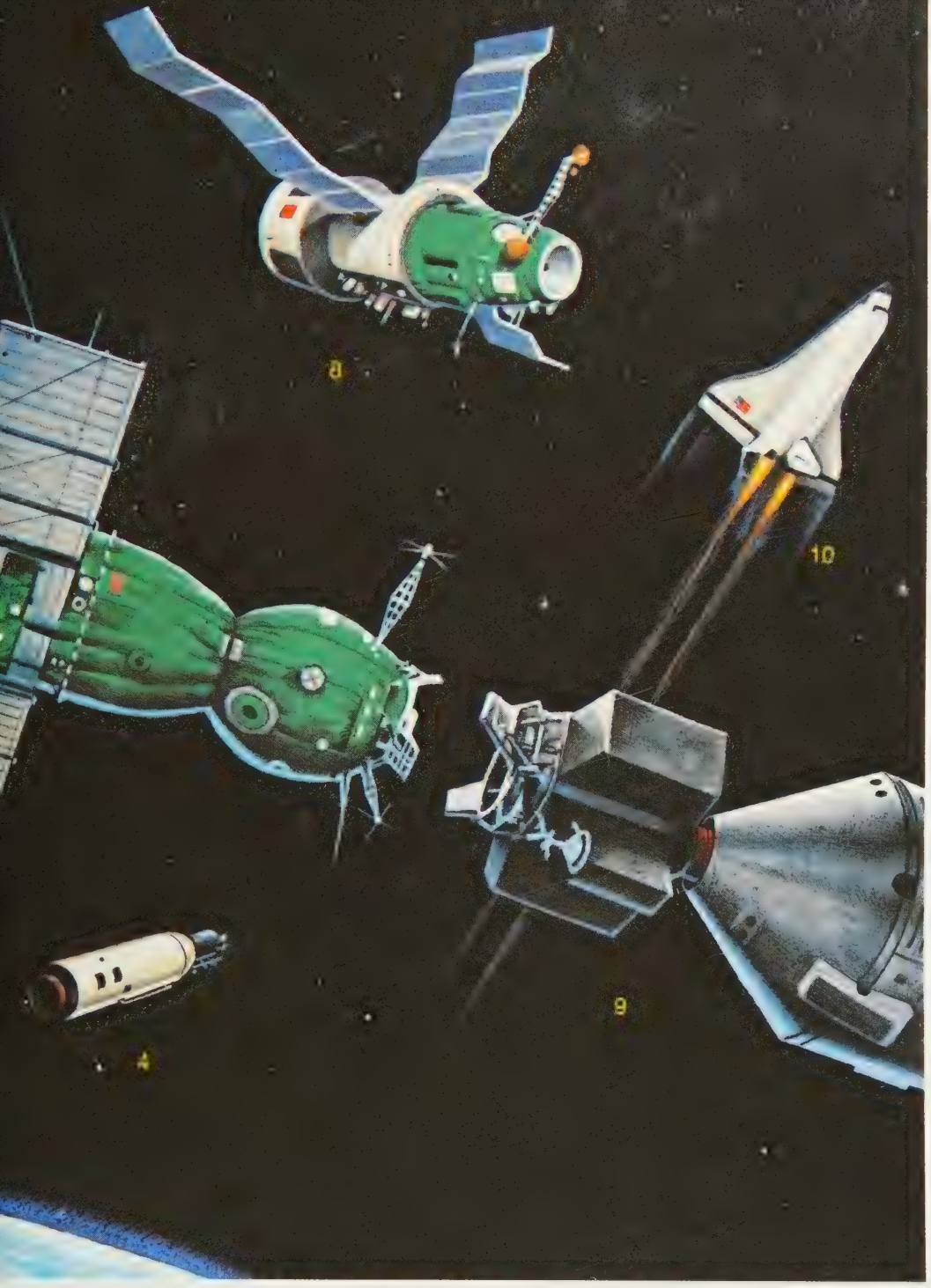
Le Muséum d'histoire naturelle de New York expose notamment la météorite d'Ahnighito, tombée au Groenland. C'est la plus grosse que l'on connaisse ; elle pèse 34 tonnes.

Le cratère Barringer, ou « Meteor crater », dans l'Arizona (U.S.A.) mesure 1 265 m de diamètre et 175 m de profondeur. Le corps céleste qui l'a creusé a dû percuter la Terre à plus de 50 000 km/h.

Des hommes dans l'espace

C'est en 1961 que pour la première fois des hommes sont allés dans l'espace. Les scientifiques, avant cela, étaient quelque peu inquiets, car ils ne savaient pas quels seraient les effets du vol spatial sur l'organisme et le psychisme.

Les astronautes passent en effet de l'immobilité, sur la plate-forme de lancement, à la vitesse de 28 000 km/h en moins de dix minutes. L'accélération de la fusée atteint parfois des valeurs à la limite du supportable pour un individu non entraîné, qui peut alors peser presque dix fois son poids normal. Puis il y a l'apesanteur, une sensation que l'on ne connaît pas sur Terre, et qui peut provoquer des troubles. Le jour et la nuit se répètent toutes les heures et demie et non plus toutes les 24 heures. Il n'y a plus d'air pour intercepter les météorites ou filtrer les dangereux rayonnements du Soleil. Enfin, au retour,



1. Premier homme dans l'espace : Youri Gagarine fit le tour de la Terre à bord du vaisseau spatial Vostok 1 le 12 avril 1961. Il resta 1 h 48 mn dans l'espace.
PREMIÈRE FEMME DANS L'ESPACE : Valentina Terechkova, qui accomplit 48 orbites à bord de Vostok 6 du 16 au 19 juin 1963.

2. Premier Américain dans l'espace : Alan Shepard, le 5 mai 1961. Il accomplit un saut de 15 mn dans le cosmos (sans satellisation) à bord de la cabine Mercury « Liberté 7 ».

Premier Américain en orbite : John Glenn, le 20 février 1962. Il fit trois fois le tour de la Terre à bord de la cabine « Amitié 7 ».

3. Première sortie dans l'espace : Alexis Leonov. Il passa 10 mn hors du vaisseau Voskhod 2 en mars 1965.

4. Première marche dans l'espace américaine : Edward White. Il flotta pendant 20 mn hors de sa cabine Gemini 4.

5. Premier test d'un vaisseau Soyouz : Vladimir Komarov, en avril 1967. Il se tua en regagnant la Terre, après en avoir fait 17 fois le tour à bord de Soyouz 1.

6. Premier homme sur la Lune : Neil Armstrong, le 20 juillet 1969. Il fut le premier à laisser son empreinte sur le sol de l'astre.

7. Plus long vol spatial américain : L'équipage de la troisième mission Skylab : Gerald Carr, William Pogue, Edward Gibson ; ils restèrent 84 jours et 1 heure en état d'apesanteur.

8. Plus long séjour dans l'espace : les Soviétiques V. Lebedev et A. Berezovoï, qui sont restés 211 jours et 9 heures à bord de la station Saliout 7 de mai à novembre 1982.

9. Premier vol spatial international : La mission Apollo-Soyouz de juillet 1975, où un vaisseau spatial américain s'est amarré à un vaisseau soviétique après un rendez-vous en orbite. Les Américains T. Stafford, V. Brand et D. Slayton, ont ainsi rencontré A. Leonov et V. Kubasov.

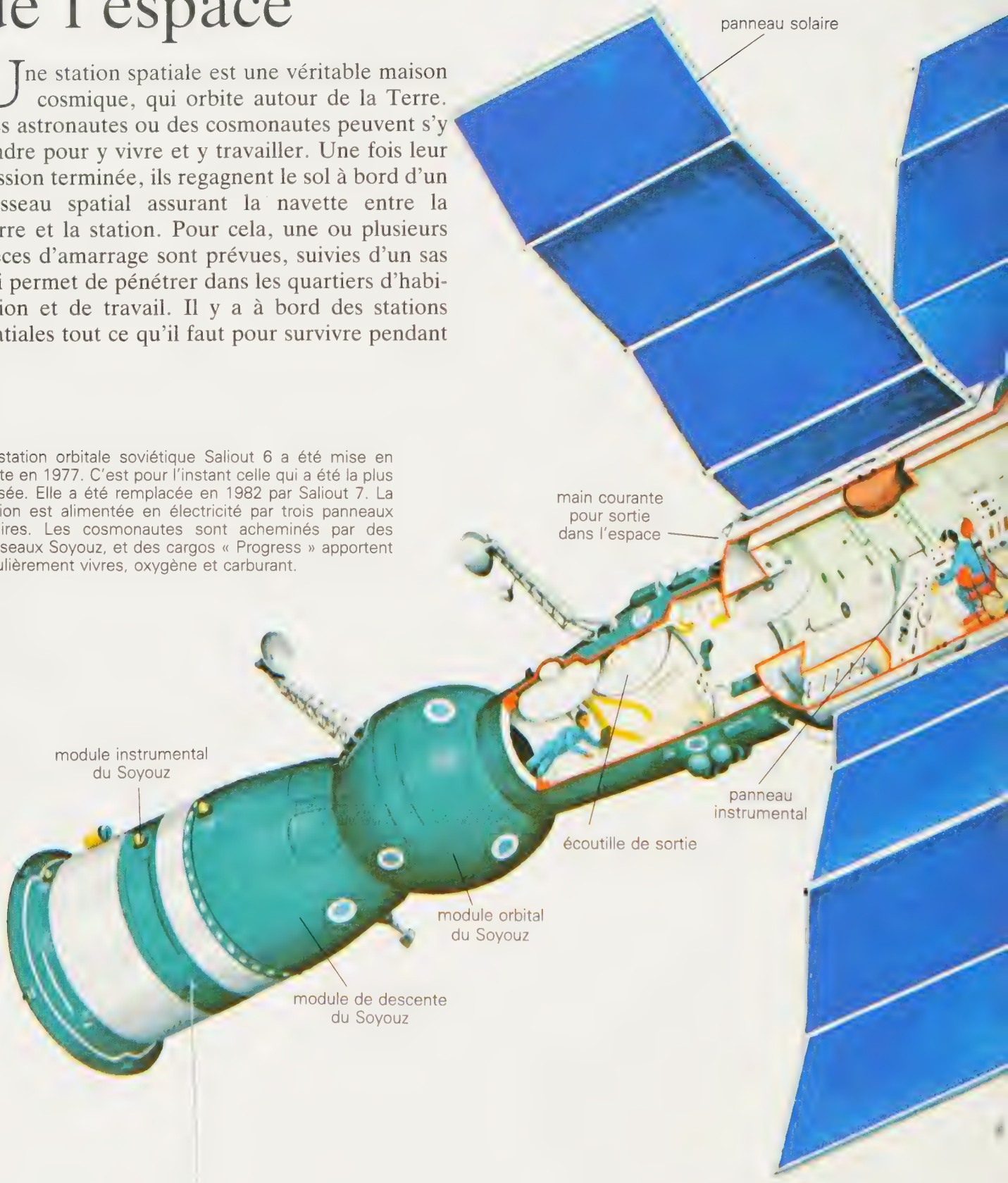
10. Première fusée réutilisable : La navette spatiale américaine Columbia, lancée le 12 avril 1981, vingt ans jour pour jour après le vol du premier homme dans l'espace.

les hommes de l'espace doivent de nouveau encaisser de fortes décélérations et traverser un véritable brasier, car leur cabine spatiale est portée à plus de 1 500° et pourrait brûler comme une météorite !

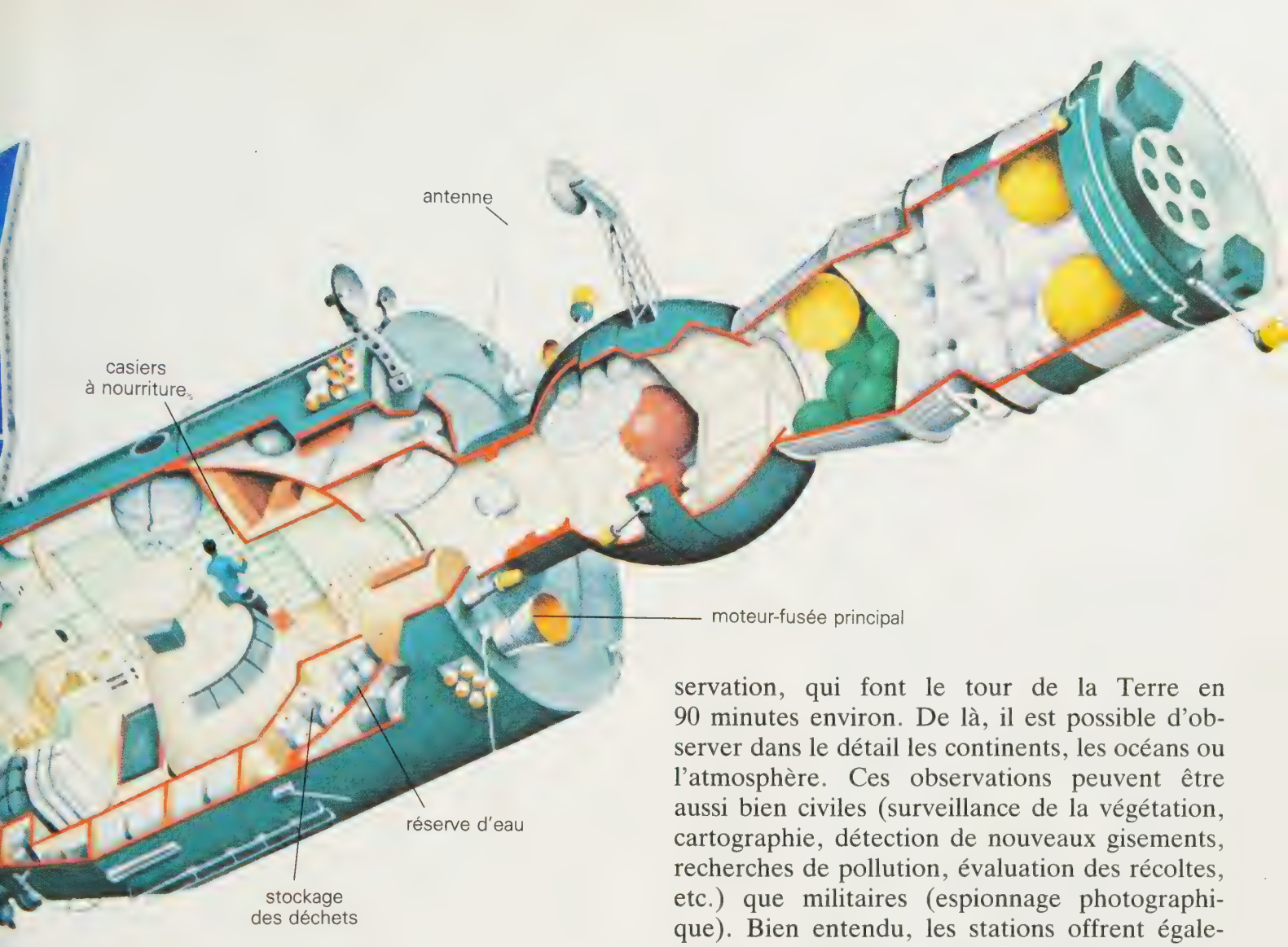
En un quart de siècle de vols spatiaux des progrès considérables ont été accomplis, dans le domaine des scaphandres comme dans celui du confort à bord des vaisseaux spatiaux. Les scaphandres sont légers et souples ; l'on mange presque normalement dans l'espace, et les accélérations au lancement ont été réduites. Des cosmonautes ont vécu pendant 7 mois autour de la Terre, en apesanteur, à bord de la station orbitale soviétique Saliout 7. Et à bord de la navette, l'on part dans l'espace sans difficultés, un peu comme on prend l'avion. Un jour prochain, des touristes partiront à leur tour.

Les stations de l'espace

Une station spatiale est une véritable maison cosmique, qui orbite autour de la Terre. Des astronautes ou des cosmonautes peuvent s'y rendre pour y vivre et y travailler. Une fois leur mission terminée, ils regagnent le sol à bord d'un vaisseau spatial assurant la navette entre la Terre et la station. Pour cela, une ou plusieurs pièces d'amarrage sont prévues, suivies d'un sas qui permet de pénétrer dans les quartiers d'habitation et de travail. Il y a à bord des stations spatiales tout ce qu'il faut pour survivre pendant



La station orbitale soviétique Saliout 6 a été mise en orbite en 1977. C'est pour l'instant celle qui a été la plus utilisée. Elle a été remplacée en 1982 par Saliout 7. La station est alimentée en électricité par trois panneaux solaires. Les cosmonautes sont acheminés par des vaisseaux Soyouz, et des cargos « Progress » apportent régulièrement vivres, oxygène et carburant.



un séjour de longue durée, de plusieurs semaines ou plusieurs mois. L'air qu'on y respire est le même que sur Terre, la température est maintenue aux environs de 18 °C, le gaz carbonique et les odeurs sont filtrés, et il y a tout ce qui est nécessaire pour l'hygiène, ainsi qu'un coin repas. Pour dormir les astronautes se sanglent dans une sorte de hamac.

La première station orbitale, Saliout 1, a été lancée par l'U.R.S.S. en 1971. Depuis lors, de nombreux autres modèles lui ont succédé. Les États-Unis, pour l'instant, n'ont lancé qu'une seule station spatiale, Skylab, en 1973 : elle pesait près de 80 tonnes. Des équipages de trois hommes l'ont occupée à trois reprises en 1973 et 1974, puis Skylab a été livrée à elle-même et est retombée dans l'atmosphère, au-dessus de l'océan Indien, en 1979.

Les stations spatiales ont de nombreux usages. Elles constituent d'abord des plates-formes d'observation, qui font le tour de la Terre en 90 minutes environ. De là, il est possible d'observer dans le détail les continents, les océans ou l'atmosphère. Ces observations peuvent être aussi bien civiles (surveillance de la végétation, cartographie, détection de nouveaux gisements, recherches de pollution, évaluation des récoltes, etc.) que militaires (espionnage photographique). Bien entendu, les stations offrent également des conditions idéales pour observer les astres, hors du filtre que constitue l'atmosphère terrestre : il y avait un télescope solaire de 8 tonnes à bord de Skylab.

A bord des stations orbitales il est également possible de procéder à des expériences médicales (comportement de l'homme en apesanteur) ou biologiques (observation de la croissance de plantes, de la multiplication de petits animaux, ou fabrication de nouveaux vaccins). Enfin, de plus en plus, les stations deviendront de véritables usines dans lesquelles on fabriquera des matériaux nouveaux, par exemple des alliages qu'il n'est pas possible d'obtenir sur Terre parce que la pesanteur ne permet pas de fondre certains métaux entre eux.

Tout cela préfigure les futures usines du cosmos, qui seront assemblées par tronçons à partir d'éléments apportés en orbite par des navettes. A bord de ces usines-laboratoires travailleront en permanence plusieurs dizaines de personnes, régulièrement relayées.

FICHE TECHNIQUE DE LA NAVETTE SPATIALE

Longueur totale : 56,1 m (37,2 m pour l'orbiter seul)

Hauteur : 23,3 m (17,3 m pour l'orbiter)

Envergure (orbiter) : 23,8 m

Poids total au décollage : 2 041 tonnes

Poids à l'atterrissage : 96 tonnes environ

Poussée : 12 889 kilonewtons pour chaque fusée d'appoint. 1 668 kilonewtons pour chaque moteur de la navette. Total : 30 782 kN (soit environ 3 000 tonnes-force).

Soute : 18,3 m de long, 4,6 m de diamètre.

La navette spatiale

La navette spatiale est le premier vaisseau spatial réutilisable. Sa partie principale est une sorte d'avion-fusée à ailes delta qui va dans l'espace et revient sur Terre par ses propres moyens une fois sa mission accomplie.

L'équipage se compose d'un commandant de bord, d'un pilote, d'un ou plusieurs spécialistes de mission (astronautes d'origine) et de spécialistes de charge utile (scientifiques de formation). Le commandant est responsable de l'ensemble de la mission et de la sécurité ; le pilote assure les manœuvres ; le spécialiste de mission est responsable des charges placées dans la soute ; le spécialiste de charge utile effectue un certain nombre d'expériences programmées. La navette peut emporter jusqu'à 7 personnes, et même 10 dans le cas d'une mission de sauvetage.

La sélection pour devenir astronaute est encore très dure. Il faut d'abord être en excellente santé, satisfaire à des critères physiques particuliers (de taille, de poids, de résistance aux accélérations) et posséder une formation d'ingénieur ou un diplôme universitaire. Les astronautes-pilotes doivent en outre avoir à leur actif plusieurs milliers d'heures de vol sur avions à réaction. Une fois la sélection effectuée commence l'entraînement, long et difficile. Des simulateurs permettent de recréer l'ambiance spatiale et de s'entraîner à des tâches précises.

Les équipages pour une mission sont formés très longtemps à l'avance, afin qu'ils aient le temps de se préparer à cette mission et d'apprendre à travailler ensemble. Quelques semaines avant le lancement, l'on procède à une répétition générale, afin que rien ne soit laissé au hasard.

Au décollage, la navette est propulsée non seulement par ses trois moteurs-fusées propres, mais aussi par deux puissantes fusées latérales qui sont larguées après 2 minutes. Les moteurs de la navette sont alimentés en oxygène et en hydrogène liquide par un grand réservoir ventral, qui se détache juste avant la mise en orbite et brûle dans l'atmosphère ; les deux fusées latérales, elles, redescendent en parachute. Après 8 minutes la navette poursuit seule sa route grâce à deux fusées plus petites et se place en orbite.

La navette peut rester dans l'espace, normalement, pendant une semaine, mais il est prévu que certaines missions, au besoin, puissent se prolonger jusqu'à un mois. Bien qu'elle ressemble à un avion par sa forme générale, la navette est cependant bien différente d'un avion. D'abord par sa complexité, qui dépasse de loin tout ce qui existe dans l'aéronautique. Ensuite parce qu'elle n'a aucune autonomie dans l'atmosphère. Les moteurs-fusées situés à l'arrière servent uniquement au décollage et sont alimentés par un réservoir extérieur qui est largué avant la mise en orbite. Lorsqu'elle revient sur Terre, la navette n'est qu'un planeur, et qui plus est un très mauvais planeur. Elle ne peut donc pas se permettre de manquer la piste : elle est condamnée à réussir du premier coup...

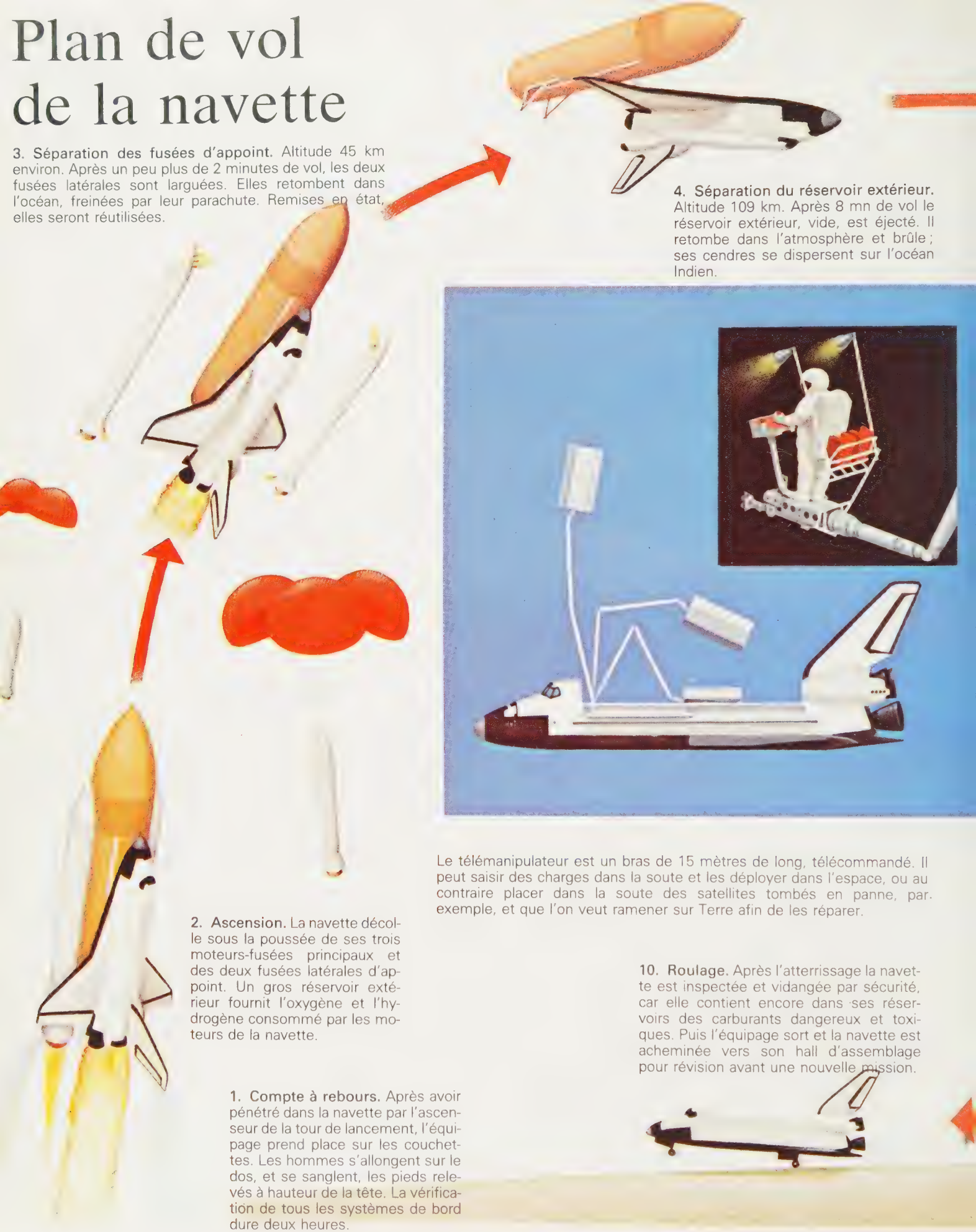
L'équipage se tient dans la cabine située à l'avant, constituée d'un pont supérieur où se trouve le poste de pilotage, et d'un pont inférieur qui correspond aux quartiers d'habitation pendant le vol ; c'est également par le pont inférieur que l'on pénètre dans la navette avant le décollage et qu'on en sort après l'atterrissage. De là, un sas permet également d'accéder dans la soute. Cette soute peut recevoir jusqu'à 30 tonnes de charge utile : par exemple des satellites à larguer en orbite.

La navette spatiale peut facilement se déplacer et se manœuvrer dans l'espace, grâce à 49 moteurs-fusées et à 5 ordinateurs. Elle possède par ailleurs 23 antennes qui lui permettent de rester en liaison radio avec des stations de poursuite au sol, ou avec des satellites-relais.

Au moment du retour, le décrochement de l'orbite intervient à plusieurs milliers de kilomètres du lieu d'arrivée. Lors de la traversée de l'atmosphère certaines parties du revêtement sont portées à plus de 1 400 °C. Dans la basse atmosphère la navette se manœuvre uniquement en vol plané, et se pose sur une piste d'atterrissage, comme un avion, à 350 km/h.

Plan de vol de la navette

3. Séparation des fusées d'appoint. Altitude 45 km environ. Après un peu plus de 2 minutes de vol, les deux fusées latérales sont larguées. Elles retombent dans l'océan, freinées par leur parachute. Remises en état, elles seront réutilisées.



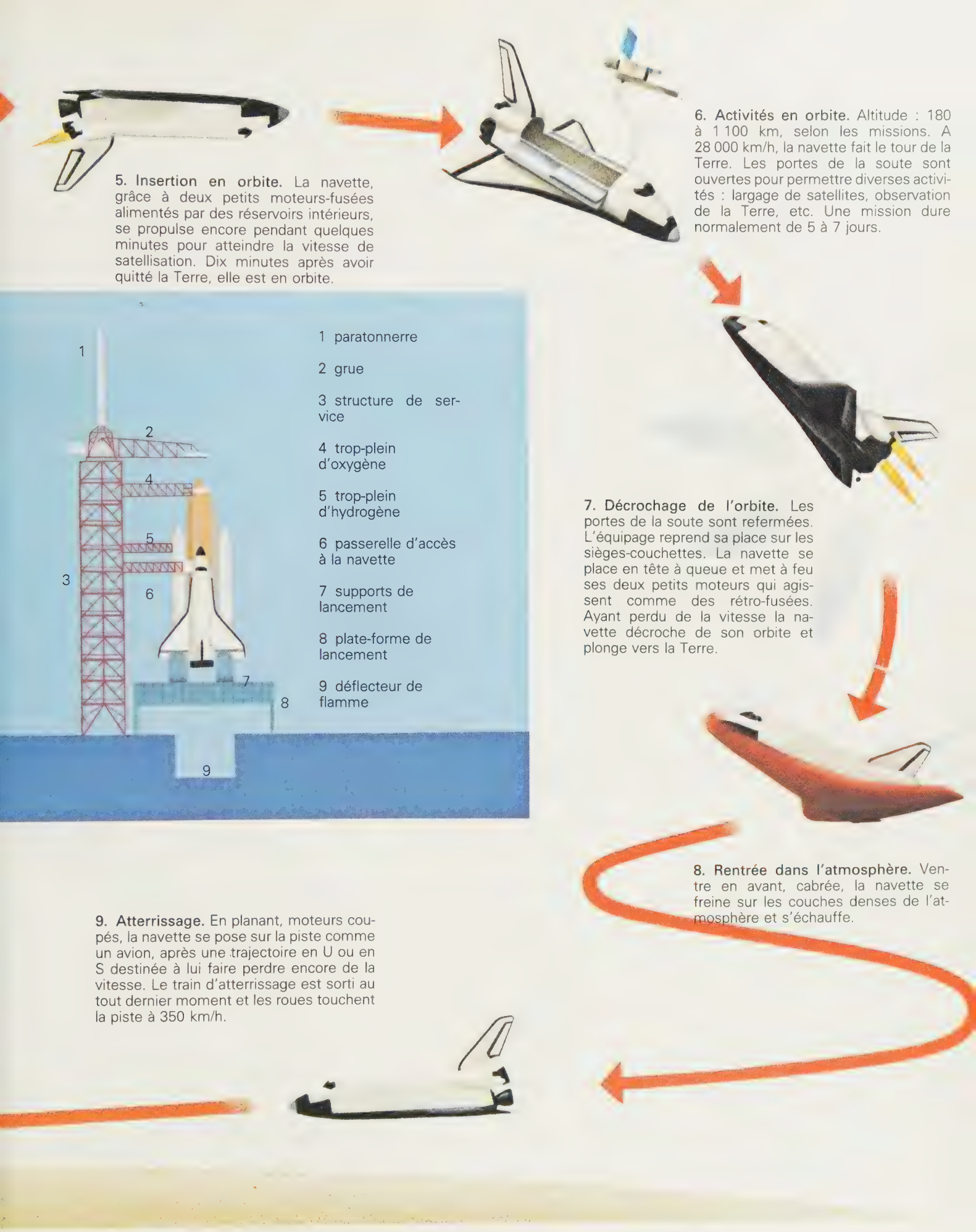
4. Séparation du réservoir extérieur. Altitude 109 km. Après 8 mn de vol le réservoir extérieur, vide, est éjecté. Il retombe dans l'atmosphère et brûle ; ses cendres se dispersent sur l'océan Indien.

Le télémanipulateur est un bras de 15 mètres de long, télécommandé. Il peut saisir des charges dans la soute et les déployer dans l'espace, ou au contraire placer dans la soute des satellites tombés en panne, par exemple, et que l'on veut ramener sur Terre afin de les réparer.

2. Ascension. La navette décolle sous la poussée de ses trois moteurs-fusées principaux et des deux fusées latérales d'appoint. Un gros réservoir extérieur fournit l'oxygène et l'hydrogène consommé par les moteurs de la navette.

10. Roulage. Après l'atterrissage la navette est inspectée et vidangée par sécurité, car elle contient encore dans ses réservoirs des carburants dangereux et toxiques. Puis l'équipage sort et la navette est acheminée vers son hall d'assemblage pour révision avant une nouvelle mission.

1. Compte à rebours. Après avoir pénétré dans la navette par l'ascenseur de la tour de lancement, l'équipage prend place sur les couchettes. Les hommes s'allongent sur le dos, et se sanglent, les pieds relevés à hauteur de la tête. La vérification de tous les systèmes de bord dure deux heures.



5. Insertion en orbite. La navette, grâce à deux petits moteurs-fusées alimentés par des réservoirs intérieurs, se propulse encore pendant quelques minutes pour atteindre la vitesse de satellisation. Dix minutes après avoir quitté la Terre, elle est en orbite.

1 paratonnerre

2 grue

3 structure de service

4 trop-plein d'oxygène

5 trop-plein d'hydrogène

6 passerelle d'accès à la navette

7 supports de lancement

8 plate-forme de lancement

9 déflecteur de flamme

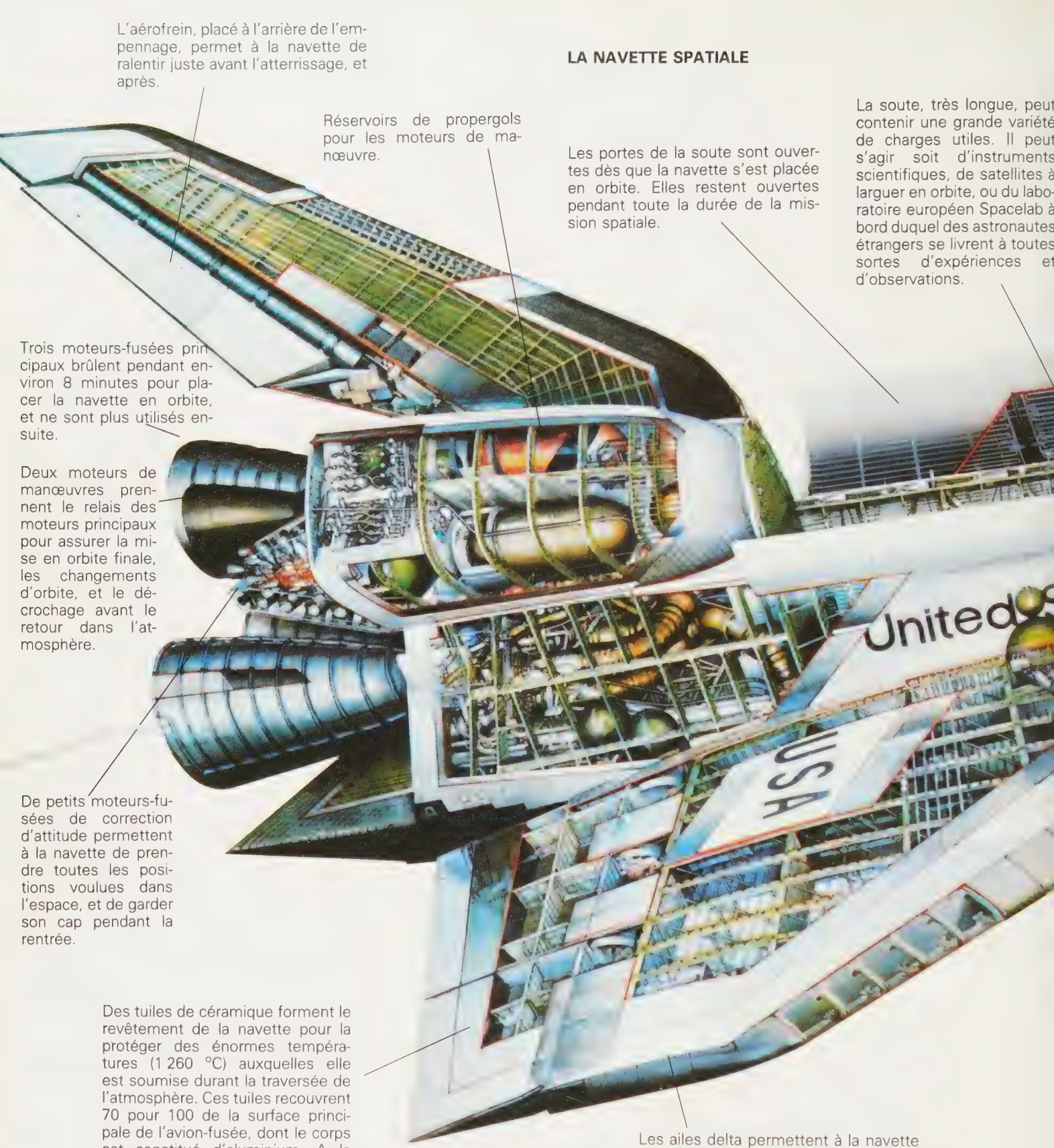
6. Activités en orbite. Altitude : 180 à 1 100 km, selon les missions. A 28 000 km/h, la navette fait le tour de la Terre. Les portes de la soute sont ouvertes pour permettre diverses activités : largage de satellites, observation de la Terre, etc. Une mission dure normalement de 5 à 7 jours.

7. Décrochage de l'orbite. Les portes de la soute sont refermées. L'équipage reprend sa place sur les sièges-couchettes. La navette se place en tête à queue et met à feu ses deux petits moteurs qui agissent comme des rétro-fusées. Ayant perdu de la vitesse la navette décroche de son orbite et plonge vers la Terre.

8. Rentrée dans l'atmosphère. Ventre en avant, cabrée, la navette se freine sur les couches denses de l'atmosphère et s'échauffe.

9. Atterrissage. En planant, moteurs coupés, la navette se pose sur la piste comme un avion, après une trajectoire en U ou en S destinée à lui faire perdre encore de la vitesse. Le train d'atterrissage est sorti au tout dernier moment et les roues touchent la piste à 350 km/h.

LA NAVETTE SPATIALE



L'aérofrein, placé à l'arrière de l'empennage, permet à la navette de ralentir juste avant l'atterrissage, et après.

Réservoirs de propergols pour les moteurs de manœuvre.

Les portes de la soute sont ouvertes dès que la navette s'est placée en orbite. Elles restent ouvertes pendant toute la durée de la mission spatiale.

La soute, très longue, peut contenir une grande variété de charges utiles. Il peut s'agir soit d'instruments scientifiques, de satellites à larguer en orbite, ou du laboratoire européen Spacelab à bord duquel des astronautes étrangers se livrent à toutes sortes d'expériences et d'observations.

Trois moteurs-fusées principaux brûlent pendant environ 8 minutes pour placer la navette en orbite, et ne sont plus utilisés ensuite.

Deux moteurs de manœuvres prennent le relais des moteurs principaux pour assurer la mise en orbite finale, les changements d'orbite, et le décrochage avant le retour dans l'atmosphère.

De petits moteurs-fusées de correction d'attitude permettent à la navette de prendre toutes les positions voulues dans l'espace, et de garder son cap pendant la rentrée.

Des tuiles de céramique forment le revêtement de la navette pour la protéger des énormes températures (1 260 °C) auxquelles elle est soumise durant la traversée de l'atmosphère. Ces tuiles recouvrent 70 pour 100 de la surface principale de l'avion-fusée, dont le corps est constitué d'aluminium. A la différence des résines qui recouvraient les boucliers des anciennes cabines spatiales, ces tuiles ne brûlent pas durant la rentrée dans l'atmosphère, et peuvent donc être réutilisées.

Les ailes delta permettent à la navette de se comporter comme un avion dès qu'elle retourne dans l'atmosphère. C'est le bord avant des ailes, et le nez, qui sont soumis aux plus fortes températures lors du retour. Ils sont recouverts d'une fibre de carbone qui résiste à 1 650 °C.

Cette charge utile, le L.D.E.F. (sigle signifiant « dispositif pour exposition de longue durée ») est un cylindre de 9 mètres de long dans lequel peuvent être placés différents instruments et matériaux pour tester la résistance aux conditions spatiales. Le L.D.E.F. est destiné à être placé en orbite lors d'une mission de la navette, puis à être récupéré lors d'une mission ultérieure.

Le bras télémanipulateur, qui peut saisir des charges utiles dans la soute, ou en placer venant de l'extérieur, est commandé depuis le tableau de contrôle placé à l'arrière du cockpit.

La cabine pressurisée comprend le poste de pilotage et les quartiers d'habitation situés en dessous. L'air est identique à celui que l'on respire sur Terre et permet aux astronautes d'évoluer sans scaphandre.

Le pont supérieur constitue le centre nerveux de la navette spatiale. C'est de là que l'équipage assure le pilotage, les manœuvres, les travaux dans la soute. Dans ce pont sont disposés quatre sièges-couchettes, et une trappe permettant d'accéder au pont inférieur.

Fusées d'altitude

Train d'atterrissage avant

Le pont inférieur de la cabine correspond aux quartiers d'habitation de l'équipage : on y trouve une cuisine, un coin toilette, des lits et quatre sièges couchettes supplémentaires. Un sas placé à l'arrière permet à un astronaute revêtu de sa combinaison de passer dans la soute.

Trois piles à combustible fournissent l'énergie électrique indispensable au bon fonctionnement de tous les équipements du bord, de l'éclairage aux ordinateurs ou au bras télécommandé. Ces piles fournissent également de l'eau potable.

Le train d'atterrissage escamotable est sorti très peu de temps (15 secondes) avant que la navette ne touche la piste, pour éviter toute turbulence.

Des astronautes en scaphandre peuvent travailler à l'extérieur pour procéder à des réparations ou à des inspections dans la soute, ou encore prendre des photos. Un sac à dos leur fournit l'oxygène et la climatisation pendant 6 heures. Un cordon les rattache à la navette.

Les astronautes peuvent également porter un ensemble spécial, véritable fauteuil volant muni de petites fusées, leur permettant de se déplacer dans le vide. Cet ensemble a été baptisé M.M.U. (sigle signifiant « unité de manœuvre humaine »). La propulsion s'effectue par des jets d'azote. Un tel dispositif sera très utile aux futurs ouvriers du cosmos. Par mesure de sécurité l'astronaute peut rester cependant attaché à la navette.

Observer les étoiles

Quand vous regardez le ciel, par une bell nuit, vous pouvez compter environ 2 00 étoiles. Avec une petite lunette ou un télescope vous en découvrez des centaines de fois plus mais le champ de vision se trouve alors limité un petit cercle sur le ciel.

Les étoiles, pour que l'on puisse mieux le repérer, ont été regroupées en constellations Celles-ci dessinent des figures plus ou moin géométriques lorsque l'on relie entre elles, pa des lignes imaginaires, les plus brillantes étoiles Les premières constellations furent établies dan l'Antiquité ; c'est pourquoi elles sont baptisée du nom de héros ou d'animaux mythologiques Orion le chasseur, Hercule, Persée, Pégase l cheval ailé, le Scorpion, le Taureau, le Bélier etc. Sans oublier, bien sûr, la Grande et la Petit Ourse.

Une première tranche de 48 constellations fu délimitée par le grand astronome égyptien Pto lémée, qui vécut de 120 à 180 de notre ère, Alexandrie. Des constellations supplémentaires couvrant l'hémisphère austral, furent établie ensuite, notamment au XVIIe siècle. Finalemen en 1927, l'union astronomique internationale établi une liste de 88 constellations, parfaite ment délimitées, de même que l'on divise u pays en provinces ou en départements.

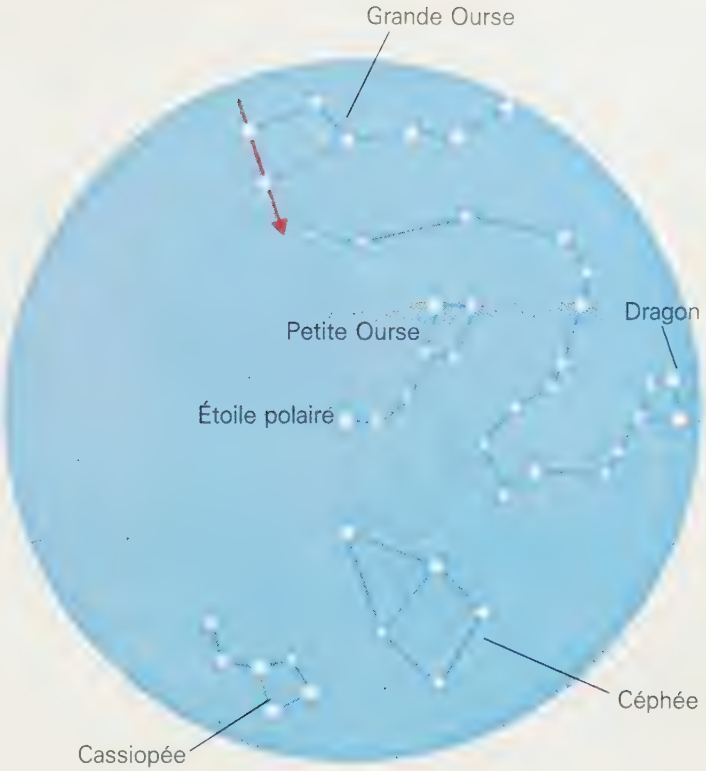
Il est facile de localiser une étoile quand o connaît la constellation à laquelle elle appa tient : par exemple, dire que Bételgeuse e dans Orion revient à dire que Bordeaux est e Gironde.

Les constellations les plus connues, que l'o peut découvrir depuis l'hémisphère Nord, son présentées dans les cartes des pages 80 à 83. Le noms des constellations sont portés en lettre majuscules, ceux des étoiles les plus brillantes e minuscules.

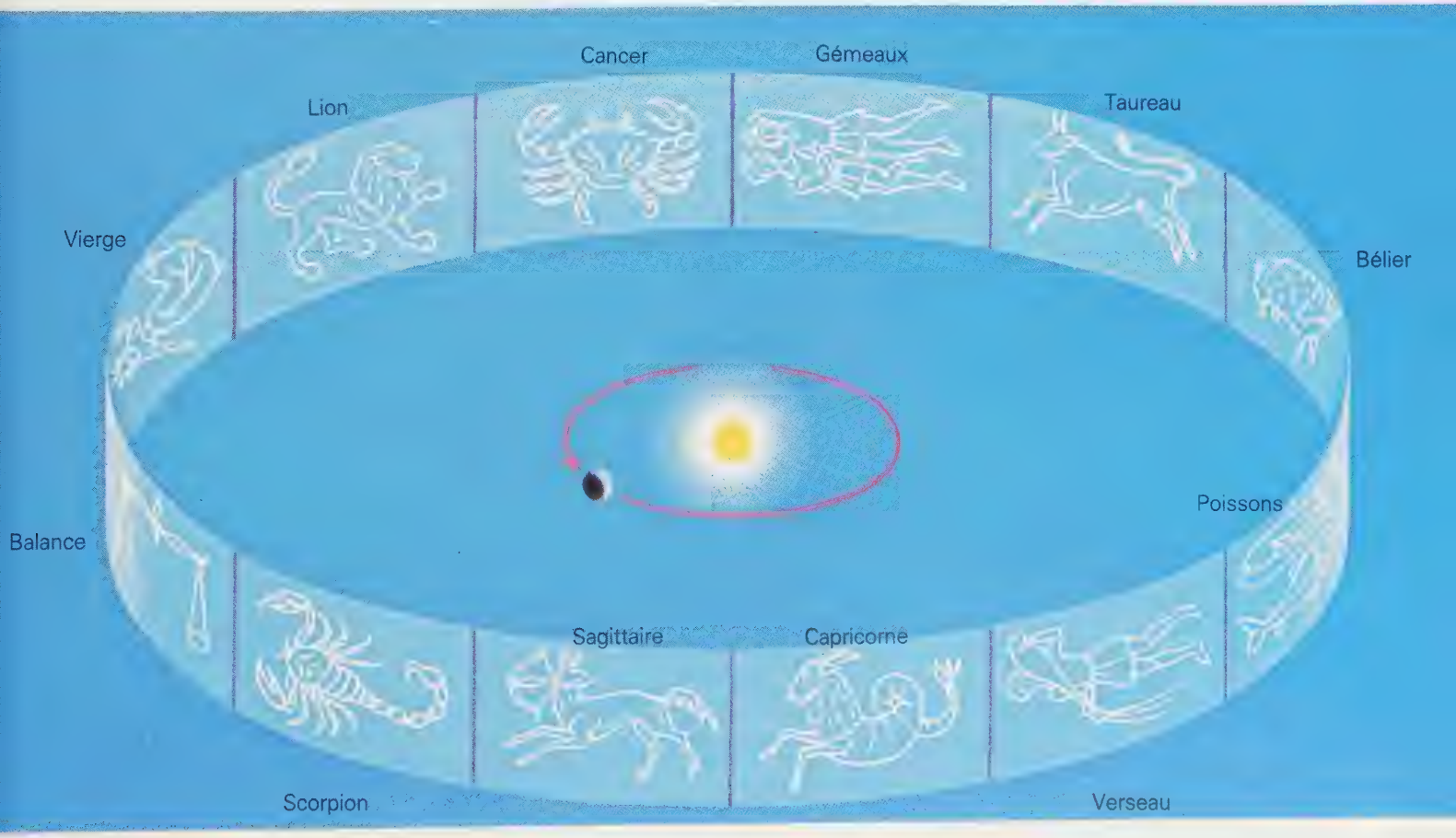
Il est également possible d'observer d'autre astres : le Soleil, la Lune, les planètes, qui s

déplacent tout au long de l'année parmi 12 constellations particulières que l'on appelle les constellations zodiacales. Les Anciens pensaient que ces astres avaient une influence sur notre destin, suivant leurs positions. Ils ont donc développé une pseudo-science toujours en vogue : l'astrologie. D'où l'importance des constellations zodiacales, qui donnent les célèbres « signes » astrologiques : Poissons, Verseau, Capricorne, etc.

Certaines constellations restent visibles toute la nuit, quelle que soit l'époque de l'année : ce sont les constellations circumpolaires. Leurs étoiles ne se couchent jamais sous l'horizon de l'observateur, car elles ne sont pas très éloignées de l'Étoile polaire, autour de laquelle elles tournent. Pour la France ces constellations circumpolaires sont la Petite Ourse, la Grande Ourse, Cassiopée, Céphée et le Dragon.



Ci-dessus : les étoiles circumpolaires visibles depuis les latitudes moyennes de l'hémisphère nord se trouvent réparties autour de l'Étoile polaire. Au fur et à mesure que la Terre tourne durant la nuit, l'on peut voir ces étoiles décrire un mouvement circulaire en sens inverse de celui des aiguilles d'une montre, autour de l'Étoile polaire. Ci-dessous : les constellations du zodiaque.

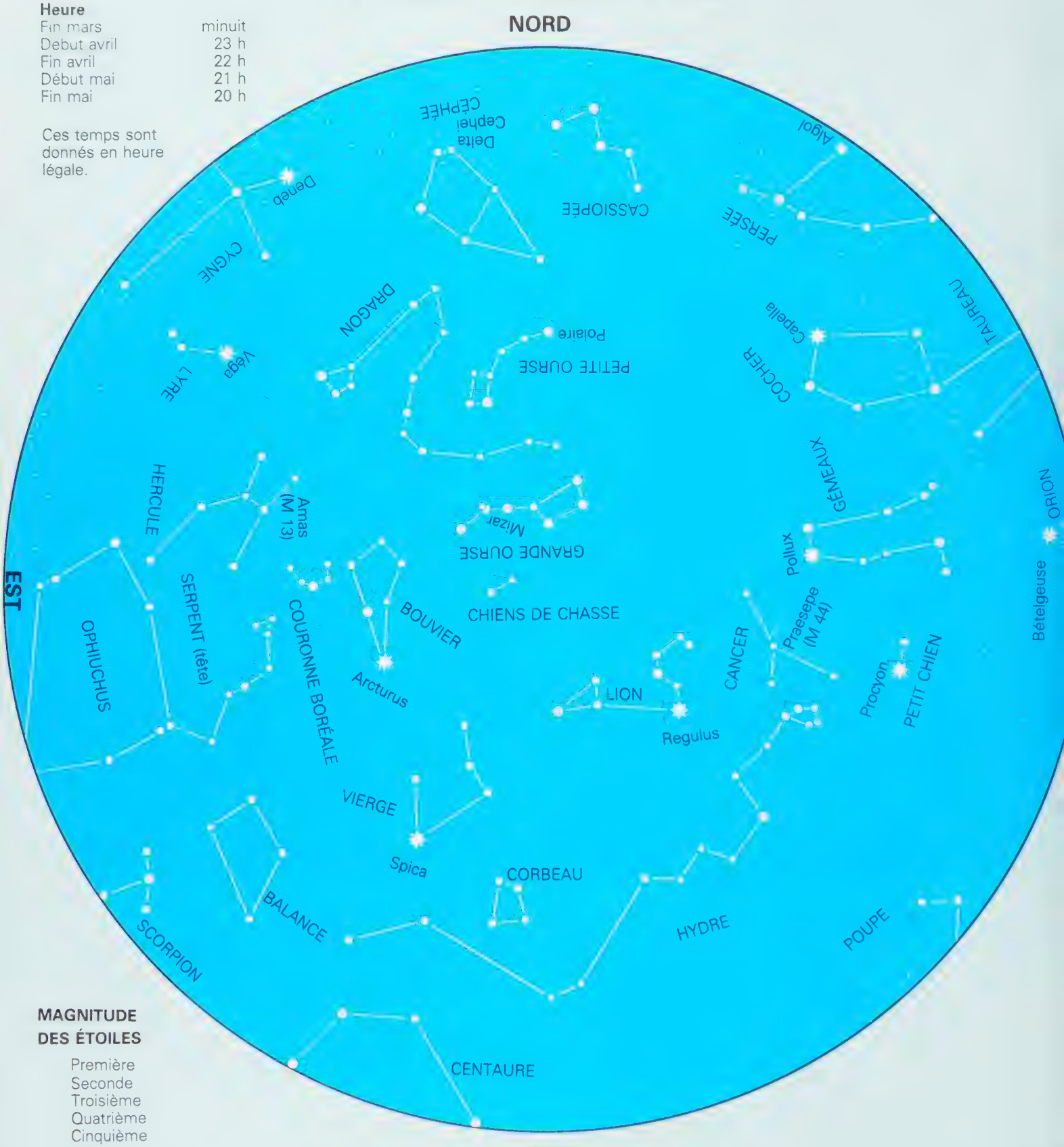


PRINTEMPS

Heure

Fin mars	minuit
Début avril	23 h
Fin avril	22 h
Début mai	21 h
Fin mai	20 h

Ces temps sont donnés en heure légale.



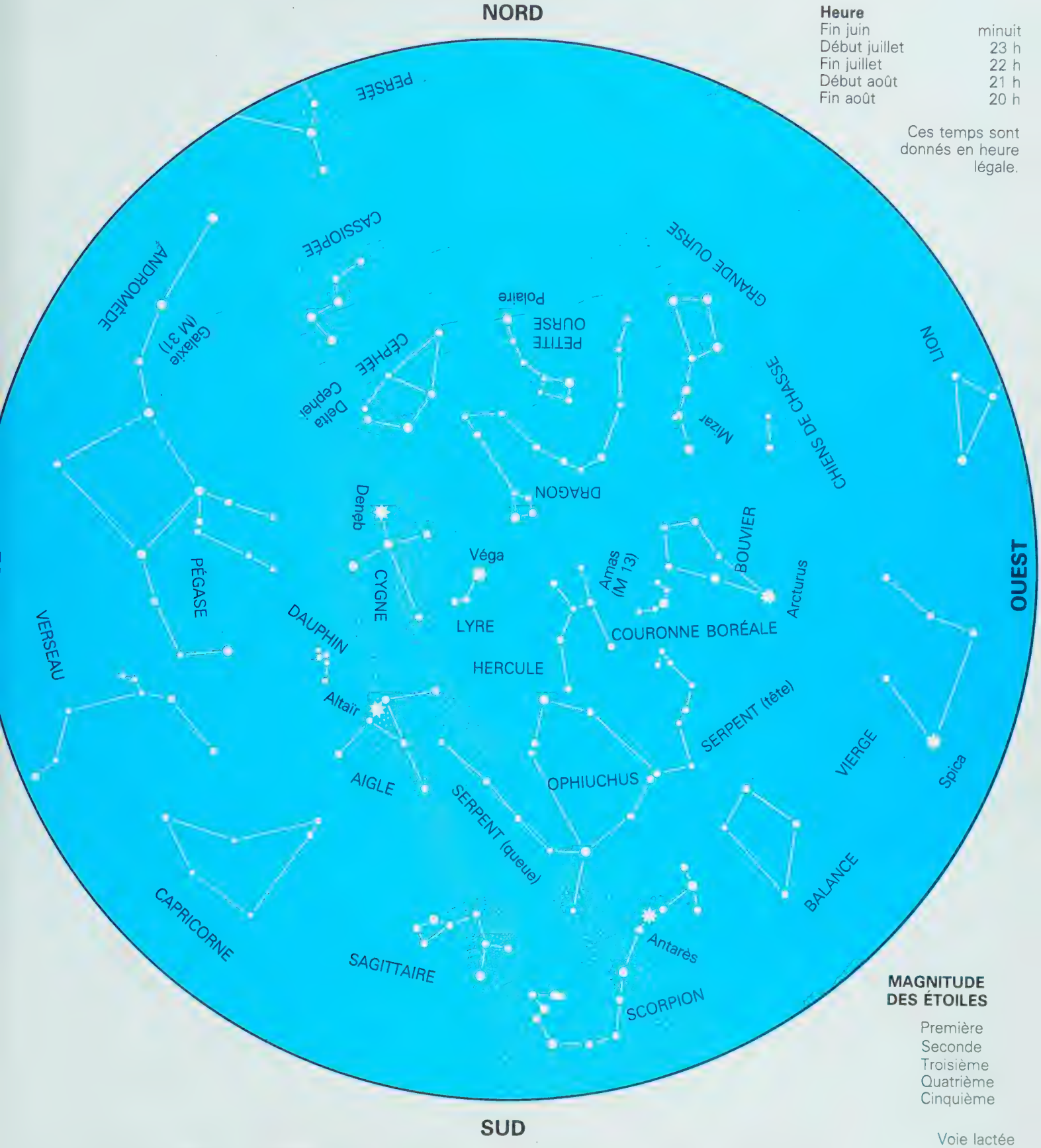
MAGNITUDE DES ÉTOILES

Première
Seconde
Troisième
Quatrième
Cinquième

Voie lactée

Comment utiliser cette carte céleste : Tournez la carte de manière à placer contre vous la direction dans laquelle vous souhaitez observer ; les points cardinaux sont indiqués sur le pourtour. Identifiez les étoiles que vous voyez depuis l'horizon, jusqu'au zénith, avec celles qui sont portées sur la carte, en vous attachant tout d'abord aux plus brillantes d'entre elles. Les étoiles de cette carte sont observables depuis des latitudes moyennes de l'hémisphère nord.

ÉTÉ



Heure

Fin juin	minuit
Début juillet	23 h
Fin juillet	22 h
Début août	21 h
Fin août	20 h

Ces temps sont donnés en heure légale.

MAGNITUDE DES ÉTOILES

Première
Seconde
Troisième
Quatrième
Cinquième

Voie lactée

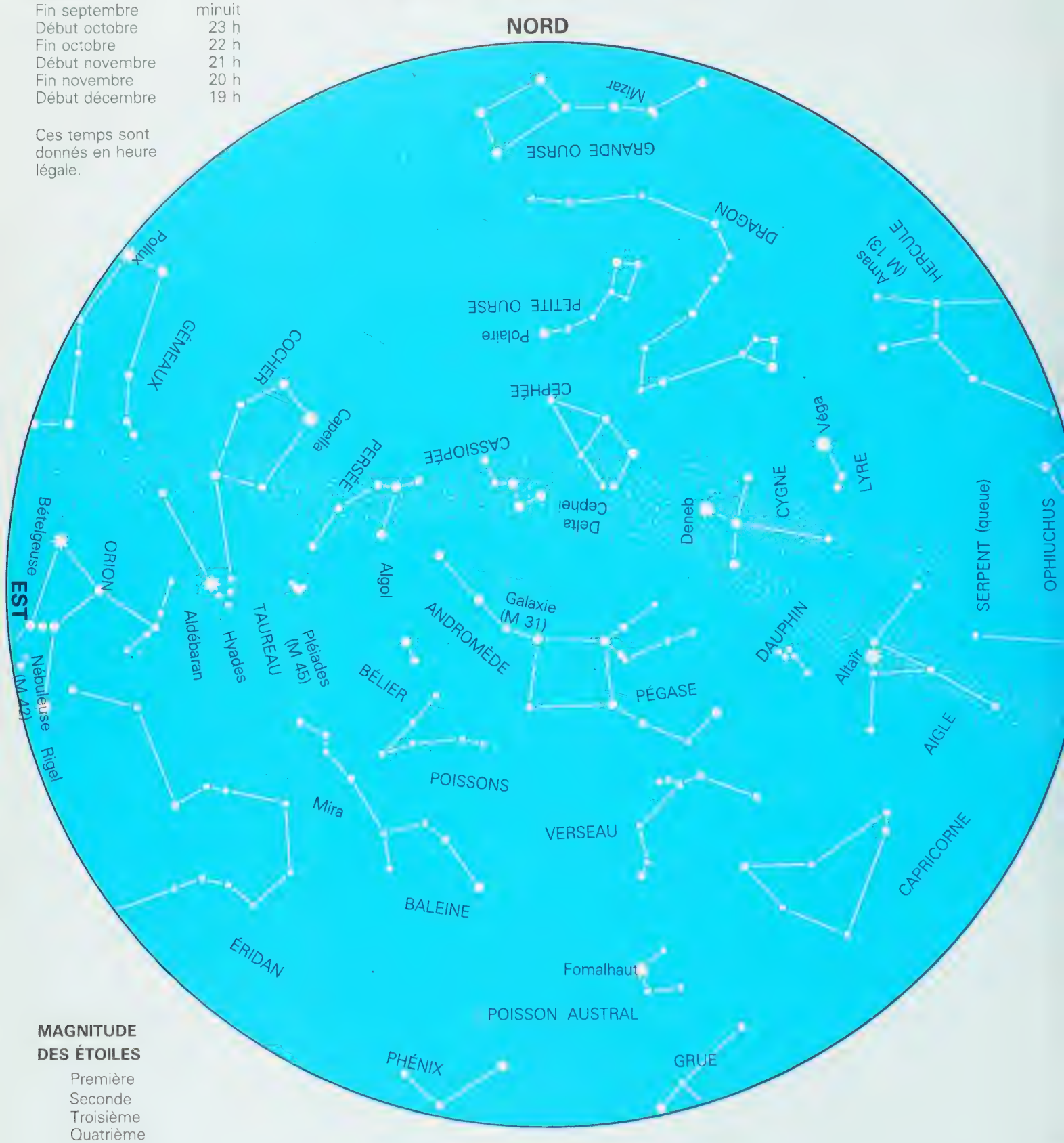
Comment utiliser cette carte céleste : Tournez la carte de manière à placer contre vous la direction dans laquelle vous souhaitez observer ; les points cardinaux sont indiqués sur le pourtour. Identifiez les étoiles que vous voyez depuis l'horizon, jusqu'au zénith, avec celles qui sont portées sur la carte, en vous attachant tout d'abord aux plus brillantes d'entre elles. Les étoiles de cette carte sont observables depuis des latitudes moyennes de l'hémisphère nord.

AUTOMNE

HEURE

Fin septembre	minuit
Début octobre	23 h
Fin octobre	22 h
Début novembre	21 h
Fin novembre	20 h
Début décembre	19 h

Ces temps sont donnés en heure légale.



MAGNITUDE DES ÉTOILES

Première
Seconde
Troisième
Quatrième
Cinquième

Voie lactée

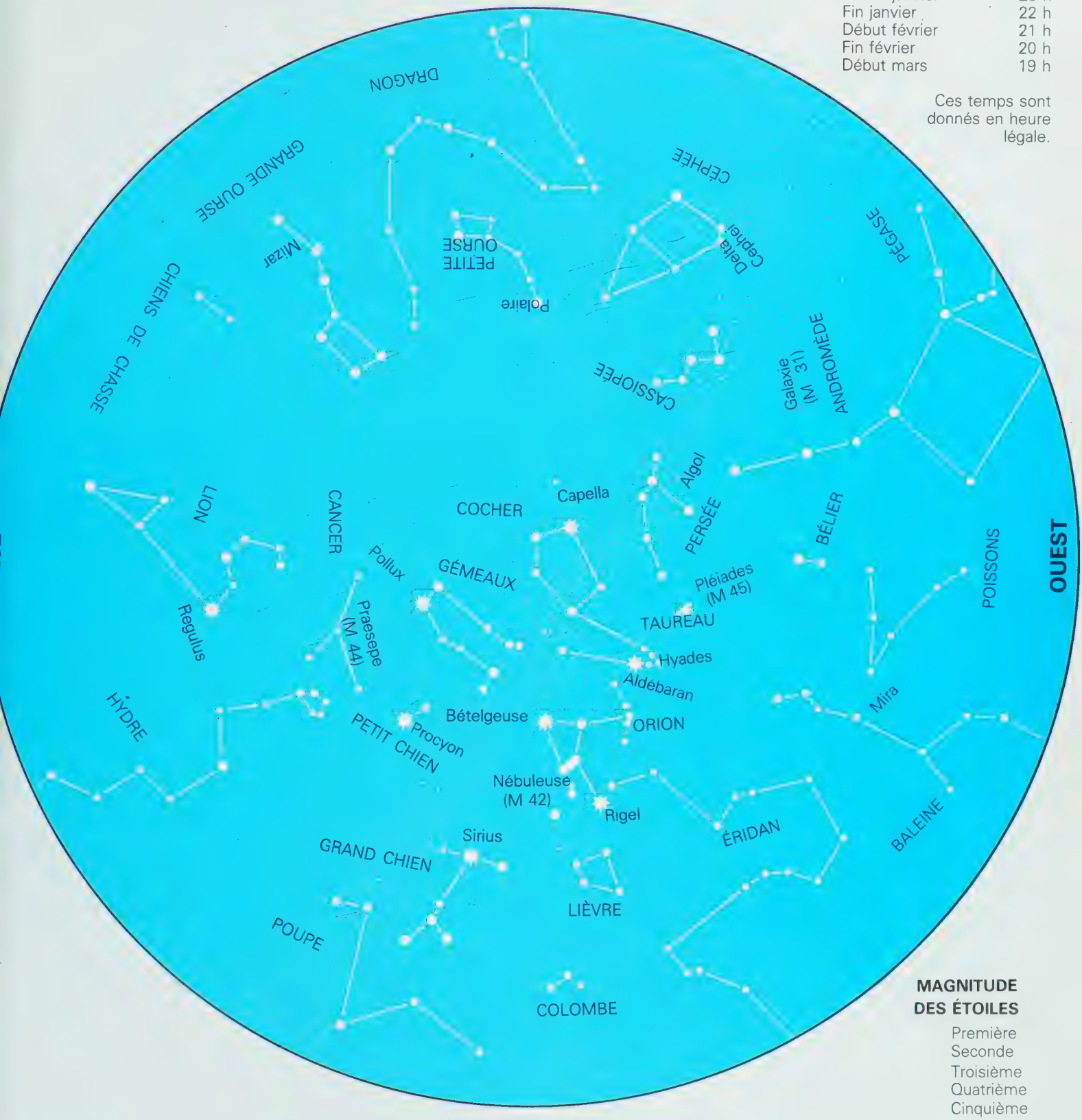
Comment utiliser cette carte céleste : Tournez la carte de manière à placer contre vous la direction dans laquelle vous souhaitez observer ; les points cardinaux sont indiqués sur le pourtour. Identifiez les étoiles que vous voyez depuis l'horizon, jusqu'au zénith, avec celles qui sont portées sur la carte, en vous attachant tout d'abord aux plus brillantes d'entre elles. Les étoiles de cette carte sont observables depuis des latitudes moyennes de l'hémisphère nord.

HIVER

HEURE

Fin décembre	minuit
Début janvier	23 h
Fin janvier	22 h
Début février	21 h
Fin février	20 h
Début mars	19 h

Ces temps sont donnés en heure légale.



MAGNITUDE DES ÉTOILES

Première
Seconde
Troisième
Quatrième
Cinquième

Voie lactée

Comment utiliser cette carte céleste : Tournez la carte de manière à placer contre vous la direction dans laquelle vous souhaitez observer ; les points cardinaux sont indiqués sur le pourtour. Identifiez les étoiles que vous voyez depuis l'horizon, jusqu'au zénith, avec celles qui sont portées sur la carte, en vous attachant tout d'abord aux plus brillantes d'entre elles. Les étoiles de cette carte sont observables depuis des latitudes moyennes de l'hémisphère nord.

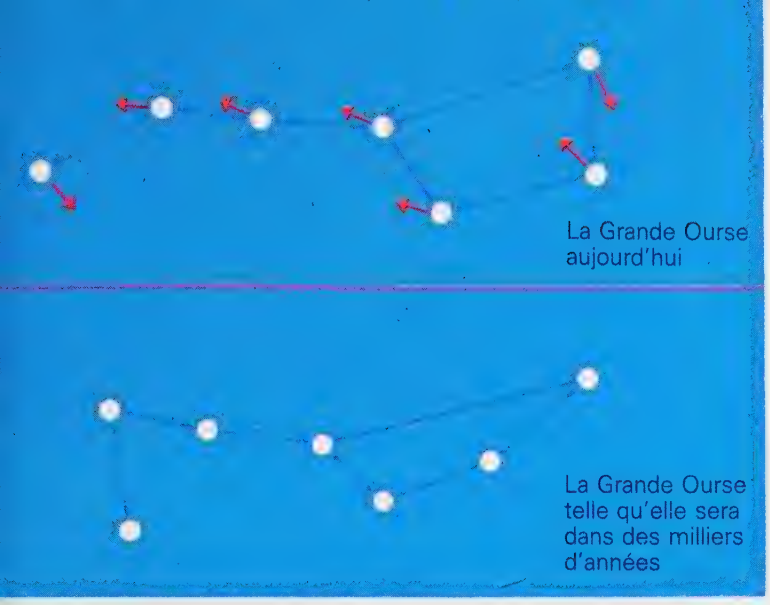
La grande famille des étoiles

Toutes les étoiles d'une constellation nous semblent situées à la même distance. En réalité, elles se trouvent à des distances de la Terre extrêmement variables. Dans le diagramme ci-dessus, chaque point noir représente une étoile, des lignes bleues étant espacées de 25 en 25 années-lumière. La constellation, qui n'est qu'un effet de perspective, est reconstituée au fond, en blanc.

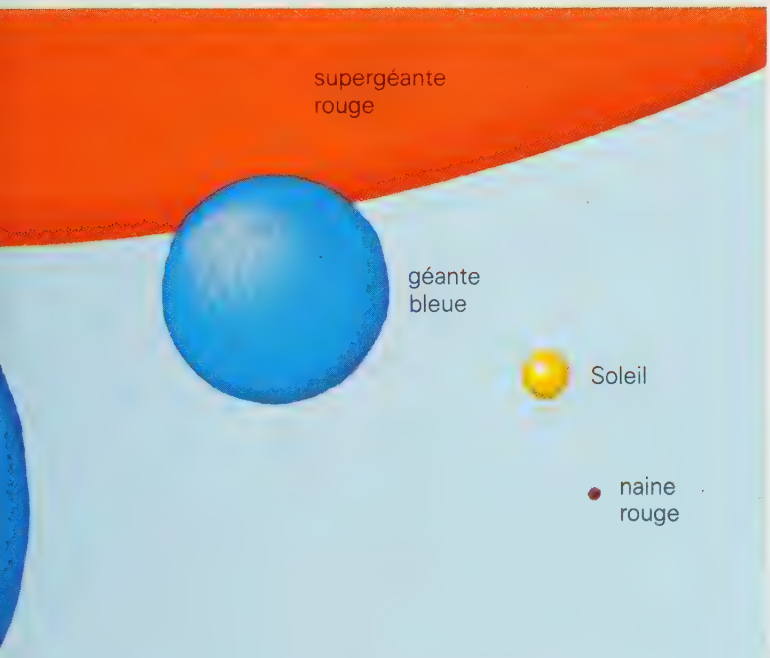
Les étoiles que vous voyez briller dans le ciel, la nuit, sont de gigantesques globes de gaz chauds, dont la surface est portée à plusieurs milliers de degrés. Certaines sont bien plus grosses que notre Soleil, et si elles nous apparaissent comme de simples points lumineux, c'est parce qu'elles sont extrêmement éloignées : les plus proches sont à plusieurs dizaines de milliers de milliards de kilomètres.

L'étoile la plus proche de nous, Proxima Centauri, est à un peu plus de quatre années-lumière de la Terre. Cela signifie que la lumière qui nous en arrive au moment de l'observation est partie 4 ans auparavant, ou encore que si on disposait d'un vaisseau spatial capable d'atteindre la vitesse de la lumière (20 000 fois supérieure à celle des plus rapides fusées actuelles), il faudrait 4 années de voyage. Le Soleil, notre propre étoile, n'est quant à lui qu'à 8 minutes de lumière, mais il faudrait 500 ans pour atteindre l'Étoile polaire. Cet écart illustre bien les énormes distances auxquelles se trouvent les étoiles.

Proxima brille pourtant d'un trop faible éclat pour être visible à l'œil nu. Dans la même constellation, Alpha du Centaure, beaucoup plus brillante, est, elle, bien visible, mais seulement dans le ciel de l'hémisphère Sud, aussi ne figure-t-elle pas sur les cartes des pages précédentes. Dans notre hémisphère, la plus proche et la plus brillante étoile du ciel est Sirius, qui appartient à la constellation du Grand Chien. Elle est à un peu moins de neuf années-lumière de la Terre.



Les étoiles ne sont pas fixes sur le ciel mais se déplacent au fil des siècles et des millénaires. Comme elles ne se déplacent pas toutes dans la même direction, les formes familières des constellations se modifient, comme ici la Grande Ourse.



La taille des étoiles varie considérablement de l'une à l'autre. La largeur du Soleil, par exemple, correspond à 109 fois le diamètre de la Terre. Mais les étoiles de la catégorie supergéante sont plusieurs milliers de fois plus larges que notre Terre. Inversement, les petites étoiles naines rouges ne sont guère plus grosses que la Terre.

Les constellations que vous voyez dans le ciel paraissent immuables, et figées ainsi depuis l'éternité. Détrompez-vous : elles se déforment, car toutes les étoiles du ciel se déplacent. Ce déplacement est certes extrêmement lent, et à quelques exceptions près inappréciable en l'espace d'une vie humaine ; mais à la longue il entraîne un changement dans l'aspect des constellations. Dans le cas de la Grande Ourse, par exemple, les sept étoiles qui dessinent le contour d'une casserole traceront une figure plus aplatie dans quelques milliers d'années. Le Soleil lui-même se déplace dans l'Univers, à 20 km/s (70 000 km/h), en direction de la constellation d'Hercule.

Comme le Soleil, les autres étoiles produisent leur lumière et leur chaleur à partir d'une réaction de fusion nucléaire qui se déroule en leur centre. Si vous observez attentivement les étoiles brillantes, vous constaterez qu'elles ne sont pas toutes de la même couleur : ces couleurs traduisent leur température de surface. Les plus chaudes sont blanc-bleuté, ce qui correspond à une température comprise entre 10 000 et 50 000 degrés. Les jaunes, comme le Soleil, ont une température moyenne, voisine de 6 000 degrés. Les rouges, quant à elles, sont les plus froides : 3 000 degrés environ.

Depuis longtemps les astronomes ont essayé de classer les étoiles d'après leur éclat. L'astronome grec Hipparque, qui vécut au second siècle avant notre ère, fut le premier à établir un catalogue d'une centaine d'étoiles classées par ordre de brillance : il distinguait six catégories ou magnitudes : les plus lumineuses étaient de première magnitude, et les plus faibles que l'on puisse voir à l'œil nu de sixième. Sur cette échelle, qui a été conservée, d'une magnitude à l'autre l'éclat est multiplié, ou divisé, par 2,5. Attention : c'est une échelle inverse : plus la magnitude est faible, plus l'étoile est brillante. Ainsi peut-on avoir des magnitudes inférieures à zéro, et donc négatives : Sirius, la plus lumineuse des étoiles, est de magnitude − 1,5 et Vénus, la plus brillante planète, dépasse parfois − 4. Quant au Soleil, il brille avec une magnitude de − 27.

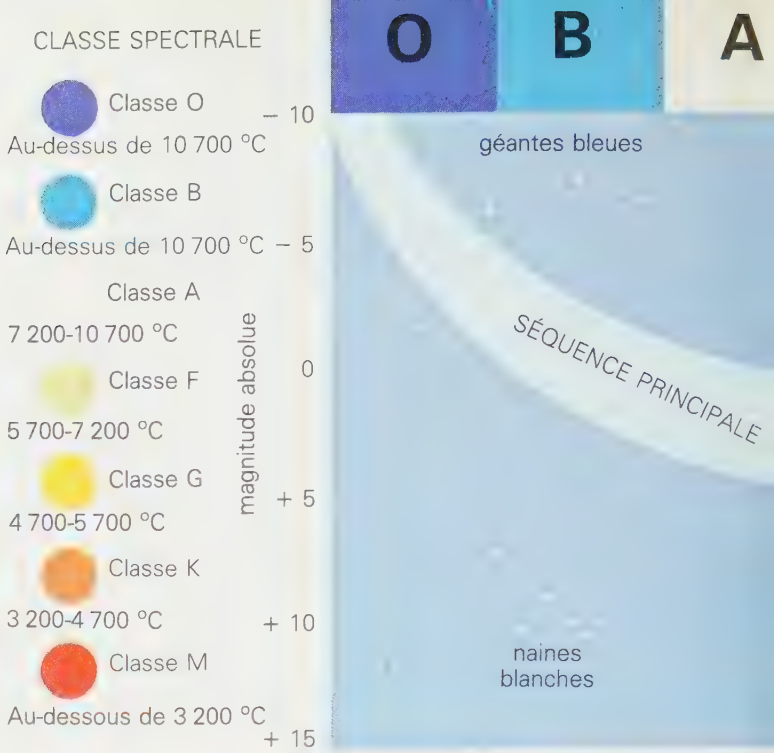
Mais l'éclat apparent n'a rien à voir avec l'éclat réel : si le Soleil paraît si brillant, c'est qu'il est infiniment plus proche de nous que n'importe quelle autre étoile.

Étoiles multiples et variables

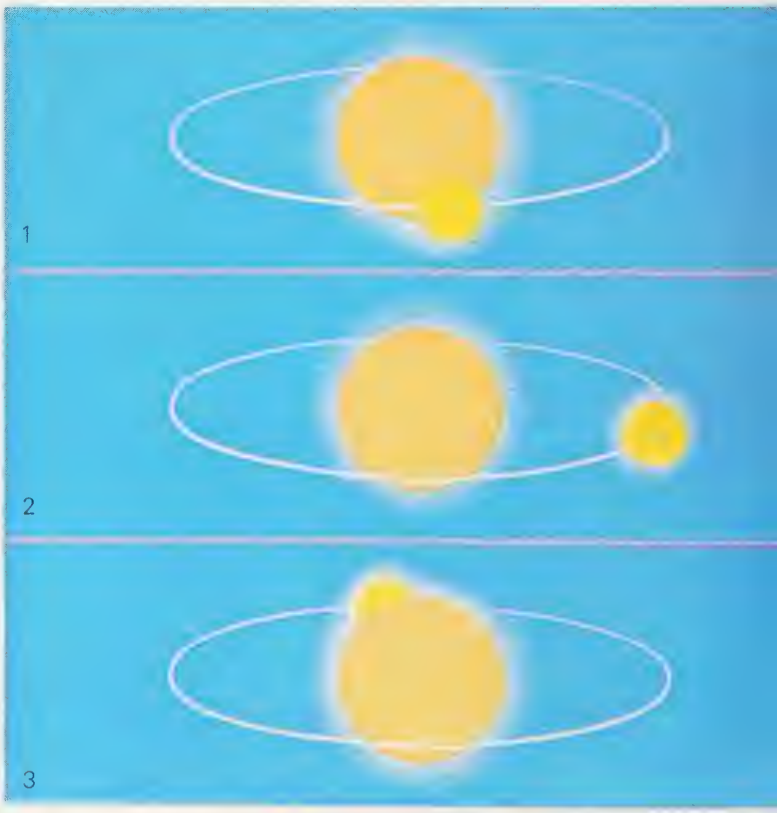
Pour comparer l'éclat des étoiles entre elles les astronomes utilisent la magnitude absolue : c'est l'éclat qu'elles auraient si elles se trouvaient toutes placées à 33 années-lumière de la Terre. La différence entre magnitude apparente et magnitude absolue permet donc de calculer la distance de l'étoile.

L'astronome danois Ejnar Hertsprung (1873-1967) et son confrère américain Henry Russel (1877-1957) ont eu l'idée de comparer les étoiles entre elles pour découvrir leurs points communs et leurs différences. C'est ainsi qu'ils ont remarqué, entre 1911 et 1913, qu'il y avait une relation entre la couleur des étoiles et leur magnitude absolue, c'est-à-dire leur éclat réel. Cela se voit parfaitement quand on trace ce que les astronomes appellent le diagramme Hertsprung-Russel, ou plus familièrement H-R. La plupart des étoiles se placent sur une ligne appelée « séquence principale », qui descend du coin gauche supérieur vers le coin droit inférieur. Les étoiles géantes, chaudes et massives se placent en haut, les étoiles moyennes comme le Soleil au centre, et les étoiles naines, rouges et froides, en bas. Les supergéantes bleues et rouges, comme Rigel et Bételgeuse, respectivement, dans Orion, se placent à part dans ce diagramme H-R, à droite de la séquence principale. Par contre, des étoiles dégénérées appelées naines blanches (c'est ce que deviendra notre Soleil dans 5 milliards d'années) se placent à gauche de cette ligne diagonale.

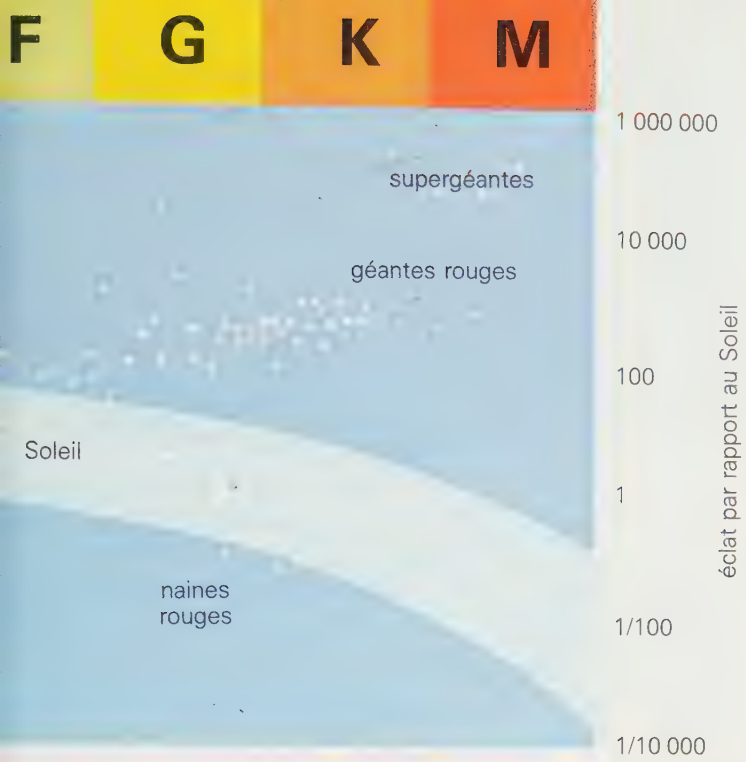
Beaucoup d'étoiles, qui paraissent isolées dans le ciel, sont en réalité multiples : autour de l'étoile la plus lumineuse, que nous voyons, gravite souvent une étoile moins brillante et très proche d'elle, que l'on découvre seulement dans une lunette ou un télescope. Il y a même d'assez nombreux cas d'étoiles triples ou quadruples, le record étant une étoile sextuple, dans Orion. Notre Soleil est une étoile simple. Il arrive aussi



Le diagramme de Hertsprung-Russel (que les astronomes désignent simplement par les initiales H-R) permet de positionner les étoiles selon leur luminosité, leur température, leur magnitude absolue et leur catégorie spectrale. Chaque point blanc correspond à une étoile, les plus lumineuses étant en haut, les plus chaudes à gauche.



Étoile variable à éclipses. En 1 l'étoile la plus brillante passe devant l'étoile la moins lumineuse. En 2, les étoiles brillent séparément et leurs éclats s'ajoutent. En 3 la plus grosse absorbe une partie de la lumière de la plus brillante.



Quand on place un grand échantillonnage d'étoiles sur ce diagramme on voit se dessiner des groupes ; les étoiles ne se rassemblent pas n'importe comment. Bon nombre d'entre elles se placent sur une bande diagonale, appelée séquence principale : notre Soleil s'y trouve. Ce diagramme permet de constater qu'il y a un lien entre la température des étoiles et leur luminosité.

Il peut se produire un échange de masse entre les deux compagnes d'un couple stellaire, comme ici entre une supergéante et une naine blanche. La matière de l'étoile principale, tombant sur la naine blanche, provoque une explosion qui correspond à l'apparition d'une nova dans le ciel.

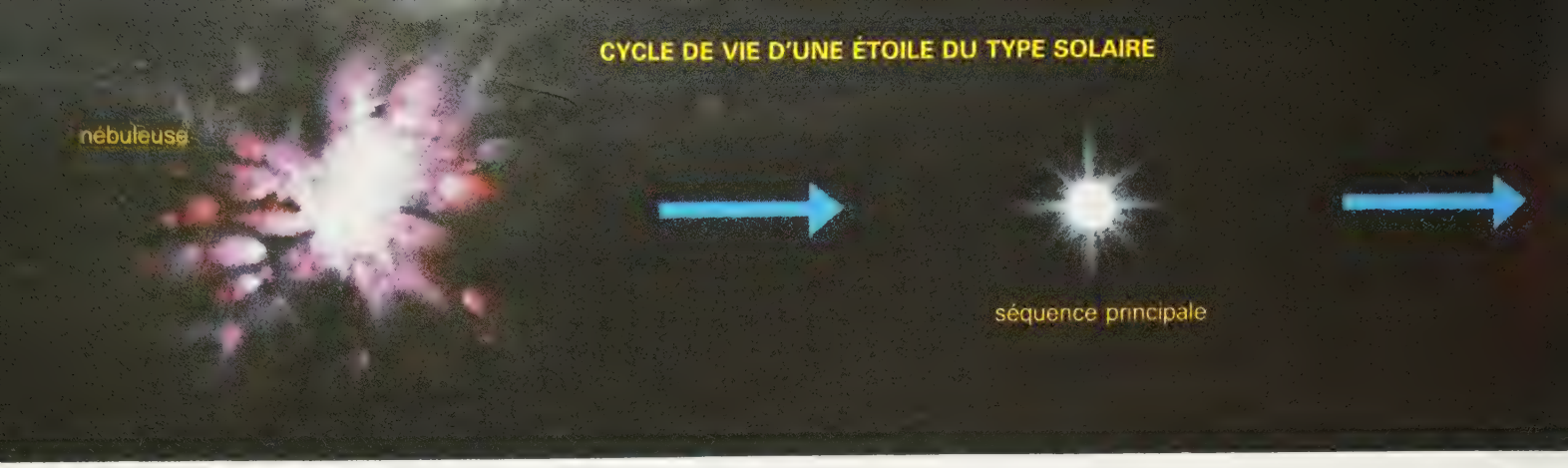
que deux étoiles paraissent proches l'une de l'autre par suite d'un simple effet de perspective : ce sont des « couples optiques ». C'est le cas de Mizar et Alcor, les deux étoiles situées dans la queue de la Grande Ourse, et premier couple à avoir été remarqué, en 1650, par l'astronome italien Giovanni Riccioli.

Lorsque des étoiles doubles sont trop proches l'une de l'autre, même un puissant télescope ne peut les séparer. Mais on note alors une variation d'éclat lorsque l'une passe alternativement devant et derrière l'autre. Ce sont alors des étoiles variables à éclipses, dont le spécimen le plus connu est Algol, dans la constellation de Persée. Sa luminosité change régulièrement suivant un cycle de 3 jours.

L'astronome anglais William Herschel (1738-1822), et sa sœur Caroline (1750-1848), ont méthodiquement recensé les étoiles doubles du ciel. Dans certains cas ils ont pu mettre en évidence à quelques années d'intervalle le mouvement de l'étoile compagne autour de l'étoile principale et calculer leur période de révolution.

La plupart des étoiles de la Galaxie brillent d'un éclat constant, mais il y en a un certain nombre qui fluctuent. Ce sont des étoiles variables : on en a dénombré environ 20 000. Certaines sont des variables à éclipses, comme nous l'avons vu, mais d'autres pulsent réellement, changeant de taille en se gonflant et en se contractant. Leurs périodes de variations peuvent être courtes comme dans le cas des « Céphéides » (quelques heures ou quelques jours), ou très longues comme dans le cas des « Mira » (plus d'un an). Ces deux grandes catégories d'étoiles variables sont baptisées ainsi parce que les premières de chaque sorte que l'on ait découvertes étaient Delta de la constellation de Céphée et Omicron dans celle de la Baleine. Mira Ceti signifie en latin « la merveilleuse de la Baleine », car au maximum d'éclat elle est bien visible à l'œil nu, tandis qu'au minimum, six mois plus tard environ, on ne la découvre même pas dans une lunette d'amateur !

Citons aussi les variables éruptives, qui voient leur éclat augmenter sans cycle précis, et les novae, étoiles explosives qui deviennent soudainement visibles en quelques heures, alors qu'elles avaient un éclat tout à fait inappréciable auparavant.



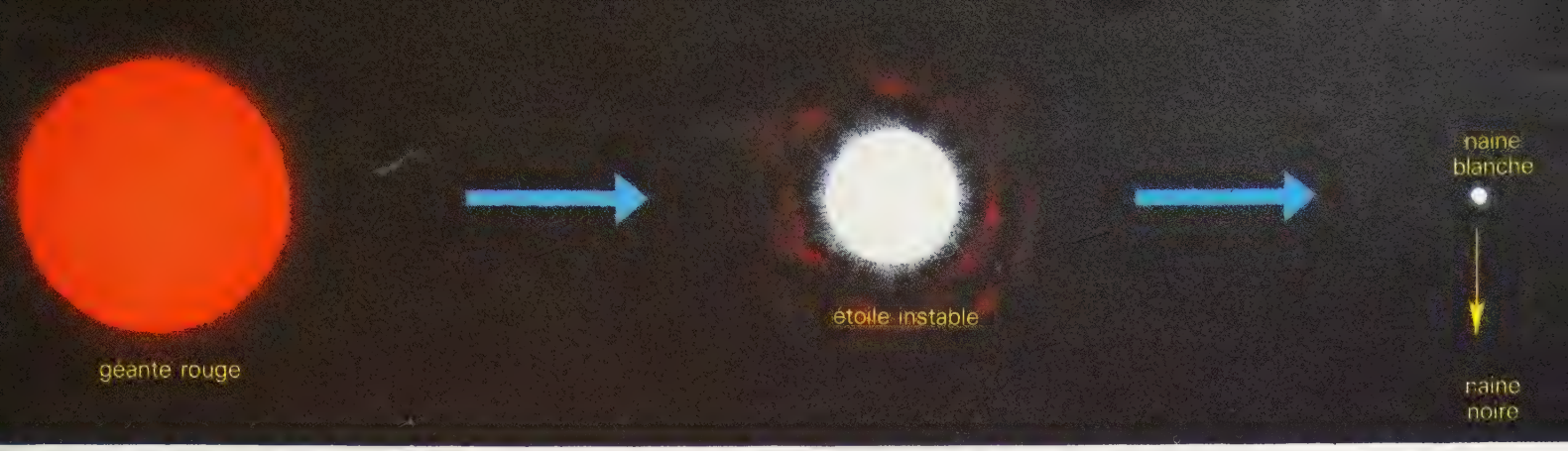
Vie et mort des étoiles

Les étoiles que l'on voit aujourd'hui semblent être identiques à celles que voyaient les Anciens, des siècles ou des millénaires auparavant. Personne ne vit suffisamment longtemps pour voir une étoile se modifier et vieillir. Pourtant, un peu comme les êtres vivants, toutes les étoiles naissent, évoluent et meurent.

La plupart des astronomes s'accordent à penser qu'elles naissent au sein de vastes concentrations de gaz en rotation. La force de gravitation, qui règne partout dans l'Univers, fait que la partie centrale du nuage s'effondre sur elle-même pour former une boule plus dense, qui grossit de plus en plus. Arrive alors un moment où la pression au centre est telle que les atomes du gaz s'entrechoquent avec suffisamment de violence pour créer des températures supérieures à 10 millions de degrés, qui déclenchent des réactions de fusion nucléaire. Alors, la boule de gaz s'allume : une étoile est née.

C'est à Albert Einstein (1879-1955) que l'on doit d'avoir expliqué le dégagement d'énergie dans la fusion thermonucléaire avec son équation célèbre : $E = mc^2$. Elle signifie simplement que la matière et l'énergie sont deux aspects différents d'une seule et même chose : à partir de la matière on peut obtenir de l'énergie.

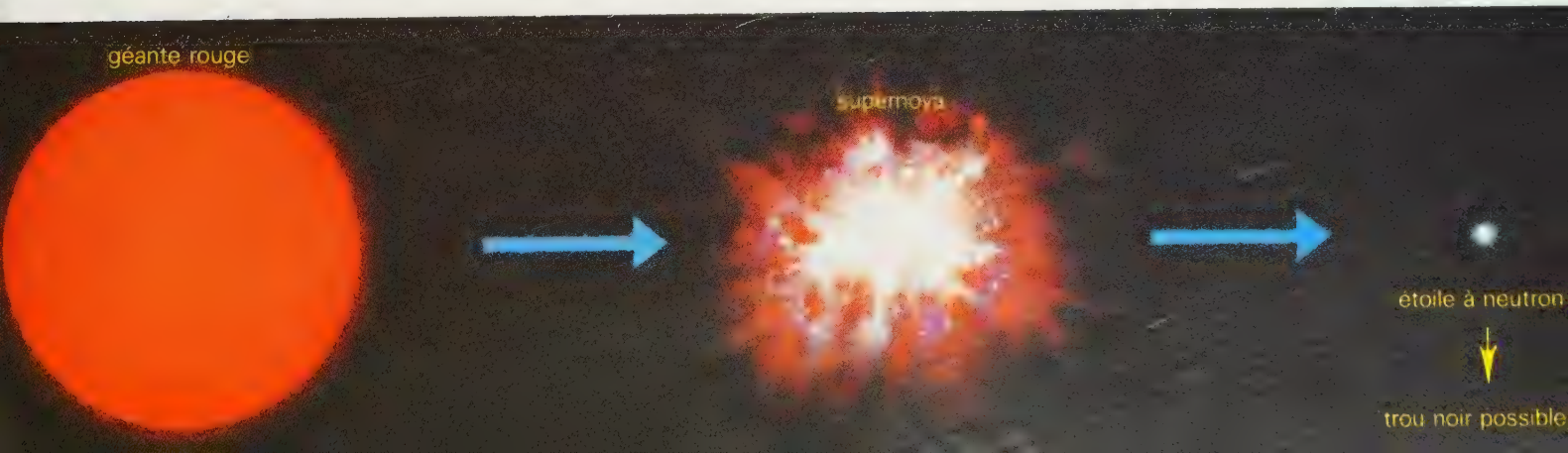
Il est probable que le Soleil, voici un peu moins de 5 milliards d'années, est né de cette façon. Sa formation a dû s'étendre sur 30 millions d'années, mais pour des étoiles moins massives la phase d'allumage peut demander 100 millions d'années. Notre Soleil brille de façon constante depuis sa naissance et continuera de le faire pendant une durée au moins égale puisqu'il est tout juste parvenu au milieu de sa vie. Puis, après quelque 10 milliards d'années d'existence, lorsqu'il aura converti presque tout son hydrogène en hélium, il entamera une période de gonflement pour devenir une géante rouge ; sa surface se refroidira donc en passant de 6 000 à 3 000 degrés, mais son volume sera tel qu'il englobera toutes les planètes jusqu'à Mars... La Terre sera alors complètement calcinée. Après quoi l'astre se contractera dans des proportions inimaginables pour devenir une naine blanche, un million de fois moins volumineuse que le Soleil actuel, et par conséquent un



million de fois plus dense ; cette naine blanche aura à peu près la taille de la Terre. Et notre Soleil restera dans cet état pour la nuit des temps.

Les étoiles qui au départ sont plus massives que le Soleil connaissent un destin complètement différent. Elles brûlent leur combustible nucléaire (l'hydrogène) beaucoup plus rapidement et vivent donc moins longtemps : une étoile seulement deux fois plus massive vivra dix fois moins longtemps ! Une fois tout l'hydrogène transformé en hélium elles se contractent sur elles-mêmes car l'une des deux forces qui les maintenaient en équilibre a disparu. La vie d'une étoile, c'est en effet un équilibre entre la force de gravitation dirigée vers l'intérieur, et le rayonnement dirigé vers l'extérieur ; tant qu'elle brille et que les réactions thermonucléaires se produisent, ces deux forces se compensent. Mais quand tout l'hydrogène est consommé, le rayonnement cesse et la force de gravitation l'emporte, entraînant un effondrement de l'astre ; la pression en son centre, soudainement accrue, provoque une augmentation de température qui elle-même permet une nouvelle réaction de fusion nucléaire avec cette fois l'hélium comme combustible, qui se transforme en carbone, et ainsi de suite de plus en plus rapidement. Finalement, l'étoile explose en éjectant la plus grande partie de son atmosphère. Dans le ciel, on voit alors apparaître une supernova, suffisamment lumineuse pour être vue en plein jour ! Il ne subsiste, au centre, qu'un noyau très dense de particules atomiques électriquement neutres : les neutrons ; cette étoile à neutrons tourne très rapidement sur elle-même et balaie l'espace de son rayonnement, comme un phare. A cause de ces pulsations on les a baptisées « pulsars ». Les astronomes ont recensé à l'heure actuelle environ 300 pulsars, dont la densité est 100 millions de fois supérieure à celle des naines blanches, pourtant déjà très compactes.

L'on pense que pour des masses de gaz encore plus élevées au départ, l'effondrement n'a pas de fin : l'étoile implose et se concentre indéfiniment sur elle-même, devenant encore plus dense qu'un pulsar. L'extraordinaire gravité qui l'entoure lui permet alors de retenir sa propre lumière : l'astre est devenu un « trou noir ». Bien que l'existence de ces astres tout à la fois fantastiques et mystérieux n'ait pas encore été établie avec certitude, il semble qu'un trou noir existe dans la constellation du Cygne : on l'a baptisé Cygnus X-1.



La Voie lactée : notre Galaxie

La Terre, le Soleil et toutes les étoiles appartiennent à un vaste ensemble en forme de disque aplati, que l'on appelle la Galaxie, avec un G majuscule pour la différencier des autres galaxies de l'Univers. Dans ce disque se tiennent plus de 100 milliards d'étoiles, des nuages de gaz appelés nébuleuses, et de la poussière interstellaire. Lorsque l'on regarde en direction du centre de notre Galaxie, là où les étoiles sont les plus nombreuses, on découvre une longue bande lumineuse faite d'étoiles trop serrées par la perspective pour êtres vues individuellement : c'est la Voie lactée. L'on donne souvent, par extension, le nom de Voie lactée à l'ensemble de notre Galaxie.

La théorie la plus courante veut que notre Galaxie se soit formée il y a environ 12 milliards d'années (donc bien avant l'apparition du Soleil), au sein d'un vaste nuage d'hydrogène qui tourbillonnait dans l'Univers.

Si l'on se trouvait très loin dans l'espace, on pourrait découvrir la Galaxie sous l'aspect d'un gigantesque « soleil » de feu d'artifice, avec des bras en spirale où se rassemblent la plupart des étoiles. Le Soleil se trouve très loin du centre, c'est-à-dire loin de la Voie lactée, à l'intérieur d'un des trois bras de la Galaxie. Cette dernière mesure au total 100 000 années-lumière de diamètre, seulement 15 000 années-lumière d'épaisseur au centre, et 2 000 aux bords.

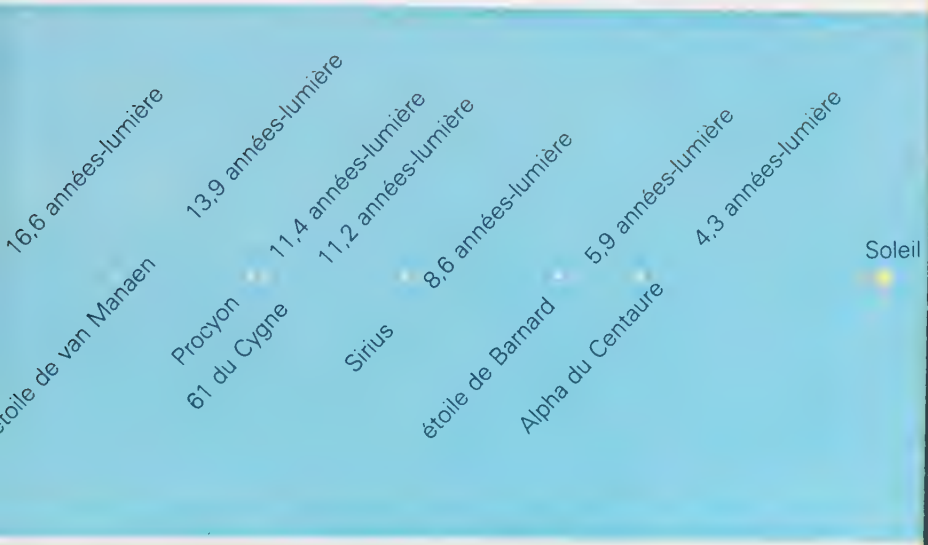
L'ensemble tourne en 200 millions d'années environ : c'est l'année galactique. Cette année galactique est extrêmement longue puisque le tour qui se termine actuellement a commencé à l'époque de l'apparition des dinosaures...

Les étoiles sont très éloignées les unes des autres au sein de la Galaxie. En moyenne cette distance est de 5 années-lumière, ce qui représente plusieurs dizaines de millions de fois le diamètre d'une étoile moyenne. A la même échelle deux balles de tennis devraient être écartées de 2 000 kilomètres !

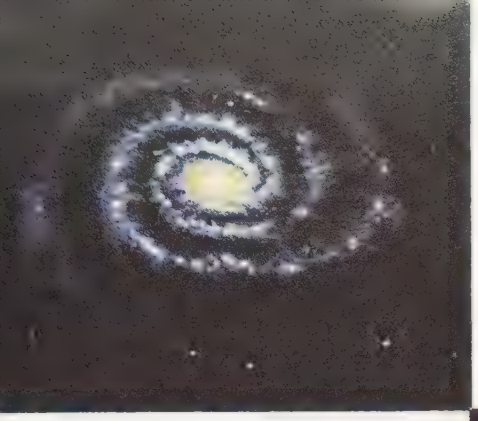
L'espace entre les étoiles est quasiment vide mais on y trouve cependant des gaz (formant des nébuleuses), et des poussières. C'est au sein de ces nébuleuses que naîtront les futures étoiles. Les astronomes ont même détecté des molécules organiques dans les nébuleuses et nuages de poussières, ce qui laisse penser qu'il a pu très bien se former des cellules vivantes ailleurs que sur Terre.

Le centre même de la Galaxie nous est invisible parce qu'une grande quantité de poussières, justement, absorbent la lumière qui en part ; on ne peut l'entrevoir, partiellement, qu'en observant dans l'infrarouge et en radio. Il y aurait là un astre massif de petites dimensions, et peut-être même un trou noir.

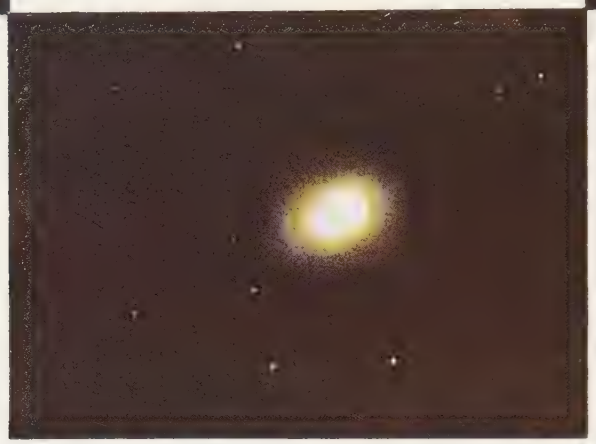
Notre Voie lactée est une galaxie spirale. La Terre fait le tour du Soleil, et le Soleil tourne lui-même autour du centre de la Galaxie à une distance de 30 000 années-lumière. L'illustration ci-dessus montre une vue de face et de profil de notre Galaxie.



Un amas globulaire (à droite) peut contenir près d'un million d'étoiles dans un volume relativement réduit. Le diagramme ci-dessus présente quelques-unes des étoiles les plus proches de la Terre.



Les galaxies elliptiques présentent plusieurs degrés d'aplatissement, de celles qui sont quasiment sphériques à celles qui sont aplaties comme une galette.



Les bras lumineux d'une galaxie spirale partent du noyau et se répandent à travers le disque.

Les galaxies irrégulières n'ont pas de forme précise.

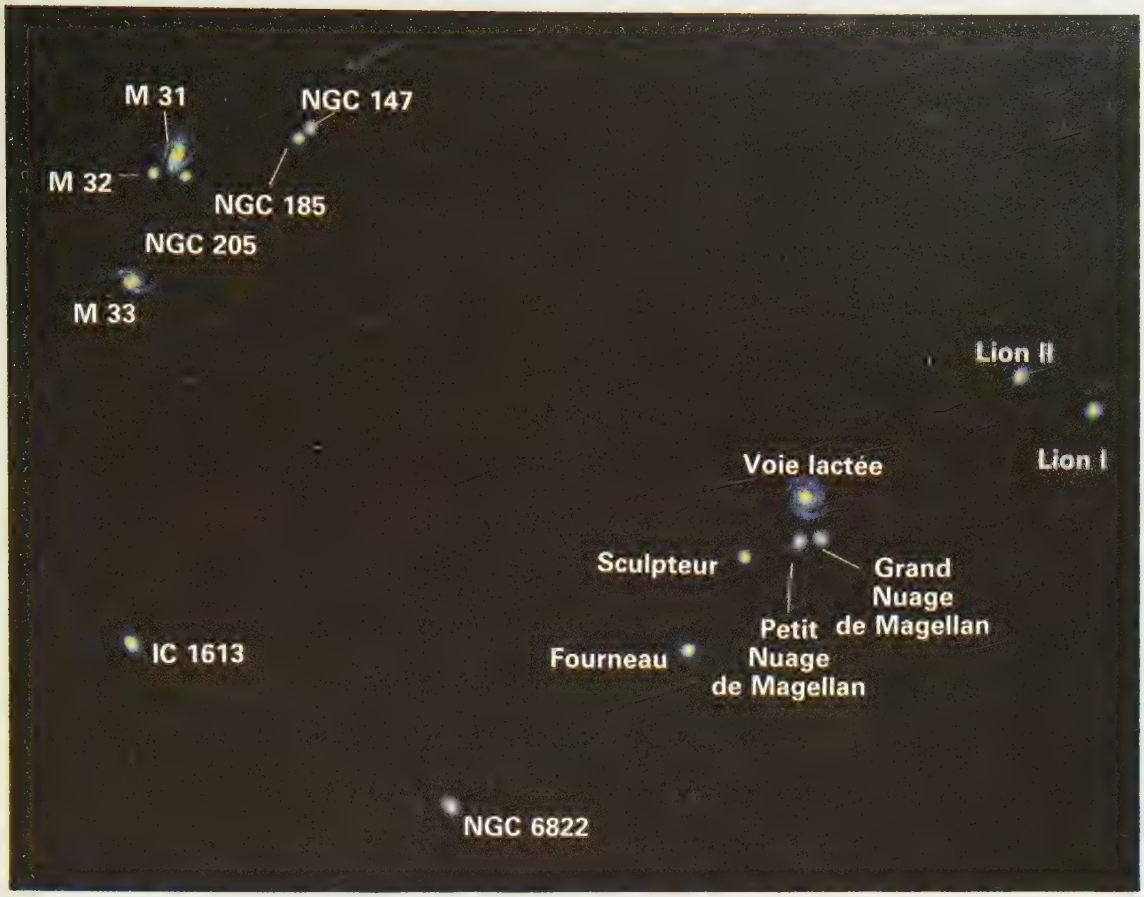
Les galaxies proches

Il y a deux siècles, les astronomes avaient déjà observé à travers leurs lunettes des « nébuleuses » parmi les étoiles. Le philosophe Emmanuel Kant (1724-1804) et l'astronome William Herschel (1738-1822) imaginèrent que certaines de ces nébuleuses étaient des îlots d'étoiles situés très loin dans l'espace. Leurs contemporains rejetèrent cette idée. Il fallut attendre le début du XXe siècle pour admettre que la Voie lactée n'est qu'une galaxie parmi d'autres.

C'est l'astronome américain Edwin Hubble (1889-1953) qui a permis ce progrès décisif dans la compréhension de la structure de l'Univers, en 1924. En photographiant la « nébuleuse d'Andromède » à l'aide du grand télescope de 254 cm installé sur le mont Wilson, en Californie (c'était alors le plus puissant du monde), il put montrer qu'elle était constituée d'étoiles individuelles ; seule la distance était responsable de cet aspect nébuleux.

Aujourd'hui, les télescopes ont permis de photographier plusieurs centaines de millions de galaxies sur l'ensemble du ciel, chacune d'entre elles renfermant en moyenne 100 milliards d'étoiles. Ces galaxies ne sont d'ailleurs pas toutes identiques mais peuvent se classer, par leur forme, en quatre grandes catégories : spirales, spirales barrées, elliptiques et irrégulières. La Voie lactée, riche en gaz, en poussières et en étoiles (donc jeune) est une spirale typique. Les elliptiques, par contre, ne renferment que des étoiles âgées, tandis que la plupart des galaxies irrégulières sont mixtes : étoiles jeunes et âgées, grandes quantités de gaz et de poussières.

La plupart des galaxies ne sont pas isolées, mais appartiennent à des amas, au sein desquels elles sont retenues par leurs forces de gravitation respectives. La Voie lactée fait ainsi partie du « Groupe local », un ensemble d'une trentaine de galaxies réunies dans une sphère de 3 mil-



Le Groupe local des galaxies. La Terre appartient au système solaire, qui lui-même appartient à la Galaxie, qui elle-même appartient au Groupe local, et ainsi de suite. Dans ce Groupe local sont rassemblées une trentaine de galaxies.

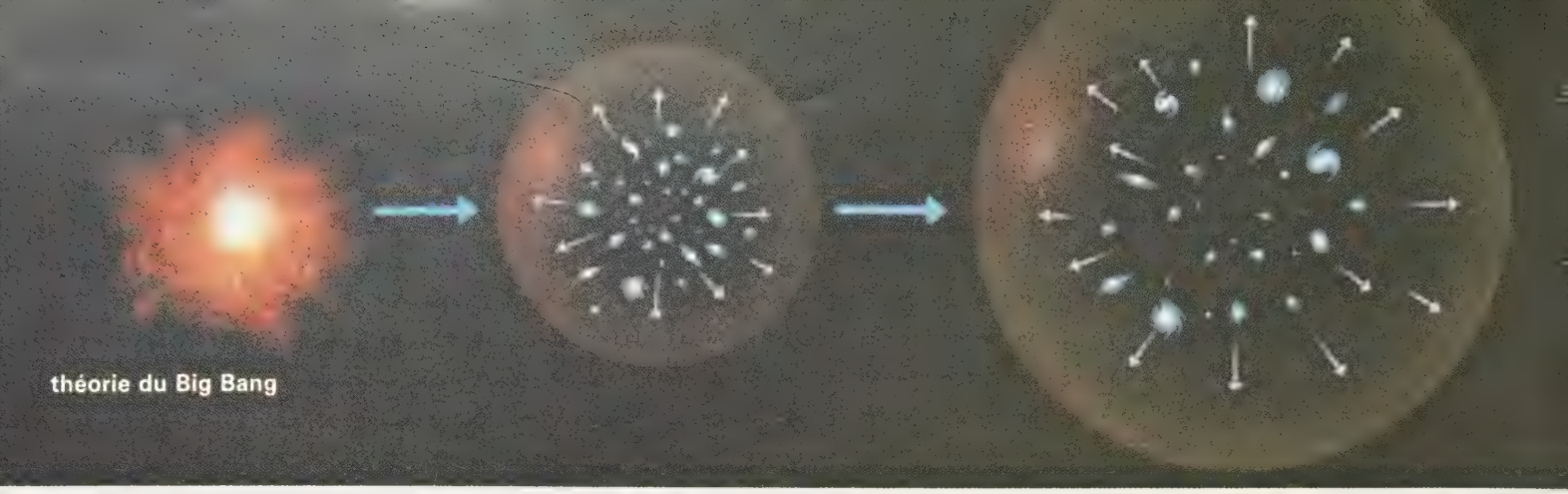
lions d'années-lumière de diamètre. Dans ce groupe, d'ailleurs, seules la nôtre et celle d'Andromède dominent ; les autres sont pour la plupart des galaxies naines. Il existe cependant des amas galactiques beaucoup plus riches : celui de la Vierge, à 60 millions d'années-lumière de nous, regroupe plus de 2 500 galaxies.

Mais ce n'est pas tout, car la cartographie de l'Univers lointain fait apparaître des superamas : ce sont des amas d'amas. Notre Groupe local et l'amas de la Vierge, déjà évoqué, se retrouvent ainsi dans un superamas dont le diamètre se chiffre en centaines de millions d'années-lumière.

Parce qu'elles envoient des quantités d'énergie extraordinaires, certaines galaxies sont appelées galaxies particulières. Il s'y déroule des réactions si violentes, qu'on en ignore l'origine.

On observe aussi des galaxies qui paraissent être en explosion, ou en collision avec une autre galaxie. Beaucoup de mystères restent encore à résoudre à propos des galaxies. Mais celles-ci ne sont pas les seuls astres étranges car plus mystérieux encore sont les quasars, qui apparaissent sur le ciel comme des étoiles tout en rayonnant autant d'énergie qu'une galaxie, c'est-à-dire qu'un ensemble de 100 milliards de Soleils !

En 1963 l'astronome américain Maarten Schmidt a montré que les quasars n'étaient pas des galaxies, mais des astres à part, qui rayonnaient tout à la fois des ondes radio, des rayons infrarouges, de la lumière, des rayons ultraviolets. Comme tous les astres de l'Univers les quasars sont en mouvement, mais leur vitesse est plus importante que celle de n'importe quel autre astre. Elle est même tellement importante qu'ils se trouvent très loin de nous, aux frontières de l'Univers connu. Les plus lointains quasars observés se trouvent à plus de 12 milliards d'années-lumière.



L'Univers : d'où vient-il, où va-t-il ?

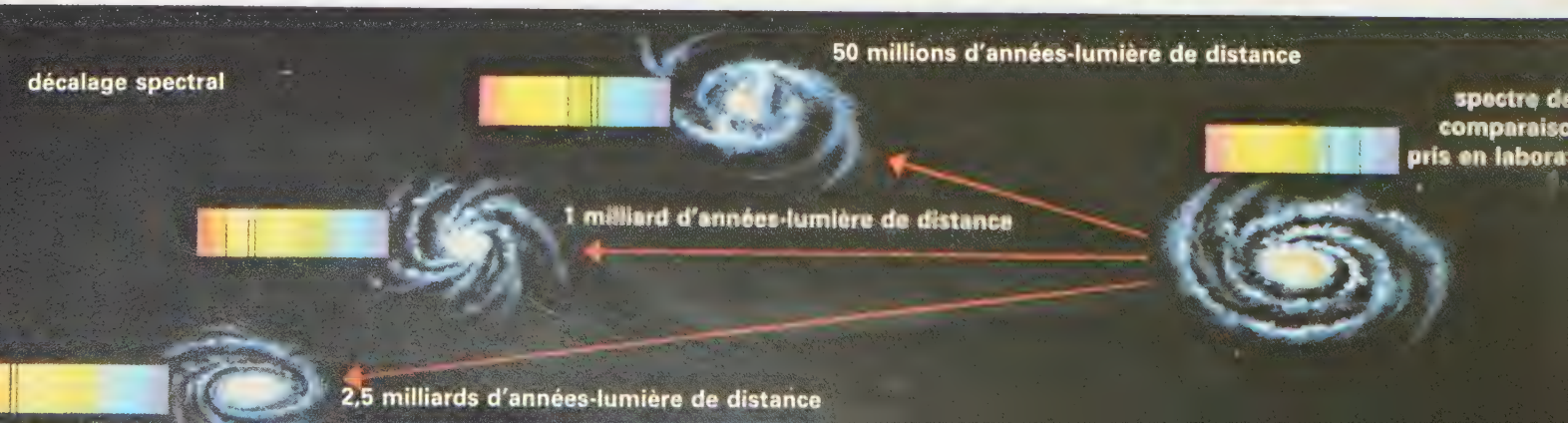
Tout ce que les astronomes savent sur les galaxies qui peuplent l'Univers est contenu dans la lumière qu'elles nous envoient. Cette lumière est analysée par spectroscopie, technique qui consiste à la disperser par un prisme ou un dispositif équivalent pour faire apparaître des raies sombres (voir p. 29). Ces lignes permettent de déterminer la composition chimique de la galaxie mais, surtout, sa vitesse.

Car l'astronome américain Edwin Hubble, en 1929, a constaté que plus une galaxie était éloignée de nous, plus ses raies spectrales se trouvaient décalées vers l'extrémité rouge du spectre. Cette relation est vérifiée pour les galaxies proches, dont on peut déterminer la distance par d'autres méthodes, puis on l'étend aux galaxies plus lointaines, dont on peut ainsi connaître l'éloignement.

Notre Galaxie n'est pas le centre de l'Univers ; des observateurs placés ailleurs auraient la même vision : celle de galaxies qui les fuient en tous sens. Le centre de l'Univers est partout et nulle part, comme à la surface d'une sphère.

La plupart des astronomes pensent qu'il y a environ 15 milliards d'années, toute la matière de l'Univers était rassemblée en un point unique et ultra-concentrée, puis a commencé de se disperser à la suite d'une sorte d'explosion que l'on appelle le « Big Bang », ou « Grand Boum ». Tous les astres que nous observons dans l'Univers ont été formés à partir de cette matière initiale, faite essentiellement d'hydrogène, avec un peu d'hélium.

Dans le futur, l'Univers peut soit continuer d'enfler indéfiniment (théorie de l'expansion continue), soit commencer un jour à se contracter pour reprendre son état initial ; on en reviendrait alors à la matière super-concentrée, qui pourrait subir une nouvelle explosion et former un nouvel Univers (théorie de l'Univers pulsant). Pour l'instant les astronomes ne disposent pas d'assez d'observations pour trancher entre ces deux possibilités. Le grand télescope spatial, qui sera mis en orbite en 1986, permettra de plonger notre regard encore plus profondément dans l'Univers et par conséquent de remonter aux tout premiers instants de sa naissance. Nous en saurons alors peut-être plus sur son avenir.



INDEX

Les chiffres en italique renvoient aux illustrations.

A

A-1 Spoutnik (URSS), *18*
A-1 Vostok (URSS), *18*
acides aminés (dans les météorites), 66
Adams, John, 60
Ahnighito, météorite d', *67*
air, 46
Algol, 87
Alpha du Centaure, 84, *91*
Altair, *91*
amas
  galactiques, 92, 93
  globulaires, *91*
Amitié 7 (USA), *68, 69*
Amor, *63*
Andromède, galaxie d', 7
anneaux
  de Jupiter, 51, *51*
  de Saturne, *54,* 55, *55, 57*
  d'Uranus, 59, *59*
année, 23
année-lumière, 7
apesanteur, 71
apogée, 20, *20*
Apollo
  missions, 39, *39,* 44, 45, *45*
  vaisseaux spatiaux, 45, *45*
Apollo-Soyouz (USA-URSS), mission, *69*
Ariane 1 (ESA), *19*
Armstrong, Neil, *69*
astéroïdes, *22, 23, 62,* 63 du groupe Apollon, *63*
astrologie, 79
astronautes, 68-69
  Apollo, 39, *39, 44,* 45
  navette spatiale, 73, *77*
atmosphère, 25
  de la Terre, 38, *38*
  de Neptune, 60
aurore, *35, 38*
  polaire, 26
axe
  de la Terre, 12, *12, 13*
  d'Uranus, *59*

B

ballons, *14, 15,* 18, *19*
Barnard, étoile de, *91*
Barringer, cratère, *67*
Berezovoï, A., *69*
Bételgeuse, 78, 86
« Big Bang », théorie du, 94, *94*
Black Arrow (Prospero) (GB), *19*
« bolides », 66
Brand, Vance, *69*

C

Callisto, 52, 53, *53*
canyons, sur Mars, 49, *49*
carburant (de fusée), 18, *18,* 19, *19*
Carr, G., 69
cartes du ciel, 79-80, *79-83*
Cassegrain, montage, 16
Céphéides, 87
Cérès, 63, *63*
chaînes montagneuses, 36, *37*
  sur la Lune, *39, 42-43*
champ magnétique
  de Jupiter, 51
  de Saturne, 55
  de la Terre, 35
Charon, 61, *61*
Chiron, 63
Christy, J., 61
chromosphère, *28,* 29
comburant, 19, *19*
comètes, *22,* 23, 64, *65*
constellations, 78, 79, *78-83*
couronne solaire, *27-29,* 29
cratères
  sur la Lune, *39, 42-43*
  sur les lunes de Jupiter, 52, 53
  sur les lunes de Saturne, 56, 57
  sur Mars, *49*
  sur Mercure, *30,* 31, *31*
  météorites, 67, *67*
croûte terrestre, 35
Cygne, *78*
Cygnus X-1, 89

D

D-1-e Zond (URSS), *19*
Dauphin, 78
décalage horaire, 9
décalage spectral, 94, *94*
Deimos, 47
Delta de Céphée, 87
densité des planètes, *24,* 25
dérive des continents, 36, *36,* 37, *37*
Diamant BP 4 (France), *19*
Dioné, 56, *56,* 57
Dragon, *78*

E

eau
  sur Mars, 46-47, *49*
  sur Terre, 35
éclipse, 40, *41*
  annulaire, *41*
  lunaire, 40, *41*
  solaire, 40, *41*
Einstein, Albert, 88
Encelade, *56,* 57
Encke, comète, *65*
énergie solaire, 26, 29
équinoxes, 12
Eros, *63*
éruptions solaires, 26, *27, 28, 29*
étages des fusées spatiales, 18, *19*
étoiles, 10, 14
  amas d', 92, 93
  ciel changeant et, 10, *10,* 11
  composition des, *28,* 29, *29*
  constellations d', 78, 79, *78-83*
  déplacement d', 85, *85*
  distance de la Terre aux, 84, *84*
  doubles, 87
  espace entre les *84,* 90
  évolution des, 88-89, *88-89*
  galaxie de la Voie lactée, 90-91, *90-91*
  géante rouge, 88, *89*
  H-R, diagramme de, 86, *86-87*
  luminosité des, 84-87
  mort des, 88-89
  naine blanche, *86, 87,* 89, *89*
  naine noire, 89
  naine rouge, *85,* 86, *87*
  à neutrons, 89, *89*
  novae, 87, *87*
  pulsars, 89
  réaction de fusion nucléaire, 85, 88
  séquence principale, 86, *86, 87*
  supergéante bleue, 86
  supergéante rouge, 86
  taille des, 84, *85*
  température des, 85
  variables, *86,* 87
  variables à éclipses, *86,* 87
Europa (E.L.D.O.), *19*
Europe, 52, *53*
Explorer 35 (USA), *43*

F

faille médio-océanique, 36, *36*
« fenêtres » de lancement, 21
force centrifuge, 20, 23, *23*
force centripète, 23, *23*
fuseaux horaires, 9
fusées, 18, *18, 19*
fusées-sondes, *14, 15*
fusées spatiales, 18, *18, 19*
fusion nucléaire, 85, 88

G

Gagarine, Youri, *69*
galaxies, 7, 92-94, *92, 93*
  elliptiques, 92, *92*
  irrégulières, 92, *92*
  spirales, 92, *92*
  Voir aussi Voie lactée
Galilée, 52, 55
Galle, Jean, 60
Ganymède, 23, 52, 53, *53*
géante bleue, 86
géante rouge, 88, *89*
Gemini 4 (USA), *69*
Gibson, Edward, *69*
Glenn, John, *69*
Grande Ourse, *78,* 85, *85*
granules, 26
Groupe local, 92-93, *93*

H

Hall, Asaph, 47
Halley, comète de, *65*
H.E.A.O., *15*
hélium, dans le Soleil, 26
hémisphère, *8,* 12, *13*
Herschel, Caroline, 87
Herschel, William, 87, 92
Hertzsprung, Ejnar, 86
heure, 9
  locale, *8,* 9
Hidalgo, *63*
Hipparque, 85
Holmes, comète, *65*
Hopkins, mont (Arizona), télescope, *17*
H-R (Hertsprung-Russel), diagramme de, 86, *86-87*
Hubble, Edwin, 92, 94
Huygens, Christian, 55
Hydrogène, dans le Soleil, 26
Hypérion, 56-*57*

I

Ikeya-Seki, comète, *65*
inclinaison de la Terre, 12, *12, 13*
infrarouges, 14, *14, 15*
Io, 52, *52, 53*
ionosphère, 38, *38*
Ithaca Chasma, 57
I.U.E., *15*

J

Japet, 56, *57*
jour, 22
  nuit et, 8-9, *8-9,* 12, 13, *13*
jumelles, 16, *16*
Juno 1 (USA), *18*
Jupiter, 22-25, *23, 24, 50,* 51, *51*
  lunes de, 51-53, *52, 53*

K

Kant, Emmanuel, 92
Kohoutek, comète, *65*
Komarov, Vladimir, *69*
Kubasov, Valery, *69*

L

L.D.E.F., *77*
Lebedev, V., *69*
Leonov, Alexis, *69*
Le Verrier, Urbain, 60
Liberté 7 (USA), *68-69*
Lièvre, 78
Lowell, Percival, 47, 61
lumière
  visible, *15*
  vitesse de la, 7
lumière du Soleil, 8, *8, 13,* 26
  couleurs de la, 14
  saisons et, 12, *12,* 13, *13*
Luna (URSS), *42-43*
Lunar orbiter, *42, 43*
Lune, 39-43, *39-43*
  carte de la, *42-43*
  cratère sur la, *39, 42, 43*
  éclipse de la, 40, *41*
  marée des océans et la, 40, 41, *41*
  mers de la, 39, *39, 42-43*
  mission Apollo sur la, 39, *39, 44,* 45, *45*
  module d'atterrissage sur la, *42, 43*
  phases de la, 39, 40, *40*
  roches de la, 39
  sondes spatiales, 21, *21*
lunes, *24*
  de Jupiter, 51-53, *52-53*
  de Mars, 47
  de Neptune, 60
  de Saturne, 56-57, *56-57*
  d'Uranus, *58,* 59
lunette astronomique, 16, *16*
Lunokhod 1 (URSS), *43*

M

Mac Math (Arizona), télescope, *26, 27*
magnétosphère, *34, 35*
magnitude
  absolue, 86, *86-87*
  des étoiles, *80-83,* 85, 86, *86-87*
Mare Caloris, 31
marée des océans, 40, 41, *41*
Mariner (USA), sondes spatiales, 48
Mariner, vallée (Mars), *49*
Mars, 23, *23,* 24, *24,* 46-49, *46-49*
  lunes de, 47
  module d'atterrissage sur, 48-49, *48*
  rivières sur, *49*
Mercure, *22,* 23, 24, *24,* 25, 30, *30,* 31, *31*
Mercury Atlas (USA), *19*
Mercury Redstone (USA), *19*
méridiens, 9
mers, *39, 42, 43*
mésosphère, 38, *38*
météorites, 66-67, *66-67*
micrométéorites, sur la Lune, 39
midi, 9
Mimas, *56,* 57
Mira, 87
Mizar, 87
M.M.T., *17*
M.M.U., *77*
mois, *11,* 12, *12, 13*
montagnes
  au fond de l'océan, *36*
  formation des, 36, *36, 37*
Mu-3H (Japon), *19*

N

naine blanche, *86, 87,* 89, *89*
naine noire, 89
naine rouge, *85,* 86, *87*
navette spatiale, *19,* 68, 69, *69,* 72, *72,* 77, *74-77*
nébuleuses, *88, 89*
  de galaxies, 92
  de la Voie lactée, 90
Neptune, *22,* 23, 24, 25, *25,* 60
Néréide, 60
Newton, montage, 16
novae, 87, *87*
noyau
  de comète, 65, *65*
  du Soleil, *28,* 29
  de la Terre, 35, *35*

nuages
de Jupiter, 51, 52
d'Uranus, 59
de Vénus, 32

O
Olympe, mont (Mars) *49*
Omicron de la Baleine, 87
ondes radio, 14, *14*, 93
orbite
des astéroïdes, *63*
circulaire, *20*
elliptique, 20, *20*
géostationnaire, 21
géosynchrone, 20, *20*
incliné, 20, *20*
des planètes, *22, 23*
polaire, 20, *20*
des satellites, 20, *20*, 21
de la Terre, *11*
d'Uranus, 59, *59*
Orion, 78, *78*

P
Palomar, mont (Californie), télescope, *17*
Pangée, 37, *37*
Pégase, 78, *78*
périgée, 20, *20*
pesanteur, 19
Phobos, 47
Phœbé, 56, *57*
photosphère, *28*, 29
Pioneer 10 (USA), *51*
Pioneer 11 (USA), *51*
planètes, 22-25, *22-25*
telluriques, 24
plaques, 36, *36-37*
Pluton, 22, 23, *23*, 25, *25*, 61, *61*
Pogue, William, *69*
Polaire (étoile du Nord), 79, *79*, 84
pôles, 12, 20
Procyon, *91*
propergols, 18, 20
protubérance, 29, *29*
Proxima Centauri, 26, 84
Ptolémée, 78
pulsars, 89

Q
quasars, 93

R
radiotélescopes, *14*
Ranger 7 (USA), *42-43*
rayons
gamma, 14, 15, *15*
solaires, 12, *13*, 26
X, 14, 15, *15*
révolution, 22, *22*
Rhéa, 56, *56*
Riccioli, Giovanni, 87
rotation
des planètes, 22, *22, 23*
de la Terre, 12, 20
Russel, Henry, 86

S
saisons, 12, *12, 13*, 46
Saliout 1 (URSS), 71
Saliout 6 (URSS), *70-71*
Saliout 7 (URSS), *69, 70*
Saturne, *22*, 23, 24, *24-25*, 55, 56, *56*, 57, *57*
anneaux de, *54*, 55, *55*
lunes de, 56-57, *56-57*
satellites
de communication, 20, 21
observatoire, *15*, 21
Saturn V Apollo (USA), *18*, 45
Schiaparelli, Giovanni, 47
Schmidt, Maarten, 93
Scorpion, *78*
séquence principale, 86, *86-87*
Shepard, Alan, *69*
Sirius, *91*
sismographes, *36*
Skylab, *68*, 69, 71
S.M.M., 27, *27*
61 du Cygne, *91*
Soleil, *24-25*, 26-29, *28-29*, 84, *85*
déplacement du, 26, 29
éclat du, 85
éclipse du, 40, 41
énergie du, 26, 29
formation du, 88
hydrogène et hélium dans le, 26
orbite des planètes autour du, *22, 23*
orbite terrestre autour, 10, *10, 11-13*
sens giratoire du, *28, 29*
température du, 26, 29
sonde
spatiale, 20, 21, *21-23*, 33, *42-43*
sur Mars, 48-49, *48*
Soyouz 1 (URSS), *68, 69*
spécialiste de charge utile, 73
spectre, 14
Stafford, Thomas, *69*
stations
de l'espace, 70-71, *70-71*
de réception au sol, *15*
stratosphère, 38, *38*
superamas, 82, 93
supergéantes bleues, 86
supergéantes rouges, 86
supernova, 89, *89*
Surveyor, sonde (USA), *42-43*
système solaire, *6-7*, 7, 22, *22*, 23, *23*
en orbite autour de la Galaxie, *91*
stations orbitales, 70-71, *70-71*
solaires, 26, *26, 27*

T
taches solaires, 26, 29, *29*
télescopes
lumière des étoiles collectée avec, 14, *14*
optiques, 16, *16, 17*
radiotélescopes, *14*
Tempel 2, comète, *65*
Terechkova, Valentina, *69*
Terre, *22, 24*, 25, 35-38
atmosphère de la, 38, *38*
axe de la, 12, *12, 13*
champ magnétique de la, *35*
ciel changeant vu de la, 10, *10*, 11
continents de la, 36-37, *37*
croûte de la, 35, *35*
formation de la, 35
jour et nuit sur la, 8-9, *8*
manteau de la, 35, *35*
noyau de la, 35, *35*
orbite de la, *11*
révolution de la, *11*
rotation de la, 8
saisons de la, 12, *12*, 13
vent solaire autour de la, *34*
vie sur la, 35
vue de l'espace, *34-35*, 35, *37*
Téthys, 56, *56*
thermosphère, 38, *38*
Titan, 56, *57*
Titan 111 E-Centaur (USA), *19*
Tombaugh, Clyde, 61
tremblements de terre, 36, *36*
Triton, 60
troposphère, 38, *38*
trous noirs, 89

U
ultraviolets, 14, *15*, 26, 27
Univers, 94
Uranus, *22*, 23, 24, *25*, 59, *59*

V
« vagabondes », 23
Van Allen, ceinture de, *34*, *35*
Vanguard (USA), *18*
Van Manaen, étoile de, *91*
vent solaire, *34, 35*
Vénus, 21, 22, *22, 23*, 24, *24*, 25, 32, *32*, 33, *33*
Vesta, *63*
Vierge, amas de la, 93
Viking, sonde spatiale, 48-49, *49*
Viking 1 (USA), *46*
V.L.A. (Nouveau-Mexique), *14*
Voie lactée, 7, 90-91, *90-91*
volcans
sur Mars, *49*
sur Terre, 36, *36*
Voskhod 2 (URSS), *68, 69*
Vostok 1 et 6 (URSS), *68, 69*
Voyager 1 (USA), *50-51*
anneaux de Saturne vus de, *54*, 55, *55*
itinéraire de, *60*
Voyager 2 (USA), *50*, 51, *51*, 59, *60*

W
Wegener, Alfred, 36
Whipple, Fred, 64
White, Edward, *69*
Wilson, mont (Californie), télescope, 92

Y
Yerkes, observatoire, 16

Z
Zelentchouk, mont (Caucase), 16, *17*
Zodiaque, constellations du, 79, *79*
zone
convective, *28*, 29
radiative, *28*, 29

Loi n° 49-956 du 16 juillet 1949
sur les publications destinées à la jeunesse - Dépôt 7-85

Imprimé sur les presses de l'Imprimerie du Marval
94400 Vitry-sur-Seine
Dépôt légal n° 853-7-1985
29-17-0337-02 ISBN 2-01-009464-6

Imprimé en France

29/0337/5
85-VII

LE TEMPS DE LA DÉCOUVERTE

L'ASTRONOMIE ET L'EXPLORATION SPATIALE

La « planète bleue » ■ Le jour, la nuit et les saisons ■ Ce que voient les télescopes ■ Notre étoile : le Soleil ■ Un « cargo » pour l'espace : la navette ■ Fusées, satellites et sondes interplanétaires : à la découverte du système solaire ■ Déjà visitée : la Lune ■ Des voisines inhabitables : Mercure, Vénus, Mars ■ Jupiter et ses Lunes ■ Les anneaux de Saturne ■ Neptune, la dernière planète géante ■ Des mondes glacés : Uranus et Pluton ■ Astéroïdes, comètes et météores ■ Vie et mort des étoiles ■ Pulsars, quasars, trous noirs : des astres énigmatiques ■ La Voie lactée ■ Nébuleuses et amas globulaires ■ Un milliard de galaxies ■ Le « Big Bang » et le mystère des origines de l'Univers ■ Vers de grandes découvertes : le télescope spatial.

29/0337/5
85-VII
Imprimé en France
SUD-OFFSET - 94 RUNGIS

KO-582-158