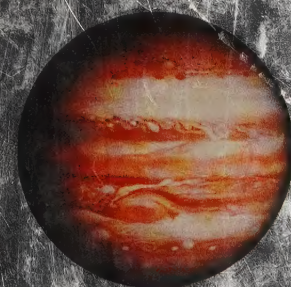
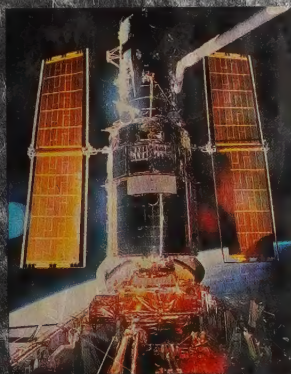
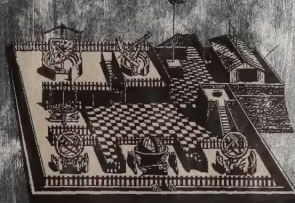
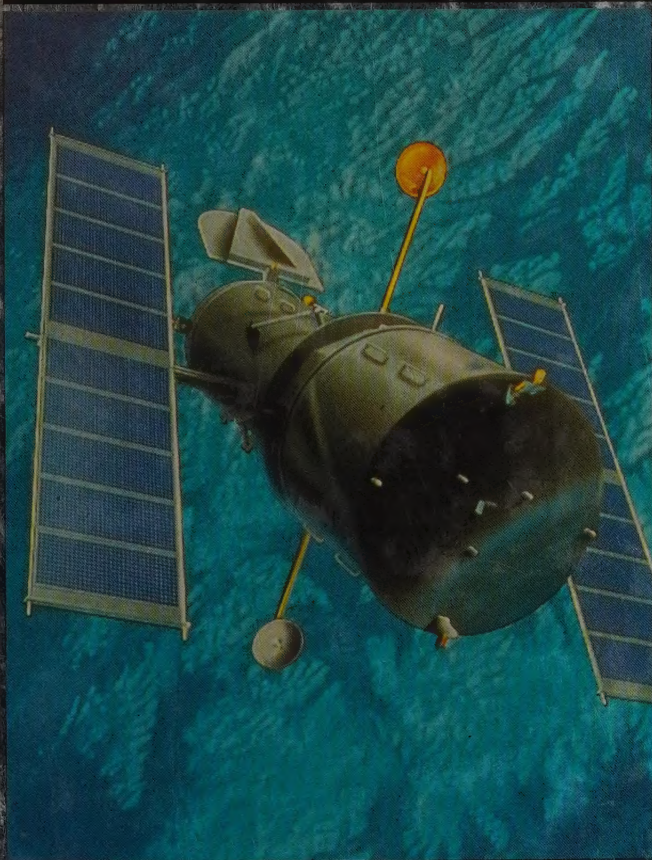


L'astronomie



Ordonner l'Univers, la sphère céleste,
les observatoires, le système solaire,
la naissance et la mort des étoiles, le monde
infini des galaxies. Depuis la nuit des temps,
l'homme ne cesse de penser le cosmos
et de le découvrir.



L'astronomie



LA COMMISSION SCOLAIRE DE BROSSARD
ÉCOLE SECONDAIRE ANTOINE-BROSSARD
3055, boul. Rome BROSSARD (Québec) J4Y 1S9

BIBLIOTHÈQUE

443-0010

COTE:.....520.....

.....L765 a.....

*claque
15 mai '18
dl*

NUMÉRO D'ACQUISITION:.....35056.....

Machine à calculer
(xix^e siècle)



Reconstitution
de Stonehenge



Globe terrestre
ornemental
(xix^e siècle)



Représentation
de la sphère céleste
(xix^e siècle)



Cadran solaire
japonais (xix^e siècle)



Le catalogue d'étoiles de John Flamsteed (1725)



Bâtons de Neper

L'astronomie



Prismes utilisés dans
un spectroscope du XIX^e siècle

par

Kristen Lippincott

en association avec The Old Royal Observatory, Greenwich

Photographies originales de Tina Chambers et Clive Streeter

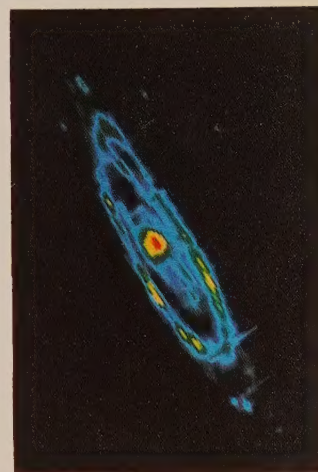
Traduction de Gilles Theureau, astronome



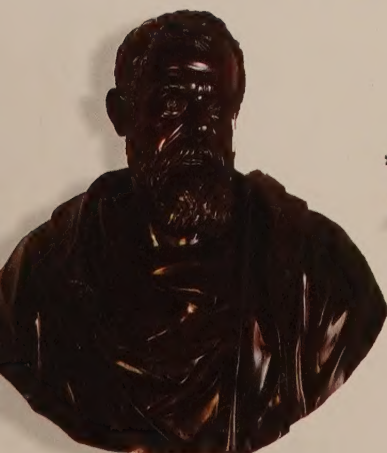
Astrolabe persan
(XVIII^e siècle)



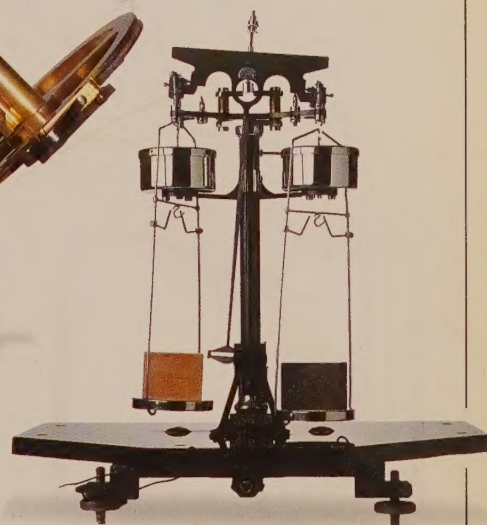
Lunette (XIX^e siècle)



Galaxie d'Andromède



Buste de Galilée



Balance, dite trebuchet, pour mesurer la masse

GALLIMARD

ÉCOLE SECONDAIRE ANTOINE-BROSSARD
CENTRE DE DOCUMENTATION

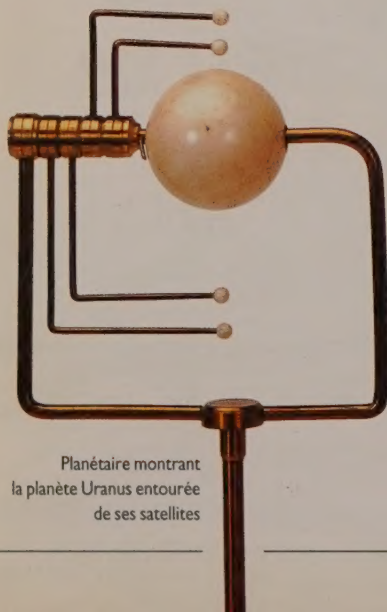
3055, BOUL. ROME, BROSSARD, (QUÉ.) J4Y 1S9
TÉL. : (514) 443-0010



Carte imprimée de constellation
(xix^e siècle)



Micromètre utilisé
avec un télescope



Planétaire montrant
la planète Uranus entourée
de ses satellites

UN OUTIL POUR TOUTE LA FAMILLE

Pour encourager le lecteur à observer le monde qui l'entoure, pour répondre aux nombreux pourquoi et comment de la vie quotidienne ou aux grandes interrogations de l'Univers, voici une encyclopédie scientifique accessible à tous, grâce à son attrait visuel et à sa simplicité. *L'astronomie* est un livre que l'on prendra l'habitude de consulter en famille et qui, alliant la fascination de l'image à la sérénité de la lecture, permettra, à tous les âges, de redécouvrir le plaisir de comprendre.

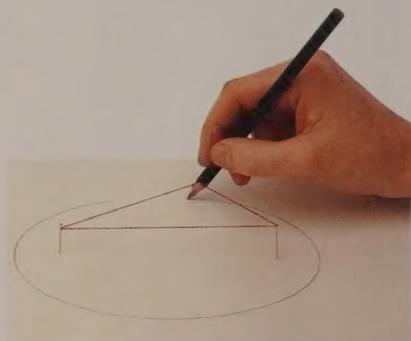
UNE SOURCE DE RÉFÉRENCES, D'EXPÉRIENCES ET D'INSPIRATION POUR LES ÉLÈVES ET POUR LES ENSEIGNANTS

Pour l'école, le collège ou le lycée, dans le cadre des programmes d'enseignement, cet ouvrage présente quantité d'exemples et d'expériences, majeures ou moins connues, qui expliqueront et illustreront de façon vivante et active l'histoire et les principes de la science.

Il aborde la connaissance en fertilisant l'imagination, facilitant ainsi le travail de la mémoire, et permet de passer tout naturellement du concret à l'abstrait.



Boussole (xix^e siècle)



Le tracé d'une ellipse

Direction éditoriale et artistique

Responsables éditoriaux :

Josephine Buchanan et Charyn Jones

Directeurs artistiques :

Lynne Brown et Ron Stobbs

Maquettiste : Elaine C. Monaghan

Responsable de la fabrication : Meryl Silbert

Iconographes : Becky Halls et Deborah Pownall

Conseiller éditorial : Heather Couper

Édition originale parue sous le titre :

Eyewitness Science Guide "Astronomy"



Copyright © 1994 Dorling Kindersley Limited, Londres
Copyright pour le texte © 1994 Kristen Lippincott

Pour l'édition française :

ISBN 2-07-058663-4

Copyright © 1995 Éditions Gallimard, Paris

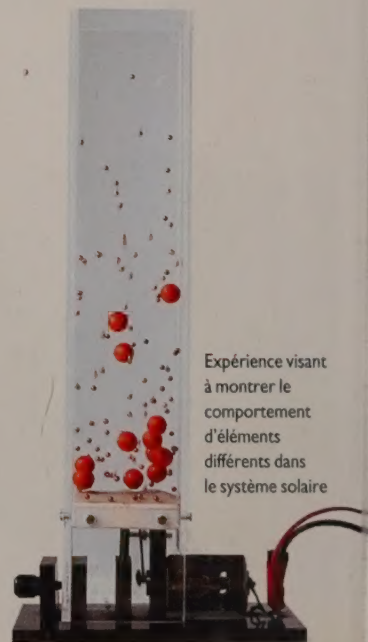
« Loi n° 49-956 du 16 juillet 1949

sur les publications destinées à la jeunesse »

Dépôt légal : février 1995.

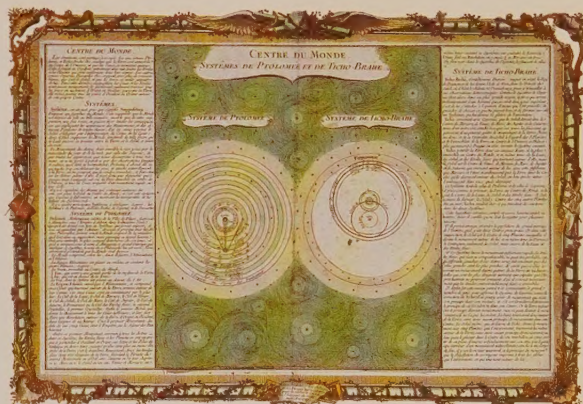
Numéro d'édition : 70022

Imprimé à Singapour



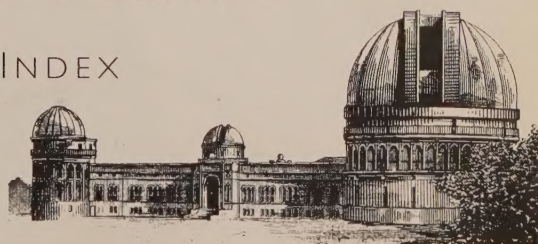
Expérience visant
à montrer le
comportement
d'éléments
différents dans
le système solaire

- 6** L'ÉTUDE DES CIEUX
- 8** L'ASTRONOMIE DES ANCIENS
- 10** ORDONNER L'UNIVERS
- 12** LA SPHÈRE CÉLESTE
- 14** L'UTILISATION DE L'ASTRONOMIE
- 16** L'ASTROLOGIE
- 18** LA RÉVOLUTION COPERNICIENNE
- 20** DE GRANDS INTELLECTUELS
- 22** LES PRINCIPES DE L'OPTIQUE
- 24** LE TÉLESCOPE OPTIQUE
- 26** LES OBSERVATOIRES
- 28** L'ASTRONOME
- 30** LA SPECTROSCOPIE
- 32** LE RADIODÉTESCOPE
- 34** LA CONQUÊTE DE L'ESPACE
- 36** LE SYSTÈME SOLAIRE
- 38** LE SOLEIL
- 40** LA LUNE
- 42** LA TERRE



Gravure astronomique française (XIX^e siècle)

- 44** MERCURE
- 46** VÉNUS
- 48** MARS
- 50** JUPITER
- 52** SATURNE
- 54** URANUS
- 56** NEPTUNE ET PLUTON
- 58** LES VOYAGEURS DE L'ESPACE
- 60** LA NAISSANCE ET LA MORT DES ÉTOILES
- 62** LE MONDE INFINI DES GALAXIES
- 64** INDEX





Le mot « astronomie » provient de deux mots grecs : *astron*, qui signifie « étoile », et *nemein*, « nommer ». Bien que les débuts de l'astronomie remontent à des milliers d'années avant que les Grecs anciens ne commencent à étudier le firmament, cette science a toujours reposé sur le même principe, « nommer les étoiles ». De nombreux noms proviennent des Grecs, puisqu'ils furent les premiers astronomes à faire un catalogue systématique des étoiles qu'ils pouvaient voir. Bon nombre des civilisations primitives mémorisaient les positions relatives des astres en les regroupant en motifs. L'un d'eux évoquait les méandres d'une rivière, on l'appela donc Eridanus, le Fleuve Éridan ; un autre évoquait un chasseur porteur d'une ceinture étincelante et d'une dague, il fut appelé Orion, le chasseur (p. 61) ; un autre encore, rappelant la forme d'un navire, fut baptisé Argos.

L'observation du ciel

Les premiers astronomes furent sans doute des

bergers et des cultivateurs. Ils guettaient dans les cieux les signes du changement des saisons, les dates des transhumances, des semailles ou des moissons.

Les nuits claires leur donnaient l'occasion de reconnaître des motifs familiers ainsi que les mouvements des corps célestes les plus brillants.

L'étude des étoiles

Presque toutes les cultures ont étudié les astres et cherché à comprendre leurs mouvements. Pendant le Moyen Âge, ce sont les

peuples de langue arabe qui poursuivirent les travaux astronomiques des Grecs. Les catalogues d'étoiles furent constamment améliorés et remis à jour par de grands astronomes arabes comme al-Sufi (903-986).

LA CLASSIFICATION

On nomme les étoiles en fonction de leur position à l'intérieur d'un motif et on les classe par ordre de brillance. Par exemple, l'étoile la plus brillante de la constellation du Scorpion s'appelle α *Scorpii* (« alpha du Scorpion ») parce que α est la première lettre de l'alphabet grec. On l'appelle aussi Antarès (« l'autre Mars ») car elle apparaît rouge dans le ciel nocturne et ressemble fortement à Mars, la planète rouge sang (p. 48-49).

Gravure représentant al-Sufi avec un globe céleste



Un ciel immuable

À part dans les grandes villes, où les étoiles sont voilées par la pollution ou masquées par l'éclairage urbain, l'observation du ciel nocturne reste encore captivante. Vu depuis la Terre, l'emplacement des étoiles a remarquablement peu varié durant les dix derniers millénaires. Le ciel d'une nuit du xx^e siècle est presque le même que celui visible il y a des milliers d'années. La voûte céleste était plus familière aux hommes des civilisations primitives parce qu'ils vivaient plus près que nous de la nature. On dispose maintenant de radiotélescopes, où les

images apparaissent sur l'écran d'un ordinateur, et de télescopes envoyés dans l'espace pour détecter des radiations qui ne pénètrent pas dans notre atmosphère. Ces progrès de la technologie n'empêchent nullement l'astronome amateur de contempler le ciel étoilé. Livres et journaux reproduisent des cartes du ciel permettant, pour une nuit donnée, pour un lieu géographique précis, à quiconque levant les yeux vers un ciel dégagé, de reconnaître les constellations.



Tradition

L'héritage de la science grecque des étoiles a traversé plusieurs civilisations. Les dessins des constellations s'inspiraient des héros des légendes locales. Les animaux méditerranéens du quotidien furent abandonnés par les autres cultures : celles de la Perse du début, mais en particulier au profit de créatures qui leur étaient plus familières comme le bouddhisme, le serpent ou la langouste.



Quetzalcoatl



Mythologie aztèque

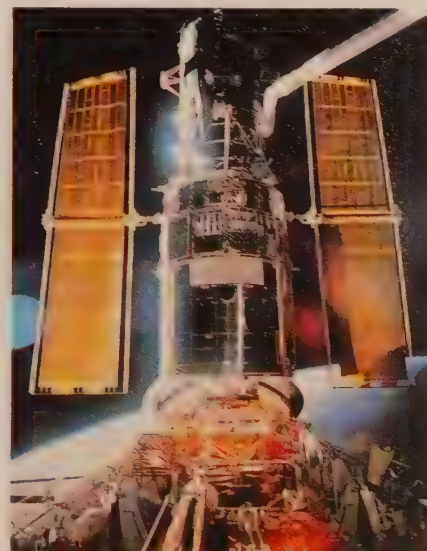
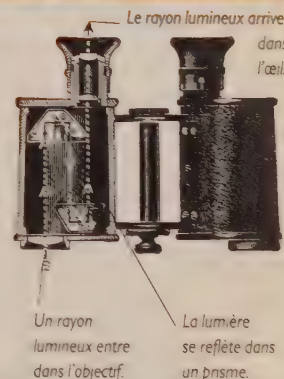
Ce dieu mexicain aztèque montre le dieu Quetzalcoatl, divinité du vent, qui reçoit les influences du Soleil et de Vénus. Son culte comprenait un sacrifice humain rituel.

Cette page est extraite d'un manuscrit arabe du XVIII^e siècle. On y reconnaît les représentations des signes des Gémeaux, du Cancer, du Belier et du Taureau. Les légendes sont écrites en arabe et se lisent donc de droite à gauche.



En regardant les étoiles

Un grand nombre des mystères du ciel est accessible au moyen d'une bonne paire de lunettes. Celle-ci, du XVIII^e siècle, donne des dieux une meilleure image que celle contenue par Newton, Galilée ou même Copernic. Autre grand astronome avec ses meilleurs instruments (p. 20-21).



Nous pouvons voir dans l'espace mille fois plus loin que ne le pouvaient les Anciens. En 1990, la NASA lança le premier télescope spatial, Hubble.

Des images de l'espace

En orbite autour de la Terre, le télescope spatial Hubble peut produire des images haute résolution à des milliers d'années-lumière de nous. La plus grande partie de son temps d'observation est consacrée à la poursuite de la recherche des zones voisines de trous noirs et à mesurer les effets de la gravitation sur la lumière stellaire.

De la superstition à la science

La science de l'astronomie s'est développée au sein de l'astrologie (p. 10-11), art divinatoire qui prétend que

les planètes et les étoiles affectent la vie sur Terre. Chaque planète possède sa personnalité et les pouvoirs d'un dieu. Mais, que l'on voit élucider des guerres, des pestes, des famines et des morts violentes.

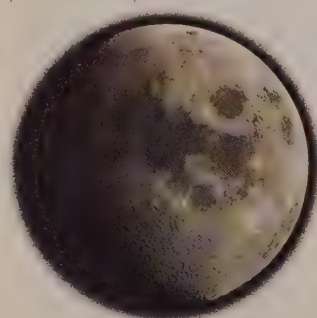




En regardant les mouvements cycliques des astres, les premiers observateurs réalisèrent qu'ils pouvaient s'en servir comme d'une horloge cosmique (rythmant le passage des heures du jour et de la nuit) et d'un calendrier (marquant la progression des saisons). D'anciens monuments, comme Stonehenge, en Angleterre, ou les pyramides des Mayas en Amérique centrale, prouvent que les composantes de base de l'astronomie observationnelle sont connues depuis 6 000 ans. Presque toutes les civilisations ont cru que les mouvements réguliers du ciel étaient la manifestation d'un ordre supérieur. D'anciens peuples pensaient, par exemple, que les éclipses étaient dues à un dragon qui mangeait le Soleil, et qu'il suffisait d'un grand bruit pour effrayer le monstre.

Phases lunaires

La face changeante de la Lune a toujours profondément impressionné



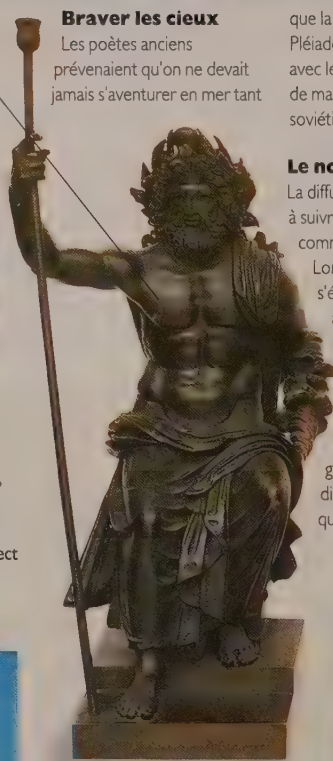
les hommes. On considérait la nouvelle lune comme le meilleur moment pour commencer une entreprise, et on craignait souvent la pleine lune comme la période où les esprits étaient libres de rôder.

Le dieu romain Jupiter

Le mot « lunatique », qui vient du latin *luna*, évoque l'aspect changeant du satellite de la Terre.

Braver les cieux

Les poètes anciens prévenaient qu'on ne devait jamais s'aventurer en mer tant



que la constellation des Pléiades ne s'était pas levée avec le soleil au début du mois de mai. Si le chef de l'État soviétique Mikhaïl Gorbatchev

Le nom des planètes

La diffusion du savoir tend à suivre les deux routes du commerce et de la guerre.

Lorsque les grands empires s'étendent, ils apportent avec eux leurs divinités, leurs coutumes et leurs connaissances.

Les civilisations antiques croyaient que les astres étaient gouvernés par les dieux. C'est ainsi que les

et le président des États-Unis George Bush s'étaient souvenus de leurs classiques grecs, ils auraient trouvé mieux à faire que d'essayer de se

rencontrer sur la Méditerranée dans un bateau en plein mois de décembre 1989. Leur sommet faillit être annulé à cause du mauvais temps.

Babyloniens, par exemple, attribuaient un nom à chaque planète d'après le dieu qui avait avec elle le plus de points communs. Les Grecs et les Romains adoptèrent ce système et remplacèrent les noms babyloniens par ceux de leur panthéon. C'est

pourquoi on peut remonter directement aux dieux-planètes babyloniens à partir des noms de planètes actuels : Mars a remplacé Nergal, et Jupiter, Marduk.



Vieil observatoire

Simple édifice en forme de ruche, avec une ouverture centrale dans le toit, l'observatoire de Chomsungdae (Corée) est le plus vieux du monde.

De nombreux observatoires modernes (p. 26-27) ont encore une ouverture similaire.

Enregistrer les mouvements du Soleil

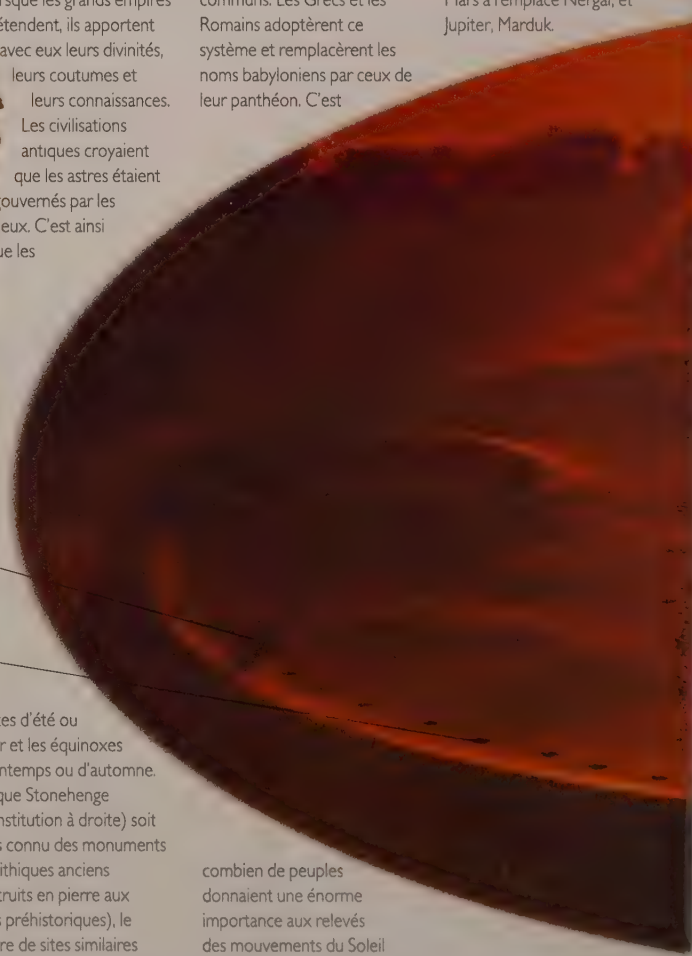
Bien que la signification précise des pierres levées de Stonehenge reste sujette à débat, il est clair, à en juger par leur arrangement, qu'elles ont été érigées par des hommes préhistoriques pour faire le relevé de certains événements célestes clés, comme les

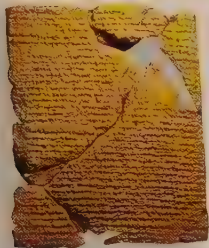
solstices d'été ou d'hiver et les équinoxes de printemps ou d'automne. Quoique Stonehenge (reconstitution à droite) soit le plus connu des monuments mégalithiques anciens (construits en pierre aux temps préhistoriques), le nombre de sites similaires à travers le monde montre

combien de peuples donnaient une énorme importance aux relevés des mouvements du Soleil et de la Lune.

Pierre dressée

Les trous d'Aubrey sont des fosses circulaires qui faisaient partie de la structure primitive.





Relevés babyloniens

Dans les civilisations de la Mésopotamie ancienne qui s'épanouirent entre le Tigre et l'Euphrate pendant plus de 2 000 ans, les premiers relevés astronomiques se présentaient sous la forme de tablettes d'argile. Les plus vieilles traces de calculs astronomiques sont assez récentes (IV^e siècle av. J.-C.), mais elles reposent manifestement sur des générations d'observations astronomiques.



Anneau de suspension

Cercle gradué

Graduations du calendrier

Carré d'ombre

Pinnule

Alidade tournante

L'une des faces d'un astrolabe persan, 1707

L'astrolabe

L'un des problèmes auxquels les premiers astronomes durent faire face était de savoir comment simplifier les calculs complexes

nécessaires pour prédire les positions des planètes et des étoiles. L'astrolabe en était utile, ses différents plateaux gravés reproduisant en deux dimensions l'ensemble de la sphère céleste.

L'alidade à pinnules était utilisée pour mesurer la hauteur du Soleil ou des étoiles. En l'ajustant contre le cercle gradué du calendrier situé sur l'extérieur de l'instrument, on pouvait effectuer certains calculs.

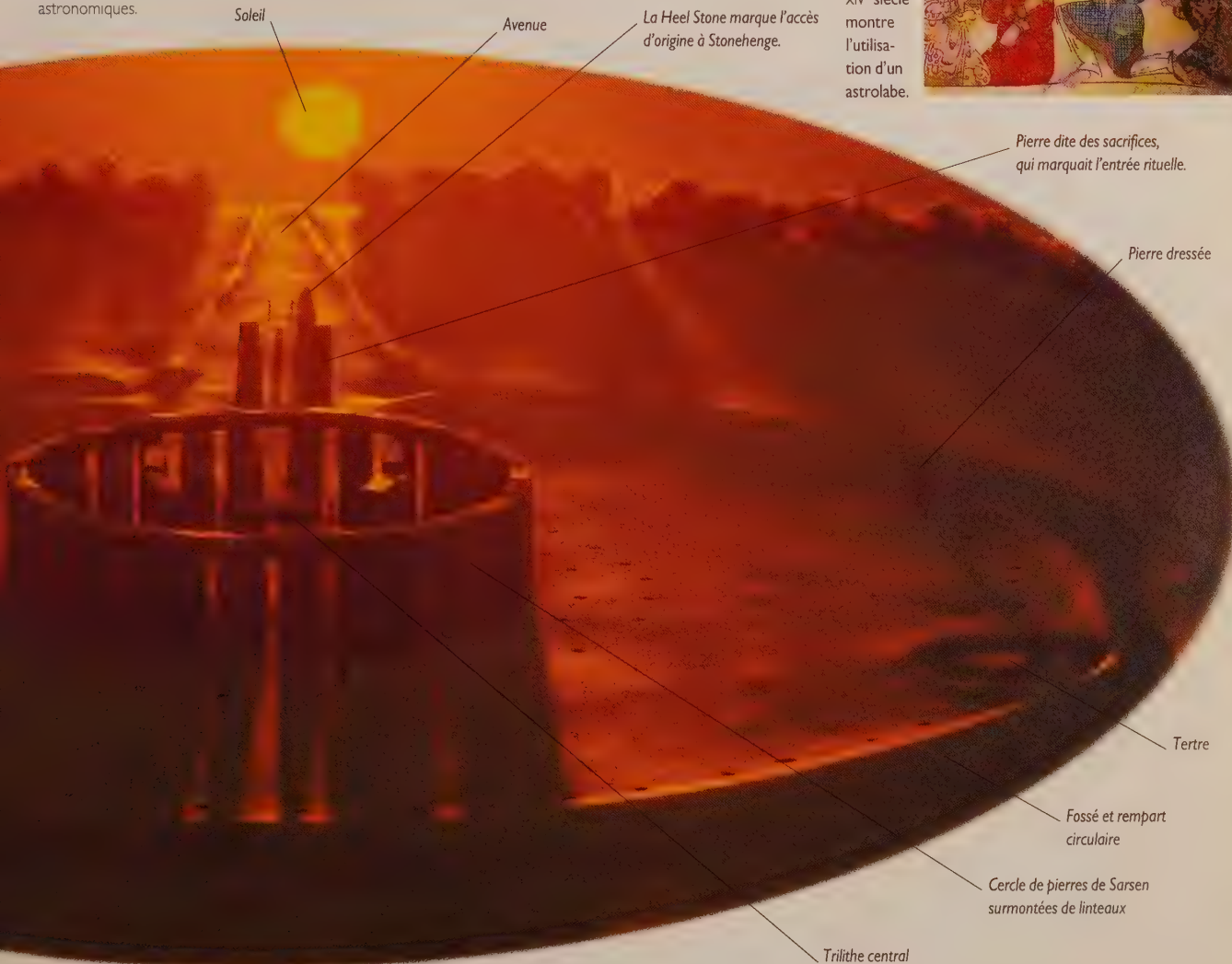


Prévoir les moissons

Pour presque tous les peuples anciens, l'astronomie était très importante parce qu'elle donnait le signal des changements de saison.

Les Égyptiens savaient que lorsque l'étoile Sirius se levait avec le Soleil, la crue du Nil n'était plus très loin. C'étaient le Soleil, la Lune et les étoiles qui décidaient des plantations et des récoltes.

Cette gravure d'un manuscrit arabe du XIV^e siècle montre l'utilisation d'un astrolabe.



Soleil

Avenue

La Heel Stone marque l'accès d'origine à Stonehenge.

Pierre dite des sacrifices, qui marquait l'entrée rituelle.

Pierre dressée

Tertre

Fossé et rempart circulaire

Cercle de pierres de Sarsen surmontées de linteaux

Trilithé central



Une grande part de ce que nous savons sur l'astronomie ancienne nous vient de l'astronome grec d'Égypte Claude Ptolémée (v. 90- v. 168). C'était un véritable scientifique qui, par bonheur, collecta et clarifia le travail des grands astronomes qui l'avaient précédé. Il laissa deux ouvrages très importants : le *Tetrabiblos*, un traité d'astrologie, et l'*Almageste*, véritable manuel d'astronomie où il remettait à jour le travail d'Hipparque en fournissant la liste de toutes les étoiles connues.

L'année bissextile

Prêtres et astronomes étaient confrontés au problème de la correspondance entre les calendriers solaire, lunaire et les saisons (p. 13). Par exemple, chaque année, le calendrier romain perdait un quart de jour sur l'année solaire. La confusion était si importante que, vers le milieu du 1^{er} siècle av. J.-C., Jules César (100-44 av. J.-C.) chargea le mathématicien grec Sosigène d'élaborer un nouveau système. On en arriva à l'idée d'une année bissextile : le quart de jour d'année solaire perdu chaque année était ainsi rattrapé tous les quatre ans.

Un catalogue d'étoiles

Hipparque (190-120 av. J.-C.) était l'un des plus brillants astronomes grecs. Il catalogua



Jules César

plus de mille étoiles et développa la science mathématique de la trigonométrie. Il est ici en train de regarder le ciel à travers un tube l'aidant à isoler les étoiles le télescope n'avait pas encore été inventé (p. 22 à 25).

SOUS UNE BONNE ÉTOILE

Les deux ouvrages de Ptolémée ont fait autorité sur leurs sujets respectifs pendant plus de seize siècles. Avec le déclin de l'Empire romain, qui commença vers le 4^e siècle, quantité de connaissances accumulées disparurent quand les bibliothèques furent détruites et leurs livres brûlés. Les ouvrages de Ptolémée furent par chance traduits en arabe et échappèrent ainsi à l'oubli.

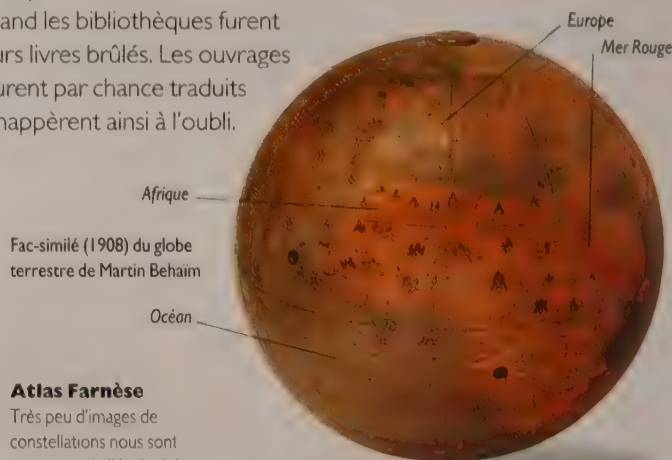


Cette statue de marbre représente

le géant Atlas portant le ciel sur ses épaules.

Atlas Farnèse

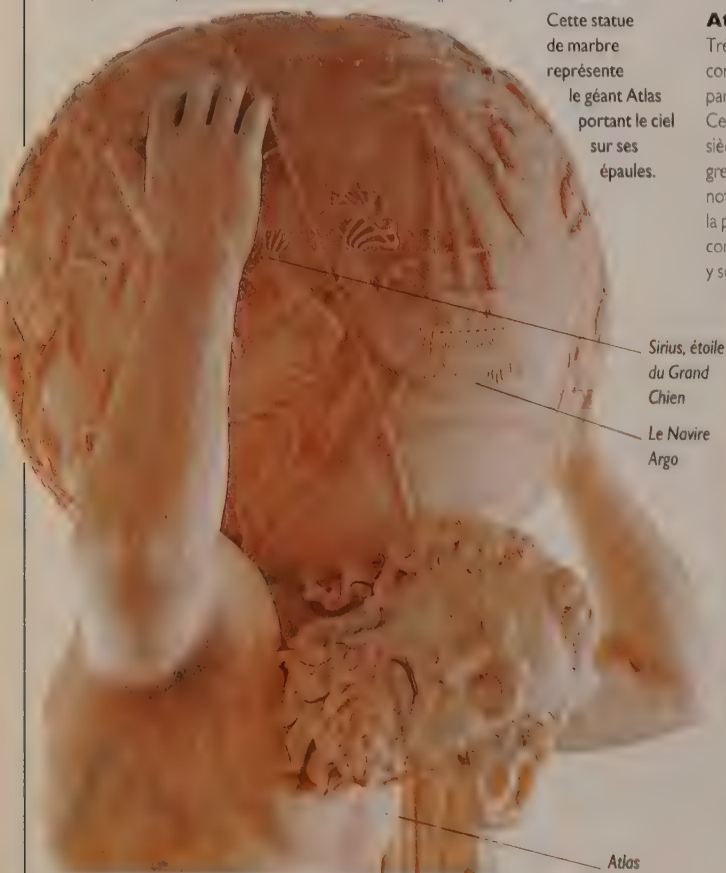
Très peu d'images de constellations nous sont parvenues de l'Antiquité. Cette statue romaine du 11^e siècle, copie d'une sculpture grecque plus ancienne, est notre source iconographique la plus importante. Les 48 constellations de Ptolémée y sont figurées en bas relief.



Une Terre ronde

Le concept d'une Terre sphérique remonte à la Grèce du 6^e siècle av. J.-C. Au temps de Ptolémée, les astronomes travaillaient avec des globes terrestres

ou célestes. Le premier qui ait été produit depuis l'Antiquité est celui-ci, de Martin Behaim (1459-1507), montrant une image de la Terre à demi inspirée des fables



Atlas



À l'observatoire de Samarkand, les mesures étaient prises à l'œil nu.

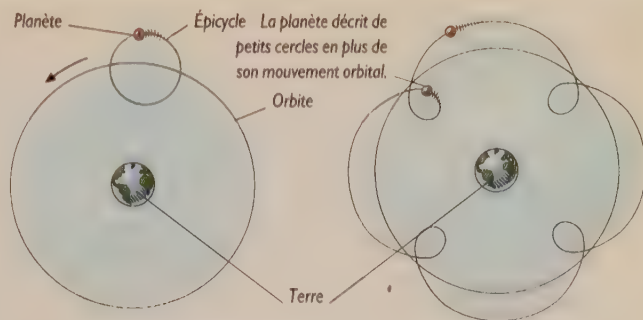
Astronomie arabe

Pendant le Moyen Âge, les civilisations de l'Islam continuèrent à développer

l'astronomie. Au 15^e siècle le prince mongol Ulug Beg installa un observatoire à Samarkand (Asie centrale)

UN UNIVERS GÉOCENTRIQUE

Vue du sol terrestre, la voûte céleste semble tourner au-dessus de notre tête, et rien ne laisse supposer que notre globe bouge. Les philosophes anciens croyaient donc naturellement que leur Terre était stable au centre du cosmos. Pour eux, les planètes étaient disposées dans une série de couches concentriques à l'intérieur de la grande enveloppe cristalline des « étoiles fixes ».



La Terre au centre

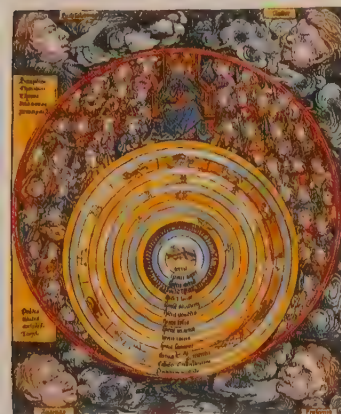
On rapporte souvent l'Univers géocentrique à celui de Ptolémée pour montrer comment les savants de l'Antiquité concevaient la structure de l'Univers. Le célèbre Ptolémée voyait la Terre au centre, le Soleil, la Lune et les autres planètes tournant autour d'elle. Aristarque de Samos (310-v. 230 av. J.-C.) avait déjà suggéré que la Terre voyageait autour du Soleil, mais sa théorie ne correspondait pas à la pensée mathématique et philosophique de son temps ; elle ne s'imposa définitivement qu'au XVII^e siècle.

Les premières civilisations interprétaient les mouvements irréguliers de certaines planètes comme des signes divins.

Les problèmes de l'Univers géocentrique

Le principal problème d'un modèle d'Univers centré sur une Terre fixe est qu'il ne permet pas d'expliquer le comportement apparent chaotique de planètes qui semblent parfois s'arrêter ou revenir en arrière par rapport aux étoiles fixes (p. 19). Pendant des

siècles, les philosophes grecs ont cherché une explication rationnelle de ce qu'ils observaient. La plus courante reposait sur la notion d'épicycle on supposait que les planètes se mouvaient en petits cercles (épicycles) tout en suivant une orbite circulaire centrée sur la Terre.

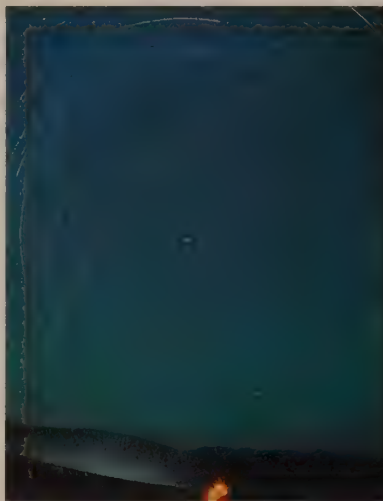


L'Univers de Ptolémée (gravure, 1490)

Un outil d'enseignement

Les astronomes ont toujours eu des difficultés à expliquer les mouvements des astres en trois dimensions. Ptolémée utilisait un outil qui ressemblait à cette sphère armillaire pour faire ses calculs astronomiques et transmettre ses idées à ses étudiants.





La meilleure façon de comprendre une carte du ciel est de se rappeler comment les Anciens imaginaient la structure de l'Univers. Comme ils n'avaient aucune preuve du mouvement de la Terre, ils conclurent qu'elle était immobile et que les astres tournaient autour d'elle. Ils pouvaient voir les étoiles décrire des cercles autour d'un point du ciel qu'ils supposèrent être l'une des extrémités de l'axe d'une grande sphère céleste. Ils appelèrent celle-ci sphère cristalline ou sphère des fixes parce qu'aucune des étoiles ne semblait changer de position par rapport aux autres. Les coordonnées célestes utilisées aujourd'hui proviennent de ce concept de sphère des fixes. Elles s'apparentent au système des longitudes et des latitudes, qui permet de repérer les positions à la surface du globe terrestre.

Pistes d'étoiles

Ce cliché, pris avec un long temps de pose depuis l'hémisphère Nord, montre comment les étoiles semblent décrire des cercles autour de la Polaire. Celle-ci est une étoile brillante située à moins d'un degré du véritable pôle céleste, dont la position est elle-même directement au-dessus du pôle Nord terrestre. La rotation de la Terre autour de son axe nord-sud est la cause du mouvement apparent des astres.

LES COORDONNÉES CÉLESTES

Les positions de tous les objets de l'espace sont mesurées dans le système dit de coordonnées équatoriales. On les repère par deux angles liés à l'équateur et à l'axe des pôles terrestres, l'ascension droite et la déclinaison. Les coordonnées locales sont déduites des coordonnées équatoriales en fonction de la latitude et de l'heure à laquelle on observe.



Sommet
Ligne de visée
Céilleton

Céilleton

Étoile Polaire
Grande Ours

Plan de l'horizon

Lecture de l'angle α à l'intersection de la ficelle et de l'arc gradué

Masse de plomb

Graduations en degrés

La somme des deux angles est égale à 90°

Hauteur

Ligne de visée
Verticale du fil à plomb
 90°
Ligne d'horizon

Mesures de hauteurs

Le quadrant est un quart de cercle dont le côté courbe a été divisé en 90 degrés. Il existe des instruments similaires, comme le sextant, qui matérialise un sixième de cercle. En pointant un objet à travers des viseurs alignés le long d'un des bords droits du quadrant, l'observateur

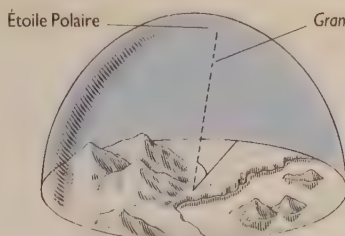
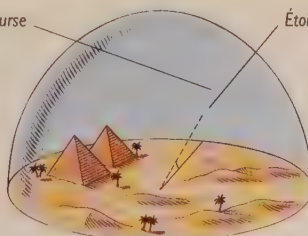
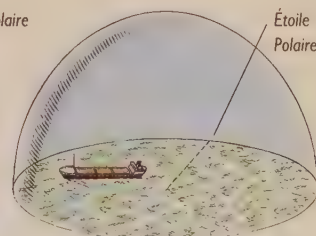
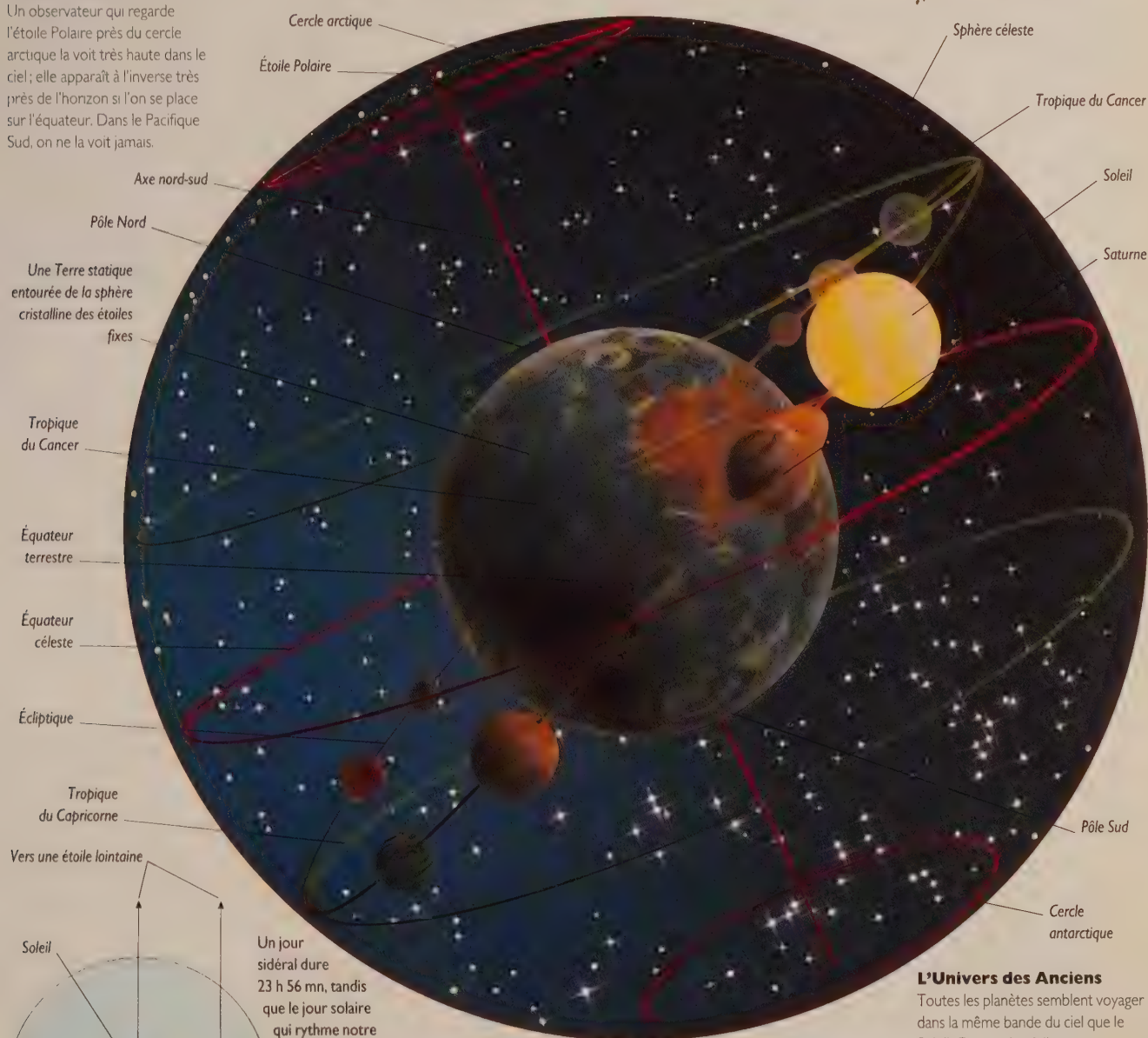
peut mesurer la hauteur dudit objet. Ce n'est pas une mesure linéaire, elle s'exprime en degrés et correspond à la hauteur d'un astre au-dessus de l'horizon. Le fil à plomb qui pend du sommet du quadrant croise l'arc gradué selon un angle α , et fait avec le plan de l'horizon un angle de 90° . On peut donc calculer facilement la valeur de l'angle de la hauteur.

Les calculs

La ligne de visée, l'horizon et le fil à plomb forment un triangle rectangle. La somme des angles d'un triangle étant égale à 180° , la hauteur recherchée est égale à la différence entre 90° et l'angle α indiqué par le fil à plomb.

Où est l'étoile Polaire ?

Pour localiser une étoile, les astronomes ont besoin de ses coordonnées célestes. L'étoile Polaire est un point de repère utile parce qu'elle indique la direction du pôle céleste Nord. L'angle mesuré entre la direction d'une étoile et l'équateur céleste s'appelle la déclinaison (il vaut 0° à l'équateur céleste, et 90° au pôle). Un observateur qui regarde l'étoile Polaire près du cercle arctique la voit très haute dans le ciel ; elle apparaît à l'inverse très près de l'horizon si l'on se place sur l'équateur. Dans le Pacifique Sud, on ne la voit jamais.

Latitude 80° (au Groenland)Latitude 30° (en Égypte)Latitude 0° (à l'équateur)

Vers une étoile lointaine

Soleil

Midi le 1^{er} jour

Un jour sidéral dure 23 h 56 mn, tandis que le jour solaire qui rythme notre vie dure exactement 24 h.

Second midi en temps sidéral

Second midi en temps solaire

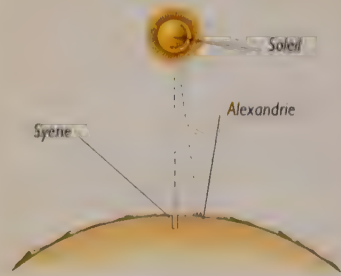
La mesure du temps

Un jour solaire correspond au temps que met la Terre à faire un tour sur elle-même par rapport au Soleil. Comme la Terre, en plus de sa rotation, est en orbite autour du Soleil, il lui faut, en réalité, un peu plus d'un tour sur elle-même (par rapport

à un repère absolu lié aux directions fixes des étoiles lointaines) pour retrouver la position du midi au Soleil. Les astronomes ont donc défini une nouvelle unité de temps : le jour sidéral, temps qui sépare deux passages consécutifs d'une étoile au-dessus du méridien du lieu.

L'Univers des Anciens

Toutes les planètes semblent voyager dans la même bande du ciel que le Soleil. Comme les éclipses avaient toujours lieu le long de ce cercle, il fut appelé l'écliptique. Lorsque le Soleil parcourt l'écliptique, il semble rebrousser chemin en passant à travers les constellations du Cancer, au nord, et du Capricorne, au sud. Les points où le Soleil fait demi-tour furent appelés les tropiques.



Mesurer la Terre

Ératosthène (v. 284-v. 192 av. J.-C.) a perçut qu'à midi, le jour du solstice d'été, à Syène en Haute Égypte, le Soleil était à la verticale d'un puits. À Alexandrie, au nord, le Soleil était le même jour à environ 7° du point le plus haut (le zénith). Comme il savait que la Terre était sphérique (360° de circonférence), la distance entre ces deux villes lui permettait de calculer la circonférence du globe.

Vers 230 av. J.-C., Ératosthène fit une estimation de la taille de la Terre en utilisant l'ombre projetée par un bâton à midi.

Avec toutes les ressources de la technologie moderne, il est parfois difficile d'imaginer comment les hommes se représentaient des fonctions simples comme la mesure du temps ou de leur position sur Terre, avant l'invention de l'horloge, des cartes ou des satellites de navigation. Les seuls outils disponibles étaient ceux fournis par la nature. Les faits astronomiques tels que la durée relativement régulière du jour, la constance des mouvements des étoiles fixes, et les postulats de certaines théories, comme la sphéricité de la Terre, permettaient aux gens d'évaluer la durée de leur vie. En calculant la hauteur du Soleil ou de certaines étoiles, les Grecs anciens commencèrent à comprendre la forme et la taille de la Terre. Ils étaient ainsi capables de déterminer leur latitude (p. 26-27). En plaçant des coordonnées sur le globe, ils pouvaient fixer leur position sur la surface terrestre. En installant des indicateurs soigneusement gradués, ou gnomons, ils ont mesuré le temps au cours de la journée.



Un ancien cadran solaire

Très tôt, les hommes réalisèrent qu'ils pouvaient fractionner le temps en utilisant le Soleil. Des simples cadrans solaires, comme celui-ci, permettaient aux voyageurs et aux négociants de connaître l'heure locale dans les différentes villes qu'ils traversaient au cours de leurs déplacements. La hauteur du Soleil était mesurée grâce aux cailletons placés à l'avant et à l'arrière de ce « petit

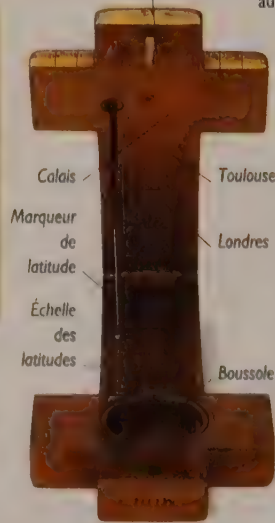
bateau ». Lorsque l'on positionnait le curseur du mât du navire à la bonne latitude, le fil à plomb indiquait l'heure juste



Voyager jusqu'au Pacifique Sud

De nombreuses tribus polynésiennes, dont les Maoris de Nouvelle-Zélande, étaient capables de naviguer sur des milliers de kilomètres en se guidant grâce aux étoiles.

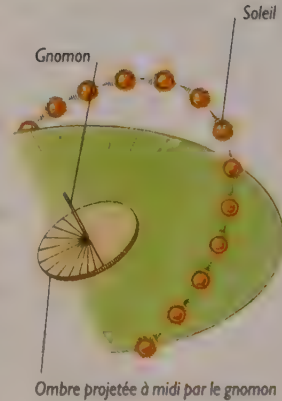
Les indigènes parcouraient en pirogue les grandes distances qui séparent le Pacifique Nord de la Nouvelle-Zélande.



Les abréviations anglaises « a.m. » et « p.m. », pour le matin et l'après-midi, proviennent des mots latins *ante meridiem* et *post meridiem*, qui signifient avant et après le passage du Soleil au méridien.

Comment fonctionne un cadran solaire ?

Lorsque le Soleil traverse le ciel, l'ombre qu'il produit change de direction et de longueur. Le principe du cadran consiste à mettre en place un gnomon (une tige verticale) de telle façon que l'ombre que le Soleil projette à midi tombe parallèlement au méridien (un méridien est une ligne imaginaire qui relie les pôles Nord et Sud, on l'appelle aussi ligne de longitude). Les heures peuvent alors être notées de part et d'autre de la ligne du midi.



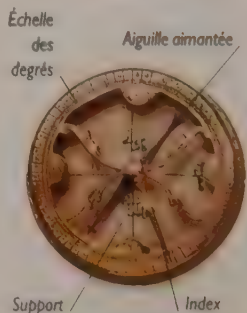
Trouver La Mecque

Une partie du culte islamique consiste en prières régulières pour lesquelles on doit se tourner vers la Ville sainte. Le qiblah est un instrument sophistiqué qui fut conçu au Moyen Âge pour trouver la direction de La Mecque. Il utilise aussi le Soleil pour déterminer le début et la fin des prières.



Cadran de pèlerin

Les cadrans solaires étaient généralement très décorés, couverts d'images et de signes empruntés aux fables et à l'astrologie. Or, d'après les commandements chrétiens, tout ornement devait être considéré comme un symbole de vanité. Les pèlerins contournèrent la difficulté en décorant leurs cadrans solaires avec des symboles religieux.

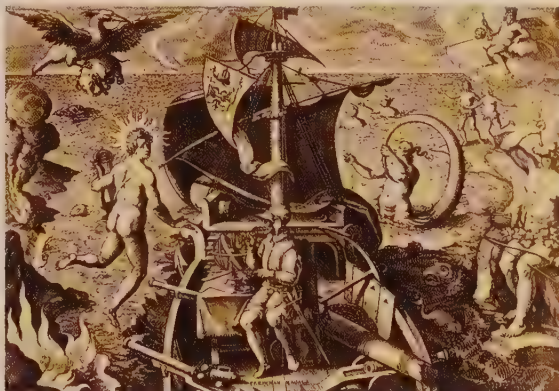




Un globe céleste

Cette sphère montre les figures et les étoiles de toutes les constellations sur une grille représentant les lignes de longitude et de latitude. Pendant le ^{xvi}^e et le ^{xvii}^e siècle, tous les navires de la Compagnie hollandaise des Indes orientales possédaient

à leur bord les deux globes, céleste et terrestre (p. 10). Les navigateurs pouvaient calculer leur position en mer en comparant les coordonnées sur les deux globes. Mais la plupart préféraient utiliser une carte marine, plus pratique, pour noter leurs parcours.



Les grands aventuriers

Les explorateurs du ^{xvi}^e siècle n'avaient aucune idée de ce qu'ils allaient trouver en s'engageant sur la mer. Les histoires de sirènes et de monstres marins faisaient bon ménage avec les instruments scientifiques de navigation. Bien que le navigateur portugais Fernand

de Magellan (1480-1521) figure sur cette gravure entouré de créatures fantastiques, on le voit utiliser une paire de compas à pointes sèches pour mesurer une sphère armillaire (p. 11). À côté du bateau brille le dieu solaire Apollon ; c'était souvent la position du Soleil qui aidait les navigateurs à trouver leur latitude.



L'utilisation du quartier de Davis

Le quartier de Davis permet de mesurer la hauteur du Soleil sans avoir besoin de le fixer directement. L'observateur tient l'instrument de telle sorte que l'ombre projetée par la pinnule d'en haut tombe directement sur

la pinnule fixe du grand triangle. On place la pinnule mobile d'en bas de manière à voir l'horizon à la fois à travers elle et la pinnule fixe. En ajoutant les angles de la pinnule d'en bas et de la pinnule d'en haut, un navigateur pouvait calculer la hauteur du Soleil, d'où il déduisait la latitude précise de son bateau.

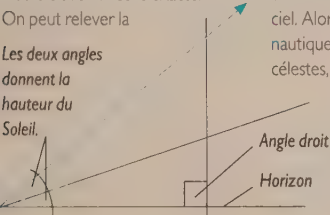
Calculs de latitude

Inutile d'avoir l'heure exacte. On peut relever la

Les deux angles donnent la hauteur du Soleil.

hauteur du Soleil tant que celui-ci est à son plus haut point dans le ciel. Alors, en utilisant des tables nautiques de coordonnées célestes, on trouve la latitude par une simple équation à partir de l'angle de hauteur et des coordonnées du Soleil sur la sphère céleste.

Pour connaître sa latitude, un navigateur mesure la hauteur du Soleil à midi à l'aide d'un quartier de Davis.

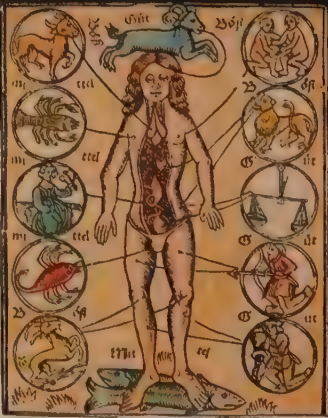




Le terme astrologue vient des mots grecs *astron*, qui signifie « étoile », et *logos*, « discours ». Depuis l'époque babylonienne, les hommes étaient convaincus, en regardant le ciel nocturne, que les mouvements réguliers des ciels étaient les indications d'un grand dessein cosmique. Prêtres et philosophes croyaient qu'en cartographiant les étoiles et leurs mouvements ils pourraient décoder ces messages et comprendre les dispositions qui ont un effet sur le passé et l'avenir. Au départ, l'observation

astronomique des étoiles ou des planètes était indissociable de l'astrologie et c'était l'astronome officiel qui préparait les horoscopes. Les scientifiques d'aujourd'hui pensent que l'astrologie n'est que superstition. On n'a en effet jamais trouvé la moindre preuve que les étoiles et les planètes aient une influence sur notre personnalité. En revanche, durant la plus grande partie du Moyen Âge, alors que

la science pure était en profonde hibernation, c'est l'astrologie et le désir de connaître l'avenir qui maintinrent l'astronomie en vie, les tables et les éphémérides des planètes étant sans cesse remises à jour.



Zodiaque et santé

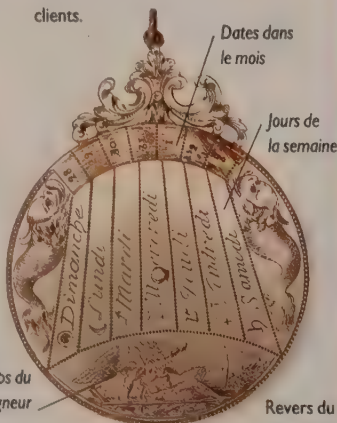
Chacun des douze signes avait des liens privilégiés avec chacune des « humeurs » et avec les parties du corps humain. Ainsi, une migraine due à « de l'humidité dans la tête » (un rhume) était traitée par un agent asséchant (une plante soumise à l'influence du Soleil ou d'un « signe de Terre ») lorsque la nouvelle lune était bien placée dans la direction du Bélier, qui gouverne la tête.

Jusqu'aux découvertes de la science moderne, les gens croyaient que le corps était gouverné par quatre liquides organiques appelés humeurs.

La gravure sur bois en haut, à gauche, qui date de 1490, montre un astrologue en consultation avec l'un de ses clients.

L'astrologue

Dans l'Antiquité, le discours de l'astrologue consistait à prédire l'avenir. Les astrologues utilisaient des représentations du Soleil, de la Lune et des planètes pour trouver les influences astrales sur les existences humaines.



Les jours de la semaine portent les noms des astres errants : le lundi est le jour de la Lune, le mardi est celui de Mars, etc.

Un calendrier perpétuel

Ce simple calendrier perpétuel donne le jour de la semaine – auquel correspond un petit signe planétaire – pour n'importe quelle date. L'utilisateur trouve le jour en tournant le cadran intérieur jusqu'à un mois ou une date donnés.



Pour chaque étoile, un trou laisse passer la lumière.

Leo, le Lion

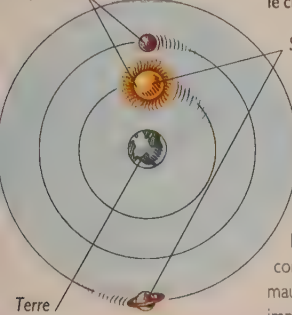
Du point de vue astrologique, chaque signe a ses propres attributs et ses propres amis ou ennemis à l'intérieur du cercle du zodiaque. Chacun est aussi dirigé

par une planète qui, de la même façon, a ses attributs, ses amis et ses ennemis. Ainsi, on suppose qu'une personne née pendant que le Soleil traversait la constellation du Lion est royale comme un lion.

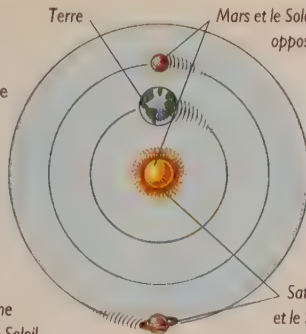
La position des planètes

Lorsque l'on trouve deux planètes à seulement quelques degrés l'une de l'autre, on dit qu'elles sont en conjonction. Quand elles sont séparées par exactement 180° à l'intérieur de la bande du zodiaque, on dit qu'elles sont en opposition.

Mars et le Soleil en conjonction



Les planètes sont en harmonie ou non suivant leur disposition dans le ciel.



Mars et le Soleil en opposition

Saturne et le Soleil en conjonction

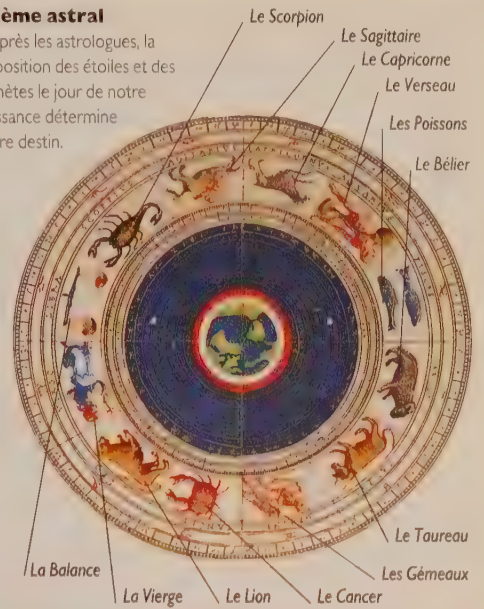
Être en conjonction

On montre ici les planètes dans un Univers géocentrique (p. 10-11) où la Terre est au centre. Les conjonctions sont bonnes ou mauvaises selon que les planètes impliquées sont en amitié mutuelle ou non.

Une opposition passe pour maléfique ou diabolique parce que deux planètes s'affrontent.

Thème astral

D'après les astrologues, la disposition des étoiles et des planètes le jour de notre naissance détermine notre destin.



Scorpius, le Scorpion

La plupart des noms de constellations, comme ceux des planètes, sont issus de la Grèce antique. On les connaît aujourd'hui généralement sous

leur traduction latine. Cette carte montre Scorpius, le Scorpion. Pour les astrologues, les gens nés dans cette période de l'année sont intuitifs, secrets, comme un scorpion détalant sous un rocher.

Le Soleil est dans le Scorpion de fin octobre à fin novembre.



Cancer, le Crabe

On suppose que la personne née sous le signe du Cancer est casanière, comme un crabe dans sa carapace. Ces cartes sont connues sous le nom de « miroir

d'Uranie », Uranie étant la muse de l'Astronomie (p. 19). Il suffit de maintenir les cartes devant une source lumineuse pour apprendre les formes et les brillances relatives des étoiles.



En 1543, Nicolas Copernic publia un livre qui changea la perception de l'Univers. Dans son *De revolutionibus orbium coelestium* (« Des révolutions des orbés célestes »), Copernic soutient que c'est le Soleil, et non la Terre, qui est au centre de l'Univers. Il s'agit d'un Univers héliocentrique, *helios* étant le mot grec pour « Soleil ». Son raisonnement était fondé sur la logique du temps. Il affirmait qu'une sphère se déplace dans un cercle qui n'a ni commencement ni fin. Puisque l'Univers et tous les corps célestes sont sphériques, leur mouvement devait être circulaire et uniforme. Dans le système géocentrique de Ptolémée (p. 10-11), les trajectoires des planètes sont irrégulières. Copernic supposait que les mouvements uniformes des planètes sur leurs orbites nous apparaissent irréguliers parce que la Terre n'est pas au centre de l'Univers. De nombreux astronomes prirent parti pour ces découvertes, mais ils allaient ainsi à l'encontre des enseignements des Églises catholique et protestante. En 1616, tous les livres, écrits par Copernic ou d'autres, qui plaçaient le Soleil au centre de l'Univers furent condamnés par l'Église catholique.



Nicolas Copernic

L'astronome polonais Nicolas Copernic (1473-1543, en haut, à gauche) commença ses études à Cracovie avant de partir, à 23 ans,

pour l'Italie et les universités de Bologne, puis Padoue, où il étudia le droit canon, le droit civil et la médecine tout en s'intéressant principalement aux mathématiques

et à l'astronomie. Il lut les philosophes anciens et découvrit qu'aucun accord n'existait entre eux sur la question de la structure de l'Univers.



Uraniborg, l'observatoire de Tycho Brahe sur l'île de Hveen

Un excellent observateur

L'astronome danois Tycho Brahe (1546-1601) découvrit une nouvelle étoile, une nova, dans la constellation de Cassiopée, en 1572. L'étoile était si brillante qu'on la voyait en plein jour.

Cette apparition remit en question la tradition qui voulait que les étoiles fussent éternelles et immuables. Pour étudier cette nouvelle venue, on construisit un observatoire près de Copenhague. Brahe y observa 788 étoiles du grand catalogue de Ptolémée et conçut le premier atlas stellaire complet des temps modernes.

L'Univers de Copernic

L'ordre du système solaire de Copernic repose sur le temps que met chaque planète à parcourir une orbite complète.

Cette gravure ancienne montre la Terre et les cinq autres planètes connues à l'époque en orbite autour du Soleil, le zodiaque étant placé au-delà.

Dessiner une ellipse

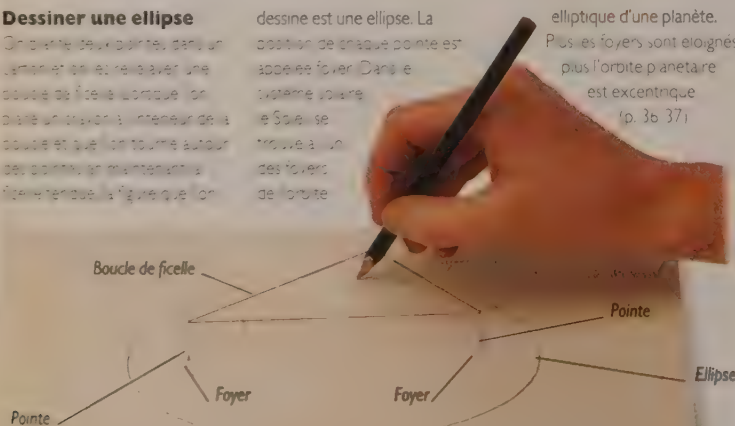
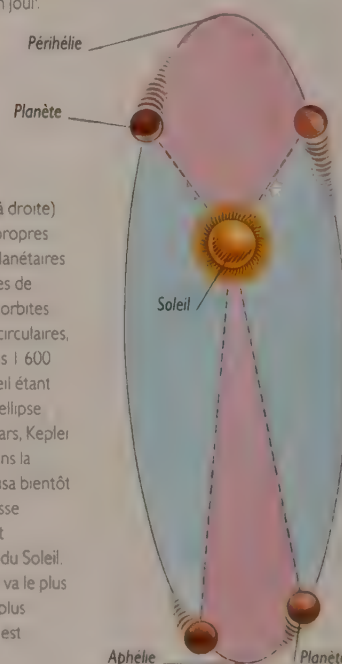
On peut se servir d'un fil, d'un clou et d'un crayon pour dessiner une ellipse. On fixe le fil à un point, on y attache un crayon, on tire le fil et on tourne autour du point en maintenant le fil tendu. La figure que l'on

dessine est une ellipse. La position de chaque point est appelée foyer. Dans le système solaire, le Soleil se trouve à l'un des foyers de l'orbite.

elliptique d'une planète. Plus les foyers sont éloignés, plus l'orbite planétaire est excentrique (p. 36-37).

Les lois de Kepler

Johannes Kepler (en haut, à droite) ajouta les résultats de ses propres observations stellaires et planétaires aux mesures perfectionnées de Tycho. Il découvrit que les orbites des planètes n'étaient pas circulaires, comme on le croyait depuis 1 600 ans, mais elliptiques, le Soleil étant placé à l'un des foyers de l'ellipse. En observant l'orbite de Mars, Kepler découvrit des variations dans la vitesse de la planète. Il réalisa bientôt que le Soleil régularise la vitesse orbitale de la planète. C'est lorsqu'elle est au plus près du Soleil, au périhélie, que la planète va le plus vite. À l'aphélie, le point le plus éloigné du Soleil, la vitesse est minimale.





Johannes Kepler (1571-1630)

Tycho Brahé légua tous ses travaux à Johannes Kepler, qui était un fervent défenseur du système héliocentrique de Copernic. Le mathématicien allemand formula trois lois des mouvements planétaires et encouragea Galilée (p. 20) à publier ses recherches afin d'apporter des preuves de la thèse de Copernic.

C'est grâce à l'intervention de Tycho Brahé que Kepler entra en 1601 à la cour de Rodolphe II à Prague, avec le titre prestigieux de mathématicien impérial.



Images projetées dans un planétarium

Trajectoires apparentes

Ce furent les phénomènes rétrogrades comme les mouvements et grades des planètes qui mirent en doute le système géocentrique. Vues de la Terre, un certain nombre de planètes, dont Mars, semblent effectuer un aller et retour sur leurs orbites et suivre de grandes boucles (la courbe lumineuse ci-dessus dessine l'orbite apparente de Mars). Ptolemée expliquait les mouvements rétrogrades des planètes en rajoutant des épicycles (p. 11) à leurs trajectoires. Une fois que les astronomes eurent admis le Soleil comme centre du système solaire, ils purent expliquer la trajectoire apparente de Mars. Mais la première chose à comprendre était que la Terre eût une vitesse orbitale plus grande que celle de Mars. Bien que Mars semble avancer au même pas que la Terre (en bas, à gauche), sa trajectoire apparente est très différente.



Soupeser les théories

Cette gravure du XVII^e siècle montre Uranie, la muse de l'Astronomie, comparant les théories de la structure de l'Univers. Le système de Ptolemée est à ses pieds, et celui de Kepler pèse moins que le système de Tycho (à droite)

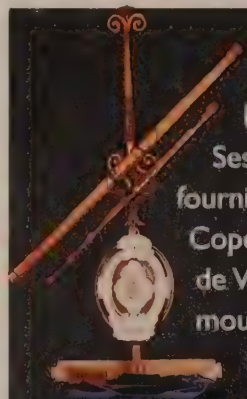


Orbite de Mars

Soleil

Maquette montrant les orbites réelle et apparente de Mars vues de la Terre

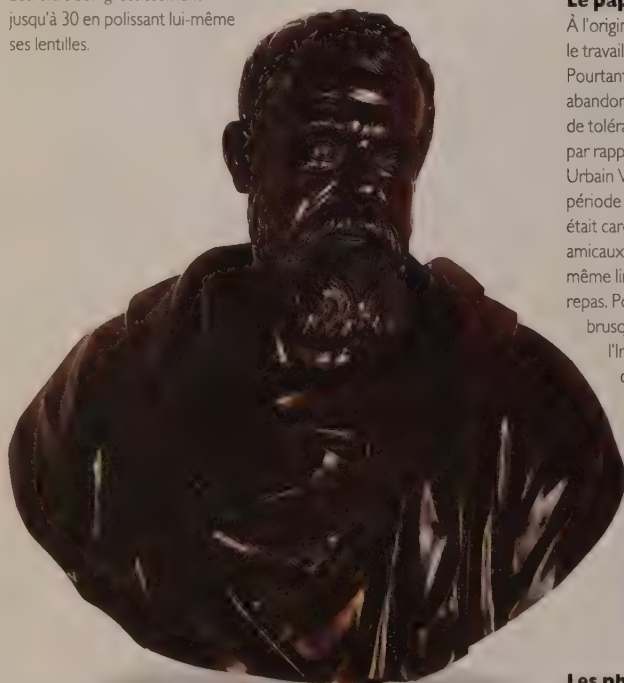
Orbite de la Terre



Il faut à la fois de la chance et de l'intelligence pour être un penseur d'avant-garde. L'Italien Galileo Galilei, dit Galilée (1564-1642), eut la malchance d'être un esprit brillant à une époque où les nouvelles idées étaient considérées comme dangereuses. Ses nombreuses observations, faites avec l'aide de sa lunette nouvellement inventée, fournissaient des arguments en faveur de l'Univers héliocentrique (centré sur le Soleil) de Copernic (p. 18-19). Ses découvertes à propos des satellites de Jupiter (p. 50) ou des phases de Vénus montraient clairement que la Terre ne pouvait pas être au centre de tous les mouvements qui avaient lieu dans l'Univers et que le comportement des corps célestes n'était pas parfait. Galilée fut pour ses écrits accusé d'hérésie et condamné pour désobéissance par le tribunal de l'Inquisition.

La lunette de Galilée

Galilée n'a jamais proclamé avoir inventé la lunette. Dans *Il Saggiatore* (« L'Archer »), il fait l'éloge du « simple fabricant de lunettes de vue » qui « découvrit l'instrument » par hasard. Lorsqu'il entendit parler des résultats de Lippershey (p. 22), Galilée réinventa l'instrument à partir de la description de ses effets. Sa première lunette grossissait 8 fois. Après quelques jours seulement, il en construisit une nouvelle, de grossissement 20. Il continua à accroître son grossissement jusqu'à 30 en polissant lui-même ses lentilles.



Un humaniste

En 1611, Galilée se rendit à Rome pour discuter de ses observations avec les dirigeants de l'Église. Ceux-ci acceptèrent ses découvertes, mais pas ses théories qui

ÊTRE UN LIBRE PENSEUR

Le brillant physicien anglais Isaac Newton (1642-1727), né l'année de la mort de Galilée, eut plus de chance que son aîné. À son époque, on s'enthousiasmait pour les idées neuves et les découvertes scientifiques.



Le pape Urbain VIII

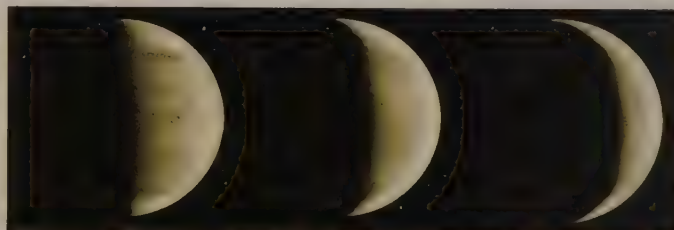
À l'origine, l'Église avait bien accueilli le travail de Copernic (p. 18-19). Pourtant, à partir de 1563, elle abandonna sa première attitude de tolérance à l'égard des déviations par rapport à la doctrine établie. Urbain VIII fut un des acteurs de cette période de renversement. Lorsqu'il était cardinal, il entretenait des liens amicaux avec Galilée et se faisait même lire *Il Saggiatore* lors de ses repas. Pourtant, en 1635, changeant brusquement d'attitude, il autorisa l'Inquisition à saisir les travaux de l'astronome.



La surface de la Lune

À travers sa lunette, Galilée mesura les ombres sur la Lune pour montrer que les montagnes y étaient plus

hautes que sur Terre. Ces eaux-fortes furent publiées dans son livre *Sidereus Nuncius* (« Le Messager céleste ») en 1610

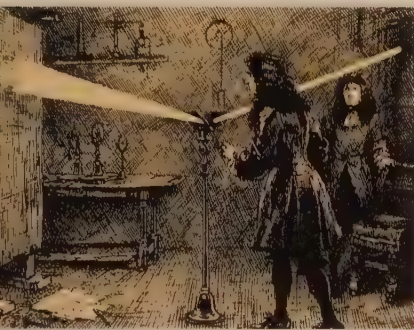


Les phases de Vénus

En véritable scientifique, Galilée ne pouvait accepter les faits sans les prouver. En 1610, en appliquant la lunette à l'astronomie, il découvrit les lunes de Jupiter et les phases de Vénus. Il comprit immédiatement que

ces dernières étaient dues à la lumière du Soleil réfléchi par la planète, en orbite autour de lui. Il savait qu'il déniait là la preuve que la Terre n'était pas au centre de l'Univers et que les planètes tournaient en réalité autour du Soleil.

Galilée protégea dans des anagrammes latines ses découvertes qu'il savait être « dangereuses » aux yeux des autorités.

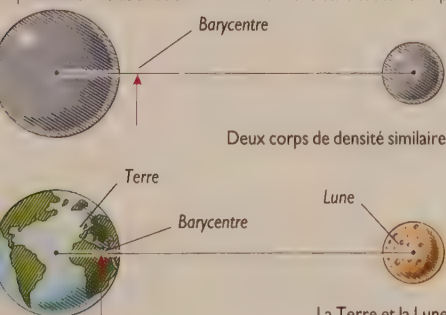


Newton et la lumière

En 1666, le jeune Newton se procura un prisme triangulaire afin d'étudier le « phénomène des couleurs » ; il décrit alors pour la première fois l'effet de la décomposition de la lumière blanche en un spectre. Bien que la lumière blanche provint d'un trou minuscule dans un volet, le spectre créé par elle était étalé, le bleu se montrant plus sévèrement dévié que le rouge. Ses découvertes eurent d'importantes répercussions sur le développement du télescope (p. 22-25) et de la spectroscopie (p. 30-31).

Le télescope de Newton

La conception du télescope de Newton est issue directement des expériences du physicien anglais sur la lumière. Newton savait qu'une lentille pouvait décomposer la lumière en ses constituants colorés et provoquer un phénomène d'aberration



Le barycentre

Newton comprit que la force qui fait tomber les objets et maintient les planètes sur leurs orbites autour du Soleil, c'est l'attraction gravitationnelle. Deux corps dont l'un est en orbite autour de l'autre tournent autour d'un même point : leur centre de masse (barycentre). Deux sphères de masses égales ont leur barycentre situé au milieu du segment qui

Entrée de la lumière

Oculaire

Vue latérale d'une réplique du télescope de Newton

chromatique, ou de halos de lumière colorée (p. 23), autour de l'image de l'objet visé. En utilisant pour son télescope des miroirs à la place des lentilles, il supprimait ce problème. Son invention, publiée par la Royal Society en 1671, le rendit instantanément célèbre dans toute l'Europe.

La Terre et la Lune

joignent leurs centres respectifs. Si la Terre et la Lune avaient la même densité (p. 45), leur barycentre se trouverait à l'extérieur du corps le plus grand. Mais comme la Terre est plus dense que la Lune, le point d'équilibre se situe à l'intérieur de la Terre.

Le boulet part vers le haut.

Le boulet ralentit.

Le boulet est attiré vers le bas.

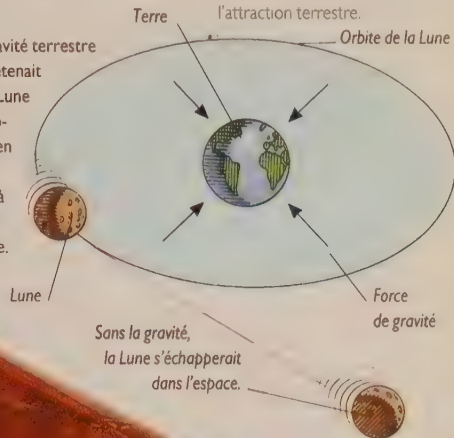
Le boulet le plus rapide va le plus loin.

La trajectoire d'un projectile

Les philosophes du Moyen Âge ne comprenaient pas le mouvement des projectiles tels que les boulets tirés par un canon. C'est Galilée qui, le premier, étudia leur trajectoire. En réalité, un corps projeté est constamment attiré vers le bas par la gravité. À sa sortie du canon, le boulet part vers le haut, ralentit, puis arrête son ascension avant de retomber.

Si l'on envoie quelque chose avec suffisamment de force (par exemple une fusée), on peut le placer sur orbite.

Si la gravité terrestre ne la retenait pas, la Lune s'échapperait en ligne droite à travers l'espace.



La Lune et la gravité

Lorsque Newton vit une pomme tomber d'un arbre, il réalisa que la gravité qui avait attiré le fruit de l'arbre au sol pouvait étendre son pouvoir beaucoup plus loin, et même jusqu'à la Lune. Celle-ci reste en équilibre sur son orbite sous l'action de deux forces opposées : sa révolution et l'attraction terrestre.

Focale coulissante

Monture (boule en bois)

Miroir

Miroir secondaire

Miroir primaire

Télescope vu de face

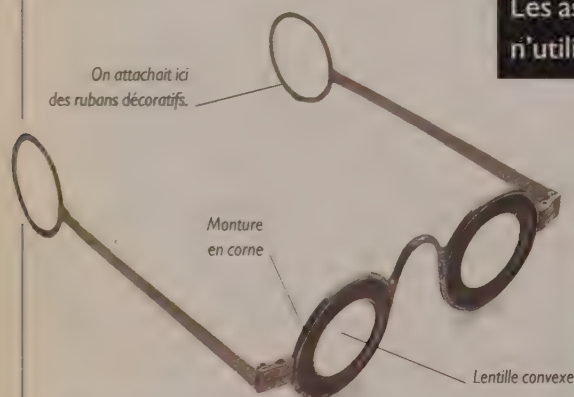
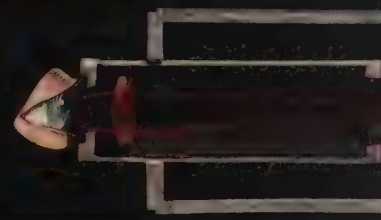


L'inventeur de la lunette

On pense que la première vraie lunette a été inventée en Hollande en 1608 par un fabricant de lunettes de vue Hans Lippershey. L'histoire veut que "un petit enfant de Lippershey, qui était dans la boutique remarqua qu'en alignant deux lentilles contenait une image agrandie de la grue de la ville". Lippershey plaça les deux lentilles dans un tube et

annonça qu'il avait inventé la lunette. Vers 1590, un Anglais, Leonard Digges, avait créé un instrument qui, par une combinaison de miroirs et de lentilles, réfléchissait et agrandissait l'image des objets. Il eut de nombreuses controverses pour savoir si c'était ou non une véritable lunette scientifique. Quoi qu'il en soit, c'est Galilée, en 1609, qui adapta la lunette à l'astronomie.

Deux millénaires av. J.-C., les hommes avaient connaissance des propriétés grossissantes d'un morceau de verre courbe. Au ^ve siècle avant notre ère, les lettrés et philosophes grecs utilisaient un globe de verre rempli d'eau pour agrandir les fines inscriptions de leurs manuscrits. Dix-huit siècles plus tard, le scientifique anglais Roger Bacon (v. 1220-1292) annonçait qu'« un segment de sphère de verre ou de cristal » pouvait faire apparaître des petits objets plus clairs et plus grands. Pour cela, Bacon fut jugé par ses pairs comme un magicien et emprisonné pendant dix ans. Bien que les lunettes de vue aient été inventées en Italie entre 1285 et 1300, les superstitions ont perduré 250 ans jusqu'à ce que soit découverte la combinaison des lentilles qui a conduit à l'invention de la lunette. Bientôt, deux types d'instruments ont existé : la lunette, qui utilise des lentilles déviant la lumière (réfraction) ; le télescope, qui comprend des miroirs réfléchissant la lumière vers l'observateur (réflexion). Les astronomes professionnels n'utilisent plus que des télescopes.

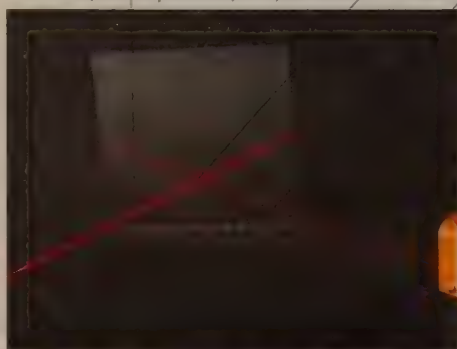


Lunettes vers 1750

Les premières lunettes de vue étaient pourvue de lentilles convexes. Elles étaient les gens ayant la vue

« longue » à distinguer les objets proches. On fit plus tard des lunettes à lentilles concaves pour ceux qui avaient la vue « courte ».

Faisceau lumineux réfléchi La lumière du laser est renvoyée par une surface réfléchissante. Faisceau lumineux incident



Eau Rayon laser Œil Lentille concave

Qu'est-ce que la réfraction ?

La lumière se déplace habituellement en ligne droite, mais elle est déviée, ou « réfractée », quand elle passe à travers des corps de densités différentes. Ce rayon laser, vu de dessus, change de direction lorsqu'il se pointe vers un récipient rectangulaire rempli d'eau parce que la lumière traverse trois milieux différents : le verre, l'eau et l'air.

La lumière est de nouveau déviée en se retrouvant dans l'air. La lumière est déviée.

Qu'est-ce que la réflexion ?

Réflexion vient du verbe latin *reflexum* qui signifie « renvoyer en arrière ». Une surface réfléchissante renvoie le faisceau lumineux qui la rencontre. Les rayons qui arrivent sur un miroir sont qualifiés de « incidents » et ceux qui le quittent de « réfléchis ». L'angle avec lequel le faisceau incident frappe le miroir est le même que celui avec lequel le faisceau réfléchi repart.



Grand miroir concave



John Dollond

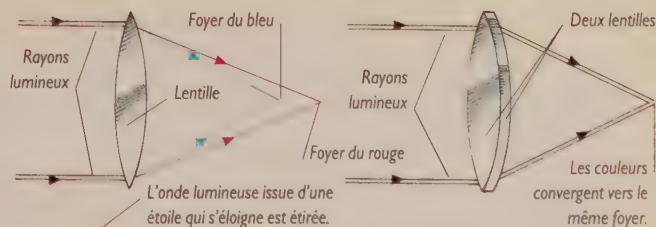
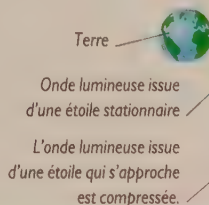
Cet opticien anglais (1706-1761) fut le premier à perfectionner les lentilles achromatiques et inventa un procédé permettant de les fabriquer plus facilement.

L'aberration chromatique

Quand la lumière passe à travers une lentille ordinaire, chaque couleur du spectre est déviée selon un angle différent, faisant apparaître des « arcs-en-ciel » autour des images. En ajoutant une seconde lentille de densité différente, toutes les couleurs se focalisent au même point et le problème est résolu.

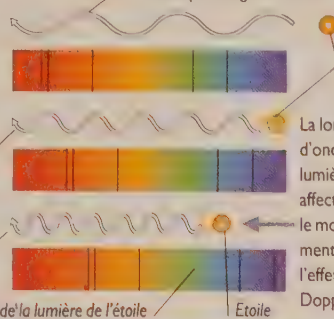
John Dollond résolut le problème de l'aberration chromatique en 1758.

L'extrémité bleue du spectre étant plus déviée que la rouge, les deux couleurs se focalisent à des points différents. C'est l'aberration chromatique.



L'effet Doppler

La lumière d'un objet qui s'approche de la Terre (par exemple une étoile) sera compressée et déplacée vers les courtes longueurs d'onde (le bleu). La lumière provenant d'un corps s'éloignant de la Terre sera étirée et déplacée vers la partie rouge du spectre. Ces effets sont appelés « décalage vers le bleu » et « décalage vers le rouge ».



Une lunette

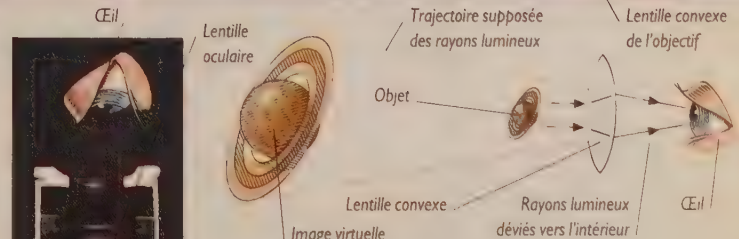
Dans une lunette, la lentille convexe de l'objectif (la plus éloignée de l'œil) collecte la lumière et la concentre au foyer où elle forme une image. La lentille concave de l'oculaire

(la plus proche de l'œil) grossit l'image à la façon d'une loupe. C'est ce type de lunette qu'utilisait Galilée (p. 20). Le principal inconvénient de cet instrument est l'aberration chromatique (voir ci-dessus).

Un télescope

Isaac Newton (p. 21) réalisa un télescope caractérisé par un grand miroir concave collectant la lumière. Cette surface réfléchissante renvoie alors les rayons lumineux vers un miroir plan où l'image se forme avant

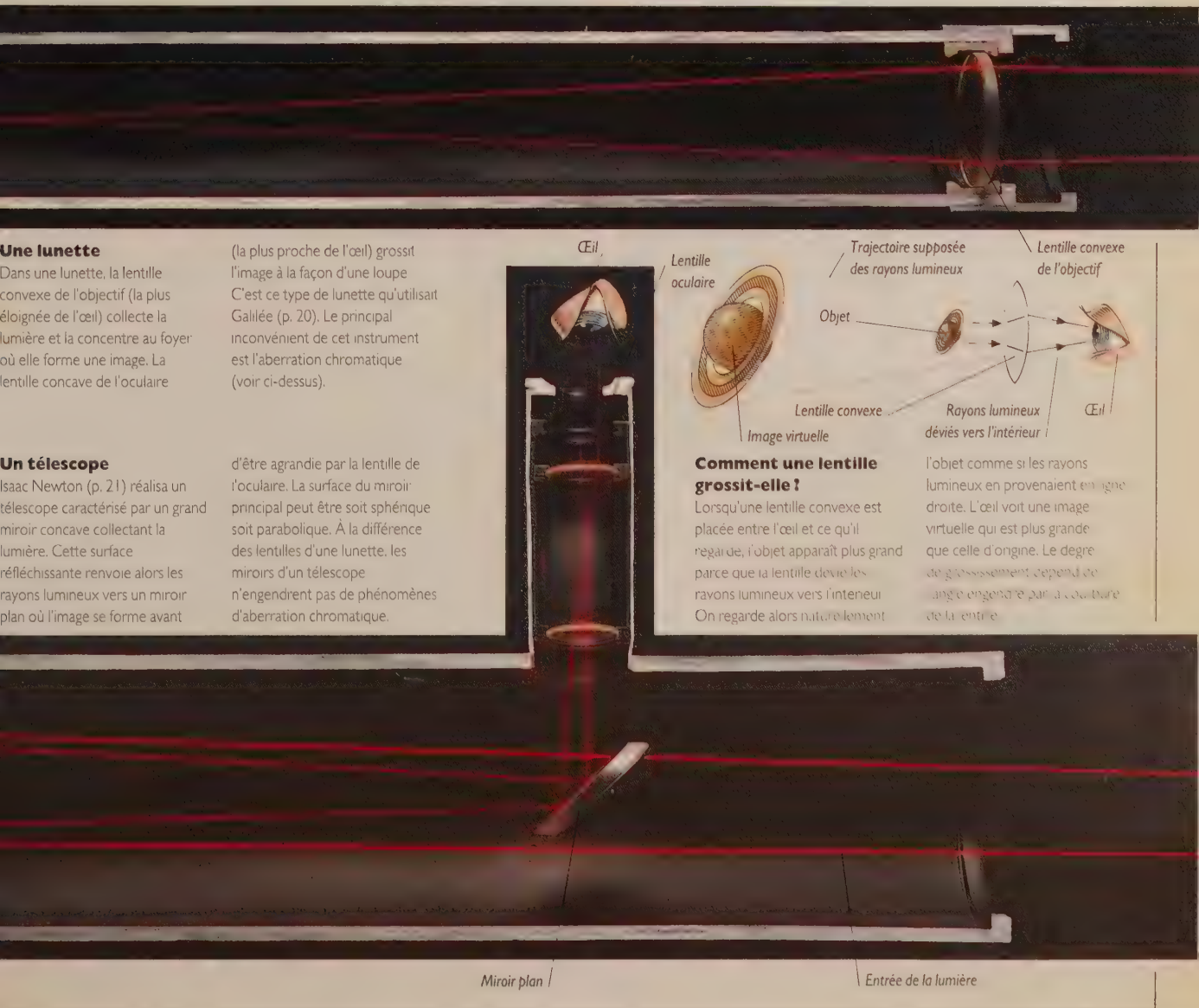
d'être agrandie par la lentille de l'oculaire. La surface du miroir principal peut être soit sphérique soit parabolique. À la différence des lentilles d'une lunette, les miroirs d'un télescope n'engendrent pas de phénomènes d'aberration chromatique.

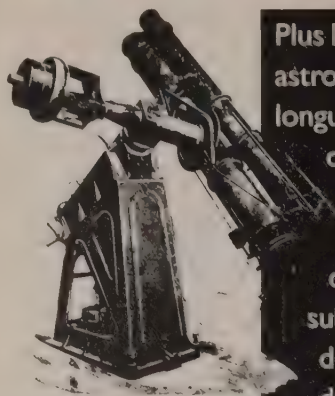


Comment une lentille grossit-elle ?

Lorsqu'une lentille convexe est placée entre l'œil et ce qu'il regarde, l'objet apparaît plus grand parce que la lentille dévie les rayons lumineux vers l'intérieur. On regarde alors naturellement

l'objet comme si les rayons lumineux en provenaient en ligne droite. L'œil voit une image virtuelle qui est plus grande que celle d'origine. Le degré de grossissement dépend de l'angle engendré par la courbure de la lentille.





Prendre des photos avec un télescope

Depuis le XIX^e siècle, la photographie astronomique, développée par les frères Henry, astronomes à l'observatoire de Paris, est devenue un outil important pour l'observation du firmament. En fixant un appareil photo à un télescope muni d'un moteur qui permet de compenser le mouvement de rotation de la Terre, il est possible d'effectuer de très longues poses d'étoiles lointaines (p. 12). Auparavant, les astronomes devaient dessiner tout ce qu'ils voyaient et donc être artistes autant que scientifiques.

Plus le diamètre d'un télescope est important, plus l'image du ciel est brillante. Les astronomes n'ont pas cessé d'agrandir les lentilles et les miroirs ; ils ont changé la longueur focale des instruments et assemblé en une vaste surface de petits miroirs disposés en nids d'abeilles pour capter et focaliser encore plus de lumière. Au XIX^e siècle, on préférait encore les lunettes (p. 22-23), et les opticiens se consacraient au perfectionnement de grandes lentilles qu'ils voulaient sans défauts. Quant aux miroirs, le physicien français Léon Foucault (1819-1868) substitua le verre au bronze pour leur fabrication, en 1857, et le XX^e siècle vit le début des progrès technologiques dans leur polissage. Un grand miroir reçoit davantage de lumière qu'un petit, mais si son diamètre est supérieur à 4 m, il se déforme sous son propre poids, ce qui entraîne des distorsions de l'image.

NOUVELLES TECHNOLOGIES

Le développement des instruments à miroirs multiples a permis récemment la fabrication de télescopes optiques plus gros et de meilleure qualité. En montant côte à côte des petits miroirs, on construit un réflecteur bien plus grand qu'avec un miroir d'une seule pièce.



Encore plus gros

Accroître le grossissement des lunettes était un des défis majeurs que se fixaient les astronomes d'autrefois. Puisque la technologie qui permettait de faire de grandes lentilles n'était pas suffisamment élaborée, la seule solution était de construire des lunettes de très grande distance focale. Dans certains cas, cela pouvait

conduire à des instruments aux proportions ridicules, comme on le voit sur cette gravure du XVIII^e siècle. Les lunettes à très longue focale étaient fort difficiles à utiliser. La moindre vibration, comme le pas d'un promeneur, pouvait faire trembler l'instrument si violemment que les observations devenaient impossibles.



Télescope d'Herschel

Au départ musicien professionnel, August William Herschel (1738-1822) devint bientôt un astronome de renom. C'est d'abord par nécessité économique et plus tard certainement par perfectionnisme qu'il fabriqua ses télescopes et puis, même ses miroirs. Le grossissement

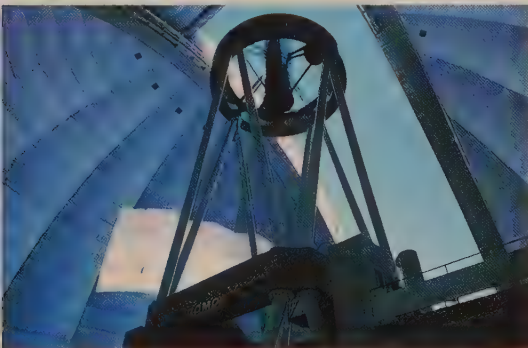
d'un instrument comme son réflecteur newtonien de 20,10 m est de 20 fois. C'est cette sorte de télescope qui fut le plus grand instrument de passage entre le XVIII^e et le XIX^e siècle. Il fut le plus grand instrument construit jusqu'alors, à 11 m de hauteur.



Une monture équatoriale

La monture équatoriale est de loin la plus utilisée ; c'est celle que les astronomes amateurs préfèrent. Un des axes de rotation de l'instrument est aligné avec l'étoile Polaire (p. 12-13), qui apparaît immobile dans le ciel. Dans l'hémisphère Sud, on utilise

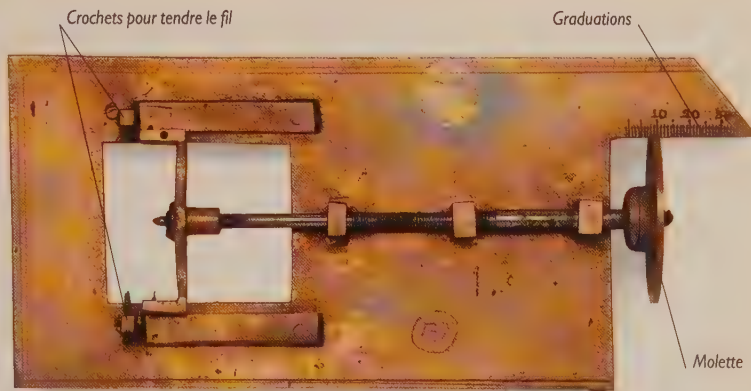
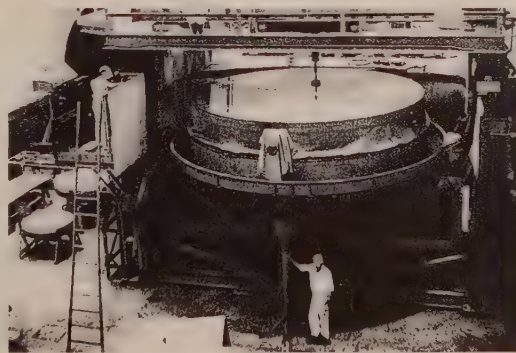
une autre étoile brillante. Il suffit de faire tourner le télescope autour de cet axe pour suivre automatiquement le trajet des étoiles autour de la Polaire. Sur la photo ci-dessus, il s'agit d'un télescope de 71 cm installé à l'observatoire de Greenwich en 1893 ; il est muni d'une monture équatoriale



Le polissage des miroirs

Le miroir de 5 m du fameux télescope de Hale, sur le mont Palomar, en Californie, fut moulé à partir de 35 tonnes de Pyrex fondu. Son polissage, qui permet d'obtenir la courbure correcte, fut interrompu par la Seconde Guerre mondiale et ne fut achevé qu'en 1947. L'observatoire du mont Palomar est l'un des plus élevés ; il est construit dans un endroit où l'atmosphère est mince et la pollution réduite.

Aux défauts du miroir lui-même s'ajoutent les perturbations dues à la turbulence atmosphérique. On réduit cet effet en installant les télescopes en altitude et en ventilant constamment les coupoles.

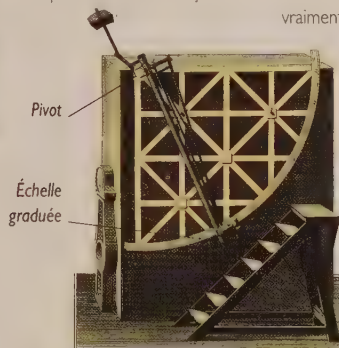


Des mesures précises

Plus le télescope est gros, plus on peut observer des détails ou des objets éloignés, et plus on a besoin de mesures précises. L'utilisation d'un micromètre – auquel l'astronome français

Adrien Auzout (1622-1691) donna sa forme définitive en 1666 – permet d'obtenir des graduations extrêmement fines. Cet instrument est nécessaire lorsqu'il s'agit de mesurer la distance entre deux étoiles vraiment très éloignées de nous.

Le micromètre ci-dessus a été construit par William Herschel. Pour pointer la position d'une étoile, un fin fil de toile d'araignée était tendu entre deux crochets que l'on ajustait à l'aide de la vis à molette située sur le côté.



La plupart des premières lunettes étaient montées sur des quadrants astronomiques ou quarts de cercles (p. 12) qui étaient fixés à un mur pour une meilleure stabilité.

Un quadrant astronomique

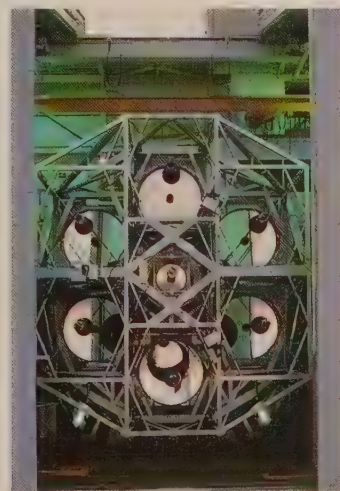
Une lunette de ce type est appelée quart de cercle mural. Elle était accrochée à un simple pivot, de telle sorte que l'oculaire pouvait se déplacer le long de l'échelle graduée de l'arc de cercle du quadrant (p. 12). Ainsi, les astronomes savaient mesurer avec précision la hauteur des étoiles.

L'escalier permet à l'astronome d'atteindre l'oculaire.

Une monture azimutale

On voit à gauche l'un des plus grands télescopes optiques du monde. Il est situé à 2 100 m dans les montagnes du Caucase. La monture azimutale ressemble à celle d'une mitrailleuse et permet à la lunette de bouger verticalement et circulairement. Mais cette monture n'est pas très pratique car l'observateur doit constamment jouer sur deux axes de rotation.

Aujourd'hui, les ordinateurs calculent les ajustements de poursuite en temps réel, et les astronomes apprécient finalement la monture azimutale, très stable même pour les gros télescopes.



Télescope situé en Arizona, constitué de six miroirs de chacun 1,80 m de diamètre.

La synthèse d'ouverture

Les limites imposées par les difficultés de couler un grand miroir ont été dépassées par l'invention de la technologie de synthèse d'ouverture, qui permet de combiner les images de plusieurs miroirs.

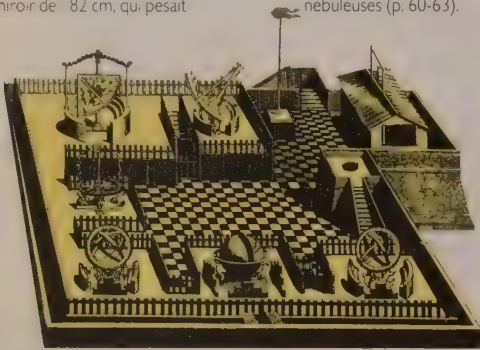


Un observatoire est un lieu d'où les astronomes regardent le ciel. La forme des observatoires a beaucoup changé à travers les âges (p. 6). Dans l'Antiquité, c'étaient des endroits paisibles placés généralement sur les remparts ou les tours des villes. Les astronomes devaient les construire en hauteur pour avoir une vue panoramique du ciel, d'un horizon à l'autre. Les Babyloniens et les Grecs avaient des observatoires rudimentaires ; les plus prestigieux furent certainement ceux d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient (Bagdad, Le Caire ou Damas). Le célèbre observatoire de Bagdad possédait un immense quart de cercle de six mètres et un sextant en pierre de dix-sept mètres. Il devait ressembler à celui de Jaipur, le seul qui soit vraiment resté intact (voir ci-dessous).

Le Léviathan de Parsonstown

William Parsons (1800-1867), troisième comte de Rosse, avait décidé de construire le plus grand des télescopes. À Parsonstown, en Irlande, il parvint à couler un miroir de 82 cm, qui pesait

presque 4 tonnes et grossissait de 800 à 1 000 fois. À partir de 1845, quand il eut terminé la construction du « Léviathan », Parsons put faire d'importantes découvertes concernant la structure des galaxies et des nébuleuses (p. 60-63).



EN EUROPE

Le plus ancien observatoire européen encore en fonction aujourd'hui est celui de Paris (p. 28). Il fut fondé en 1667 par Louis XIV, à l'initiative d'Adrien Auzout et édifié par l'architecte Claude Perrault, frère du célèbre conteur. Le climat étant peu clément, les observations en plein air étaient difficiles et les astronomes, dont les instruments devenaient de plus en plus imposants et sophistiqués, avaient besoin d'un toit. Au départ, la toiture était constituée de panneaux ou de portes coulissantes actionnées par des systèmes de poulies et de cordages qui s'ouvraient sur le ciel étoilé. À partir du XIX^e siècle, on protégea les grands télescopes avec de gigantesques coupôles tournantes. Les premiers dômes étaient en papier mâché, le seul matériau connu alors qui fût à la fois solide et léger. Aujourd'hui, ils sont en fibre de verre ou en plastique extrêmement résistant.

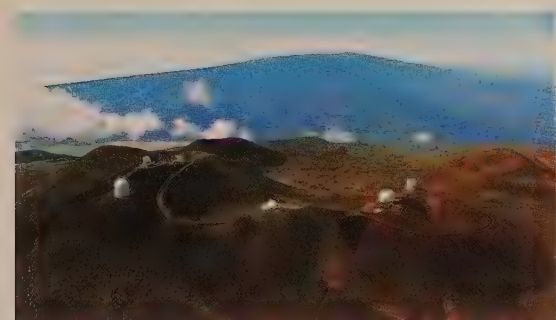
À Pékin

Le Grand Observatoire de Pékin, en Chine, fut construit en 1660 avec l'aide de jésuites portugais sur les murailles de la Cité interdite, à l'emplacement d'un établissement plus ancien. On y trouvait deux grandes sphères armillaires (p. 11), un imposant globe céleste, un cercle azimutal gradué, un quart de cercle et un sextant. Les instruments furent construits d'après le *Mechanica* de Tycho Brahé (1598)

À Jaipur

Les premières observations étaient faites à l'œil nu, du sommet d'ouvrages d'architecture monumentaux. L'observatoire de Jaipur, capitale du Rajasthan, en Inde, fut construit par le maharaja Jai Singh II en 1726. Le monument comprend le Samrat Yantra, un cadran solaire massif, avec un gnomon incliné de 27° en direction de l'étoile Polaire (p. 13), ainsi qu'un grand sextant

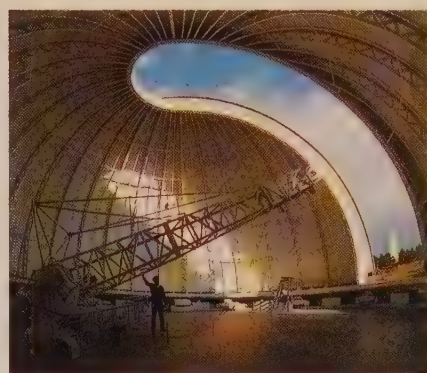




Télescopes optiques et radio (p. 32-33) sont installés sur le Mauna Kea, un volcan hawaïen où l'air est ténu et le climat tempéré.

Sur le Mauna Kea

L'utilisation grandissante de la lumière artificielle et la pollution des grandes agglomérations ont conduit les astronomes à construire leurs observatoires dans les régions inhabitées. Les meilleurs endroits sont les sommets de montagnes et les déserts des régions tempérées, où l'air est sec, stable et sans nuages.



Guidés par ordinateurs

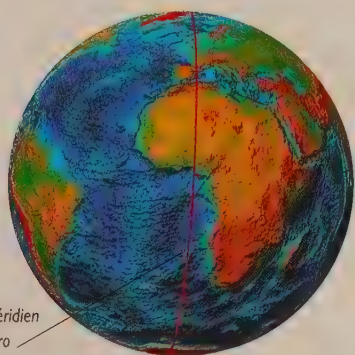
Les télescopes sont devenus si gros que l'homme paraît minuscule à côté d'eux. Ce coronographe de 51 cm

se trouve à l'observatoire astrophysique de Crimée, en Ukraine; il est dirigé par ordinateur. Un coronographe est un instrument d'étude de la couronne solaire (p. 38).

QU'EST-CE QU'UN MÉRIDIEN ?

Les méridiens sont des lignes de coordonnées imaginaires qui relient les pôles et sont utilisées pour mesurer les distances est-ouest sur la surface de la Terre et dans le ciel. Le mot méridien vient du latin *meridies* qui signifie « milieu du jour », le Soleil coupant le méridien local à midi. Des méridiens qui passaient par des sites d'observation importants servaient de référence pour les observations astronomiques ou les mesures de longitude terrestre. C'est ainsi qu'à la fin

du XIX^e siècle il en existait un certain nombre correspondant chacun précisément à la position d'un des grands observatoires européens comme ceux de Paris, Cadix ou Naples.



Méridien zéro

Le méridien de Greenwich

Une conférence internationale eut lieu à Washington en 1884 pour déterminer l'origine des longitudes. On choisit comme point zéro le méridien qui passait par le méridien de Greenwich (un instrument méridien dont la monture permettait de le faire tourner dans un plan

nord-sud), à l'observatoire royal de Greenwich, près de Londres. Les Américains aussi trouvèrent des avantages à ce choix : la plupart de leurs cartes marines et leurs chemins de fer l'utilisaient déjà. Au sud de Greenwich, le méridien zéro traverse la France, l'Afrique, puis l'océan Atlantique jusqu'au pôle Sud.

À cheval sur le méridien

En 1850, le septième astronome royal de Grande-Bretagne, sir George Biddell Airy (1801-1892), décida qu'il voulait un nouveau télescope. Pendant sa construction, il

déplaca de 5,75 m vers l'est le premier méridien anglais qui allait devenir le méridien de Greenwich. Celui-ci est marqué par une ligne lumineuse qui passe par le Airy Transit Circle, à l'ancien Observatoire royal (aujourd'hui un musée).

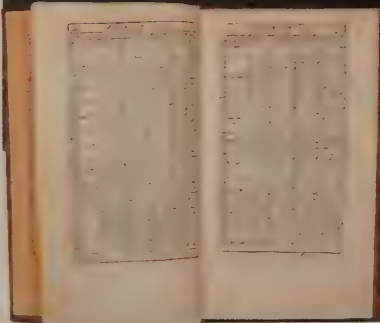




À la différence des autres scientifiques, les astronomes ne sont pas en position de provoquer les événements. Ils doivent attendre et regarder, la clé de leur science étant l'observation, que ce soit au travers d'un télescope optique ou sur l'image digitalisée fournie par l'ordinateur. Ceux qui s'intéressent

à la mesure des positions relatives des étoiles dressent des cartes de la sphère céleste. De leur côté, les astrophysiciens essaient de comprendre la physique de l'Univers et le comportement de la matière dans les conditions extrêmes que l'on trouve au cœur des étoiles ou à l'époque de la naissance de l'Univers. Ils se posent

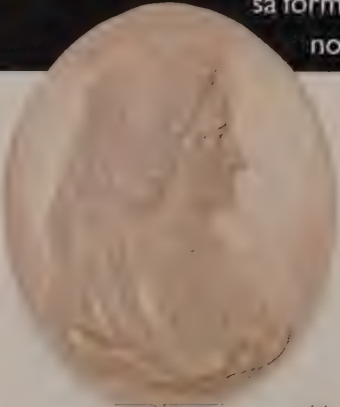
les mêmes questions que jadis les philosophes grecs : Qu'est-ce que le cosmos ? Quelle est sa forme ? Quelle est notre place ?



Le Nautical Almanac

Royaume-Uni et Allemagne pour le premier fois en 1666 le Nautical Almanac, l'annuaire nautique, fournissant des données de tables

qui donnent les positions de la lune et les distances entre certaines étoiles et les navigateurs les utilisent pour déterminer leur longitude lorsque ils navigaient plus les côtes



John Flamsteed

Goupille marquant α de Cassiopée Goupille marquant α du Verseau Cadran tournant de l'horloge

Goupille marquant α du Scorpion (Antarès)

Goupille marquant α de l'Hydre femelle

Une horloge « sidérale » (1815)

L'horloge sidérale est une horloge qui mesure le temps sidéral. Elle est utilisée pour déterminer la position des étoiles et des planètes dans le ciel. Elle est basée sur le mouvement de rotation de la Terre autour de son axe.

L'astronomie russe

Moscou, 1765. L'astronomie russe a connu une renaissance au XVIIIe siècle, grâce à l'effort de l'empereur Pierre le Grand. L'astronomie russe a été influencée par l'astronomie européenne, mais elle a également développé ses propres traditions.

La mode des amateurs

Amateur, du latin, signifie la science. Les amateurs de l'astronomie ont toujours été nombreux. Ils ont contribué à la découverte de nouvelles étoiles, planètes et galaxies. Ils ont également développé de nouveaux instruments et techniques d'observation.



Astronome d'État

En 1675, Cassini a nommé à l'Observatoire de Paris, en 1667, Louis XIV fit venir de Bologne un astronome de renom, Jean Dominique Cassini (1625-1712), et lui confia la direction du nouvel établissement. Trois générations de Cassini lui succédèrent : son fils Jacques



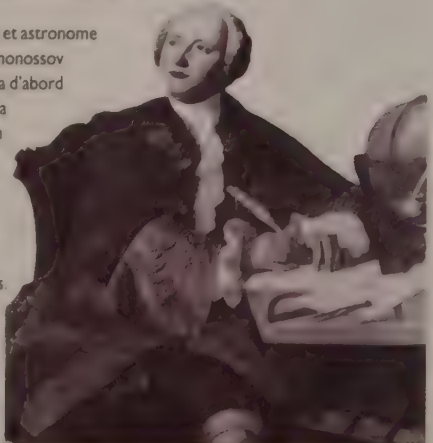
En famille

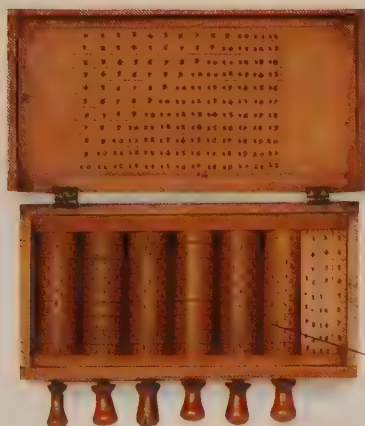
Lors de la fondation de l'Observatoire de Paris, en 1667, Louis XIV fit venir de Bologne un astronome de renom, Jean Dominique Cassini (1625-1712), et lui confia la direction du nouvel établissement. Trois générations de Cassini lui succédèrent : son fils Jacques

(1677-1756), César Fracastor Cassini de Thury (1734-1804), qui entreprit de faire la grande carte de France, et Jacques Dominique, comte de Cassini (1748-1845). On les connaît aussi chez de nombreux historiens sous les noms de Cassini I, Cassini II, Cassini III et Cassini IV.

L'écrivain et astronome russe Lomonosssov

s'intéressa d'abord à l'art de la navigation et aux mesures de latitudes et de longitudes.





Les bâtons de Neper

Le repérage des positions vraies des étoiles et des planètes a toujours demandé des calculs sans fin. John Neper (1550-1617) publia en 1614 le premier ensemble complet de tables logarithmiques. Il inventa en 1617 une série de règles sur lesquelles étaient gravés des nombres. En plaçant ces

bâtonnets côte à côte d'une certaine façon, on pouvait effectuer des multiplications et des divisions complexes. Ces réglettes, généralement faites en ivoire ou en os, furent bientôt connues sous le nom de « bâtons de Neper ».



Fidélité familiale

Caroline Herschel (1750-1848) tenait auprès de son frère William (p. 30) le double rôle d'intendante et d'assistante. Pendant que le célèbre astronome polissait ses miroirs, travail délicat durant parfois plus de 16 heures, elle le noumssait à la petite cuillère. Elle même excellente astronome, elle découvrit huit comètes et exerça une grande influence sur son brillant neveu John (1792-1871), qui fut un précurseur en matière de photographie et de spectroscopie astronomique (p. 30-31).

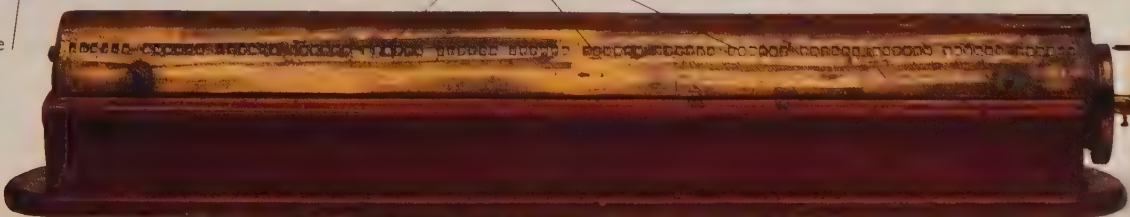


Cheville tournante

Bâtonnets gravés avec des nombres de Neper

Affichage des nombres

Manivelle



Lanterne



Des nombres astronomiques

Les facteurs d'instruments du XIX^e siècle ont

commencé à fabriquer des machines à calculer les fonctions mathématiques complexes et souvent

répétitives. D'un tour de manivelle, cette calculatrice peut produire un nombre de plus de 42 chiffres.

Baromètre

Le siège de l'astronome

La chaise astronomique est une invention relativement récente. Lorsqu'ils travaillaient avec de grands quarts de cercle muraux (p. 25), les astronomes devaient gravir quelques marches avant d'atteindre

l'oculaire de la lunette. Il aura fallu attendre l'invention des instruments portables à la fin du XVII^e siècle pour que les observateurs d'étoiles puissent s'allonger sur le dos. Et c'est seulement au siècle suivant qu'apparurent les chaises capitonnées.

Accoudoir

Dossier réglable

Siège

Crans pour régler la hauteur du siège

Barre d'encliquetage

Rester au chaud

La vie d'un astronome n'était pas de tout repos. Avant l'invention de la photographie, le travail consistait à passer des heures à scruter les étoiles dans un observatoire à ciel ouvert, l'œil rivé sur l'oculaire, et à prendre des pages et des pages de notes d'observation. Le port de vêtements chauds était indispensable.

Roulette

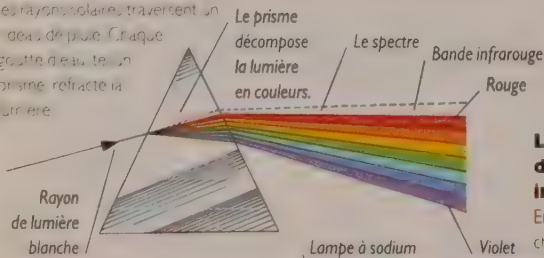




Grâce à l'invention de la spectroscopie, les astronomes sont capables depuis plus d'un siècle d'étudier la composition chimique, la température, mais aussi la vitesse des étoiles. Du simple prisme de verre jusqu'aux réseaux, surfaces où sont gravés des milliers de traits parallèles au millimètre, le spectroscope est un instrument qui disperse la lumière venant d'un corps céleste en un spectre très détaillé. En s'inspirant des travaux d'Isaac Newton sur la lumière (p. 21), l'opticien allemand Joseph von Fraunhofer (1787-1826) examina le spectre solaire et y remarqua un certain nombre de raies noires. En 1859, un autre Allemand, Gustav Kirchhoff (1824-1887), découvrit la signification de ces raies. Elles sont produites par les éléments chimiques qui forment les couches externes froides (p. 39) du Soleil – ou d'une étoile.

Les couleurs de l'arc-en-ciel

Un arc-en-ciel se forme lorsque, sur un fond sombre et nuageux, les rayons solaires traversent un rideau de pluie. Chaque goutte d'eau agit comme un prisme et refracte la lumière.



LE SPECTRE DE RAIES

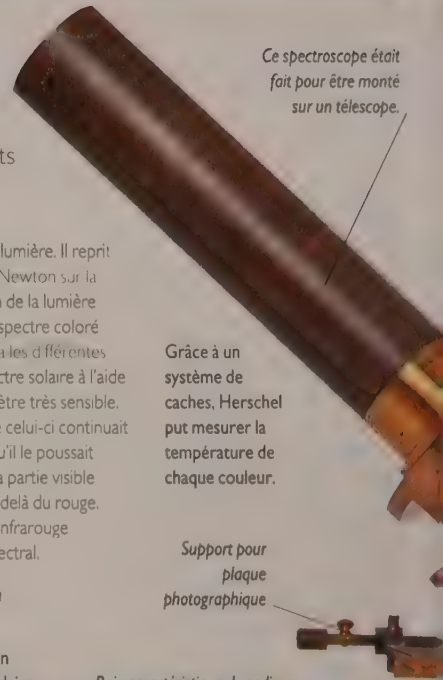
À chaque élément chimique correspondent des raies, comme une empreinte digitale. En étudiant le spectre du Soleil, les

astronomes ont retrouvé dans son atmosphère tous les éléments déjà connus sur Terre.

La découverte du rayonnement infrarouge

En 1800, William Herschel (p. 54) chercha à tester les relations entre

la chaleur et la lumière. Il reprit les travaux de Newton sur la décomposition de la lumière blanche en un spectre coloré (p. 21). Il étudia les différentes bandes du spectre solaire à l'aide d'un thermomètre très sensible. Il s'aperçut que celui-ci continuait de réagir lorsqu'il le poussait en dehors de la partie visible du spectre, au-delà du rouge. Il appela donc infrarouge ce domaine spectral.



L'étude du sodium

L'observation d'une flamme de sodium avec un spectroscope permet de comprendre comment former un spectroscope des corps célestes. D'après la première loi de l'analyse spectrale de Gustav Kirchhoff, un gaz chaud

à pression élevée produit un spectre continu où toutes les couleurs sont représentées. Selon sa deuxième loi, un gaz chaud à basse pression donne un spectre de raies d'émission qui se caractérise par des raies spectrales brillantes sur un fond noir. Sa

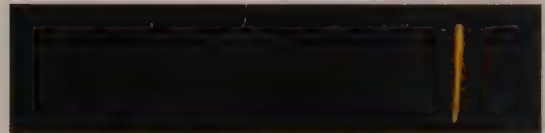
troisième loi dit que lorsque la lumière d'un gaz chaud et dense traverse un nuage de gaz plus froid avant de nous parvenir, on observe un spectre de raies d'absorption (un spectre brillant entrecoupé de fines raies sombres).

Grille de diffraction
Spectroscope

Raies d'absorption dans le spectre solaire

Support pour plaque photographique

Raie caractéristique du sodium



Spectre d'émission du sodium

Raie caractéristique du sodium

L'intérieur du Soleil

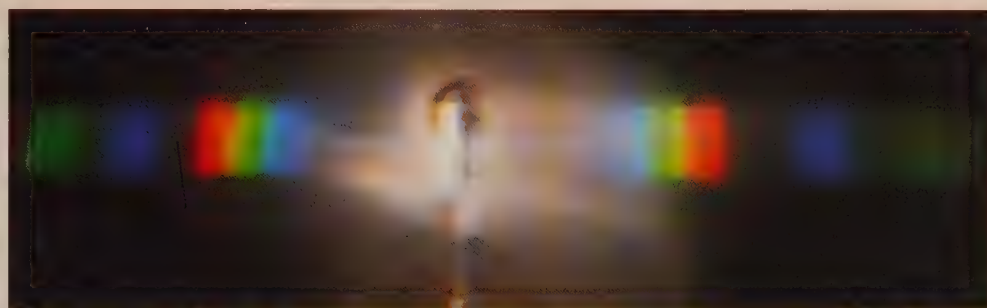
Lorsqu'une flamme de sodium est vue à travers un spectroscope (à gauche), le spectre d'émission que l'on obtient présente des raies jaunes (ci-dessus). On remarque dans cette portion du spectre du

Soleil (en haut) un certain nombre de discontinuités. Ce sont les raies de Fraunhofer à partir desquelles on peut déterminer la composition chimique du Soleil. La raie sombre dans la partie jaune du spectre correspond au sodium.



Kirchhoff et Bunsen

Grâce à l'invention du brûleur à gaz (ou bec Bunsen) par le chimiste allemand Robert Bunsen (1811-1899) on peut étudier les propriétés de vapeurs chimiques sur la base de leur analyse spectrale. Kirchhoff et Bunsen inventèrent ensemble le spectroscope. En quelques années, ils isolèrent de nombreuses substances chimiques connues et découvrirent quelques éléments inconnus.



Gustav Kirchhoff montra que lorsqu'un faisceau de lumière blanche passe au travers du sodium gazeux, la couleur caractéristique du sodium est absorbée, et l'on voit sur le spectre des raies sombres à l'endroit exact où l'empreinte du sodium aurait dû apparaître.

Spectre continu

L'absorption des couleurs

Dans l'expérience montrée ci-dessus, on crée un spectre continu (en haut) à partir de la lumière blanche qui traverse une lentille. Quand on place une solution de



Le spectre du permanganate de potassium

permanganate de potassium entre la lentille et la source lumineuse, une partie des couleurs est absorbée

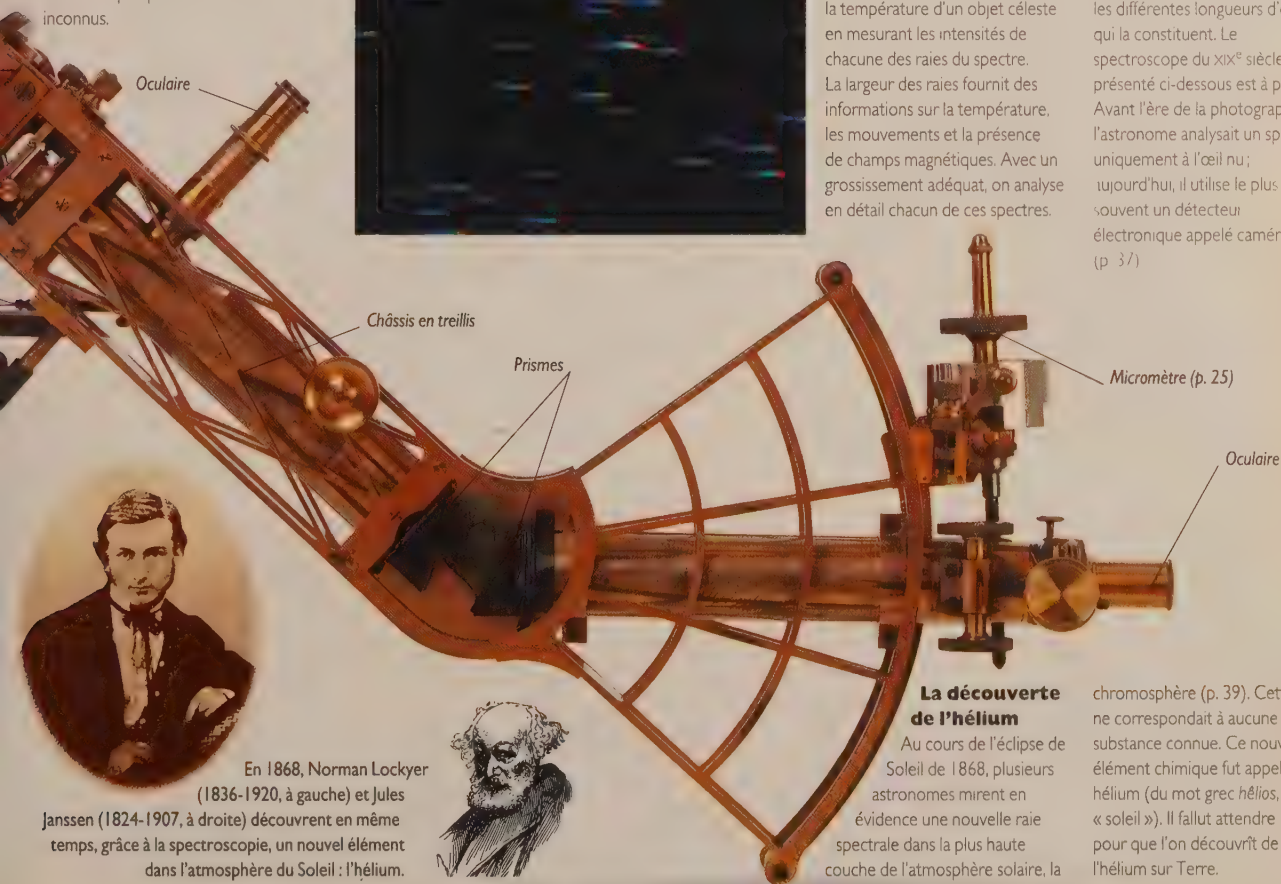


Spectres d'étoiles

Les astronomes déterminent la composition chimique d'une étoile ou d'une planète en examinant les raies spectrales de leur lumière. On détermine aussi la température d'un objet céleste en mesurant les intensités de chacune des raies du spectre. La largeur des raies fournit des informations sur la température, les mouvements et la présence de champs magnétiques. Avec un grossissement adéquat, on analyse en détail chacun de ces spectres.

Le spectroscope

Cet instrument comprend une série de prismes ou de grille de diffraction (réseau de fentes étroites diffractant la lumière) qui décomposent la lumière selon les différentes longueurs d'onde qui la constituent. Le spectroscope du XIX^e siècle présenté ci-dessous est à prisme. Avant l'ère de la photographie, l'astronome analysait un spectre uniquement à l'œil nu ; aujourd'hui, il utilise le plus souvent un détecteur électronique appelé caméra CCD (p. 37)



La découverte de l'hélium

Au cours de l'éclipse de Soleil de 1868, plusieurs astronomes mirent en évidence une nouvelle raie spectrale dans la plus haute couche de l'atmosphère solaire, la

chromosphère (p. 39). Cette raie ne correspondait à aucune substance connue. Ce nouvel élément chimique fut appelé hélium (du mot grec *hēlios*, « soleil »). Il fallut attendre 1895 pour que l'on découvrit de l'hélium sur Terre.

En 1868, Norman Lockyer

(1836-1920, à gauche) et Jules

Janssen (1824-1907, à droite) découvrirent en même temps, grâce à la spectroscopie, un nouvel élément dans l'atmosphère du Soleil : l'hélium.



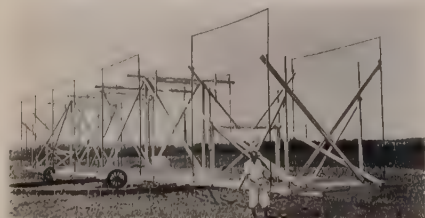


Après la découverte de la lumière non visible, comme l'infrarouge (p. 30), le rayonnement électromagnétique ou les rayons X, les scientifiques se demandèrent si les objets célestes pouvaient également émettre des ondes invisibles. Le rayonnement radio (partie du spectre électromagnétique qui comprend les plus grandes longueurs d'onde) fut le premier découvert. Pour détecter et analyser des ondes radio, les astronomes construisirent des instruments gigantesques. Les premiers radiotélescopes n'étaient malheureusement jamais assez grands, proportionnellement, pour discerner des structures aussi fines que celles qu'obtenaient les instruments optiques.

Anders Ångström (1814-1874)

Le physicien suédois Ångström dressa une carte des raies de Fraunhofer (p. 30). Les unités nécessaires à la mesure

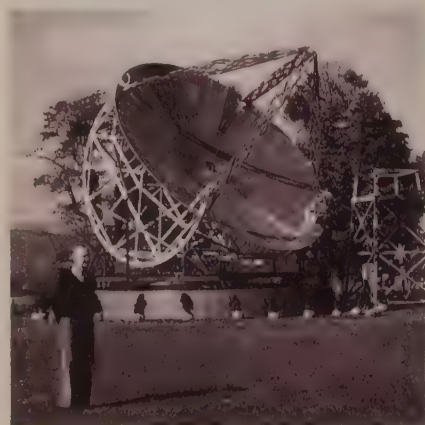
des longueurs d'onde des couleurs (correspondant à ces raies) étaient si petites qu'il dut inventer une nouvelle unité de longueur, l'ångström (Å), qui vaut 10^{-10} mètres.



Rayonnement radio

La première preuve de l'existence d'un rayonnement radio issu de l'espace lointain fut donnée en 1931 par l'ingénieur américain Karl Jansky

(1905-1950). En étudiant les parasites affectant les télécommunications, il s'aperçut qu'une partie de ces « bruits » provenait du centre de notre Galaxie (p. 62-63)



Un radioastronome amateur

Informé des découvertes de Jansky, l'astronome amateur américain Grote Reber fabriqua en 1936 une grande antenne mobile. Son appareil

recevait les ondes radio au moyen d'une surface parabolique de 9 m de diamètre. Reber commença à cartographier les émissions radio en provenance de la Voie lactée.

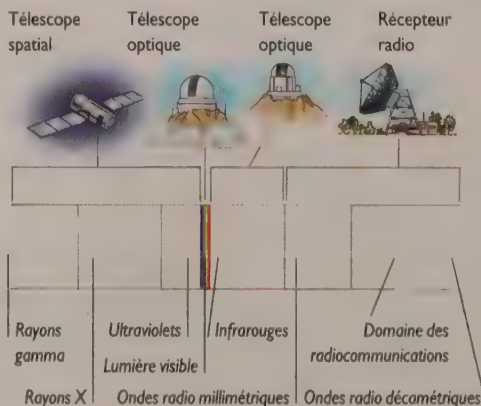
Le spectre électromagnétique

Le rayonnement radio (ondes millimétriques, décimétriques, de

radiocommunication) se trouve dans les plus grandes longueurs d'onde. Ensuite viennent les infrarouges, la lumière visible, les

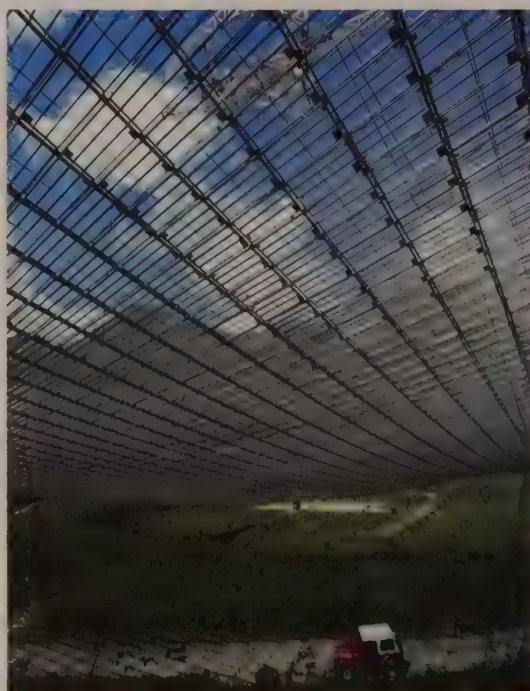
ultraviolets, les rayons X et les rayons gamma, qui constituent les plus hautes fréquences. Seuls la lumière visible, les ondes

radio et les infrarouges traversent l'atmosphère terrestre. On détecte le reste à l'aide de sondes spatiales (p. 34-35).



L'INTERFÉROMÉTRIE

On peut aujourd'hui assembler les images obtenues par plusieurs télescopes. Il est possible d'obtenir ainsi l'équivalent d'une antenne de diamètre aussi grand que celui de la Terre, qui permet l'analyse de détails très fins. Les astronomes étudient le ciel dans toutes les gammes de fréquence et envoient des détecteurs loin au-dessus de l'atmosphère terrestre.



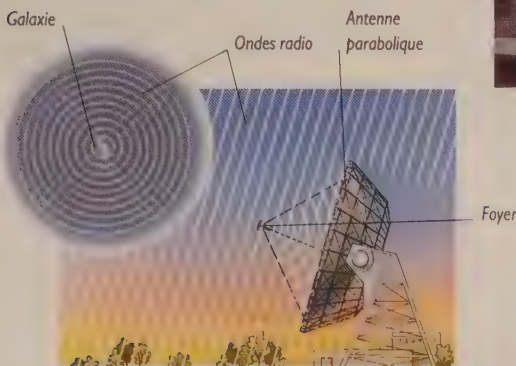
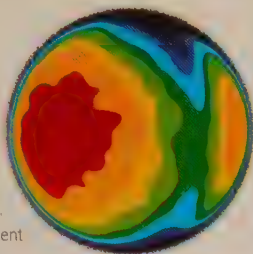
Ce récepteur radio se trouve dans une cuvette naturelle au cœur de la jungle, près d'Arecibo, à Porto Rico.

Le télescope d'Arecibo

Le miroir, immense toile en fil d'acier, mesure 305 m de diamètre et forme une surface collectrice d'une vingtaine d'hectares. Son foyer mobile permet de faire des observations dans différentes régions du ciel.

Isothermes

Les radioastronomes établissent des cartes de la température des planètes. Cette image montre la répartition des températures sous la surface de Mercure. L'aire la plus chaude est en rouge. Les zones bleues représentent les régions les plus froides.



Comment fonctionne un radiotélescope ?

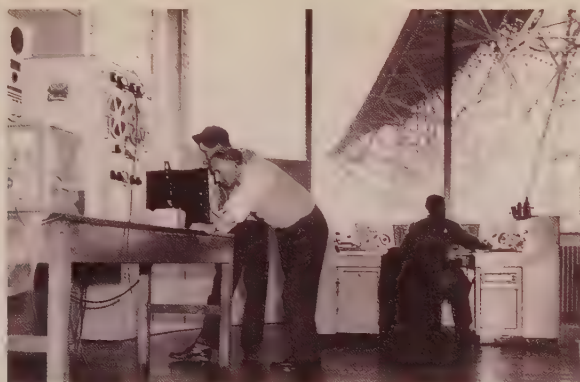
L'antenne parabolique d'un radiotélescope est orientée de manière à capter un signal radio dans une direction donnée. Les signaux reçus sont focalisés en un point et envoyés vers le récepteur. Ils sont ensuite enregistrés et

Le Very Large Array

On peut connecter les radiotélescopes les uns aux autres par des câbles électriques de manière à former des surfaces réceptrices très importantes. Deux antennes distantes de 100 km reliées électroniquement forment l'équivalent d'un télescope de 100 km de diamètre. Le Very Large Array (V.L.A.) est un des plus grands interféromètres radio du monde

transmis au centre de contrôle qui les traite électroniquement de façon à obtenir les données brutes qu'utiliseront les astronomes

Le V.L.A., en forme de Y, s'étale dans le désert du Nouveau Mexique.



Bernard Lovell

L'astronome anglais Bernard Lovell (né en 1913) fut un pionnier en matière de radioastronomie. Il créa une station de recherche à Jodrell Bank, en Angleterre, en utilisant le surplus des équipements radars de l'armée à la fin de la Seconde Guerre mondiale. On le voit ici devant l'écran de la salle de contrôle du radiotélescope Mark II (10 m de diamètre). L'antenne géante que l'on aperçoit à l'arrière-plan fut conçue en 1957

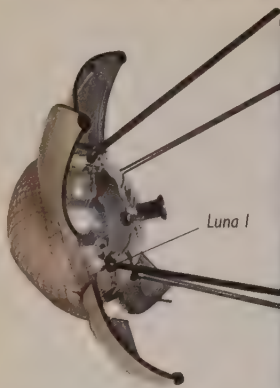
Des géants européens

Le plus gros télescope, qui soit à la fois d'une seule pièce et totalement orientable, mesure 100 m de diamètre (à droite). Il se trouve près de Bonn, en Allemagne. La France possède l'une des plus grandes antennes du monde : le radiotélescope de Nançay (Sologne). C'est un instrument méridien dont le miroir primaire mesure 35 m x 300 m



Antenne parabolique

Monture et support



Sondes lunaires

En 1957, l'U.R.S.S. lança dans l'espace Spoutnik 1, le premier satellite artificiel. Entre la fin des années 1950 et 1976, l'U.R.S.S. envoya différentes sondes explorer la surface de la Lune. Luna 1 réussit à s'en approcher à moins de 6 000 km. Luna 3 renvoya pour la première fois des images de la face cachée de la Lune (p. 40-41). Luna 9 parvint à effectuer un alunissage en douceur en février 1966; et Luna 16 préleva des échantillons du sol lunaire et les ramena sur Terre sans aucune participation humaine. Le succès de ces missions força l'opinion à prendre plus au sérieux l'exploration spatiale.



Le premier homme dans l'espace

Le 12 avril 1961, l'U.R.S.S. envoyait un vaisseau spatial de 5 tonnes, Vostok 1. Il était habité par un cosmonaute, Iouri Gagarine (1934-1968), qui fit une révolution complète autour de la Terre, à une altitude de 303 km. Il est resté dans l'espace 1 heure et 29 minutes avant d'atterrir sain et sauf. Il fut acclamé comme héros national, et on le voit être félicité par le dirigeant soviétique Nikita Khrouchtchev.

Les sceptiques prévoyaient la fin de l'exploration spatiale après l'explosion de la navette Challenger, en 1986, et les problèmes de miroir du télescope spatial Hubble, en 1993. Avec la fin des tensions de la guerre froide, en 1989, beaucoup ne voyaient plus l'intérêt d'investir des sommes énormes dans la compétition des programmes spatiaux, alors que l'économie mondiale était en pleine crise. Pourtant, la technologie mise en œuvre dans la course à l'espace contribue à l'amélioration de notre vie. Le développement de nouveaux matériaux légers et solides et les méthodes de purification de l'eau, par exemple, sont directement liés à la recherche spatiale.

DE PRÉCIEUX SATELLITES

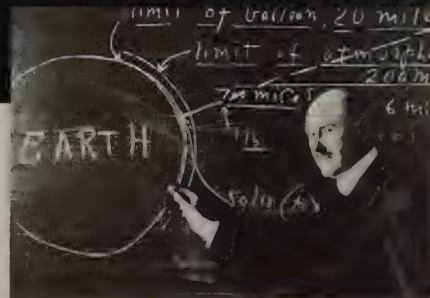
La plupart des télécommunications à longue distance passent maintenant par des satellites en orbite. Navires et avions utilisent les satellites de navigation pour calculer leurs trajets. Les satellites militaires servent dans les réseaux de radars de guet. Les prévisions météorologiques sont maintenant plus précises grâce aux satellites qui surveillent l'ensemble de la surface terrestre.

Orbites de satellites

Les télescopes spatiaux comme Hubble (p. 7) utilisent des orbites basses (300 km au-dessus de la surface terrestre). Les satellites d'espionnage et de

surveillance américains tournent dans le plan de l'axe nord-sud (orbite polaire) pour avoir une vue d'ensemble de la Terre. Les satellites russes suivent souvent des orbites elliptiques qui leur permettent de passer plus de temps au-dessus de leur propre territoire. Ceux employés pour la communication ou la météorologie sont placés au-dessus de l'équateur. Comme ils mettent exactement 24 heures pour parcourir une orbite complète, ils restent toujours au-dessus d'un même point de la surface du globe. On dit qu'ils sont géostationnaires.

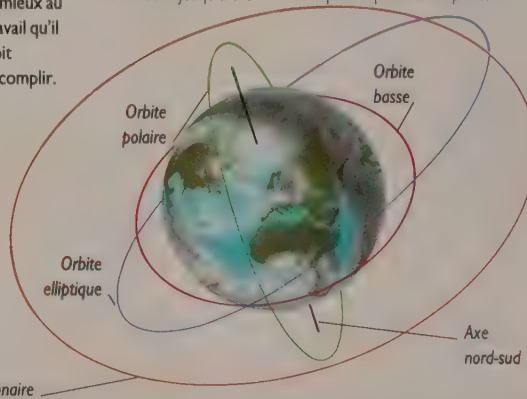
Un satellite est envoyé sur l'orbite qui correspond le mieux au travail qu'il doit accomplir.



Quitter la Terre

L'ingénieur américain Robert Goddard (1882-1945, ci-dessus) lança la première fusée à carburant liquide en 1926. C'est le poids des carburants solides qui constituait jusqu'alors

l'obstacle majeur à l'envoi de satellites en orbite. Si l'on veut qu'une fusée atteigne une vitesse suffisante pour échapper à l'attraction gravitationnelle de la Terre, il faut lui donner une poussée supérieure au poids qu'elle transporte.



C'est Neil Armstrong (né en 1930) qui fut le premier homme à poser le pied sur la Lune, le 21 juillet 1969.



On a marché sur la Lune

Il y eut, entre 1969 et 1972, six vols habités en direction du sol lunaire. L'une des raisons de ces missions était qu'elles permettaient de mieux comprendre l'origine du satellite de la Terre, son histoire et son évolution. On voit sur cette photographie, prise en 1971, l'astronaute américain James Irwin à côté du véhicule lunaire d'Apollo 15.

La coopération spatiale

Ariane, la fusée de l'Agence spatiale européenne, est utilisée par de nombreux pays d'Europe pour lancer en série des satellites de communication. Le satellite ou la sonde qui est transporté est appelé la charge utile. L'idée de coopération spatiale se démarque complètement de l'attitude de compétition adoptée par les États-Unis et l'Union soviétique au cours de la Guerre froide des années 60-70. Ariane donne à des pays moins riches le moyen de s'unir et de tirer les bénéfices de la technologie spatiale. Une grande partie des pièces du premier et du deuxième étage est construite en France, aux Mureaux. On voit ici une photographie du décollage d'Ariane 3 à partir de la Guyane française, en 1984. Malheureusement, ce jour-là, la fusée explosa peu après.



Réservoir extérieur à carburant

FUSÉE OU NAVETTE ?

Le lancement de satellites avec des fusées coûte cher car le véhicule porteur est automatiquement détruit au cours de l'opération. Par contre la navette spatiale américaine est réutilisable. Ses missions ont permis de réparer sur place le télescope Hubble et d'emporter dans l'espace des modules pour la construction de la nouvelle station orbitale.

Une coque de céramique protège la navette du terrible échauffement dû à l'entrée dans l'atmosphère.

La navette spatiale

La navette est propulsée dans l'espace par deux fusées auxiliaires à carburant solide. Elles sont larguées une fois leur travail accompli et retombent vers la Terre, ralenties par des parachutes. On peut alors les réutiliser. La navette revient sur Terre et atterrit à environ 350 km/h.



Entraînement sous-marin

Dans l'espace, les astronautes font l'expérience de l'apesanteur ou gravité zéro. Ce n'est pas un phénomène facile à simuler sur Terre. Le meilleur moyen est d'entraîner sous l'eau, les astronautes à bouger et à travailler avec leurs instruments. L'effet de la résistance de l'eau donne cependant de fausses impressions.



Vivre dans l'espace

Le premier module de la station spatiale Mir fut envoyé par l'U.R.S.S. en 1986. La station se présente comme un quartier d'habitat entouré de ports d'armage. Ceux-ci permettront la fixation d'autres modules pour étendre

la station où seront les points d'entrée de matériel ou de provisions. Certains cosmonautes ont vécu là pendant plus d'un an. Les scientifiques ont encore beaucoup à apprendre sur les conséquences pour l'homme d'un séjour prolongé dans l'espace.



Les avantages des sondes spatiales

Les satellites météorologiques surveillent les changements climatiques et effectuent des relevés des courants marins. D'autres, utilisés en géologie ou en écologie, repèrent la répartition du plancton dans les eaux des océans. Les données concernent de vastes étendues comme en témoigne cette image de la banquise russe (ci-contre).



Fusée auxiliaire à carburant solide

Tuiles en céramique

Navette spatiale

Le système solaire est l'ensemble des planètes, de leurs lunes et des débris en orbite autour du Soleil. Il maintient sa cohésion grâce à l'attraction gravitationnelle de ce dernier qui est à lui seul presque mille fois plus massif que toutes ses planètes rassemblées. Le système solaire est sans doute né d'un gigantesque nuage de gaz et de poussières interstellaires qui s'est contracté sous l'influence de sa propre gravité il y a quelque 5 milliards d'années. On distingue deux groupes de planètes. Les quatre plus proches du Soleil sont dites telluriques parce qu'elles sont petites, denses et ont une croûte solide comme la Terre. Les quatre géantes, situées au-delà de l'orbite de Mars, sont principalement faites de gaz et dites joviennes parce qu'elles ressemblent à Jupiter (Jovis en latin). Entre Mars et Jupiter se trouve une zone de débris spatiaux, la ceinture d'astéroïdes (p. 58). La neuvième planète, Pluton, constitue une classe à part.



Le secret de l'Astronomie

Cette gravure allégorique montre l'Astronomie venue d'une île et arrivée avec un globe, une lunette et un quart de cercle, la cône d'un personnage féminin, doit être les Mathématiques. L'ange et l'entre elles deux porte une bannière qui porte le mot de l'Astronomie. Le secret de l'art de l'Astronomie.



Tailles relatives

Le Soleil a un diamètre d'environ 1 390 000 km. Il est presque 10 fois plus grand que la plus grande des planètes, Jupiter, qui est elle-même assez grosse pour contenir toutes les autres. Cette figure nous montre les tailles relatives

des planètes et du Soleil. Les planètes dont les orbites sont en petit de la ceinture d'astéroïdes sont qualifiées d'intérieures, celles qui se situent au-delà d'extérieures. Mercure, Venus, la Terre et Mars, toutes relativement proches du Soleil, ont une masse

beaucoup plus petite que les quatre planètes géantes mais ont une densité moyenne bien plus importante (p. 58). Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune sont très massives mais ont de faibles densités. Plus largement espacées, elles voyagent à grande distance

du Soleil. Pluton est la plus petite planète du système solaire et forme une catégorie à elle seule (p. 57).



Le mécanisme complexe de cette machine, actionné par une manivelle, reproduit les mouvements relatifs des différentes planètes.

Enseigner l'astronomie

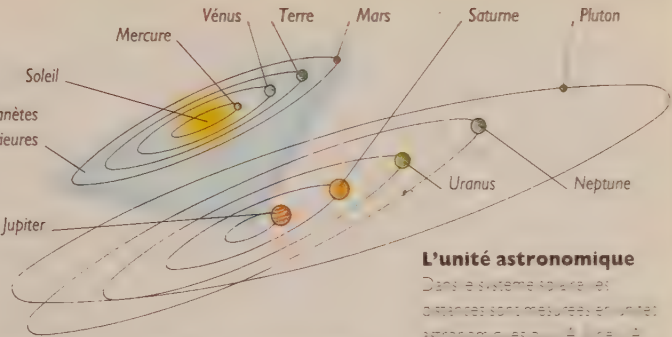
Au XVIIIe siècle, on utilisait ce type de machine pour enseigner l'astronomie. Elle reproduit les mouvements relatifs des planètes et du Soleil, ce qui permet de visualiser les positions relatives des corps célestes à un moment donné.



Laplace fut le premier à tenter de retrouver tous les mouvements de la Lune et des planètes par le calcul.

Mécanique céleste

Le grand successeur de Newton est le Français Pierre Simon de Laplace (1749-1827). Dans son ouvrage en 5 volumes intitulé *Traité de mécanique céleste* (1798-1825), l'astronome traite tous les mouvements du système solaire comme un pur problème mathématique, montrant par ce travail la puissance de la théorie de la gravitation universelle (p. 2). Il se représentait les cieux comme une grande machine, une horloge qui, une fois lancée, continuerait à fonctionner indéfiniment.



Les orbites

À part Pluton, les planètes du système solaire ont des orbites elliptiques, mais très peu allongées et en réalité presque circulaires. Ce sont les comètes qui ont les orbites les plus excentriques.

L'unité astronomique

Dans le système solaire, les distances sont mesurées en unités astronomiques ou U.A. Une U.A. est égale à la distance moyenne Terre-Soleil, soit 149 598 000 km. Ce dessin représente les orbites des planètes.

ÉCOLE SECONDAIRE ANTOINE-BROSSARD CENTRE DE DOCUMENTATION

3055, BOUL. ROME, BROSSARD, (QUÉ.) J4Y 1S9
TÉL.: (514) 443-0010

Éléments s'échappant

Dans cette machine, les boules rouges représentent les éléments les plus lourds; les petites billes argentées représentent ceux les plus légers, comme l'hydrogène.

Éléments les plus légers

Si l'on augmente la vibration, les boules ont plus d'énergie.

Éléments les plus lourds

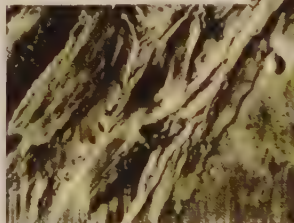
Machine agitant les éléments

L'hydrogène dans le système solaire

Notre Soleil est principalement constitué d'hydrogène, et sa masse importante tire celui-ci vers

PHOTOGRAPHIER LES PLANÈTES

L'un des rôles clés des sondes spatiales (p. 34-35) est de renvoyer vers la Terre des images utilisables par les chercheurs. Les différences de qualité entre les nombreux clichés juxtaposés sont rééquilibrées par ordinateur. Chaque image est digitalisée au moyen d'une caméra CCD (Charge Coupled Device; en français: récepteur à transfert de charge), un dispositif constitué d'une plaquette de silicone divisée en 64 000 points, ou « pixels ». Chaque pixel reçoit un certain nombre de photons ou « grains de lumière », en fonction de la luminosité de l'image.



Photographie de la surface de Mars prise par Mariner 9

Assemblage d'images

On utilise rarement un film en couleurs ordinaire parce que le contraste est faible et que l'on a besoin d'une trop longue exposition.

L'intérieur, la chaleur et la pression sont si grandes en son cœur qu'il s'y produit une fusion de l'hydrogène en hélium. C'est cette réaction qui libère sans cesse une gigantesque quantité d'énergie, équivalente à une énorme bombe atomique, et qui fait briller le Soleil. Les planètes géantes sont elles aussi essentiellement constituées d'hydrogène.

Les images sont prises en noir et blanc et collées les unes à côté des autres comme une mosaïque.

Les atomes d'hydrogène sont si énergétiques, si légers et si volatiles que les planètes peu massives ne peuvent les garder. Voilà pourquoi c'est l'azote, plus lourd, qui constitue la majeure partie de l'atmosphère de la Terre.



On a utilisé ici des filtres rouges, verts et violets.

Mosaïque en couleurs

Cette image mosaïque, où Mars apparaît bien comme une planète rocheuse flottant dans l'espace, est l'œuvre d'un ordinateur qui utilise 50 images prises par la sonde Viking.



Presque toutes les civilisations considéraient le Soleil comme la source de la vie et lui attribuaient un pouvoir sur les événements terrestres. Cet astre est le centre de notre système solaire, c'est notre étoile. Il est en activité permanente, son aspect pouvant changer d'un jour à l'autre du fait de sa structure gazeuse. L'observation et l'étude du Soleil nous permettent de comprendre la nature des étoiles en général. Les astronomes s'intéressent

particulièrement aux couches externes de son atmosphère : la photosphère, la chromosphère et la couronne. À partir de son analyse spectrale (p. 30-31), les scientifiques savent que le Soleil, comme la plupart des étoiles, est constitué principalement d'hydrogène incandescent.

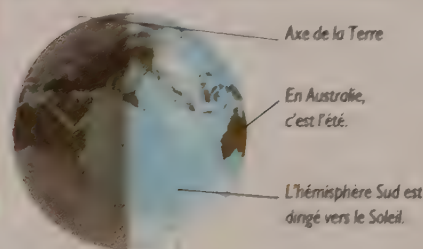


SON ÉNERGIE

Dans le cœur du Soleil, les noyaux d'hydrogène sont si comprimés qu'ils se transforment en hélium par fusion thermonucléaire, exactement comme dans une bombe atomique. Chaque minute, notre étoile convertit ainsi en énergie 240 millions de tonnes de sa masse selon la fameuse formule d'Albert Einstein, $E = mc^2$, qui signifie tout simplement que matière et énergie sont interchangeables (p. 63). C'est ainsi que l'on explique le formidable rayonnement du Soleil.

Le coronographe

C'est l'astronome français Bernard Lyot (1897-1952, en haut, à gauche) qui, en 1930, inventa le coronographe. Cet instrument spécialement équipé permet d'observer la couronne du Soleil et des protubérances sans que l'on ait besoin d'attendre une éclipse.



Axe de la Terre

En Australie, c'est l'été.

L'hémisphère Sud est dirigé vers le Soleil.

Chromosphère

Taches solaires

Observer le Soleil

Bien que notre étoile soit à plus de 149 millions de kilomètres de la Terre, ses rayons sont encore assez faibles pour nous assombrir les yeux. C'est pourquoi on ne peut l'observer qu'à l'aide d'un instrument spécialement conçu. Le coronographe, inventé par l'astronome français Bernard Lyot, est un instrument qui permet d'observer le Soleil sans danger. Il est composé d'un miroir qui réfléchit l'image du Soleil à travers une série de lentilles qui la réduisent à une échelle sûre. L'image est projetée sur un écran ou un film. L'instrument est conçu pour éviter les distorsions de l'image causées par la turbulence de l'air.

Les changements de saison

Le changement de saison est dû au fait que l'axe Nord-Sud de la Terre n'est pas droit, mais incliné de 23,5°. Pendant la course autour du Soleil (la "année" solaire), l'axe Nord-Sud est orienté vers le Soleil à différents moments. Lorsque l'axe Nord-Sud est orienté vers le Soleil, c'est l'été dans l'hémisphère Nord et l'hiver dans l'hémisphère Sud. Lorsque l'axe Nord-Sud est orienté à l'opposé du Soleil, c'est l'hiver dans l'hémisphère Nord et l'été dans l'hémisphère Sud.

du Soleil dans le ciel change aussi d'une saison à l'autre. En été, le Soleil est plus haut dans le ciel et les jours sont plus longs. En hiver, le Soleil est plus bas dans le ciel et les jours sont plus courts.

Cadran solaire

Protubérance

Oculaire

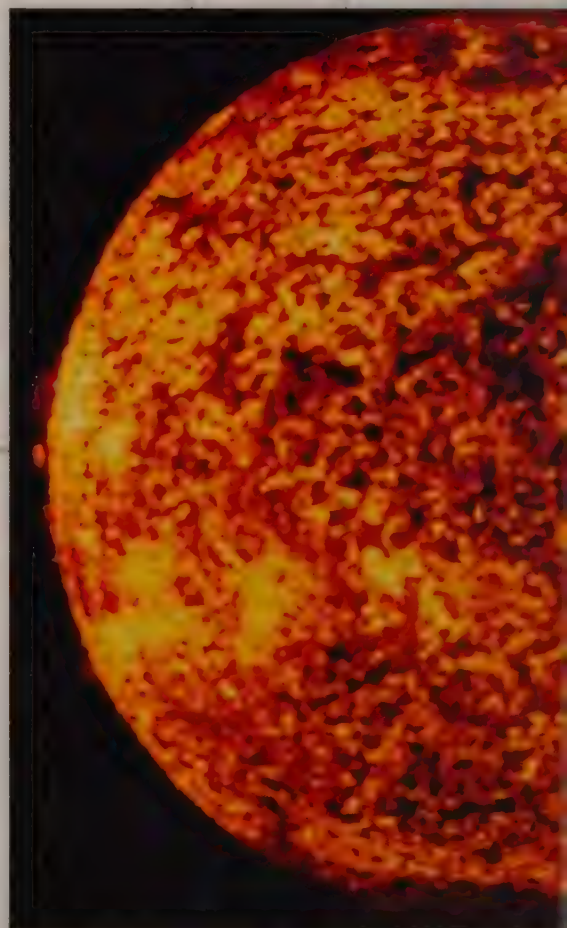
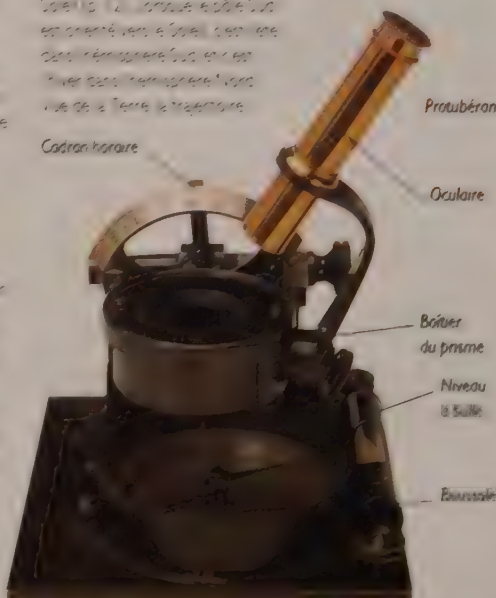
Boîtier du prisme

Niveau à bulle

Focussable

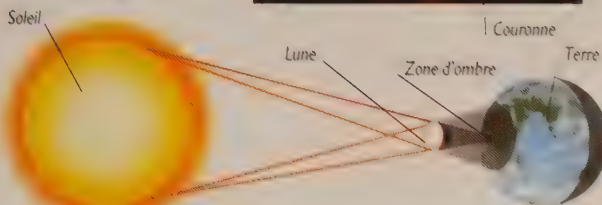
Le diptéridoscope

Le diptéridoscope est un instrument qui permet d'observer le Soleil sans danger. Il est composé d'un miroir qui réfléchit l'image du Soleil à travers une série de lentilles qui la réduisent à une échelle sûre. L'image est projetée sur un écran ou un film. L'instrument est conçu pour éviter les distorsions de l'image causées par la turbulence de l'air.



La couronne

Les couches externes du Soleil forment ce qu'on appelle la couronne. Bien qu'elle s'étende dans l'espace sur des milliers de kilomètres, elle peut à voir paraître que le bleu du ciel nous en voit. Pendant une éclipse totale, par contre, la couronne nous apparaît sous la forme d'un halo brillant autour de la Lune comme sur cette photographie prise à Mexico en mars 1970.



Une éclipse solaire

Ce phénomène a lieu lorsque la nouvelle lune se trouve exactement entre la Terre et le Soleil (voir ci-dessus). Vue de la Terre, la Lune occulte partiellement ou totalement le disque solaire. Les éclipses totales

sont très rares, où que l'on se place sur la planète, et ne se reproduisent au même endroit tous les 360 ans environ. Il est pourtant possible d'observer chaque année des éclipses solaires, mais il faut pas avoir peur de voyager.

DES TACHES SUR LE SOLEIL

Les taches solaires correspondent à des régions plus froides de la surface de l'astre. Le champ magnétique y est très fort et perturbe les passages de chaleur du cœur vers la photosphère. Lorsque les taches sont à leur maximum d'intensité, on observe sur le Soleil de nombreuses et violentes éruptions, des protubérances et des jets de particules chargées électriquement.

Suivre les taches

Les positions successives des taches solaires nous permettent de connaître la rotation du Soleil. Cela est utile car il est parfois méconnaissable d'un seul tour à la différence des planètes uniques.

L'équateur du Soleil a besoin de 25 jours terrestres pour accomplir une révolution complète tandis que les pôles mettent 30 jours. Ces photographies sont enregistrement des mouvements d'un groupe de taches sur 4 jours, en mars-avril 1947.



Un photohéliographe

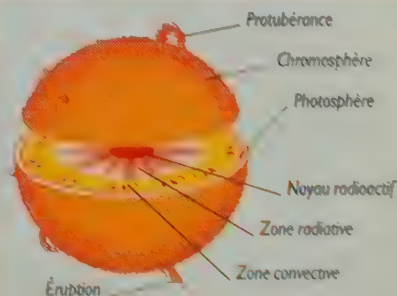
Ce télescope comporte, à la place de l'oculaire, un grand écran de verre filtrant, sur lequel sont inscrites les lignes de coordonnées. L'astronome peut ainsi compter et mesurer les taches solaires sans regarder le Soleil directement.

Les astronomes observent les taches solaires au moyen d'un télescope adapté.

L'atmosphère solaire

L'essentiel de la lumière visible nous vient de la photosphère, épaisse de 300 à 400 km. La couche suivante est plus chaude, c'est la chromosphère. La couche la plus externe, enfin, s'appelle la couronne. Puisque le Soleil est en permanence dans un état volatil, ses couches sont sans cesse en mouvement. Les protubérances et les jets coronaires, qui s'étendent sur des dizaines de milliers de kilomètres, sont directement liés aux perturbations de son champ magnétique.

Caractéristiques du Soleil



- **Diamètre équatorial** : 1,4 million de km
- **Distance Terre-Soleil** : 150 millions de km
- **Période de rotation** : 25 jours terrestres (à l'équateur)
- **Volume** (Terre = 1) : 1 306 000
- **Masse** (Terre = 1) : 333 000
- **Densité** (eau = 1) : 1,4
- **Température superficielle** : 5 500°C



La Lune est notre unique satellite et tourne autour de nous à une distance de 384 400 km. L'origine de la Lune est encore mal connue et sujette à de houleux débats. D'aucuns pensent que la Terre et son satellite se sont formés en même temps à partir de poussières et de gaz du système solaire originel. On parle alors de coaccrétion. D'autres scientifiques soutiennent que la Lune a été capturée par le champ de gravitation terrestre alors qu'elle dérivait dans l'espace. Et quelques-uns supposent qu'un objet de la taille de Mars a pu entrer en collision avec la Terre ; la Lune serait alors un des morceaux de notre planète, arraché au cours du violent impact.

En 1647, Johannes Hevelius (1611-1687) publia le premier atlas lunaire détaillé, le *Selenographia*, où il décrivait les libration de la Lune (ci-dessus).

Une carte de la Lune

La Lune nous montre toujours la même face car sa vitesse angulaire de révolution est en moyenne égale à sa vitesse de rotation.

Si son mouvement orbital était circulaire et uniforme, on ne pourrait jamais voir que 50 % de sa surface. En réalité, sa trajectoire est elliptique et sa vitesse orbitale

varie. On peut observer au cours d'une révolution près de 59 % de sa surface. Ce phénomène de balancement apparent est la libration.

Le cratère de Copernic

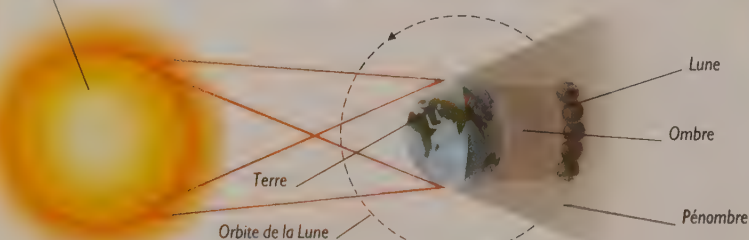
Les cratères sont la trace du bombardement de la Lune par d'innombrables météorites il y a 4,5 à 3,9 milliards d'années. Les trous d'impacts sont restés tels quels depuis cette époque car, la Lune n'ayant pas d'atmosphère, il y a très peu d'érosion à sa surface. On voit sur cette maquette le cratère Copernic, qui mesure 90 km de large pour 3 352 m de profondeur. Les montagnes situées à l'intérieur culminent à 5 km au-dessus du sol.

On utilise la longueur des ombres pour calculer la hauteur des bords du cratère.



Soleil Fond du cratère Bord du cratère

On a donné aux cratères lunaires les noms d'astronomes ou de philosophes célèbres.



Une éclipse de Lune

Ce phénomène a lieu lorsque la Terre passe exactement entre le

Soleil et la pleine lune. Notre satellite disparaît dans l'ombre pendant environ deux heures.

Table des latitudes

Équateur lunaire

Tables des marées

Les marées sont dues à l'action conjuguée des forces de gravitation de la Lune et du Soleil. Lorsque ces deux astres et la Terre sont alignés (nouvelle lune ou pleine lune), la force d'attraction, et donc l'amplitude des marées, est maximale (grandes marées). Lorsque la Lune

et le Soleil sont séparés de 90°, l'amplitude est minimale (mortes-eaux). Sur les cadrans de cet abrégé (1569) des tables indiquent les marées dans un certain nombre de villes européennes.

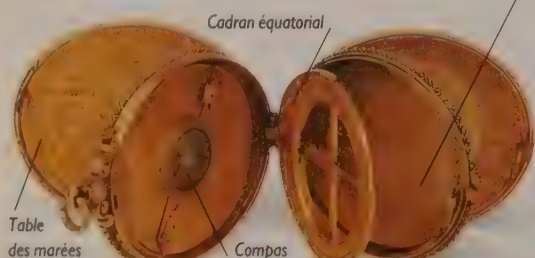
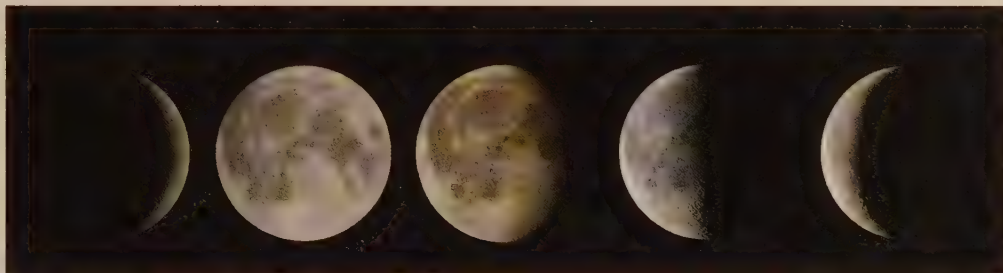


Table des marées Cadrans équatoriaux Compas

Les phases de la Lune

Notre satellite n'émet pas de lumière par lui-même, il réfléchit celle du Soleil. La portion de sa surface éclairée visible depuis la Terre varie au cours du temps, en fonction de l'angle qui sépare la Lune du Soleil dans le ciel. Les phases décrivent des cycles de 29 jours, un peu plus que la durée d'une révolution complète autour de la Terre (27,3 jours).

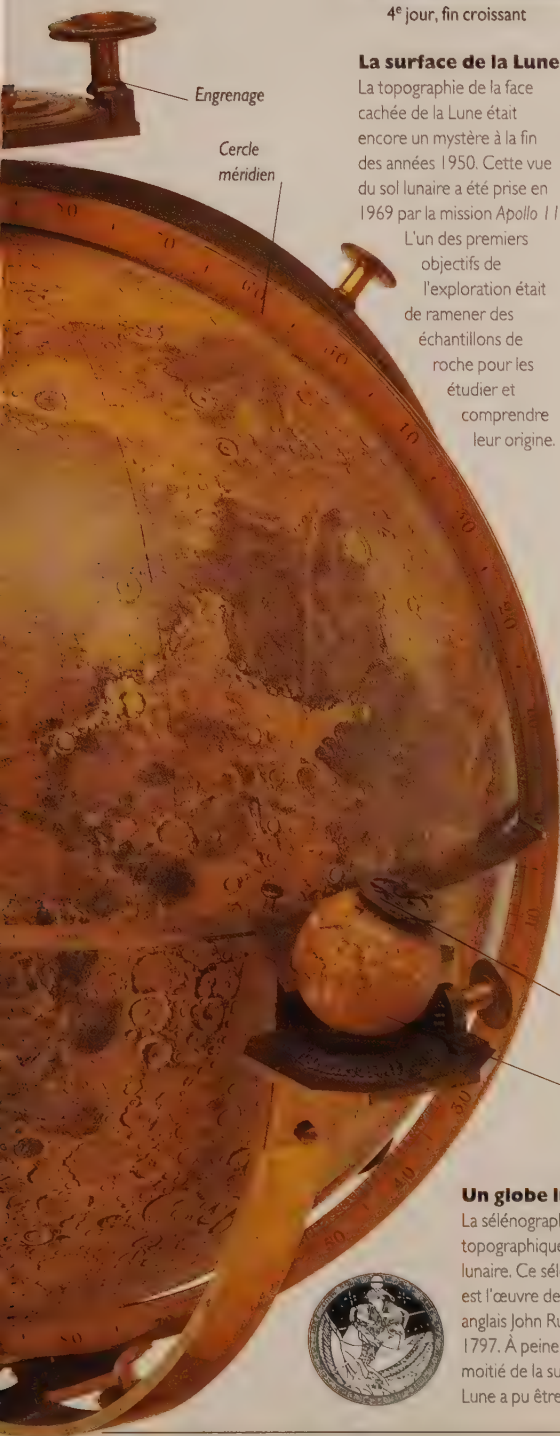
4^e jour, fin croissant14^e jour, pleine lune19^e jour, lune gibbeuse21^e jour, dernier quartier24^e jour, croissant

La surface de la Lune

La topographie de la face cachée de la Lune était encore un mystère à la fin des années 1950. Cette vue du sol lunaire a été prise en 1969 par la mission Apollo 11.

L'un des premiers objectifs de l'exploration était de ramener des échantillons de roche pour les étudier et comprendre leur origine.

La Lune est faite de matériaux similaires mais pas identiques à ceux que l'on trouve sur Terre. Il y a moins de métaux mais, comme sur Terre, les minéraux principaux sont des silicates bien que leur composition soit légèrement différente. Ce sont ces similitudes de densité et de composition qui ont conduit certains astronomes à la dernière hypothèse de formation de la Lune, celle d'un « grand cataclysme ». Cependant, des études plus poussées, notamment en matière de dynamique, ont montré que ce modèle n'était pas réaliste.



La lumière polarisée du microscope fait apparaître des couleurs.

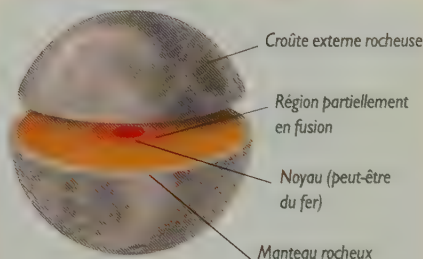
La limpidité de la roche montre qu'il n'y a pas eu désagrégation.

Les roches lunaires sont découpées en tranches fines et observées avec un puissant microscope.

Les roches lunaires

Des géologues ont étudié les échantillons en procédant de la même manière qu'avec les roches terrestres. On constate que les minéraux comme les feldspaths ou l'olivine, qui sont abondants sur Terre, ne sont pas du tout désagregés.

Caractéristiques de la Lune



- Intervalle entre deux nouvelles lunes : 29 j 12 h 44 mn
- Température superficielle : -120 °C à +180 °C
- Période de rotation : 27,3 jours terrestres
- Distance moyenne à la Terre : 384 000 km
- Volume (Terre = 1) : 0,02
- Masse (Terre = 1) : 0,012
- Densité (eau = 1) : 3,34
- Diamètre équatorial : 3 476 km

Un globe lunaire

La sélénographie est l'étude topographique de la surface lunaire. Ce sélénographe est l'œuvre de l'artiste anglais John Russell, en 1797. À peine plus de la moitié de la surface de la Lune a pu être dessinée

parce qu'à l'époque les détails de la face cachée étaient encore inconnus. Il fallut attendre que les Russes reçoivent les premières images transmises par Luna 3, en octobre 1959 (p. 34), pour compléter la carte.





La Terre est la seule planète du système solaire où la vie soit possible. La présence d'eau liquide, d'une atmosphère riche en oxygène et en azote et de climats dynamiques, constitue une combinaison unique qui fournit les éléments de base pour le développement des diverses plantes et animaux. Sur des millions d'années, la forme des terres émergées et des océans a continuellement changé ; des montagnes se sont dressées, puis érodées, les plaques continentales ont dérivé à la surface de la Terre. Certains scientifiques redoutent que la négligence humaine ne rompe cet équilibre harmonieux.

La nutation

A cause de l'attraction gravitationnelle exercée par la Lune (p. 41), la Terre se balance légèrement sur son axe. Ce phénomène, appelé nutation,

fut mis en évidence par l'astronome anglais James Bradley (1693-1762) qui expliqua ainsi les irrégularités observées dans les trajectoires de nombreuses étoiles.

L'EFFET DE SERRE

La destruction de la forêt tropicale et la combustion des carburants fossiles font que l'atmosphère terrestre contient du dioxyde de carbone en excès. Or, l'énergie reçue du Soleil est réfléchiée sous forme de chaleur, dont le dioxyde de carbone empêche l'élimination.

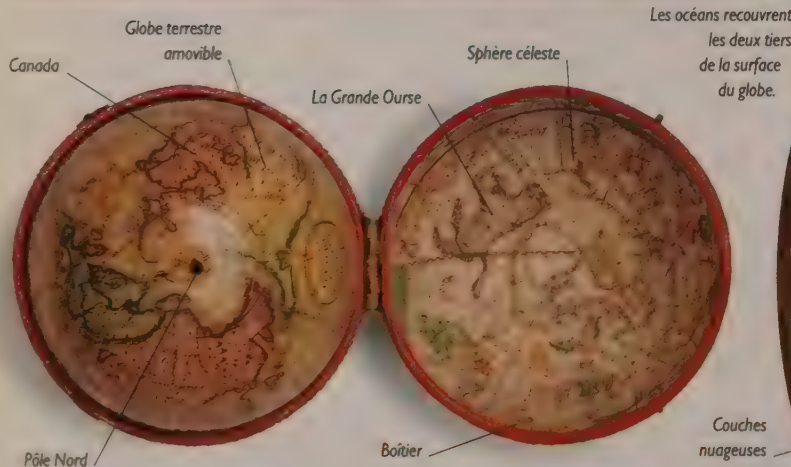


Une géographie en changement perpétuel

La croûte terrestre est faite d'un certain nombre de plaques qui se déplacent continuellement sous l'influence des courants ascendants et descendants qui existent entre la surface de la Terre et son cœur de métal en fusion. Là où les plaques entrent en collision, le paysage rocheux se soulève et forme des chaînes de montagnes que l'érosion taille comme à coups de serpe pour donner des massifs tels que les Andes de Patagonie.

Les tensions créées par les mouvements tectoniques provoquent parfois des tremblements de Terre ou du volcanisme.

Désert du Sahara



Un globe de poche

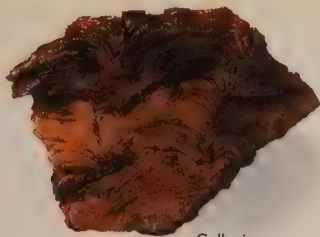
Un globe est utile à celui qui veut connaître la configuration de la surface terrestre. Ce globe de

poche du ^{xx}e siècle résumait l'aspect du monde du point de vue géographique ; les continents étaient divisés en nations ou en

sphères d'influence. A l'intérieur du boîtier se trouve une carte de la sphère céleste (p. 12-13) où figurent toutes les constellations

Couches nuageuses





Collenia

Cette algue minuscule était une des premières formes de vie.

Fossiles

Les plantes et animaux ensevelis dans les couches sédimentaires deviennent des fossiles.

Les produits chimiques que l'on rejette endommagent la couche d'ozone (couche de l'atmosphère qui nous protège des dangereuses radiations des ultraviolets).

La pollution

De nombreux scientifiques se demandent si l'espèce humaine ne pourrait pas, comme d'autres, s'éteindre aussi un jour. Les dinosaures semblent avoir été les victimes passives des changements de la planète, tandis que les hommes jouent un rôle dominant dans la destruction de leur environnement.

La vie sur Terre

Les premiers êtres vivants étaient des plantes qui recyclaient le dioxyde de carbone de l'air en oxygène par le processus de la photosynthèse. Les animaux apparurent lorsqu'il y eut dans l'atmosphère et les océans suffisamment d'oxygène pour leur permettre de respirer. La survie d'une catégorie d'êtres est liée à la stabilité

de son environnement naturel sur Terre comme l'indique l'exemple des dinosaures, qui se sont éteints bien que parfaitement adaptés à leur milieu à une époque donnée



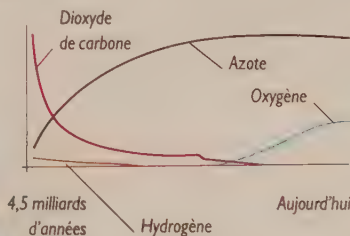
Edmontosaurus, herbivore



L'atmosphère

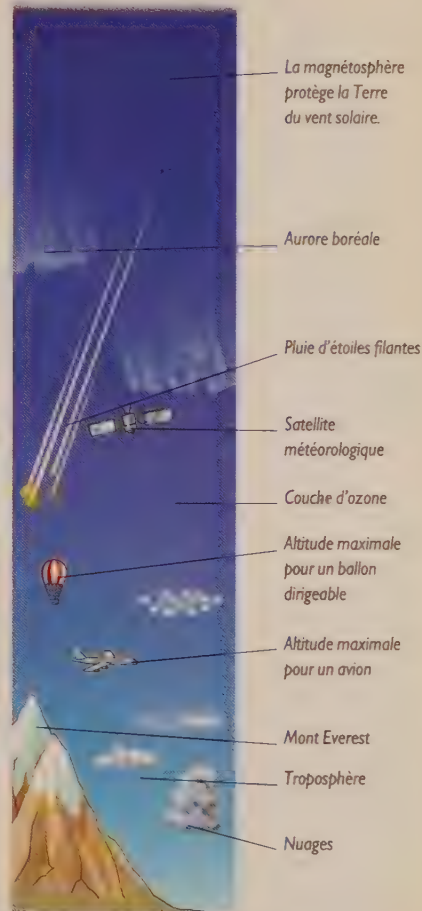
Notre atmosphère s'étend au-dessus de nous sur environ 1 000 km d'épaisseur. Elle permet la vie et nous protège des

effets nocifs des rayons du Soleil. Elle se compose de plusieurs couches, et celle qui contient l'oxygène dont nous avons besoin n'est épaisse que de 10 km.



La Terre sphérique

Au ^{vi} siècle av. J.-C., les philosophes grecs pensaient déjà que la Terre était sphérique et, à partir du ⁱⁱⁱ siècle av. J.-C., une série d'expériences permit de le prouver. Mais il a fallu attendre le lancement des premiers satellites à la fin des années 1950 pour que les hommes voient à quoi leur planète ressemble vue de l'espace. Plus des deux tiers du globe sont recouverts par les océans; c'est cette abondance d'eau liquide qui fait de la Terre une planète exceptionnelle. L'érosion, les marées, les différents climats, la variété des espèces vivantes, tout cela est dû à la présence de l'eau et fabrique une Terre qui évolue. Il y a plus d'eau dans le désert du Sahara que sur Vénus (p. 46-47).

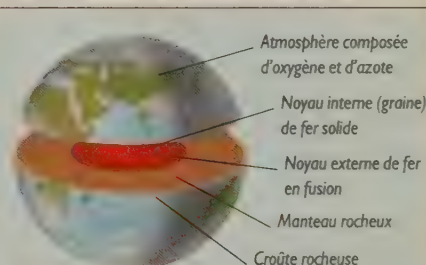


L'évolution de l'atmosphère

Depuis que la Terre s'est formée, la composition chimique de l'atmosphère a évolué. La proportion de dioxyde de carbone a diminué de façon significative au cours

de la période qui va de 4,5 à 3 milliards d'années avant notre ère. La teneur en azote a augmenté dans les mêmes proportions. Le pourcentage d'oxygène a commencé à s'élever vers la fin de cette période grâce à la photosynthèse.

Caractéristiques de la Terre



- Période de révolution sidérale: 365,26 jours
- Température: -70 °C à +55 °C
- Période de rotation sidérale: 23 h 56 mn
- Distance moyenne au Soleil: 149,6 millions de km
- Volume: $1,1 \times 10^{21} \text{ m}^3$
- Masse: $5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$
- Densité (eau = 1): 5,52
- Diamètre équatorial: 12 760 km
- Nombre de satellites: 1



Mercure parcourt une orbite complète en seulement 88 jours terrestres, c'est la planète la plus rapide. Pour cette raison, on lui a donné le nom du messager des dieux romains. Comme Vénus, elle a des phases (p. 20), mais elle est difficile à observer. Bien que la lumière qu'elle réfléchit fasse d'elle l'un des astres les plus brillants, Mercure n'est jamais suffisamment éloignée du Soleil pour qu'on puisse la voir sur fond de ciel nocturne. Elle apparaît, au ras de l'horizon, comme une étoile du matin, juste avant le lever du Soleil ; ou une étoile du soir, juste après son coucher. L'attraction gravitationnelle du Soleil a « happé » l'atmosphère que Mercure aurait pu avoir pour se protéger des conditions extrêmes qui règnent à sa surface.

Une ancienne carte de Mercure

Bien que beaucoup d'astronomes aient essayé de faire des relevés de l'insaisissable face de Mercure, l'observateur le plus prolifique fut

le Français Eugène Antoniadi, de l'observatoire de Meudon, (1870-1944). Ses cartes, qu'il dessina entre 1924 et 1929, montrent d'immenses vallées et déserts (ci-dessus).

Vues rapprochées de la surface de Mercure (ci-dessous) prises par Mariner 10.



Un sol balaféré

Les cratères de Mercure sont entourés par des séries d'arêtes concentriques. Ils ont été formés

par des impacts de météorites dont la puissance fut telle que le terrain a été repoussé loin vers l'extérieur.

Une surface qui ressemble à celle de notre Lune (p. 40).



L'observation de Mercure

En 1973, la sonde spatiale Mariner 10 fut envoyée en orbite autour du Soleil, où elle s'est comportée comme une miniplanète. Grâce à des images de Mercure prises au cours de trois rencontres successives on a pu cartographier environ 45 % de sa surface, avec une résolution de l'ordre d'une vingtaine de km

La surface de Mercure

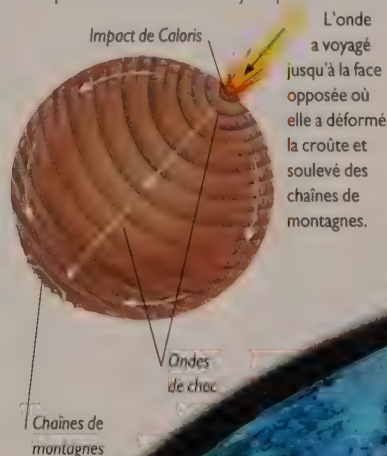
Mercure semble s'être contractée depuis sa formation. On observe en effet à sa surface des séries de rides sinueuses ou escarpements qui sont uniques en leur genre

dans le système solaire. La sonde Mariner 10 a aussi mis en évidence la présence d'un champ magnétique d'une amplitude égale à 1 % de celle du champ magnétique terrestre

LES PLUS GRANDS ÉCARTS

DE TEMPÉRATURE DU SYSTÈME SOLAIRE

Durant le jour, la température à la surface de Mercure est si élevée que de nombreux métaux fondent. La nuit, la température descend jusqu'à -170 °C.



Ondes sismiques

L'impact d'une météorite sur Mercure a créé un immense cratère, le bassin Caloris, et donné naissance à une onde de choc, ou onde sismique, qui s'est propagée à travers le noyau semi-liquide de la planète.

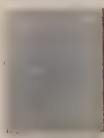




Bois



Bois



Aluminium



Fer

Mesurer la masse

La masse d'un objet correspond à la quantité de matière qu'il contient. On utilise une balance à trébuchet pour trouver la masse d'un matériau. Prenons un morceau de bois et un morceau de fer de proportions et de volumes identiques et plaçons-les

sur les plateaux de la balance. C'est le fer qui a la masse la plus importante. En divisant la masse (mesurée en grammes) du bois et du fer par leur volume (mesuré en centimètres cubes), on calcule leur masse volumique qui, rapportée à celle de l'eau, donne leur densité. On constate que le fer est un matériau plus dense que le bois.

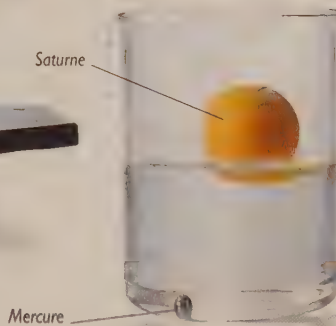
Différentes densités

Ces blocs de bois, d'aluminium et de fer occupent tous la même portion d'espace. Ces matériaux n'ont cependant pas la même masse ni la même densité, ils ne pèsent donc pas le même poids.

Mercure a une densité plus importante que celle des grosses planètes.

PESER LES PLANÈTES

Alors que l'on peut peser et mesurer un objet sur Terre, on doit, pour les planètes, établir l'espace qu'elles occupent (volume), la quantité de matière qu'elles renferment (masse) et leur densité, en étudiant leur comportement, l'attraction gravitationnelle qu'elles exercent sur les objets voisins et en utilisant les données récoltées par les sondes.



Saturne

Mercure

Comparer les densités

Mercure a une masse importante pour sa taille. Sa densité est presque aussi importante que celle de la Terre. Les astronomes pensent que Mercure doit avoir un volumineux noyau de fer qui occupe presque le quart de son rayon (l'existence d'un champ

magnétique, comme l'a observé *Messenger* 10, semble d'ailleurs le prouver). Lorsque l'on compare les densités de Mercure et de Saturne, l'énorme géante gazeuse (p. 52-53), on s'aperçoit que Saturne flotterait sur l'eau alors que Mercure, dont la densité est sept fois plus importante, coulerait à pic

Période orbitale

L'attraction gravitationnelle du Soleil déforme légèrement le globe de Mercure et a provoqué en quelques centaines de millions d'années le ralentissement de la rotation de la planète. La faible différence entre les périodes de rotation (58,6 jours terrestres) et de révolution (88 jours terrestres) conduit à une journée mercurienne (durée entre deux passages du Soleil au « midi ») de 176 jours terrestres.



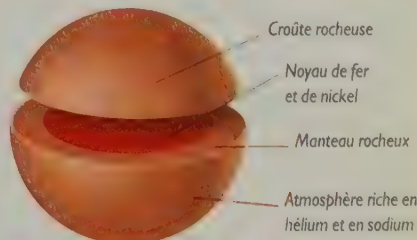
Lune

Terre



Mercure

Caractéristiques de Mercure



- Période de révolution sidérale : 88 jours terrestres
- Température superficielle : -170 °C à +400 °C
- Période de rotation sidérale : 58,6 jours terrestres
- Distance moyenne au Soleil : 57,8 millions de km
- Volume (Terre = 1) : 0,056
- Masse (Terre = 1) : 0,055
- Densité (eau = 1) : 5,44
- Diamètre équatorial : 4 878 km
- Nombre de satellites : 0

Cratère

Mosaïque de photographies juxtaposées

On croit souvent que Vénus est une étoile. Elle est, après la Lune, l'objet le plus brillant du ciel nocturne. Sa taille étant proche de celle de la Terre, les astronomes ont supposé jusqu'au ^{xx}e siècle qu'elle devait lui ressembler. Les sondes envoyées pour l'explorer ont montré que ce n'est pas le cas. Vénus est entourée de nuages si denses que même les plus puissants télescopes ne peuvent pas voir sa surface. Seule l'utilisation des ondes radar permet de tracer une carte du sol de la planète. Les scientifiques connaissent la durée du jour vénusien depuis qu'il a été possible d'établir sa topographie (essentiellement des plaines faiblement vallonnées et des hauts plateaux). L'atmosphère vénusienne est irrespirable ; elle est constituée d'un mélange de dioxyde de carbone et d'acide sulfurique, responsable d'un effet de serre énorme qui emprisonne la chaleur. Pour les Anciens, Vénus n'était qu'une très jolie planète brillante, c'est pourquoi ils lui donnèrent le nom de la déesse de l'Amour. Presque toutes les structures présentes à sa surface ont reçu des noms de femmes : Pavlova, Sappho, Phobé...



Dans la nuit

Cette photographie a été prise de la Terre. On voit le croissant de la Lune et Vénus en haut à gauche. Brillante

comme une étoile, elle apparaît à l'œil nu. On se serait cru en plein jour si on l'avait vue de près.

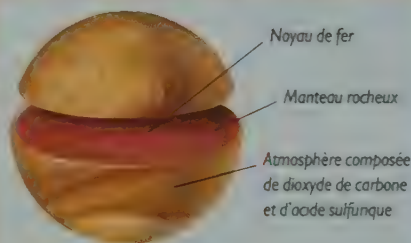
Le calcul des distances

Une des manières de calculer la distance de la Terre au Soleil est de mesurer le temps de passage d'une planète devant le disque solaire. En 1769, de nombreuses expéditions furent envoyées à Tahiti pour observer le passage de Vénus devant l'étoile. Les calculs issus de ces observations permettent aux astronomes de déduire les distances relatives de l'ensemble des objets du système solaire.



Le capitaine Cook, explorateur britannique, dirigea l'une des expéditions d'observation qui furent envoyées à Tahiti en 1769.

Caractéristiques de Vénus



- Période de révolution sidérale : 224,7 jours terrestres
- Température superficielle : 460 °C
- Période de rotation sidérale : 243 jours terrestres
- Distance moyenne au Soleil : 108 millions de km
- Volume : Terre = 1,0
- Masse : Terre = 0,815
- Densité : Terre = 5,25
- Diamètre équatorial : 12 104 km
- Nombre de satellites : 0

Regarder Vénus

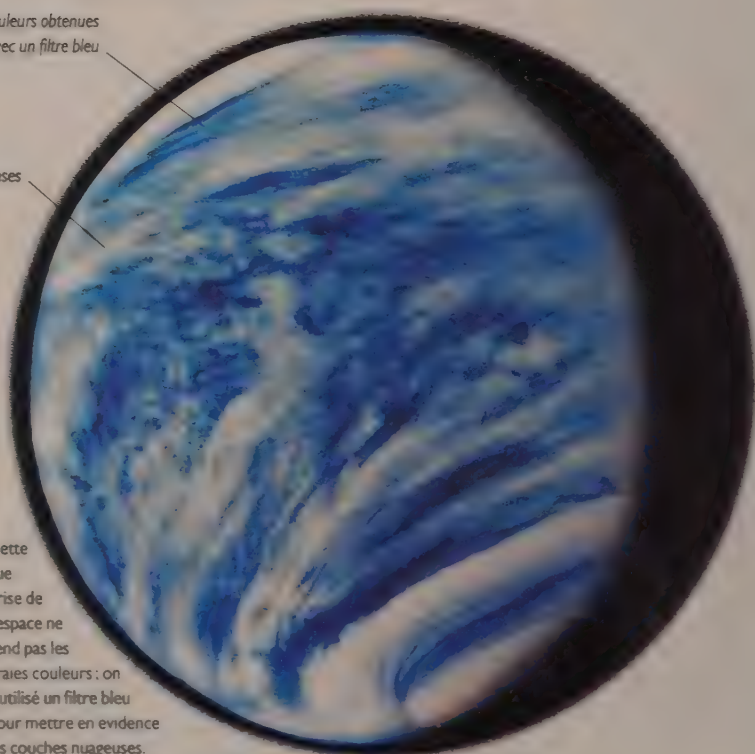
Les premiers à l'envoyer vers la Terre furent les sondes Pioneer, qui étaient conçues pour cartographier la surface de Vénus au moyen d'un radar sans avoir besoin de pénétrer dans l'atmosphère dense de la planète. Pioneer 13 survola l'orbite de la planète en 1978.

Mais ce fut la sonde Magellan qui a envoyé vers la Terre de nombreuses images radar, analysées ensuite par des ordinateurs qui reconstruisirent la topographie de la planète (des plaines principalement). Le grand télescope d'Arecibo à Porto Rico (p. 32) a permis aussi de dresser des cartes de Vénus.

Couleurs obtenues avec un filtre bleu

Nuages denses

Cette vue prise de l'espace ne rend pas les vraies couleurs : on a utilisé un filtre bleu pour mettre en évidence les couches nuageuses.



Une surface mystérieuse

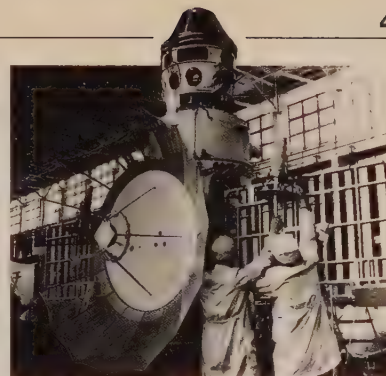
Même avec les plus gros télescopes, l'atmosphère de Vénus reste désespérément opaque. Ceci a conduit l'astronome Russe Mikhaïl Lomonossov (p. 28) à supposer que le sol vénusien est caché par des nuages denses. L'astrophysicien britannique Fred Hoyle (à droite) affirmait en 1955 que ces nuages étaient constitués de gouttes de pétrole, et qu'il en existait sur Vénus des océans.



Les sondes Venera

Les Soviétiques constatèrent avec surprise que leurs trois premières sondes Venera cessaient de fonctionner au moment où elles entraient dans l'atmosphère vénusienne. Les sondes suivantes ont permis d'en comprendre la raison : la pression atmosphérique de la planète est 90 fois celle de la Terre et l'atmosphère est elle-même très fortement acide et sa température s'élève à 460 °C.

Au cours des années 60-70, l'U.R.S.S. envoya sur Vénus des sondes, appelées Venera, afin d'en étudier le sol et d'en faire des photographies.



Échelle des couleurs

Lumière du Soleil réfléchi
Les nuages de dioxyde de carbone laissent passer la lumière mais les infrarouges ne peuvent pas sortir.

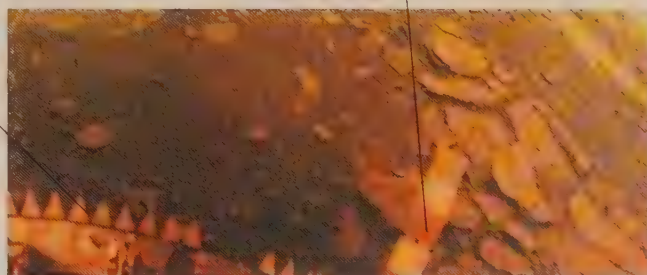
Couche d'acide sulfurique

L'effet de serre

La grande quantité de dioxyde de carbone présente dans l'atmosphère de Vénus fait que les rayons du Soleil peuvent pénétrer jusqu'à la surface mais que la chaleur ne peut s'en échapper.

Pied de la sonde

Bien qu'une épaisse couche nuageuse protège Vénus de 80 % des rayons solaires, sa température superficielle atteint 460 °C à cause de l'effet de serre.

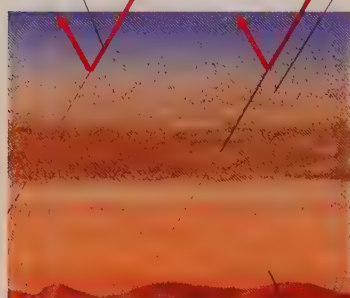


Sur les clichés, le sol de Vénus apparaît aride et jonché de roches volcaniques.

Se poser sur Vénus

Cette image a été envoyée par Venera 13 lorsqu'elle « atterrit » sur Vénus, en 1982. On voit sur la gauche une partie de la sonde spatiale, et l'échelle des couleurs,

représentée en bas, au milieu de l'image. Il y avait assez de lumière pour prendre la photo, mais la sonde succomba aux terribles conditions atmosphériques au bout d'une heure seulement.



Activité volcanique /

Rayonnement infrarouge

Volcan Sif Mons



Volcan Gula Mons

Coulée de lave

Représentation en trois dimensions

Cette image envoyée par la sonde Magellan montre des flots de lave

volcanique (les traces lumineuses) sillonnant tout le paysage, ce qui remet en question l'image habituelle de Vénus. Les couleurs

de cette simulation sont basées sur celles enregistrées par les sondes soviétiques Venera. La surface de la planète se

compose d'immenses plaines et de hauts plateaux couverts de cratères d'impact et de volcans en activité.



La planète Mars apparaît rouge dans le ciel nocturne. Les Babyloniens, les Grecs et les Romains la dénommèrent tous du nom de leur dieu de la Guerre. Mars est en fait une petite planète. Elle fait seulement la moitié de la Terre, mais elle possède de nombreuses similitudes avec elle. Tout comme notre globe, elle a des journées de 24 heures, deux calottes polaires et une atmosphère. Il n'est guère surprenant qu'on ait, depuis toujours, cru pouvoir y déceler la présence d'une vie extraterrestre. Mais en dépit de ses ressemblances avec la Terre, on sait aujourd'hui que la probabilité de trouver de la vie sur Mars est très faible : l'atmosphère y est trop ténue pour que la planète soit vivable, et des rayons ultraviolets mortels atteignent sa surface. Mars est également plus éloignée du Soleil que la Terre, ce qui la rend beaucoup plus froide.



Dresser une carte

En 1659, le scientifique hollandais Christiaan Huygens (1629-1695, p. 53) dessina la première carte de Mars, faisant apparaître à sa surface une marque en forme de Y qu'il observait au même endroit toutes les 24 heures. Il s'agissait de la vallée Syrtis Major. Il en conclut, avec raison, que cette apparition régulière indiquait la longueur de la journée martienne. C'est Eugene Antoniadi (p. 44) qui fit la première carte précise de Mars.

Région d'Arabia



Giovanni Schiaparelli

L'astronome américain Percival Lowell (1855-1916) exécuta des dessins des canaux martiens décrits par Schiaparelli (ci-contre). Ces canaux, simple illusion d'optique, furent à l'origine du mythe selon lequel Mars était occupée par une race très sophistiquée.

Des canaux martiens

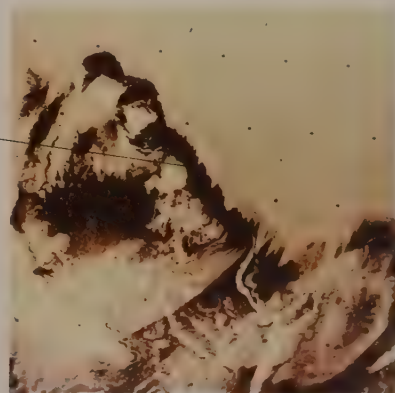
L'astronome italien Giovanni Schiaparelli (1835-1910) fit une étude systématique de la surface de Mars. En 1877, il remarqua une série de lignes foncées qui semblaient former une sorte de réseau. Schiaparelli les appela *canali*, ensuite traduits par « chenaux » ou « canaux ». On s'aperçut ensuite que ces canaux naissaient d'un effet d'optique dû à la forme de la lentille de son télescope.

Calotte polaire

Autour de la planète Mars

La sonde Viking 2 a relevé une quantité notable de vapeur d'eau et de blocs de glace (à droite), et les photographies prises par la première sonde en orbite Mariner 9 ont montré une série de vallées sinueuses dans la région de Chryse, que l'on suppose être des lits de rivière asséchés. Mars a aussi des volcans. L'un d'eux, le mont Olympus, est le plus grand du système solaire. Il existe également des déserts, des canyons et des calottes polaires.

Falaise de glace



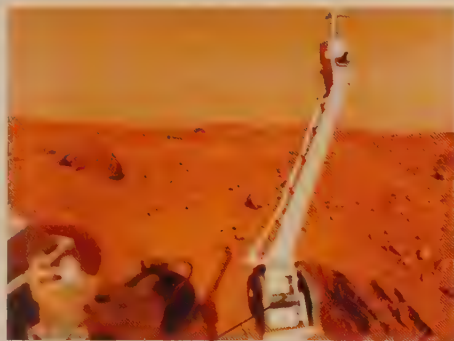
L'atmosphère de Mars, très ténue, est surtout composée de dioxyde de carbone. La gravité de Mars étant faible, les gaz plus légers se sont échappés dans l'espace (p. 36).

Cette image montre les falaises de la calotte glaciaire septentrionale de Mars. Celles-ci sont hautes de 3,5 km.

Des glaces polaires

Mars est recouverte de marques blanches au niveau de ses deux pôles, celles-ci semblant se rétrécir ou s'étendre comme nos calottes polaires terrestres. Celles de Mars sont composées pour une grande part d'eau gelée et d'un peu de dioxyde de carbone gelé.

Image composée par ordinateur à partir des clichés des sondes orbitales Viking (1980)



La surface de Mars

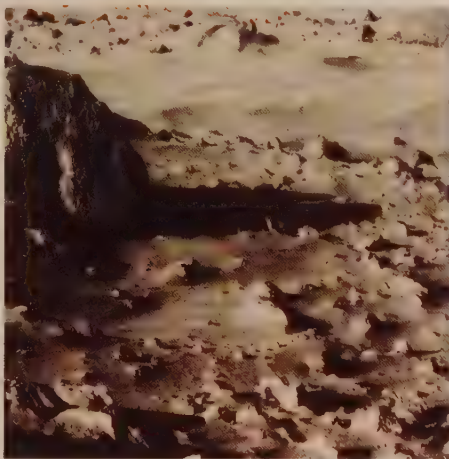
Le sol martien est jonché de pierres. Tout est recouvert d'une épaisse couche d'oxyde de fer de couleur rouille. On voit ici la sonde américaine en train de prélever un échantillon.

De la vie sur Mars ?

Viking 1 et 2 ont effectué des expériences sur des échantillons du sol. Aucun signe de vie n'a été trouvé.

Un paysage désertique

Mars ressemble à un immense désert. Les vents soulèvent des tempêtes de poussière ferrugineuse laquelle, en suspension dans l'atmosphère, donne au ciel une teinte rougeâtre. On peut coloriser au laboratoire les images prises par la sonde spatiale en prenant comme référence une « échelle des couleurs » photographiée en même temps que le paysage (p. 47). On recrée de cette manière les teintes naturelles.



« Valles Marineris »

Les Valles Marineris sont un réseau de canyons qui s'étend sur presque un tiers de la région équatoriale de Mars. La présence de débris de roche sur toute sa longueur constitue des preuves de l'existence d'éboulements et d'une

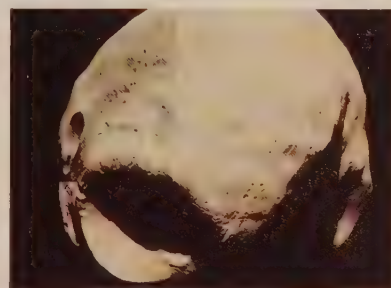
érosion de type fluvial. Par contre, certains canyons sont parfois si isolés et si enclavés qu'il est probable que jamais de l'eau n'y a coulé. Mars n'étant pas soumise à des mouvements tectoniques au sens terrestre du terme, sa topographie n'évolue pas.



Assemblage d'une sonde Viking

Les lunes martiennes

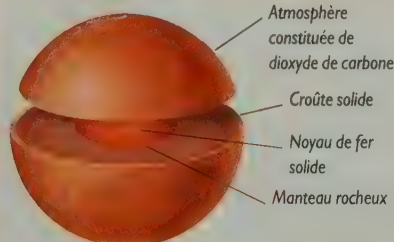
Ce sont Phobos (à droite) et Deimos, dont les diamètres sont respectivement de 27 et 15 km. À cause des forces de marée (p. 40), le mouvement de Phobos est freiné et le rayon de son orbite diminue inexorablement. Phobos devrait s'écraser sur Mars dans une cinquantaine de millions d'années.



Asaph Hall

Les deux lunes martiennes, découvertes en 1877 par l'astronome américain Asaph Hall (1829-1907), seraient des astéroïdes isolés, happés par la gravité de Mars.

Caractéristiques de Mars



- Période de révolution sidérale : 687 jours terrestres
- Température superficielle : -120°C à $+25^{\circ}\text{C}$
- Période de rotation : 24 h 37 mn
- Distance moyenne au Soleil : 230 millions de km
- Volume (Terre = 1) : 0,15
- Masse (Terre = 1) : 0,11
- Densité (eau = 1) : 3,9
- Diamètre équatorial : 6 790 km
- Nombre de satellites : 2



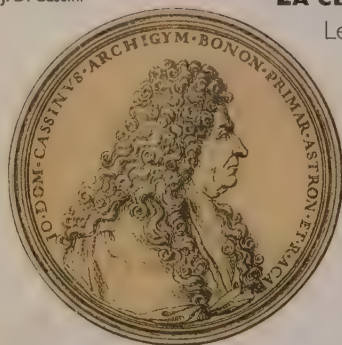
Cette planète géante est la plus grosse du système solaire ; quatre de ses lunes ont une taille comparable à celles des planètes internes. Jupiter est essentiellement constituée de gaz (principalement de l'hydrogène et de l'hélium). Sous la couche supérieure de nuages, la pression est si forte que l'hydrogène est comprimé sous forme liquide voire sous forme métallique aux niveaux les plus profonds. Jupiter émet plus d'énergie (sous forme de rayonnement infrarouge) qu'elle n'en reçoit du Soleil. Elle se contracte de quelques millimètres par an. La planète aurait été ne serait-ce qu'une quarantaine de fois plus massive, le gaz qui la compose aurait été suffisamment chaud et dense pour que des réactions de fusion nucléaire débutent en son cœur (p. 38), faisant d'elle une étoile.



J. D. Cassini

LA CEINTURE DE RADIATIONS

Les sondes spatiales, qui mettent plusieurs années à atteindre Jupiter, doivent être protégées contre les violentes radiations qui pourraient endommager les fragiles équipements qu'elles transportent. N'importe quelle sonde envoyée dans son atmosphère turbulente court le risque d'être déformée comme une vulgaire boîte de conserve.

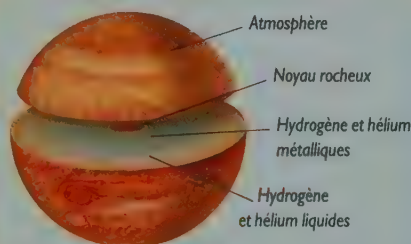


Une grande tache rouge

En 1878, l'astronome américain Edward Barnard (1857-1923) décrit une grande tache rouge qu'il voyait à la surface de Jupiter, confirmant les observations réalisées au XVII^e siècle par Cassini et Hooke.

En 1660, Cassini (p. 28) et l'Anglais Robert Hooke (1635-1703) observèrent une tache dans la région équatoriale de Jupiter.

Caractéristiques de Jupiter

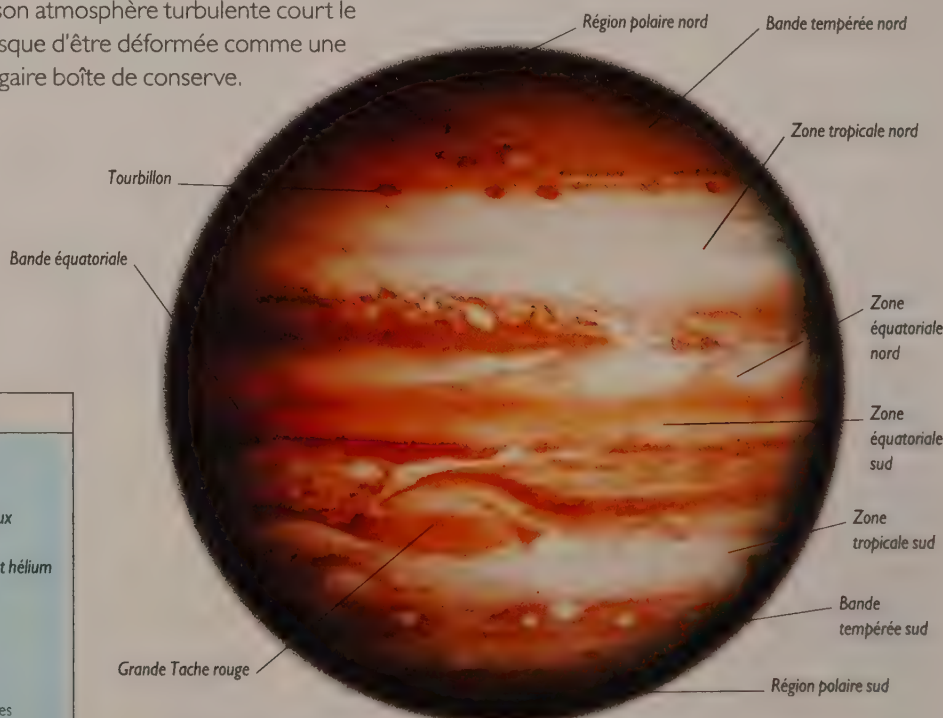


- Période de révolution sidérale : 11,86 années terrestres
- Température de la couche externe : -150 °C
- Période de rotation sidérale : 9 h 55 mn
- Distance moyenne au Soleil : 778 millions de km
- Volume (Terre = 1) : 1 319
- Masse (Terre = 1) : 318
- Densité (eau = 1) : 1,3
- Diamètre équatorial : 142 800 km
- Nombre de satellites : 16

Les anneaux de Jupiter

Les missions américaines Pioneer furent envoyées au voisinage de Jupiter au début des années 70 ; c'est Pioneer 10 qui renvoya les premières images. En 1977, les États-Unis envoyèrent les deux sondes Voyager explorer la haute atmosphère de Jupiter, ainsi que

cinq de ses lunes. Voyager 1 permit de découvrir un anneau peu brillant, du même type que ceux de Saturne (p. 53), entourant la planète. On voit une partie de ce fin anneau jaune (6 000 km de large pour 30 km d'épaisseur environ) dans le haut de la photographie.



Les nuages de Jupiter

L'atmosphère nuageuse semble être divisée en régions de couleurs différentes ; les plus lumineuses sont appelées zones, et les plus sombres, bandes. La zone tropicale nord est la plus brillante,

sa couleur blanche indique une présence importante d'ammoniac. La bande équatoriale qui encadre l'équateur de Jupiter semble en agitation permanente, avec une atmosphère constamment fouettée par des vents violents.

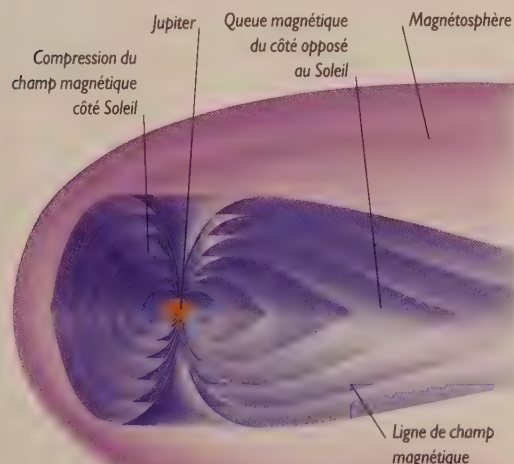
On a aussi identifié un certain nombre d'ovales blancs et rouges. Ce sont d'immenses formations nuageuses. Les bandes orange et brunes révèlent la présence de molécules organiques telles que l'éthane.



La Grande Tache rouge

Beaucoup de taches sont visibles sur Jupiter, la plupart éphémères. On suppose même que la Grande Tache rouge, une zone de turbulences et de hautes pressions, varie avec le temps : observée pour la première fois en 1660, elle n'a été « redécouverte » qu'en 1878. Cette

tache, qui reste en permanence à la même latitude, mesure 40 000 km. Sa couleur est probablement due à la présence de phosphore, qui se trouve habituellement à proximité du noyau de la planète mais qui est constamment transporté vers la surface par les phénomènes de turbulence.



La rotation de Jupiter

Jupiter tourne si vite que son jour ne dure que 9 heures et 55 minutes. La rotation rapide de l'hydrogène métallique du noyau génère un fort

champ magnétique. Cette magnétosphère déformée par le vent solaire s'étend dans la direction opposée au Soleil.

LES LUNES DE JUPITER

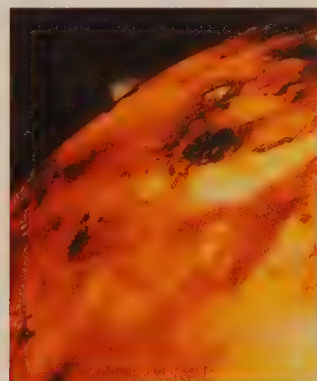
En 1610, Galilée (p. 20) faisait la première étude systématique des quatre plus grosses lunes de Jupiter. Comme il voyait leurs positions relatives autour de la planète changer chaque nuit, il conclut avec perspicacité que ces objets étaient en orbite autour de Jupiter. Cette découverte apportait de puissants arguments contre la théorie géocentrique (p. 10). On découvrit en 1892 une nouvelle petite lune sur une orbite proche de la haute atmosphère de la planète. Depuis lors, on a découvert autour de Jupiter 11 autres petits satellites.



Callisto

La deuxième lune de Jupiter par la taille est aussi la plus couverte de cratères formés par les impacts*

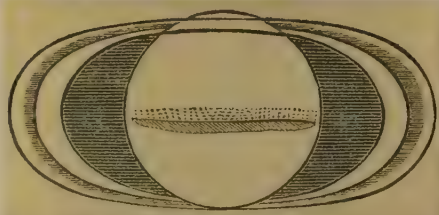
d'objets venus de l'espace. Ils ressembleraient à ceux de notre Lune s'ils n'étaient faits de glace (régions brillantes ci-dessus).



Cette photographie a été prise par Voyager 1 à une distance de 500 000 km et a été colorisée avec des filtres particuliers.

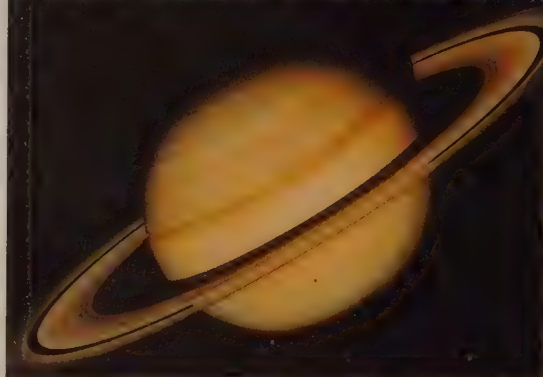
Éruptions sur Io

Des quatre satellites galiléens, appelés ainsi en mémoire de Galilée qui les a découverts, Io est la plus proche de Jupiter. Les trois autres sont Callisto, Europe, et Ganymède. On voit ici, au niveau de l'horizon, le panache du volcan Laki Patera, qui projette des particules de soufre sur près de 300 km.



La géante Saturne, avec ses anneaux aplatis, est probablement la figure astronomique la plus reconnaissable de tout le système solaire. Pour les Anciens, elle était la plus lointaine planète connue et ils la baptisèrent du nom du père de tous les dieux. Les premiers astronomes constatèrent qu'elle avait une période orbitale de 29 ans et présumèrent qu'elle se déplaçait difficilement.

Majoritairement composées d'hydrogène, son atmosphère et sa structure sont semblables à celles de Jupiter, mais sa densité est bien plus basse. Saturne est si légère qu'elle pourrait flotter sur l'eau (p. 45). Tout comme celle de Jupiter, sa rotation est rapide, ce qui explique que son équateur est bombé. Saturne a aussi un champ magnétique non négligeable. Dans sa haute atmosphère, les vents se déplacent jusqu'à 1 800 km/h (quatre à cinq fois plus vite que sur Jupiter), mais on n'y a découvert qu'une seule zone de turbulences, la tache d'Anne (du nom d'Anne Bunker, qui travaillait dans l'équipe scientifique de sondes Voyager).

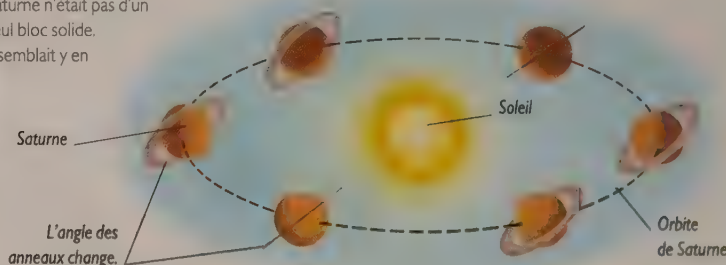


Un dessin du XVII^e siècle

En 1675, le directeur bolonais de l'observatoire de Paris, Jean Dominique Cassini (p. 28), découvrit que l'anneau de Saturne n'était pas d'un seul bloc solide. Il semblait y en

avoir deux séparés par une trouée de couleur sombre. Son dessin, réalisé en 1676 (en haut,

à gauche), montre cette trouée, baptisée en son honneur la Division de Cassini.



Saturne et ses anneaux

Vus de la Terre, les anneaux semblent d'une seule pièce, mais les sondes Voyager ont montré qu'ils sont composés de blocs de glace « sale » de différentes tailles dont

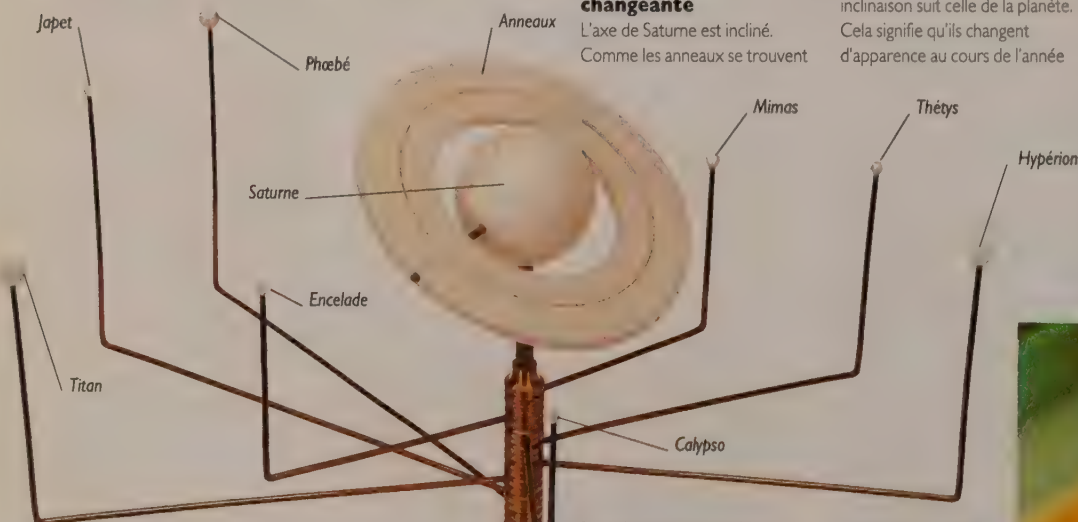
la haute réflectivité contribue à expliquer la luminosité de Saturne dans le ciel nocturne. L'épaisseur des anneaux n'atteint même pas 1 km, mais leur largeur totale dépasse 272 000 km !

Une apparence changeante

L'axe de Saturne est incliné. Comme les anneaux se trouvent

dans le plan de l'équateur, leur inclinaison suit celle de la planète. Cela signifie qu'ils changent d'apparence au cours de l'année

saturnienne selon l'angle sous lequel on les voit. Cet angle dépend des positions respectives de la Terre et de Saturne sur leurs orbites. Dans certains cas, Saturne et ses anneaux font figure d'une triple planète ; c'est ce que Galilée observa en 1610. Quarante-quatre ans plus tard, en 1654, Huygens (p. 48) proposa l'existence d'un anneau solide de matière situé dans le plan équatorial de la planète



Une maquette

On utilise des planétaires pour montrer les planètes et les mouvements de leurs satellites. Ici, Saturne est représentée avec les huit lunes qu'on lui connaissait au

XIX^e siècle. Mais la maquette est nécessairement erronée car il serait impossible de représenter la taille d'une planète relativement à celle des orbites de ses satellites

Le climat saturnien

Les caractéristiques météorologiques de l'hémisphère Nord de Saturne ont été photographiées à une distance de 7 millions de km par Voyager 2 en 1981

Tourbillons et taches blanches du climat saturnien sont de nature analogue à celle de la Grande Tache Rouge de Jupiter (p. 50-51).





Voir les anneaux

Quand Galilée découvrit les anneaux de Saturne, en 1610, il interpréta mal ce qu'il voyait. Il pensa qu'il s'agissait d'une planète triple. Il fallut attendre 1655 pour que les anneaux soient identifiés et décrits

par le physicien et astronome hollandais Christiaan Huygens (à gauche et p. 48).

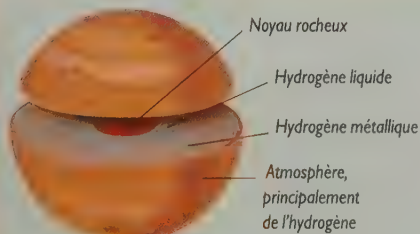


Encelade

Toutes les lunes de Saturne, à part la plus grande, Titan, sont constituées de glace. Encelade a un diamètre de 500 km et montre des traces de changements récents. Certaines régions du satellite ont de nombreux cratères, tandis que d'autres sont

parfaitement lisses. On interprète les structures de la surface comme étant des déformations entraînées par l'activité magmatique d'un manteau sous-jacent. Sur cette photo, prise à une distance de 119 000 km, des détails grands de 3 km sont identifiables.

Caractéristiques de Saturne



- Période de révolution sidérale : 29,5 années terrestres
- Température de la couche externe : -180 °C
- Période de rotation : 10 h 40 mn
- Distance moyenne au Soleil : 1,43 milliard de km
- Volume (Terre = 1) : 755
- Masse (Terre = 1) : 95,2
- Densité (eau = 1) : 0,69
- Diamètre équatorial : 120 540 km
- Nombre de satellites : 21

Division
de Cassini

Anneau B

Détail

En 1612, Galilée étudia Saturne pour la deuxième fois ; les deux planètes supplémentaires qu'il pensait avoir vues naguère avaient disparu. En 1616, elles revinrent, mais plus minces. En fait, l'astronome avait vu les anneaux sous différents angles. Trois types d'anneaux sont observables à partir de la Terre. L'anneau A contient quelques-unes des orbites des lunes intérieures. Celui du milieu, B, est traversé par une série de lignes qui ressemble aux rayons d'une roue. Les scientifiques pensent qu'il s'agit de particules de poussières suspendues au-dessus des anneaux par le champ magnétique de la planète. En 1979, *Pioneer 11* découvrit dans la partie la plus externe un anneau brillant supplémentaire, dit F, qui semble onduler autour de son orbite du fait des perturbations engendrées par l'attraction gravitationnelle des lunes environnantes.

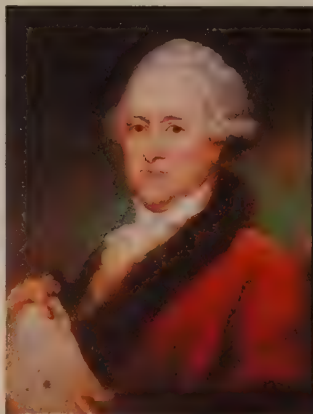


Titan

Ombre projetée
par les anneaux

Anneau A

Hydrogène
liquide



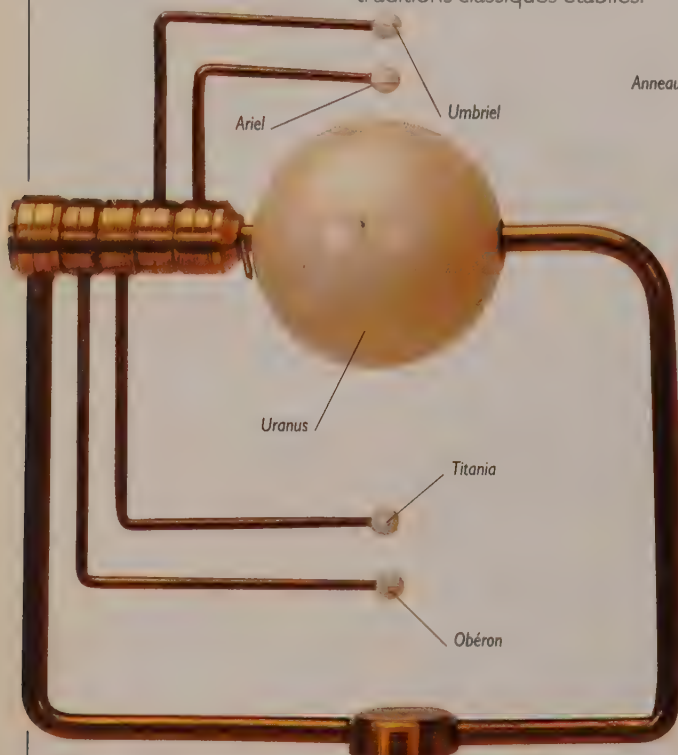
Uranus fut la première planète découverte après l'invention du télescope. Les astronomes pensaient, en vertu de la loi de Bode (une formule mathématique qui prédisait grossièrement où les planètes devaient se trouver), qu'il existait sans doute une autre planète au-delà de Saturne. Uranus fut découverte par William Herschel, à Bath, en Angleterre, alors qu'il entreprenait de remesurer toutes les étoiles principales avec son télescope de 2,10 m (p. 24). En 1781, il remarqua un objet brillant inhabituel dans la constellation des Gémeaux. Il crut tout d'abord qu'il s'agissait d'une nébuleuse (p. 60-61), puis que c'était une comète (p. 58-59) qui se déplaçait d'une façon particulière, avant de comprendre qu'il s'agissait bien d'une septième planète.

William Herschel (1738-1822)

Au départ musicien professionnel, il découvrit l'astronomie grâce à un traité d'optique qui décrivait la construction des télescopes. Trop pauvre pour en acheter un, il décida de se construire lui-même son instrument.

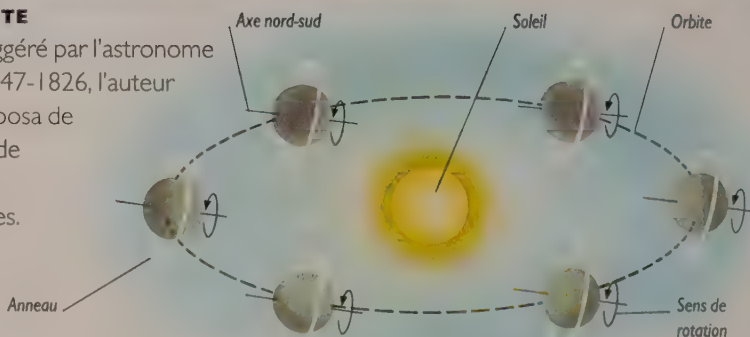
UNE NOUVELLE PLANÈTE

Le nom d'Uranus a été suggéré par l'astronome allemand Johann Bode (1747-1826, l'auteur de la loi de Bode), qui proposa de l'appeler du nom du père de Saturne, dans la lignée des traditions classiques établies.



Maquette des satellites d'Uranus

A cause de son axe étrangement incliné, tous les satellites d'Uranus évoluent dans un plan pratiquement perpendiculaire au plan de l'orbite de la planète. Cette maquette du système montre Uranus et quatre de ses lunes, inclinées de 98°. À l'époque, on ne connaissait que quatre des quinze lunes d'Uranus.



L'axe de rotation d'Uranus se trouve presque dans le plan de son orbite.

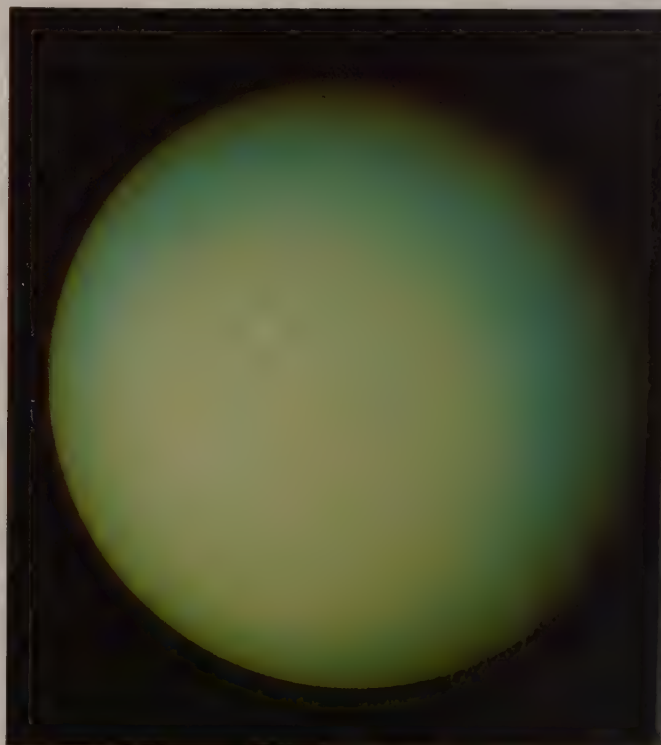
98° d'inclinaison

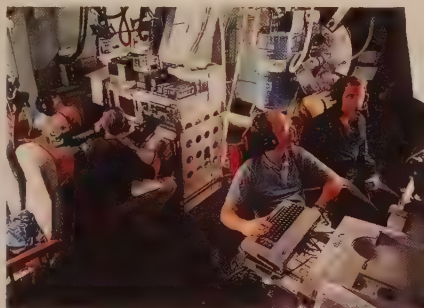
L'inclinaison peu commune d'Uranus serait le résultat d'une collision catastrophique survenue lors de la formation du système

solaire. Au cours de son année orbitale de 84 ans, chaque pôle reste exposé au Soleil pendant 42 ans puis reste dans l'ombre pour une durée équivalente

Uranus vue de l'espace

La couche nuageuse de la haute atmosphère d'Uranus est masquée par un voile de brume et ne montre pas de caractéristiques particulières. On voit ci-contre deux photographies de la planète, l'une en couleurs réelles (à gauche), l'autre en fausses couleurs. Elles furent prises à une distance de 9 millions de km.





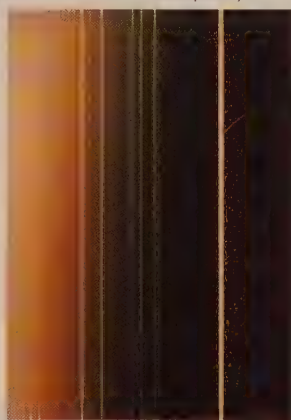
Occultation

C'est le passage d'un corps céleste devant un autre. Les scientifiques observèrent l'occultation d'une étoile par Uranus en 1977 à partir de l'observatoire Kuiper Airborne de la NASA, dans l'océan Indien.

On ne peut observer les anneaux d'Uranus que lorsqu'ils masquent une étoile.

La ceinture d'Uranus

En 1977, les astronomes remarquèrent que l'éclat d'une étoile occultée par Uranus vacillait à plusieurs reprises en début et en fin d'occultation. Ils en conclurent que la planète devait avoir une série d'anneaux peu brillants qui faisaient trembloter la lumière de l'étoile lorsqu'ils passaient juste devant elle. Le survol de *Voyager 2*, en 1986, permit de découvrir deux anneaux supplémentaires. Les anneaux d'Uranus sont fins et sombres. Les larges bandes de poussières que l'on trouve entre eux laissent présumer qu'ils subissent une lente érosion.



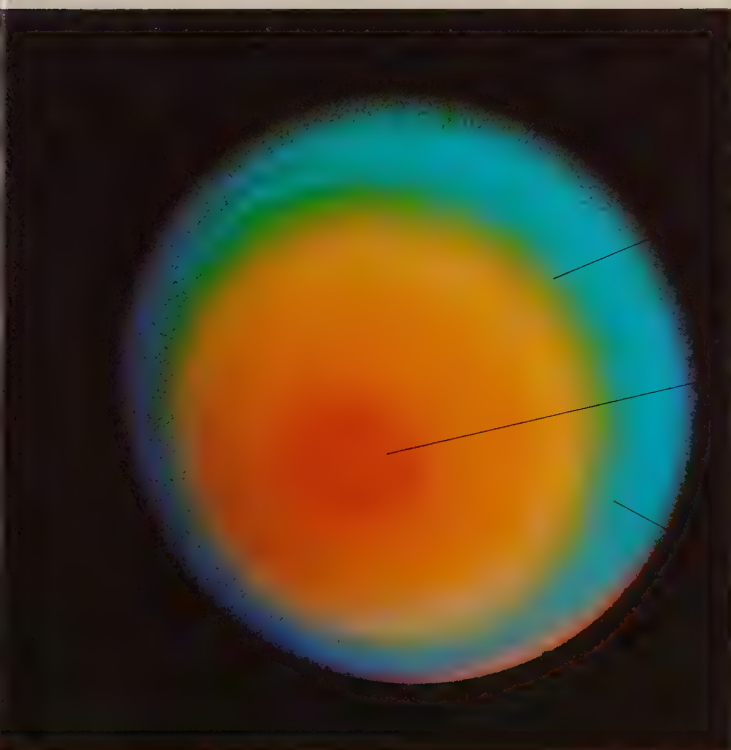
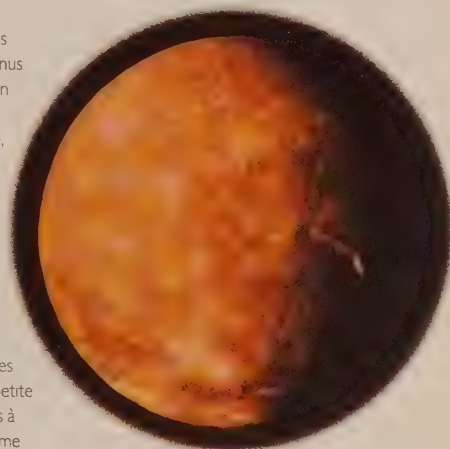
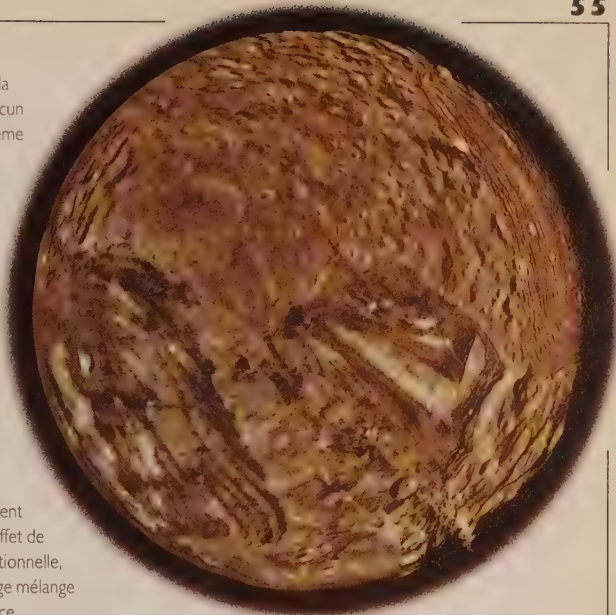
L'astronome américain Gerard Peter Kuiper (1905-1973) découvrit Miranda en 1948. Cette lune, la plus proche de la planète, ne mesure que 300 km de diamètre. Tous les satellites d'Uranus portent des noms empruntés à la littérature anglaise. (Miranda et Ariel sont des personnages de *La Tempête*, de Shakespeare.)

Miranda

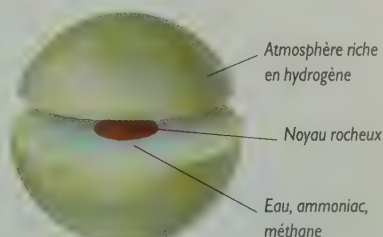
Le satellite Miranda ne ressemble à aucun autre dans le système solaire. Il semble constitué d'un enchevêtrement de grands blocs qui résulteraient, d'après les scientifiques, de collisions gigantesques au cours desquelles Miranda aurait été littéralement pulvérisée. Les morceaux se seraient regroupés sous l'effet de l'attraction gravitationnelle, formant cet étrange mélange de roche et de glace.

Le satellite Titania

William Herschel découvrit les deux plus grosses lunes d'Uranus en 1789 ; il les nomma Obéron et Titania, le roi et la reine du féerique *Songe d'une nuit d'été*, de Shakespeare. L'astronome anglais William Lassell (1799-1880) découvrit Ariel et Umbriel en 1851. Au ^{xx}e siècle furent découverts Miranda puis, grâce au survol d'Uranus par *Voyager 2*, en 1986, dix autres satellites. Ces derniers, tous de petite taille, sont confinés à l'intérieur du système des anneaux.



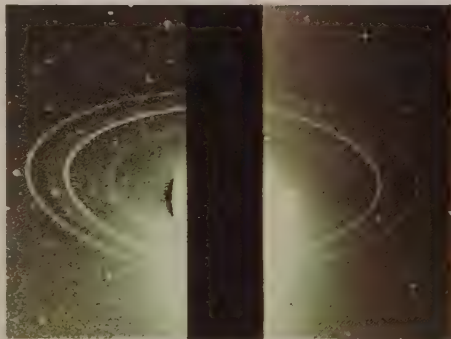
Caractéristiques d'Uranus



- Période sidérale : 84 années terrestres
- Température de la couche externe : -210 °C
- Période de rotation : 17 h
- Distance moyenne au Soleil : 2,87 milliards de km
- Volume (Terre = 1) : 67
- Masse (Terre = 1) : 14,5
- Densité (eau = 1) : 1,2
- Diamètre équatorial : 52 290 km
- Nombre de satellites : 15



La découverte de Neptune et de Pluton est, au départ, le résultat de calculs de mécanique céleste. La position de Neptune fut rapidement confirmée par l'observation, mais la recherche de Pluton fut plus hasardeuse, les hypothèses des calculs étant en réalité fausses. Au début du XIX^e siècle, les astronomes réalisèrent qu'Uranus avait une orbite légèrement irrégulière, comme si « quelque chose » la tirait hors de sa trajectoire. Ce phénomène est connu sous le nom de perturbation : l'attraction gravitationnelle d'un corps entraîne l'autre à quitter sa trajectoire attendue. En 1845, un jeune Anglais, John Couch Adams (1819-1892), annonça qu'il avait calculé la position probable d'une autre planète au-delà d'Uranus, qui se trouvait alors dans la constellation du Verseau. Sa découverte fut ignorée. En juin 1846, le Français Urbain Le Verrier publia ses découvertes au sujet d'une nouvelle planète située au-delà d'Uranus. Il fut demandé aux astronomes du monde entier de travailler sur ce sujet. Le 25 septembre 1846, Johann Galle (1812-1910), de l'observatoire de Berlin, écrivit à Le Verrier pour confirmer la position de Neptune.



Les anneaux de Neptune

Neptune possède une série d'anneaux qui l'encerclent. En juillet 1984, lors du passage de la planète devant une étoile, l'astronome français André Brancin mettait pour la première fois en évidence le

vacillement caractéristique (p. 54) de l'étoile, indiquant la présence d'anneaux autour de Neptune. Il semblait qu'il y en avait deux principaux ainsi que deux autres, internes et moins brillants. Leur existence fut confirmée en 1989 par Voyager 2

Caractéristiques de Neptune

- Période de révolution sidérale : 164,79 années terrestres
- Température de la couche externe : -210 °C
- Période de rotation sidérale : 16 h 07 mn
- Distance moyenne au Soleil : 4,5 milliards de km
- Volume (Terre = 1) : 57
- Masse (Terre = 1) : 17,2
- Densité (eau = 1) : 1,7
- Diamètre équatorial : 49 500 km
- Nombre de satellites : 8

Urbain Le Verrier (1811-1877)

D'abord professeur de chimie et d'astronomie à l'École polytechnique, Le Verrier deviendra directeur de

l'observatoire de Paris. Ayant obtenu par le calcul la position de Neptune, il s'en remit à d'autres astronomes, dont Johann Galle, pour confirmer ses résultats par l'observation.



Grande Tache sombre

Petits nuages

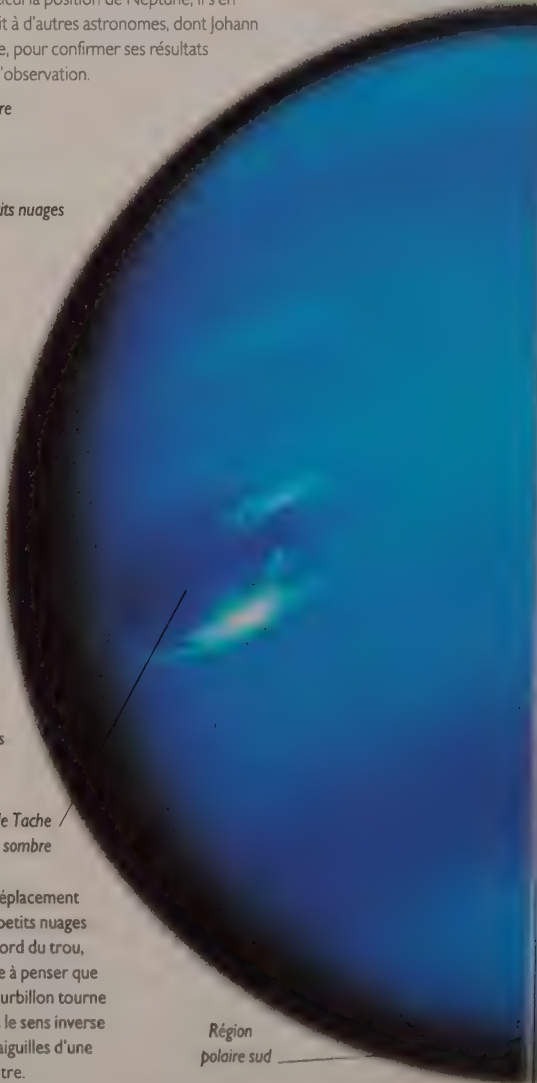
Petits nuages

Grande Tache sombre

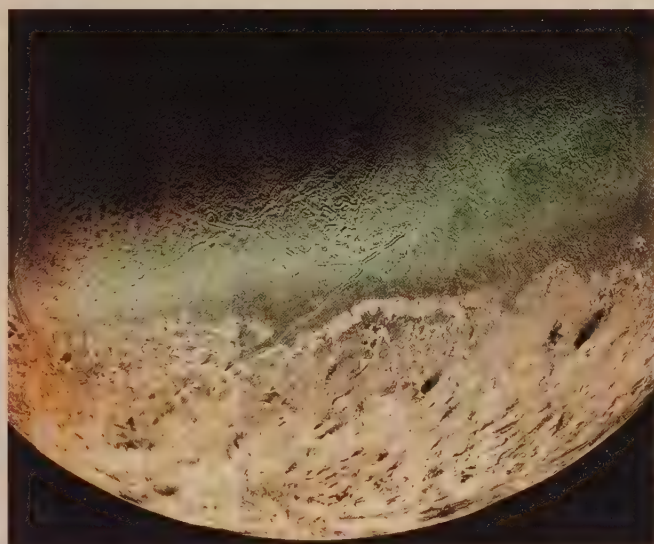
La Grande Tache sombre

Comme Jupiter, Neptune possède un vaste tourbillon, appelé la Grande Tache sombre et localisé dans son hémisphère Sud. Cette turbulence est en fait un trou dans la couche nuageuse supérieure, à peu près de la taille de la Terre, et environné de vents violents.

Le déplacement des petits nuages du bord du trou, laisse à penser que le tourbillon tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.



Région polaire sud



Atmosphère
bleu azur

La découverte de Triton

La lune Triton (ci-dessus)
a été découverte en 1846.
Son orbite autour de
Neptune est
rétrograde,
c'est-à-dire
qu'elle se

déplace dans le sens
opposé à la rotation de la
planète. C'est l'objet le plus
froid du système solaire,
avec une température
de -235°C . Triton est
un monde fascinant.
Il a une surface rosée,
probablement constituée
de méthane glacé, qui a à
plusieurs reprises fondu et
gelé. Il possède des volcans
en activité qui vomissent
de l'azote gazeux et de
la glace de méthane et
es projettent haut dans
sa fine atmosphère.

Océan d'eau
et de gaz

Petite tache sombre

Gros plan sur Neptune

Cette photographie
a été prise par *Voyager 2*
en 1989, à l'issue de son
voyage de 12 années à
travers le système solaire.
La sonde était alors à
6 millions de km de
la planète. En allant
photographier la plus
grande lune, Triton,
elle découvrit six autres
satellites en orbite autour
de Neptune. La planète a
une belle atmosphère bleu
azur composée

Certains
voulaien
baptiser la nouvelle
planète Le Verrier en
l'honneur de celui qui
l'avait découverte.

LA DÉCOUVERTE DE PLUTON

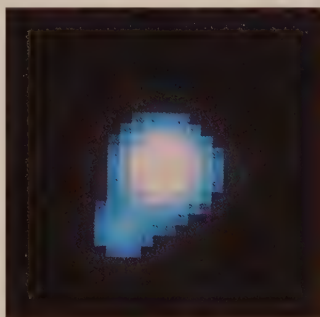
En 1930, l'astronome américain Clyde Tombaugh (né en 1906)
découvrit la planète qui se trouve au-delà de Neptune. Elle se
déplaçait très lentement par rapport à l'arrière-plan étoilé, ce
qui indiquait son extrême éloignement. Il est désormais connu
que Pluton est bien trop minuscule pour avoir un quelconque
effet sur l'orbite de Neptune. Les calculs qui amenèrent les
astronomes à rechercher son existence étaient erronés et la
planète fut découverte grâce à la perspicacité de Tombaugh.



Percival Lowell est
né à Boston et a fait
ses études à
Harvard. Son
intérêt pour
l'astronomie
a été accru par
la découverte de
lignes sombres sur
Mars. Il fut jusqu'à
sa mort fermement
convaincu qu'il y
avait de la vie sur
Mars (p. 48).

Percival Lowell (1855-1916)

Il se lança dans la
compétition pour la
découverte d'une planète
censée perturber l'orbite
de Neptune. Comme il
cherchait un astre qu'il
croyait sept fois plus lourd
que la Terre, il passa à côté
de la découverte de Pluton,
bien que la planète fût
appareue plusieurs fois sur
ses clichés du ciel.



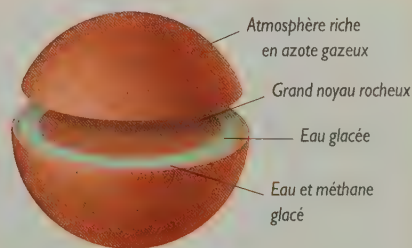
Pluton et Charon

Pluton n'est séparé de son
satellite Charon que par
19 700 km. Ce dernier fut
découvert en 1978 lors

d'une étude de clichés
où la planète semblait
étrangement étendue.
L'image nette, à droite, a
été prise par le télescope

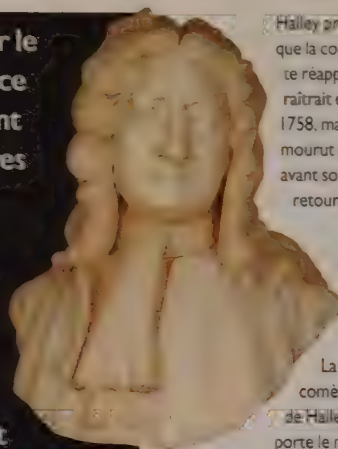
spatial *Hubble*, qui permet
d'obtenir des images de
meilleure définition que
celles prises à partir de
la Terre (à gauche).

Caractéristiques de Pluton



- Période de révolution sidérale : 248,54 années terrestres
- Température de la couche externe : -220°C
- Période de rotation sidérale : 6 jours 9 h
- Distance moyenne au Soleil : 5,9 milliards de km
- Volume (Terre = 1) : 0,0006
- Masse (Terre = 1) : 0,002
- Densité (eau = 1) : 2,03
- Diamètre équatorial : 2 280 km
- Nombre de satellites :

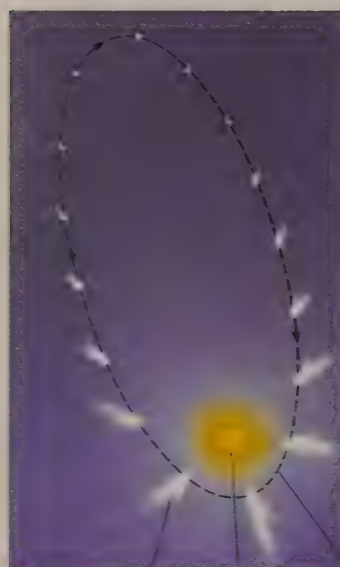
L'ensemble de la matière du système solaire a servi à former le Soleil et les planètes, mais aussi des blocs de roche et de glace qui voyagent à travers l'espace en suivant des orbites souvent fortement elliptiques. Les comètes sont des corps planétaires constitués essentiellement de glace et de poussières. Les astéroïdes sont des morceaux de roche qui n'ont jamais réussi à s'agréger pour former des planètes. La plupart se trouvent dans la ceinture d'astéroïdes, située entre Mars et Jupiter. C'est probablement la forte attraction gravitationnelle de Jupiter qui a projeté ces débris sur différentes orbites concentriques, où les plus grands se sont brisés en se heurtant les uns contre les autres.



Halley prédit que la comète réapparaîtrait en 1758, mais mourut avant son retour.
La comète de Halley porte le nom du célèbre astronome.

Prédire les passages de comètes

Edmond Halley (1656-1742) remarqua en 1705 que trois descriptions similaires d'une comète avaient été notées à l'échelle internationale. L'astronome britannique appliqua les théories de la gravitation et du mouvement des planètes récemment développées par Newton pour en déduire que ces trois comètes n'étaient peut-être qu'un seul et même objet qui voyageait à travers le système solaire sur une orbite très allongée.



Queue de la comète
Soleil
Orbite de comète

LES MÉTÉORES

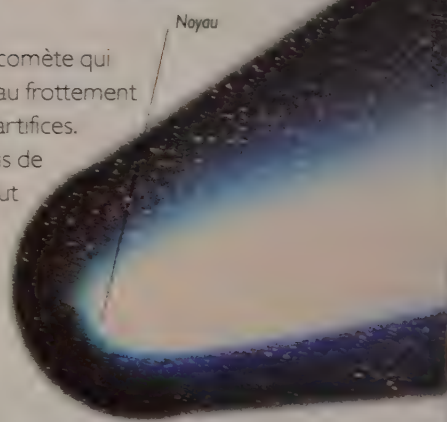
Un météore est un astéroïde ou un petit morceau de comète qui entre dans l'atmosphère terrestre. L'échauffement dû au frottement de l'air le fait se consumer en de spectaculaires feux d'artifices. Un météore qui atteint le sol est appelé météorite. Plus de 95 % de toutes celles récupérées sont rocheuses. Il fallut attendre 1803 pour que la communauté scientifique admit que les météorites venaient de l'espace.

Les comètes ont le plus souvent des orbites très allongées.

La queue de la comète

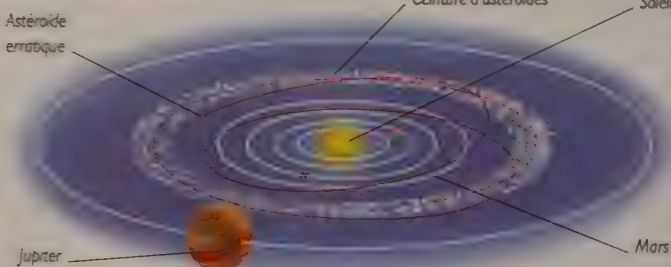
Les comètes sont visibles grâce à la lumière qu'elles réfléchissent. Quand elles se rapprochent du Soleil, leur surface commence à s'évaporer et une immense queue de gaz se forme derrière elles. Cette queue est toujours orientée dans la

direction opposée à celle du Soleil parce que la poussière et les particules de gaz sont poussées par le vent solaire et la pression de radiation.



Noyau

Astéroïde erratique



Ceinture d'astéroïdes

Soleil

Mars

Jupiter

Position de la ceinture d'astéroïdes

Depuis janvier 1801, l'existence de la ceinture d'astéroïdes a été confirmée par le moine

sicilien Giuseppe Piazzi, plus de 4 000 autres ont été découverts et nommés. La plupart d'entre eux voyagent à l'intérieur d'une ceinture située entre Mars et Jupiter.

mais la grande influence gravitationnelle de Jupiter conduit certains astéroïdes à s'échapper vers l'extérieur en suivant des orbites chaotiques.



Le groupe de Koronis

Cette photographie de l'astéroïde Koronis est

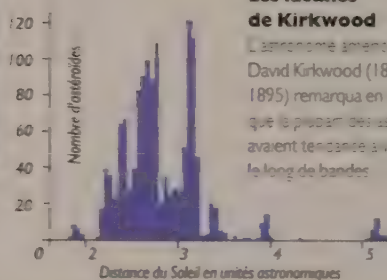
de la sonde spatiale Galileo en 1993, lors de son voyage vers Jupiter. Les cratères visibles sur sa surface sont

probablement le résultat de collisions avec des astéroïdes plus petits. Ida a une longueur de 52 km.

Les lacunes de Kirkwood

L'astronome américain David Kirkwood (1814-1895) remarqua en 1866 que la plupart des astéroïdes avaient tendance à voyager le long de bandes

concentriques séparées par des zones vides. Ces lacunes, qui portent le nom de lacunes de Kirkwood, sont dues aux perturbations gravitationnelles exercées par Jupiter. Certaines astéroïdes sont éjectés du système solaire interne par la gravitation de cette planète géante.



La comète de Halley vue de « Giotto »

En 1986, la sonde spatiale Giotto a été lancée à la rencontre de la comète de Halley. L'engin s'approcha à moins de 300 km et préleva des échantillons de la vapeur de sa queue et révéla que son noyau était un conglomérat de poussières et de glace.

Queue de plasma
Queue de poussières

LES MÉTÉORITES

On en distingue trois types : les météorites rocheuses ressemblent à des pierres : elles ont habituellement une croûte fondue qui résulte de l'intense échauffement provoqué par l'entrée dans l'atmosphère terrestre ; les météorites ferreuses contiennent des cristaux de nickel et de fer, et les météorites rocheuses et ferreuses sont constituées en partie de roche et en partie de fer.

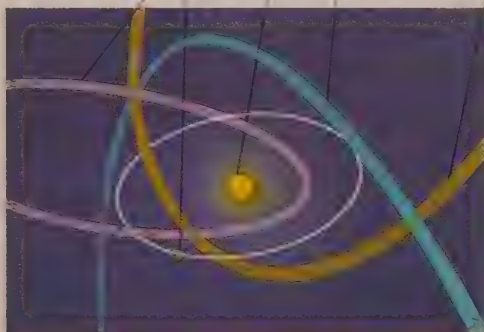
Les Géminides sont
vues à la mi-décembre.

Terre

Soleil

Les Perséides se
présentent mi-août.

Les
Quadrantides
sont vues
début
janvier.

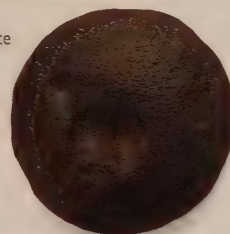


Les pluies de météorites

Quand l'orbite terrestre
traverse un essaim de météorites
on voit une pluie d'étoiles

filantes rayonner à partir d'une
région unique du ciel. Les noms
de ces avaines correspondent
aux constellations dans
lesquelles elles apparaissent.

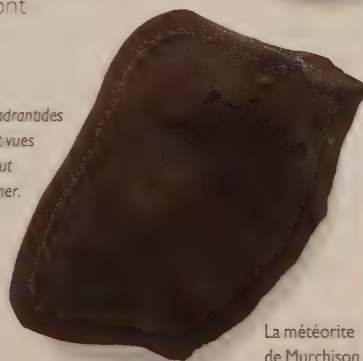
Micrométéorite



Ces
gouttes
forment
des grains
vitreux
de la
taille
d'une
bille.

Des gouttelettes en fusion

Lorsqu'une météorite éparpillée
tombe sur un sol gréseux le choc
fait fondre quelques uns des
métaux présents. Ceux-ci forment
des gouttelettes ou
cristallites et due à un appât
des micrométéorites.



Cette météorite
(à gauche) est
tombée en 1969 à
côté de Murchison
River, en Australie
occidentale.

En Australie de l'Ouest

La météorite de Murchison est
constituée de carbone et d'eau.
Ce carbone provient de réactions
chimiques et non d'organismes
vivants comme pour le charbon.

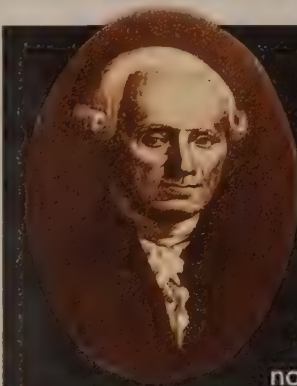
La météorite
de Murchison

Un cratère de glace

La Terre porte de nombreuses
cicatrices provenant d'impacts
de grosses météorites, mais les
effets de l'érosion ainsi que la
végétation masquent certains
de ces sites. Les cratères
de glace sont plus
prés de Québec, au Canada.

Ce cratère
terrestre est
aujourd'hui un
grand réservoir
de 66 km de
diamètre utilisé
pour produire
de l'énergie
hydroélectrique.

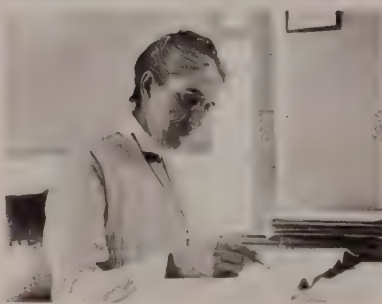
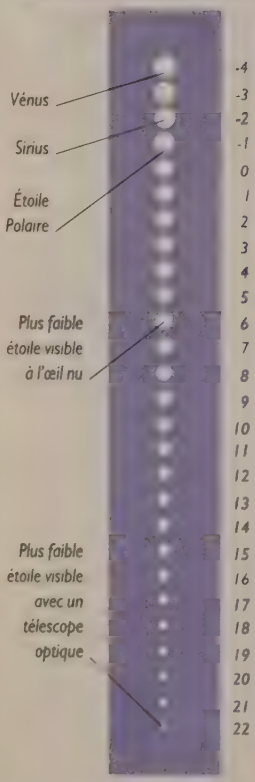
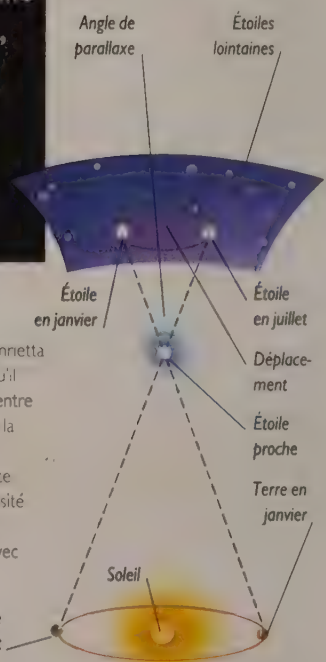




Une étoile est un véritable réacteur thermonucléaire : composée principalement d'hydrogène gazeux au début de sa vie, elle le transforme peu à peu en éléments plus lourds tels que l'hélium, le carbone et ainsi de suite jusqu'au fer. Ces réactions de fusion nucléaire ont lieu dans son cœur qui, en se comprimant sous l'effet de son propre poids et en s'échauffant, atteint successivement les différentes températures nécessaires à la fabrication de nouveaux éléments. Dans le même temps, son enveloppe enflé et se refroidit, et l'étoile devient bientôt une géante rouge. Si elle est peu massive, elle finira par perdre son enveloppe, laissant le cœur sous la forme d'une « naine blanche », un résidu de l'étoile. Si elle est très massive, la température du cœur peut devenir si importante que l'étoile finit par exploser et donne ce que l'on appelle une supernova. Après l'explosion, le cœur peut survivre sous la forme d'une « étoile à neutrons » (pulsar) ou d'un « trou noir » (p. 62).

Catalogue d'étoiles

En 1784, l'astronome français Charles Messier (1730-1817) élabore un catalogue des plus brillantes nébuleuses (nuages de gaz et de poussières) qui regroupent une centaine d'objets célestes. A chacun fut associé un numéro précédé de la lettre M. Par exemple la nébuleuse d'Orion étant le 42^e objet de la liste de Messier, les astronomes y font référence sous le nom de M42.



Les céphéides sont des étoiles variables : leur éclat varie périodiquement. Ce sont des géantes brillantes et des supergéantes du même type que l'étoile δ Cephei.

Henrietta Leavitt (1868-1921)

L'astronome américaine Henrietta Leavitt découvrit en 1912 qu'il existait une relation simple entre la brillance des céphéides et la période de variation de leur luminosité. En mesurant cette période, on établit la luminosité intrinsèque de l'étoile et sa distance par comparaison avec son éclat apparent.

Le parsec

Au cours du mouvement orbital de la Terre, les étoiles proches semblent se déplacer par rapport à l'arrière-plan des étoiles lointaines. Ce déplacement angulaire apparent, que l'on appelle la parallaxe, est mesuré en secondes d'arc et permet de calculer la distance d'une étoile à la Terre. Un parsec (pc) est la distance d'une étoile dont la parallaxe (par) est égale à une seconde d'arc (sec).

Magnitudes apparentes

Les étoiles sont classées en six « grandeurs » d'après la sensation lumineuse associée à leur éclat apparent. Les étoiles les plus brillantes ont des magnitudes apparentes comprises entre -4 et -1. Les étoiles les plus faibles ont des magnitudes apparentes comprises entre 6 et 22.

Hipparque avait classé les étoiles en six « grandeurs » d'après la sensation lumineuse associée à leur éclat apparent.



Une carte céleste

Autrefois, les astronomes ont dû résoudre le problème de représenter correctement l'espace sur une carte en deux dimensions. L'une des solutions trouvées a été le planisphère, sur lequel toute la voûte céleste est représentée à plat, avec l'étoile Polaire au centre.

Étudier les étoiles

L'astronome britannique William Huggins (1824-1910, à droite) fut l'un des premiers à faire le lien entre les décalages vers le rouge ou vers le bleu enregistrés dans les spectres stellaires (p. 30-31) et l'effet Doppler-Fizeau. En 1868,

il observa dans le spectre de Sirius un léger décalage vers le rouge. Il en déduisit que cela était dû au fait que cette étoile s'éloignait de la Terre. Il découvrit aussi que les nébuleuses sont des nuages de gaz lumineux.

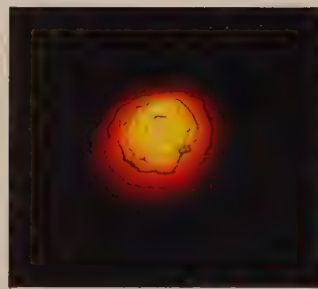


On a utilisé pour cette photo de Bételgeuse des filtres de couleur afin de mettre en évidence le gaz qui entoure l'étoile.

Bételgeuse

Bételgeuse est une étoile bien plus massive et bien plus brillante que le Soleil. Elle se trouve dans la constellation d'Orion, à 650 années-lumière de la Terre.

Silhouette d'Orion, le Chasseur



Les constellations

Une constellation est un ensemble d'étoiles qui

semblent former une figure particulière dans une région du ciel, mais les astres qui la

composent se trouvent généralement à des distances très différentes.

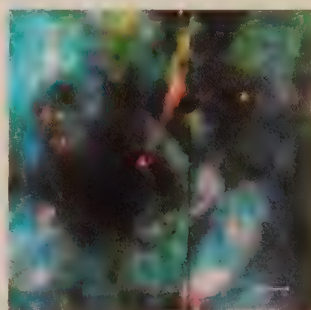


Novae et supernovae

On croyait à l'origine qu'une nova était une étoile nouvellement née. On sait maintenant que c'est une étoile double qui s'enflamme lorsque l'une

des deux parties arrache de la matière à l'autre. La supernova est un phénomène bien plus violent qui a lieu lorsqu'une étoile très massive s'effondre sur elle-même sous l'effet de sa propre

gravité puis explose. Une supernova est parfois aussi brillante qu'une galaxie entière. On voit sur ces images la galaxie du Grand Nuage de Magellan avant et après l'explosion de la supernova 1987A.



Berceau d'étoiles

Les étoiles se forment à partir d'un gigantesque nuage de gaz qui se condense et se fragmente en petits nuages protostellaires. Chaque protoétoile est entourée d'un halo de gaz et de poussières qui, s'il n'est pas chassé dans l'espace par le vent stellaire, s'aplatira en un disque à partir duquel se formera éventuellement un système planétaire.



M42, la nébuleuse d'Orion, est riche en jeunes étoiles.

La vie d'une étoile
C'est la masse du nuage protostellaire qui détermine

l'évolution de l'étoile : massive, elle évolue vite et sa vie est courte.



La plupart des galaxies se sont formées à partir du gaz primordial, 3 milliards d'années après la naissance de l'Univers. Chacune contient en moyenne une centaine de milliards d'étoiles et a un diamètre de l'ordre de 100 000 années-lumière. Les galaxies sont elles-mêmes regroupées en structures beaucoup plus vastes et forment des amas, des filaments ou de gigantesques murs. Edwin Hubble fut le premier à étudier systématiquement ces lointains ensembles d'étoiles. En 1923, il mesura la brillance d'un certain nombre d'astres de la galaxie d'Andromède, et il en déduisit qu'elle devait se trouver à 2,25 millions d'années-lumière de nous (p. 60). Après avoir étudié les différents décalages vers le rouge d'une quarantaine de galaxies (p. 23), il montra qu'elles s'éloignent de la nôtre à une vitesse proportionnelle à leur distance. Cette loi, à laquelle Hubble a donné son nom, prouve que l'Univers est en expansion.

Edwin Hubble (1889-1953)

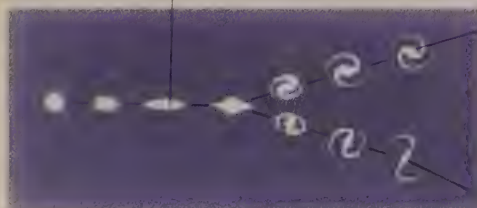
En 1923, cet astronome américain étudia la galaxie M31 de la constellation d'Andromède. Grâce à son puissant télescope du mont Wilson (254 cm de diamètre), il constata que cette « nébuleuse » était en fait composée d'étoiles, dont

certaines parmi les plus brillantes étaient des céphéides (p. 60-61). Hubble comprit bientôt que ces étoiles variables, qu'il savait être très lumineuses bien qu'elles paraissent si faibles, devaient se trouver extrêmement loin de la Terre. C'est alors que l'on prit vraiment conscience de l'immensité de l'Univers.

La Voie lactée

De la Terre, nous ne pouvons voir qu'une petite partie de notre Galaxie. Son centre, qui se trouve dans la direction du Sagittaire, nous est masqué par le gaz et les nombreuses poussières du milieu interstellaire. Seuls les télescopes radio et infrarouge permettent d'observer son bulbe central.

Galaxie elliptique



Galaxie spirale

Galaxie spirale barrée

La classification des galaxies

Hubble proposa une classification des galaxies en fonction de leur forme. On

distingue deux grandes classes : les elliptiques et les spirales, qui sont elles-mêmes divisées en spirales classiques et en spirales barrées.

Bâtiment de l'observatoire

La galaxie M51

M51 est une galaxie spirale typique, distante d'environ 14 millions d'années-lumière de nous. On distingue ses deux bras spiraux qui s'enroulent autour du bulbe central. Constitués de gaz et de poussières, ils sont le siège de nombreuses formations d'étoiles. Elle se trouve dans la constellation des Chiens de Chasse, juste au bout de la queue de la Grande Ourse. C'est une des « nébuleuses » dessinées par lord Rosse (p. 26) au XIX^e siècle.



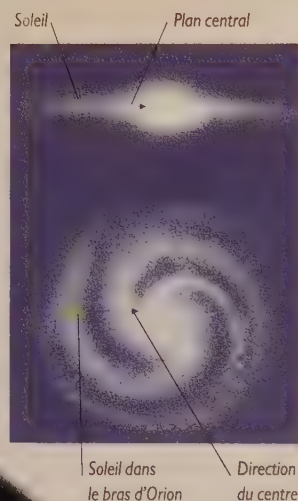
La Voie lactée photographiée du Chili avec un objectif grand-angle



La forme de notre Galaxie

La Voie lactée est une magnifique galaxie spirale qui mesure environ 100 000 années-lumière de diamètre et 15 000 années-lumière d'épaisseur au niveau du bulbe. Notre Soleil se trouve en périphérie, dans un de ses bras spiraux, à 30 000 années-lumière du centre galactique.

La Voie lactée possède un bulbe central ovale entouré d'un disque fin formé par les bras spiraux. De la Terre, nous ne pouvons la voir que par la tranche.



La galaxie d'Andromède

M31 est une galaxie spirale comparable à la nôtre, mais sa

masse est égale à une fois et demie celle de la Voie lactée. C'est le plus important système à deux noyaux.

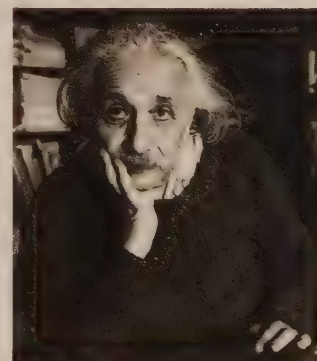
M31 possède deux petits « compagnons » elliptiques.

QU'EST-CE QUE LA COSMOLOGIE ?

C'est la branche de l'astronomie qui s'intéresse à l'Univers dans son ensemble, à son origine et à son évolution. Cette science ancienne n'a pris son véritable essor qu'au xx^e siècle avec l'apparition de la théorie de la relativité, les progrès en physique des particules et en physique théorique et la découverte de l'expansion de l'Univers, qui lui ont donné les bases qui lui manquaient pour devenir une science à part entière.

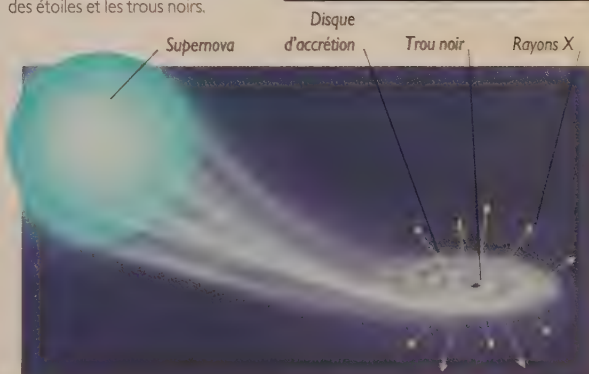
Albert Einstein (1879-1955)

En affirmant que la masse était une forme d'énergie, le célèbre scientifique germano-américain remit en cause l'ensemble des lois de la physique qui dominaient depuis l'époque de Newton (p. 22). La relativité générale, le fait que la gravitation affecte la forme de l'espace et le cours du temps, ont donné aux astronomes les outils pour comprendre les phénomènes tels que la naissance et la mort des étoiles et les trous noirs.



Trous noirs

Une supernova peut laisser après elle un trou noir, objet si dense que même la lumière ne peut s'en échapper. Difficile à mettre en évidence, on peut en théorie le détecter grâce au rayonnement X émanant du disque d'accrétion formé par la matière qui y chute à grande vitesse.



A.-Brossard-CSB



35056

KP-140-791

PASSION DES SCIENCES

La science est tout autour de nous. Découvrez-en l'histoire, vivante et active. Entrez dans le laboratoire universel des sciences. Partagez la fascination d'une aventure : celle de la découverte scientifique. Apprenez à comprendre aisément les concepts et les champs d'application essentiels de la science en participant aux expériences des découvreurs qui ont marqué leur époque.

VOIR POUR COMPRENDRE

Cette encyclopédie visuelle raconte la science en direct, afin que s'abolissent les barrières entre la science et le quotidien, entre le passé et le présent, entre le concret et l'abstrait.

L'astronomie

Venue du fond des âges, la science des étoiles n'a cessé d'évoluer de pair avec la technologie. Aujourd'hui, les radiotélescopes captent des émissions provenant du fond de l'espace tandis que les sondes spatiales vont sur place photographier les planètes. À quoi ressemble le paysage de Mars ? Quelle forme a notre Galaxie ? Comment naît une étoile ? D'où viennent les astéroïdes ? Peut-on « voir » un trou noir ? *L'astronomie* nous convie à un passionnant voyage intersidéral à la découverte du cosmos.

Passion des Sciences met à la portée de tous, à tous les âges, la cohérence, le dynamisme et la continuité des sciences.

Dans la même collection :

- | | |
|--------------------|----------------------|
| L'électricité | L'électronique |
| La lumière | Le corps humain |
| Force et mouvement | L'écologie |
| La matière | La vie |
| L'énergie | La Terre |
| L'évolution | Le temps et l'espace |
| La chimie | |

Partagez nos Passions...

Passion des Arts • Passion de l'Histoire • Passion de la vie •
Passion du Cinéma (à paraître) • Passion de la Musique (à paraître)

9 782070 586639

Catégorie 1
A 58663 ISBN 2-07-058663-4