

OBSERVATION ASTRONOMIQUE

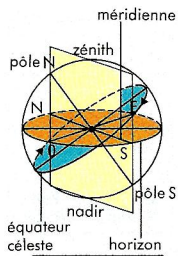
SPHÈRE CÉLESTE

POUR REPÉRER LES ASTRES, on les suppose fixés à une sphère fictive de rayon indéterminé, la *sphère céleste*, ayant pour centre l'œil de l'observateur.

Celle-ci paraît tourner autour de la ligne des pôles (ou axe du monde), qui prolonge la ligne des pôles terrestres. Le plan perpendiculaire à cette ligne est l'équateur céleste. À la verticale de l'observateur se trouvent, au-dessus de l'horizon, le zénith et, au-dessous de l'horizon, le nadir. Le plan perpendiculaire à la verticale du lieu et sur lequel repose l'observateur est l'horizon. Le plan formé par la verticale et la ligne des pôles est le méridien du lieu : c'est le plan nord-sud, qui passe par le zénith.

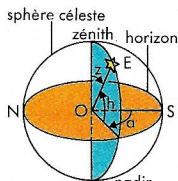
COORDONNÉES

DE MÊME QUE l'on définit la position d'un point sur la Terre par ses coordonnées géographiques, latitude et longitude, on définit la position des astres sur la sphère céleste à l'aide de paramètres appelés coordonnées célestes. On distingue plusieurs systèmes de coordonnées, qui diffèrent par le plan de référence adopté et l'origine choisie dans ce plan.



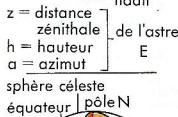
A. La sphère céleste.

Certains de ses éléments (pôles, équateur) sont indépendants du lieu d'observation (*sphère des fixes*, liée aux étoiles), d'autres (zénith, nadir, points cardinaux, horizon, méridien...) spécifiques de ce lieu (*sphère céleste locale*).



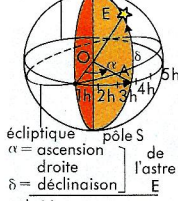
B. Coordonnées horizontales.

Ce sont l'azimut et la hauteur. Le plan de référence est l'horizon et l'origine la direction du sud. Ces coordonnées sont liées au lieu d'observation. La hauteur est parfois remplacée par son complément algébrique, la distance zénithale.



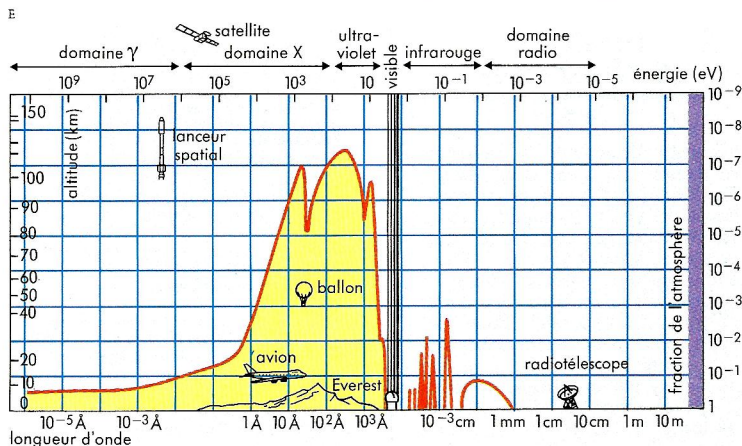
C. Coordonnées équatoriales.

Ce sont l'ascension droite et la déclinaison. Le plan de référence est l'équateur céleste et l'origine le point vernal. Par suite de la précession de l'axe des pôles, ces coordonnées varient lentement au cours du temps.



D. Coordonnées écliptiques.

Ce sont la longitude et la latitude écliptiques. Le plan de référence est l'écliptique (plan de l'orbite terrestre) et l'origine le point vernal (intersection de l'écliptique et de l'équateur céleste).



E. Les fenêtres d'observation.

L'atmosphère terrestre absorbe ou réfléchit la plupart des rayonnements électromagnétiques provenant du cosmos. Au sol, on ne dispose ainsi que de deux fenêtres d'observation : la *fenêtre optique* et la *fenêtre radio*. Les autres rayonnements ne peuvent être détectés qu'en altitude : sur le schéma ci-dessus, la limite supérieure de la zone orange indique l'altitude à laquelle, pour chaque longueur d'onde, l'intensité du rayonnement est réduite de moitié par rapport à sa valeur initiale.

ASTRONOMIE OPTIQUE

L'ASTRONOMIE OPTIQUE étudie les sources célestes de lumière visible (longueurs d'onde comprises entre 400 et 800 nanomètres). Ses instruments de base sont la lunette et le télescope (voir p. 22), dont la monture peut être altitudinale (mobile autour d'un axe horizontal et d'un axe vertical) ou équatoriale (mobile autour de l'axe des pôles [axe horaire] et d'un axe perpendiculaire [axe de déclinaison]). La lumière collectée par ces instruments est observée visuellement ou, le plus souvent, enregistrée par un détecteur photographique, photoélectrique ou électronique. Elle peut faire l'objet d'une analyse spectrale à l'aide de spectrographes.

la nébulosité. En revanche, le pouvoir séparateur des instruments est limité par les longueurs d'onde auxquelles on les utilise. On l'améliore par les techniques d'interférométrie, consistant à observer simultanément le même astre avec plusieurs instruments espacés (parfois à l'échelle d'un continent : interférométrie à très grande base ; dans ce cas, les signaux reçus sont enregistrés sur bandes magnétiques et corrélés en différé).

ASTRONOMIE SPATIALE

L'ASTRONOMIE SPATIALE met en œuvre des ballons stratosphériques, des fusées, des satellites et des sondes automatiques. Grâce aux satellites, qui gravitent au-dessus de l'atmosphère terrestre, il est possible d'étudier l'Univers sur l'ensemble du spectre électromagnétique. Néanmoins, compte tenu du coût de l'instrumentation qu'ils emportent, on réserve leur emploi aux observations difficiles ou impossibles à réaliser du sol, concernant des astres dont le rayonnement est arrêté par l'atmosphère terrestre (sources de rayonnements γ , X, ultraviolet et infrarouge lointain). Les sondes spatiales permettent l'étude *in situ* de la Lune, des planètes, des comètes et du milieu interplanétaire.

RADIOASTRONOMIE

DEPUIS LA FIN de la Seconde Guerre mondiale s'est développée l'étude des sources célestes de rayonnement radioélectrique. Celle-ci s'effectue, à partir du sol, à des longueurs d'onde comprises entre 1 mm et 15 m environ, à l'aide d'instruments appelés radiotélescopes. Les observations présentent l'avantage de pouvoir être effectuées de jour comme de nuit, quelle que soit



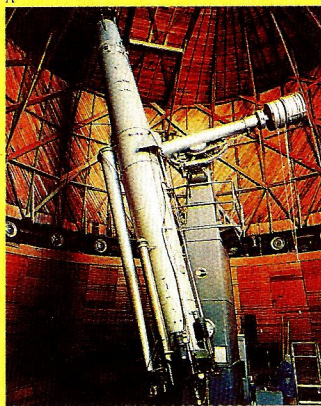
F. Le télescope spatial E.P. Hubble.

Placé en orbite par la navette américaine, à 590 km d'altitude, et télécommandé depuis la Terre, ce télescope de 2,40 m de diamètre doit permettre des observations dans une gamme de longueurs d'onde 1 000 fois plus étendue que celle accessible aux télescopes implantés au sol, avec un pouvoir de résolution 5 à 10 fois meilleur que celui des instruments terrestres les plus performants.

OBSERVATION ASTRONOMIQUE

LUNETTES
ET TÉLÉSCOPES

L'astronomie optique utilise deux types de collecteurs de lumière : la *lunette* et le *télescope*. Ces instruments se composent essentiellement d'un tube, muni à l'une de ses extrémités (du côté du ciel) d'un objectif et, à l'autre (du côté de l'œil), d'un oculaire : l'objectif recueille les rayons lumineux issus des astres observés et les concentre théoriquement en un point (pratiquement en une petite tache) dont l'oculaire donne ensuite une image agrandie. C'est la nature de l'objectif qui distingue la lunette du télescope : dans la lunette, l'objectif est une lentille – ou, plus souvent, une combinaison de lentilles – qui réfracte la lumière tandis que, dans le télescope, c'est un miroir, sur lequel la lumière se réfléchit. Pour cette raison, les lunettes sont souvent appelées *réfracteurs* et les télescopes, *réflecteurs*. Les dimensions de l'objectif déterminent les possibilités extrêmes de l'instrument : l'énergie recueillie dépend de sa surface collectrice, tandis que son aptitude à séparer des sources angulairement voisines (*pouvoir séparateur*) est déterminée par son diamètre.



A. La lunette de l'observatoire de Yerkes (É.-U.)

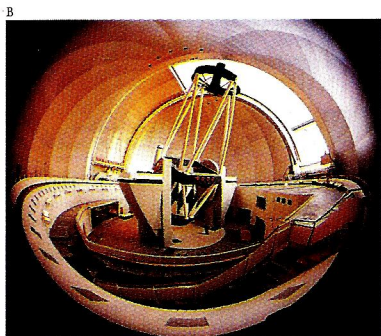
La plus grande lunette du monde (1,02 m de diamètre).

Les plus grands télescopes du monde

site (et nom) de l'observatoire	altitude (m)	diamètre utile du miroir principal (m)	appartenance	année de mise en service	nom du télescope
Zelentchouk ; mont Pastukhov, Caucase, U.R.S.S.,	2 070	6,00	Académie des sciences de l'U.R.S.S.	1976	Bol'shoi Teleskop Azimutal'nyi (BTA)
Mont Palomar ; Californie, É.-U.	1 706	5,08	É.-U.	1948	Hale
Mont Hopkins ; Arizona, É.-U. (Fred Lawrence Whipple Observatory)	2 600	4,60 (6 × 1,8)	Smithsonian Institution	1979	Multiple Mirror Telescope (MMT)
La Palma ; Canaries, Espagne (obs. Roque de los Muchachos)	2 300	4,20	G.-B.	1988	William Herschell
Cerro Tololo ; Chili (Cerro Tololo Interamerican Observatory, CTIO)	2 400	4,00	É.-U.	1976	
Siding Spring ; Nouvelles-Galles du Sud, Australie (Anglo-Australian Observatory)	1 164	3,89	G.-B.-Australie	1975	Anglo-Australian Telescope
Kitt Peak ; Arizona, É.-U. (Kitt Peak National Observatory, KPNO)	2 064	3,81	É.-U.	1973	Mayall
Mauna Kea ; Hawaii, É.-U.	4 194	3,80	G.-B.	1979	UK Infrared Telescope (UKIRT)
Mauna Kea ; Hawaii, É.-U.	4 200	3,60	Canada-France	1979	C.F.H. (Canada-France-Hawaii)
La Silla ; Chili	2 400	3,57	ESO *	1976	
Calar Alto ; Sierra Nevada, Espagne	2 160	3,50	R.F.A.	1983	
La Silla ; Chili	2 400	3,50	ESO *	1988	New Technology Telescope (NTT)
Mont Hamilton ; Californie, É.-U. (obs. Lick)	1 277	3,05	É.-U.	1959	Shane
Mauna Kea ; Hawaii, É.-U.	4 208	3,00	É.-U. (NASA)	1979	IRTF (Infra Red Telescope Facility)
Mont Locke ; Texas, É.-U. (obs. MacDonald)	2 070	2,72	Université du Texas (É.-U.)	1969	
Crimée, U.R.S.S. (obs. de Crimée)		2,60	Académie des sciences de l'U.R.S.S.	1961	Shajn
Mont Aragatz ; Arménie, U.R.S.S. (obs. de Biourakan)	1 500	2,60	Académie des sciences de l'U.R.S.S.	1971	
La Palma ; Canaries, Espagne (obs. Roque de los Muchachos)	2 300	2,59	G.-B.	**	Isaac Newton

* European Southern Observatory

** Mis en service en 1967 à Herstmonceux, Sussex, G.-B., transféré ensuite aux îles Canaries.



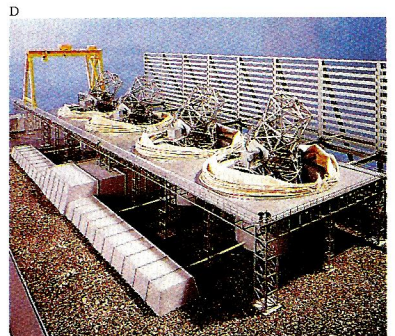
B. Télescope soviétique de 6 m.

Mis en service en 1976 à Zelentchouk (U.R.S.S.), dans le Caucase, sous une coupole de 50 m de diamètre, ce télescope est doté d'un miroir primaire de 6 m de diamètre, pesant 42 t.



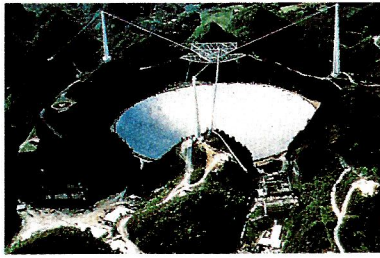
C. Télescope américain de 10 m.

Lorsqu'il entrera en service, en 1991, sur le Mauna Kea, à Hawaii, ce télescope américain à miroir segmenté de 10 m de diamètre (télescope Keck) sera le plus grand du monde.



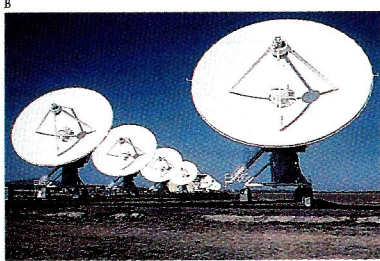
D. Télescope européen de 16 m.

Les Européens disposeront au Chili, d'ici l'an 2000, d'un très grand télescope à ouverture équivalente de 16 m, le VLT, constitué d'un réseau de 4 télescopes de 8 m.



A - Le radiotélescope d'Arecibo.

Installé dans une cuvette naturelle, à Porto Rico, ce radiotélescope a 305 m de diamètre. Sa surface collectrice, paraboloidale, est fixe.



B - Le Very Large Array (VLA).

Ce grand radio-interféromètre comporte 27 antennes paraboloidales orientables disposées en un immense Y dont les branches ont environ 20 km de long.

TÉLESCOPES FUTURS

Les télescopes géants des années 90 relèveront d'une nouvelle technologie. En particulier, ils tireront parti des progrès récents en électronique et en automatique. Ainsi, plutôt que de compter sur la masse de l'instrument pour assurer sa stabilité et sa rigidité indispensables, on réalisera des constructions légères et donc déformables, mais en corrigeant ces déformations par un contrôle actif des pièces maîtresses. La monture sera du type altazimutal, adopté depuis longtemps déjà pour les radiotélescopes et les antennes de radar et beaucoup plus satisfaisant mécaniquement que la monture équatoriale. Avec ce type de monture et l'abandon de la rigidité passive, le gain en poids est considérable. Pour les miroirs primaires, les recherches et expérimentations se poursuivent dans les directions suivantes : miroir monolithique très mince (10 à 40 cm d'épaisseur) pour des diamètres n'excédant pas 7 à 8 m ; miroir segmenté constitué d'une mosaïque d'éléments de taille moyenne (36 miroirs hexagonaux de 1,80 m de diamètre formant un miroir résultant de 10 m pour le télescope Keck américain, qui entrera en service sur le Mauna Kea, à Hawaï, en 1991) ; miroirs multiples à axes parallèles, dont on recombine les faisceaux réfléchis en un foyer commun ; réseaux de télescopes installés sur des montures séparées (4 télescopes de 8 m alignés, formant un télescope à miroir équivalent de 16 m pour le futur VLT européen au Chili).

Les principaux radiotélescopes à antenne unique

nom et site de l'observatoire (éventuellement, nom de l'instrument)	diamètre (m)	longueur d'onde optimale d'utilisation (cm)	année de mise en service, surface, remarques.
totalemment orientables - en ondes centimétriques			
Effelsberg (R.F.A.)	100	6	1972, 7 500 m ²
Jodrell Bank (G.-B.) [Mark I]	76	10	1958, resurfacé en 1971 ; 4 500 m ²
Parkes (Australie)	64	10	3 200 m ²
Goldstone ; Californie (É.-U.)	64	7	
Tidbinbilla (Australie)	64		
Algonquin (Canada)	50	3	2 000 m ²
- en ondes millimétriques			
Yebes (Espagne)	13,7	0,6	1978
Amherst ; Massachusetts (É.-U.)	13,7	0,3	1978
Atibaia (Brésil)	13,7	0,7	1973
Onsala (Suède)	20	0,4	1978
IRAM (franco-allemand) ; Pico de Veleta (Espagne)	30	0,2	1983
instruments méridiens			
Ootacamund (Inde)	530 × 30	100	Cylindre parabolique, 17 000 m ² ;
Nançay (France)	200 × 35	20	1966 ; 7 000 m ²
Danville (É.-U.)	80 × 21		1 600 m ²
Colombus ; Ohio (É.-U.)	183 × 122	20	2 650 m ²
instruments fixes			
Arecibo (Porto Rico)	305	75	73 000 m ²
Zelentchouk (U.R.S.S.)	895 panneaux		12 600 m ² (anneau de 576 m de diam.)

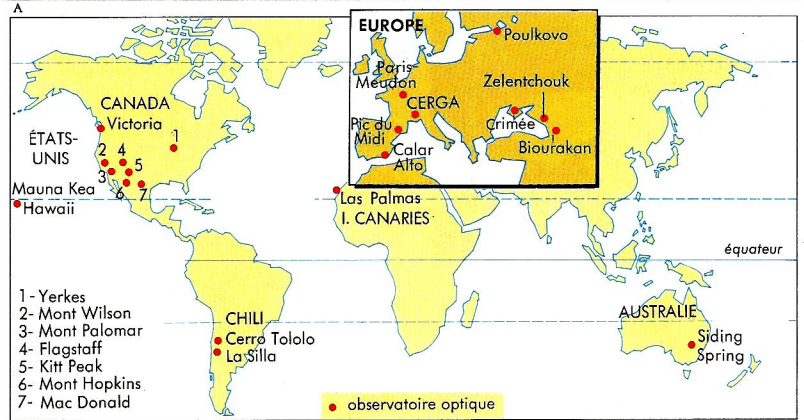
Les principaux interféromètres (hors instruments solaires)

site (éventuellement, nom de l'instrument)	nombre d'antennes	diamètre des antennes (m)	base (km)	longueur d'onde minimale d'utilisation (cm)	année de mise en service, surface, remarques
Owens Valley ; Californie (É.-U.)	2	27	0,5	3	
Socorro ; Nouveau-Mexique (É.-U.) [VLA : Very Large Array]	27	26	21 × 21 × 19	1	1981
Westerbork (Pays-Bas) [WSRT]	14 (4 mobiles)	25	3,2	6	1970
Green Bank ; Virginie-Occidentale (É.-U.)	3	25	5	11	
Cambridge (G.-B.)	3 (1 mobile)	18	1,6	21	1964
IRAM ; Plateau de Bure (France)	3	15		0,13	1987
Cambridge (G.-B.)	8 (4 mobiles)	14	4,6	1	1972
Owens Valley ; Californie (É.-U.)	3	10		0,13	1981
Nobeyama (Japon)	4 1	10 45		0,30 0,30	1982
VLBA (É.-U.)	10	26		0,03	Mise en service complète en 1990

OBSERVATION ASTRONOMIQUE

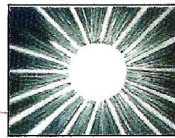
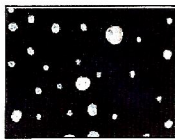
OBSERVATOIRES

L'INTÉRÊT de l'astronomie voudrait que les observatoires fussent distribués de façon régulière à la surface du globe, au moins en latitude. En fait, ils se concentrent surtout dans l'hémisphère Nord, où se trouvent plus des deux tiers des terres émergées, et, en particulier, dans les pays ayant une longue tradition scientifique. Aussi un effort important a-t-il été entrepris depuis les années 1960 pour développer les observations dans l'hémisphère Sud (création de l'ESO [organisation européenne pour des recherches astronomiques dans l'hémisphère austral], implantation de plusieurs observatoires au Chili, etc.). Les meilleurs sites sont localisés en altitude.

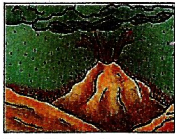


DU BIG BANG À NOS JOURS

formation de la Galaxie : ≥ 14 milliards d'années



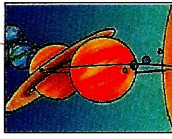
Big Bang : de 15 à 20 milliards d'années



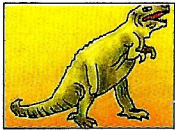
3,6 milliards d'années



premiers reptiles : 200 millions d'années



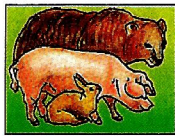
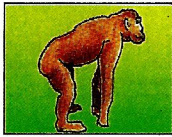
système solaire : 4,6 milliards d'années



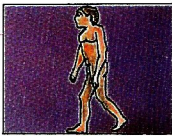
disparition des dinosaures : 65 millions d'années



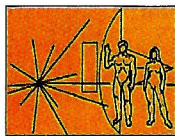
premiers singes : 30 millions d'années



nombreux mammifères et *Homo habilis* : 1 million d'années



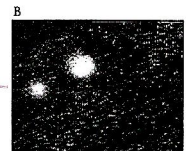
message emporté dans l'espace par les sondes Pioneer 10 et 11



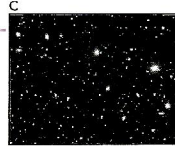
aujourd'hui

VOYAGE DANS L'UNIVERS

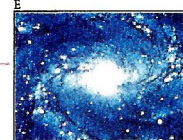
quasar le plus lointain : de 12 à 16 milliards d'années de lumière (al)



amas de galaxies de Persée : 250 millions d'al

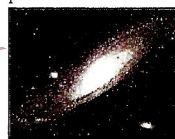


galaxie M87 : 50 millions d'al

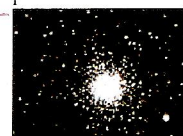
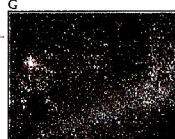


galaxie M83 : 10 millions d'al

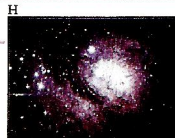
galaxie M31 : 2,2 millions d'al



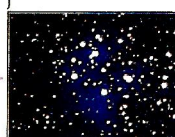
Grand Nuage de Magellan : 170 000 al



amas globulaire M15 : 40 000 al



nébuleuse de la Lagune : 4 500 al



amas des Pléiade : 400 al

Voyage dans l'espace et dans le temps.

Comme la lumière se propage à une vitesse finie (environ 300 000 km/s), plus un astre est lointain, plus sa lumière met de temps pour nous parvenir. La plongée dans l'espace qu'autorisent les instruments astronomiques s'accompagne donc d'une remontée dans le temps. Cette planche

illustre ce phénomène en situant des objets célestes localisés à différentes distances (à droite) par rapport à quelques grands événements de l'histoire de la Terre (à gauche).