

Instruments astronomiques d'hier à aujourd'hui



Dossier Pédagogique



réalisé par Françoise Montigny-Rannou
pour le
Comité International des Jeux Mathématiques

TABLE des MATIERES

Préambule	3
1 Ombre et lumière	6
2 Visées et mesures	8
3 Galileo Galilei, messenger des étoiles	12
4 Lunettes astronomiques	16
5 Télescopes et miroirs	20
6 Plaque photographique	24
7 Analyse de la lumière	28
8 Radioastronomie	32
9 Grands observatoires	36
10 Astronomie spatiale	40
Astronomie amateur	44
Bibliographie	45

PREAMBULE

Lors du 10^e Salon Culture et Jeux Mathématiques en 2009, une exposition de dix tableaux a donné un aperçu des Instruments Astronomiques les plus significatifs depuis 2000 avant J. C. jusqu'à nos jours. Cette exposition veut aussi proposer d'autres moyens d'aborder l'Astronomie. Pratiquer des activités de Science avec des jeunes et cela même dès l'école primaire semble difficile à des enseignants, souvent par manque de formation et d'outils adaptés. Pourtant, l'Astronomie est la Science transdisciplinaire par excellence. Son étude permet d'élaborer des travaux communs entre les enseignants de physique, mathématiques, histoire, lettres, technologie... C'est aussi un moyen privilégié d'initier une démarche d'observation et de questionnement, d'expérimentation et de modélisation. De nombreuses expériences en classe ont déjà été faites, pour le plus grand bonheur des élèves.

Dans cette brochure d'accompagnement, au fil de la description des dix panneaux, nous vous donnerons quelques pistes et ... quelques bonnes adresses pour vous aider dans cette aventure en espérant que cette exposition donnera un cadre agréable à votre travail. En fin de document, vous trouverez aussi une bibliographie. Les numéros entre crochets qui apparaissent dans le texte renvoient à la publication correspondante dans la bibliographie.

D'après R. Caratini, [11], le but de l'Astronomie est d'observer les astres, de les repérer dans le ciel, d'essayer d'expliquer leurs mouvements, leur origine, de chercher à découvrir leur nature et leurs particularités. Nos connaissances récentes nous conduisent même à imaginer la structure et l'évolution de l'Univers, ce qui s'appelle la Cosmologie.

Les raisons qui poussent à l'étude de l'Astronomie sont de quatre ordres :

- la vie sociale exige une mesure du temps (fêtes ...). Pendant longtemps, l'horloge la plus régulière a été celle du ciel et l'astre le plus représentatif de la nuit est la Lune ([33]).
- les peuples voyagent sur la mer ou dans le désert et jusqu'à ces toutes dernières années le repérage par rapport aux étoiles évitait de se perdre. Le GPS est arrivé tout récemment.
- la détermination des saisons permet l'organisation des semailles, des vendanges ... pour une agriculture prospère. L'Astronomie de nos jours est la science de base de la Météorologie.
- l'homme a toujours besoin de magie. Le spectacle du ciel lui donne sa part de rêve.

Si les astronomes chinois ont laissé des traces écrites de leurs observations astronomiques (comme le suivi de la comète de Halley depuis 4000 ans avant J. C.), il faut attendre les Mésopotamiens pour trouver des notes d'observations régulières soigneusement consignées, entre 2800 et 600 avant J. C..

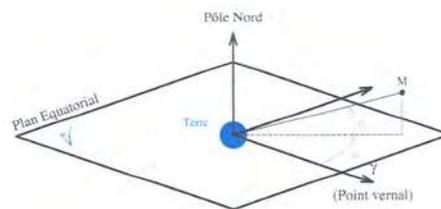
Claude Ptolémée, astronome grec, en fit la synthèse. Il vécut à Alexandrie (aujourd'hui en Egypte) entre 90 après J. C. et 168 après J. C. (II^e siècle après J. C.). Ce sont les Grecs qui ont transformé l'Astronomie en science mathématique. Ils ont observé le monde avec une démarche systématique qui constitue la première forme de l'Astronomie scientifique.

Les panneaux de cette exposition, présentés par ordre chronologique, illustrent l'épanouissement progressif de l'astronomie. Ils sont au nombre de dix.

1. Ombre et Lumière
2. Visées et mesures
3. Galileo Galilei, messenger des étoiles
4. Lunettes astronomiques
5. Télescopes et miroirs
6. Plaque photographique
7. Analyse de la lumière
8. Radioastronomie
9. Grands observatoires
10. Astronomie spatiale.

Les trois premiers panneaux retracent les balbutiements de l'Astronomie, jusqu'à la Renaissance Italienne. Le panneau 4 montre l'intérêt des lunettes astronomiques pour la mesure de la position des astres et la détermination de leur mouvement, ce qui s'appelle **l'Astrométrie**, la plaque photographique décrite sur le panneau 6 étant le moyen le plus approprié pour fixer les images. Le panneau 5 présente les télescopes dont le principe est basé sur les propriétés réfléchissantes des miroirs. L'analyse de la lumière issue des astres (panneau 7) n'est possible que grâce à leur puissance. C'est **l'Astrophysique** qui étudie la nature, les propriétés physiques, la formation et l'évolution des astres.

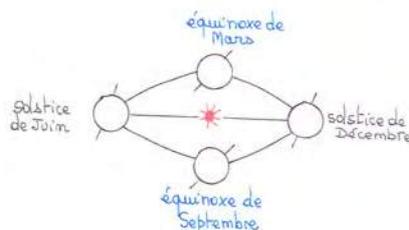
Dans tous les cas, il est nécessaire de se repérer dans l'Univers. Le repérage équatorial géocentrique illustré ci-dessous est très souvent choisi pour les instruments.



LE REPERAGE EQUATORIAL

- α : Ascension droite (en heures, minutes et secondes).
- δ : Déclinaison (en degrés, minutes et secondes).

(Extrait de J. P. Rivet).
 Repérage équatorial géocentrique - (origine le centre de la Terre).
 La flèche courbe accompagnée du signe "+" précise la convention de signe pour l'ascension droite.



Ce repérage permet d'obtenir un pointage rapide de l'astre étudié ainsi que des mesures angulaires qui sont les seules utilisables depuis la Terre.

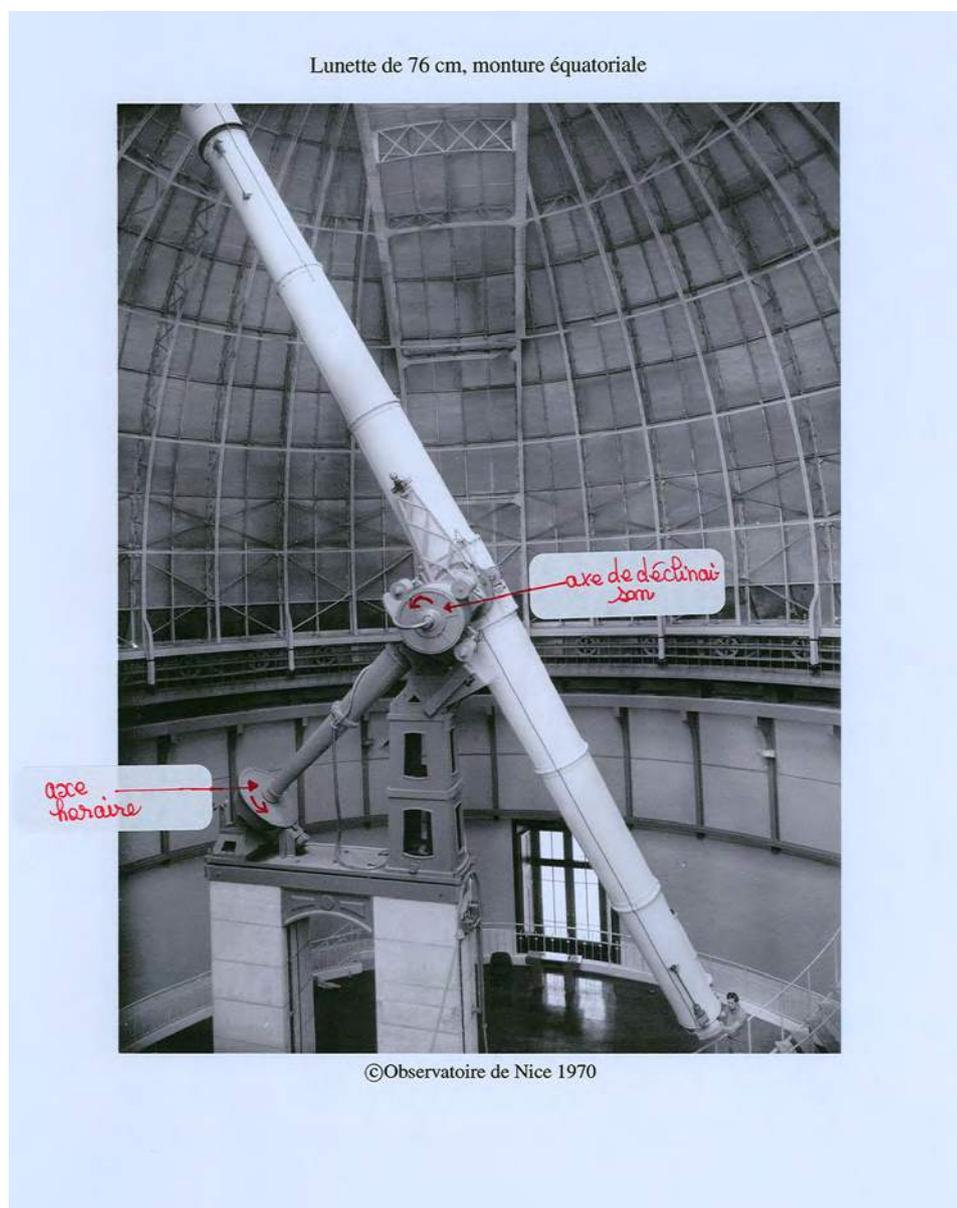
α est l'ascension droite. C'est l'angle exprimé en heures, minutes et secondes dans le plan équatorial de la Terre entre la projection de l'astre dans ce plan avec le cercle horaire origine passant par le point vernal γ .

Le point vernal γ est la position du soleil sur la sphère céleste au moment de l'équinoxe de printemps.

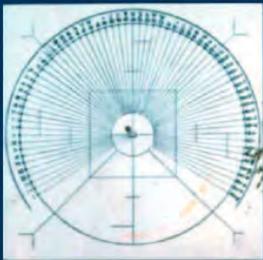
(*vernal vient du latin "vers" qui veut dire printemps*).

δ est la déclinaison. La déclinaison a pour origine l'équateur céleste, c'est à dire le plan équatorial de la Terre. Elle s'exprime en degrés, minutes et secondes d'angle. Elle est comptée positivement vers le Nord.

Voici le montage équatorial de la Grande Lunette de l'Observatoire de Nice :



Ombre et lumière



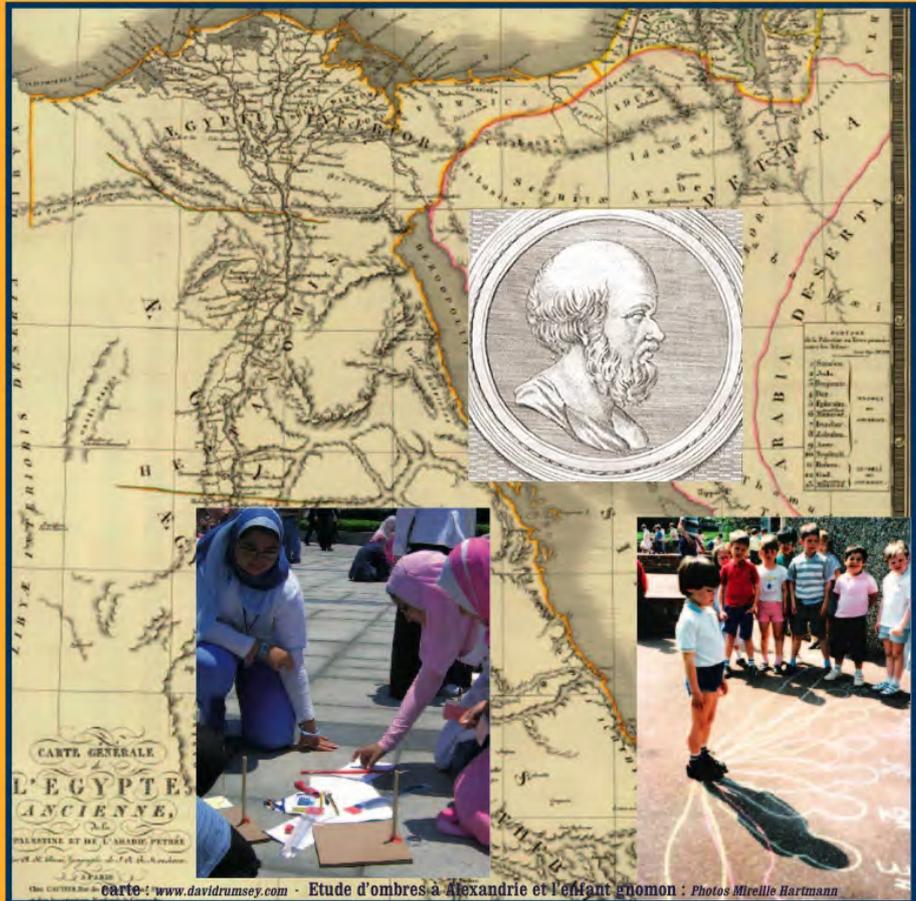
Gyli est le plus ancien cadran solaire chinois jamais connu ; il a été conçu sous la dynastie des Han Occidentaux (2 siècles avant J.C).
Source : www.cultural-china.com



Cadran solaire arabe de Ahmad Ibn al-Saffar du X^e siècle, trouvé à Cordoue. Le gnomon était fixé dans le trou en haut à gauche.
Source : www.qantara-med.org

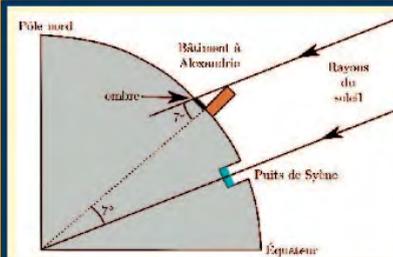


Cadran de la Sorbonne à Paris
Photo : Serge LAGIER



carte : www.davidrumsey.com - Etude d'ombres à Alexandrie et l'enfant gnomon : Photos Mirelle Hartmann

Il y a 2 200 ans, en observant l'ombre portée d'un bâton, Eratosthène, géographe, astronome et directeur de la bibliothèque d'Alexandrie, calcule la circonférence de la Terre. Il jette ainsi les bases de l'expérimentation scientifique.



Eratosthène connaissait la distance Alexandrie - Syène grâce aux *bématistes* (marcheurs qui comptaient leurs pas). Les deux villes situées sur un même méridien étaient distantes de 5000 *stades* (le stade valait environ 157m). Il en déduisit la circonférence de la Terre égale à : $\frac{5000 \times 360^\circ}{7^\circ}$ soit 257 000 stades.

Eratosthène trouva comme mesure de la circonférence de la Terre 40 349 km à rapprocher des 40 074 km mesurés actuellement. Un beau résultat !



Instruments astronomiques d'hier à aujourd'hui

1 Ombre et lumière

Pour se repérer dans le temps, nos anciens se sont basés sur l'alternance jour-nuit, c'est à dire Soleil-Lune. Pour le jour, ils ont imaginé tout d'abord *le gnomon*, puis le cadran solaire. Ils avaient remarqué que l'ombre portée variait en direction et en longueur avec la position et la hauteur du Soleil sur l'horizon.

Le gnomon est le cadran solaire le plus rustique. Il est constitué d'une tige verticale dont l'ombre portée se voit sur un plan horizontal.

En général, les cadrans solaires sont exposés sur une surface verticale un peu en hauteur pour recevoir les rayons du Soleil pendant une partie de la journée. Les lignes horaires sont tracées sur le cadran et l'ombre du style vient coïncider successivement avec ces lignes.

Pythagore au V^e siècle avant J. C. savait que la Terre était ronde. Eratosthène de mesure avec une belle précision sa circonférence, entre 273 et 192 avant J. C.

Ce panneau est l'occasion d'insister sur le fait que le premier instrument de l'Astronomie a toujours été et reste **notre oeil**. Il est aidé de notre cerveau pour analyser, comprendre, modéliser, imaginer. N'oubliez pas non plus, l'importance du dessin pour laisser une trace des observations.

Avec un simple bâton, beaucoup d'observations et d'intelligence et quelques calculs, il y a 2500 ans, Eratosthène mesurait la circonférence de la Terre.

Cet incroyable fait scientifique et historique peut être, dès les classes de l'école primaire, le départ d'une merveilleuse aventure. **Sur les pas d'Eratosthène** est une animation proposée par la Main à la Pâte, dont vous trouverez un guide pédagogique très complet sur le site :

<http://www.lamap.fr/eratos>

Depuis peu, une autre aventure est possible à partir de l'ouvrage publié par les Editions Le Pommier :

Calendriers : mémoire du ciel et des cultures

et le site

<http://www.lamap.fr/calendriers>

Pourquoi ne pas vous lancer dans la construction d'un cadran solaire ?

Visées et mesures



Quart de cercle mural de John Bird XVIII^e siècle. Un exemple d'instrument de mesure que Tycho Brahé eut approuvé.

Source : Observatoire de Paris



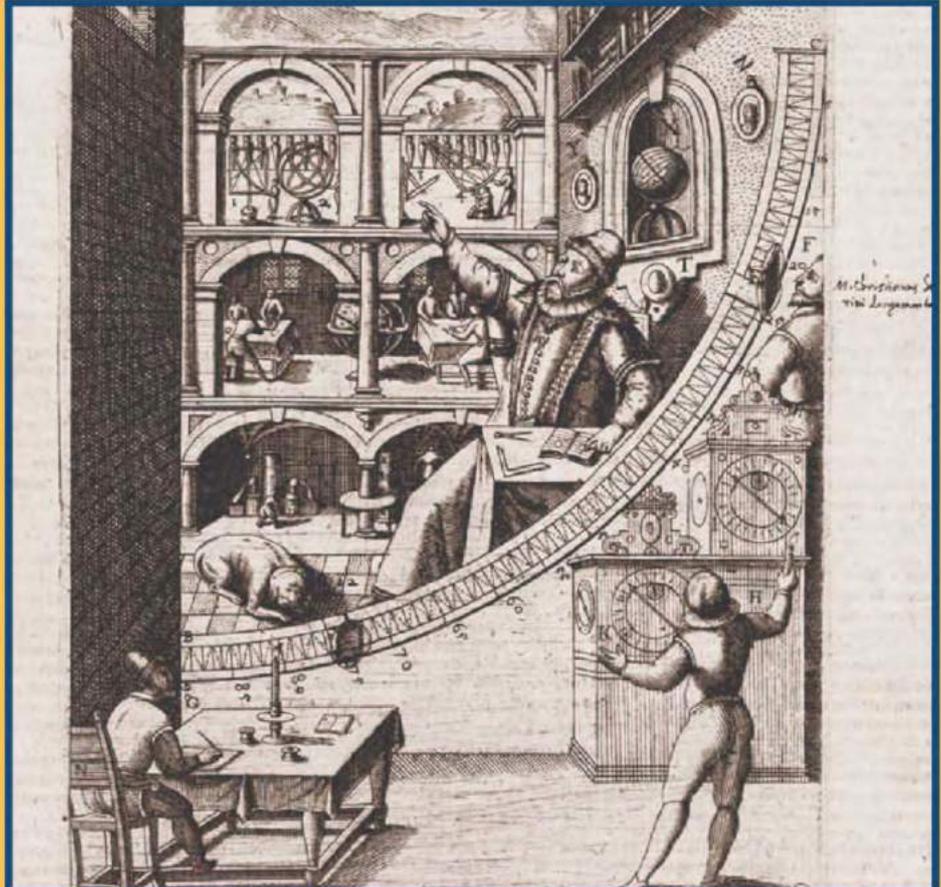
Sur les traces d'Aristarque de Samos (-280), Nicolas Copernic, en 1543, proposa le système héliocentrique, pour expliquer le mouvement des planètes.

Source : Observatoire de Paris



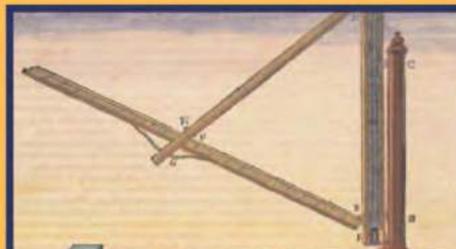
Johannes Kepler, se servant des mesures de Tycho Brahé établit en 1596, les lois de révolution des planètes autour du Soleil.

Source : Observatoire de Paris



Tycho Brahé et ses assistants à Uraniborg, son observatoire dans l'île de Ven - Source : Observatoire de Paris

L'astronomie moderne s'est construite à partir des relevés accumulés depuis que l'homme observe le ciel. Tycho Brahé fut le premier à comprendre tout l'intérêt de l'exactitude des mesures. Les modalités d'acquisition et la qualité de ses observations furent un modèle du genre.



Du *Triquetrum* utilisé par Tycho Brahé pour mesurer la parallaxe de la Lune à l'*Astrolabe* carte du ciel mobile



Instruments astronomiques d'hier à aujourd'hui

2 Visées et mesures

C'est seulement au XVI^e siècle que l'Astronomie moderne naquit grâce aux travaux du Chanoine polonais **Nicolas Copernic** (19-02-1473 / 24-05-1543). Il fit ses études en Italie où le climat plus clément que celui de la Pologne lui permit de commencer les observations du ciel avant qu'il ne retourne près de Dantzic. Après vingt cinq ans d'observations très pénibles, il écrivit un livre en latin

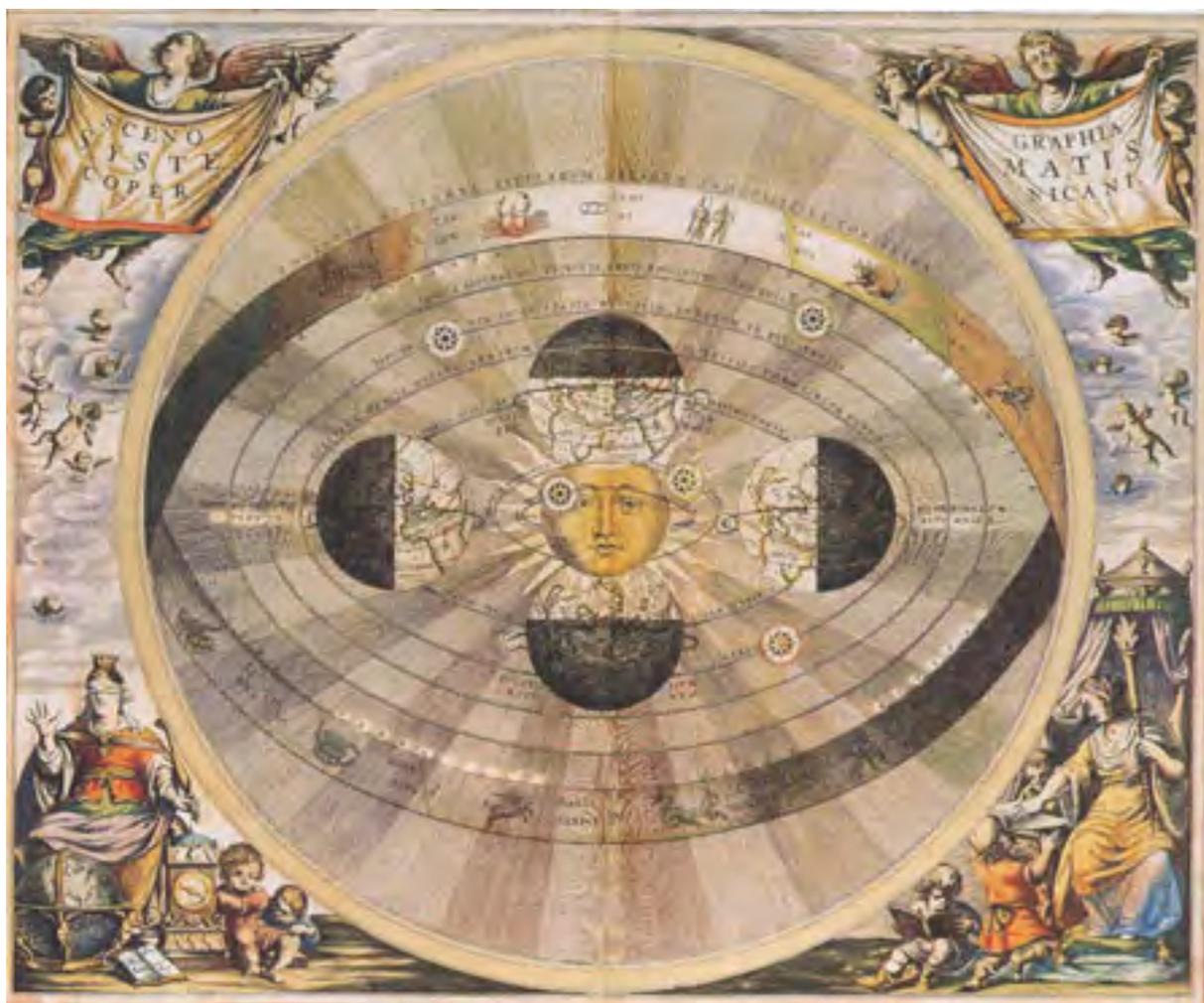
De revolutionibus orbium coelestium libri

dans lequel il proposa un système d'Univers héliocentrique : le Soleil est au centre de l'Univers et la Terre tourne autour de lui.([11]).

Voici comment Nicolas Copernic décrivait son système d'Univers :

Après de longues recherches, je me suis enfin convaincu que le Soleil est une étoile fixe entourée de planètes qui roulent autour d'elle et dont elle est le centre et le flambeau.

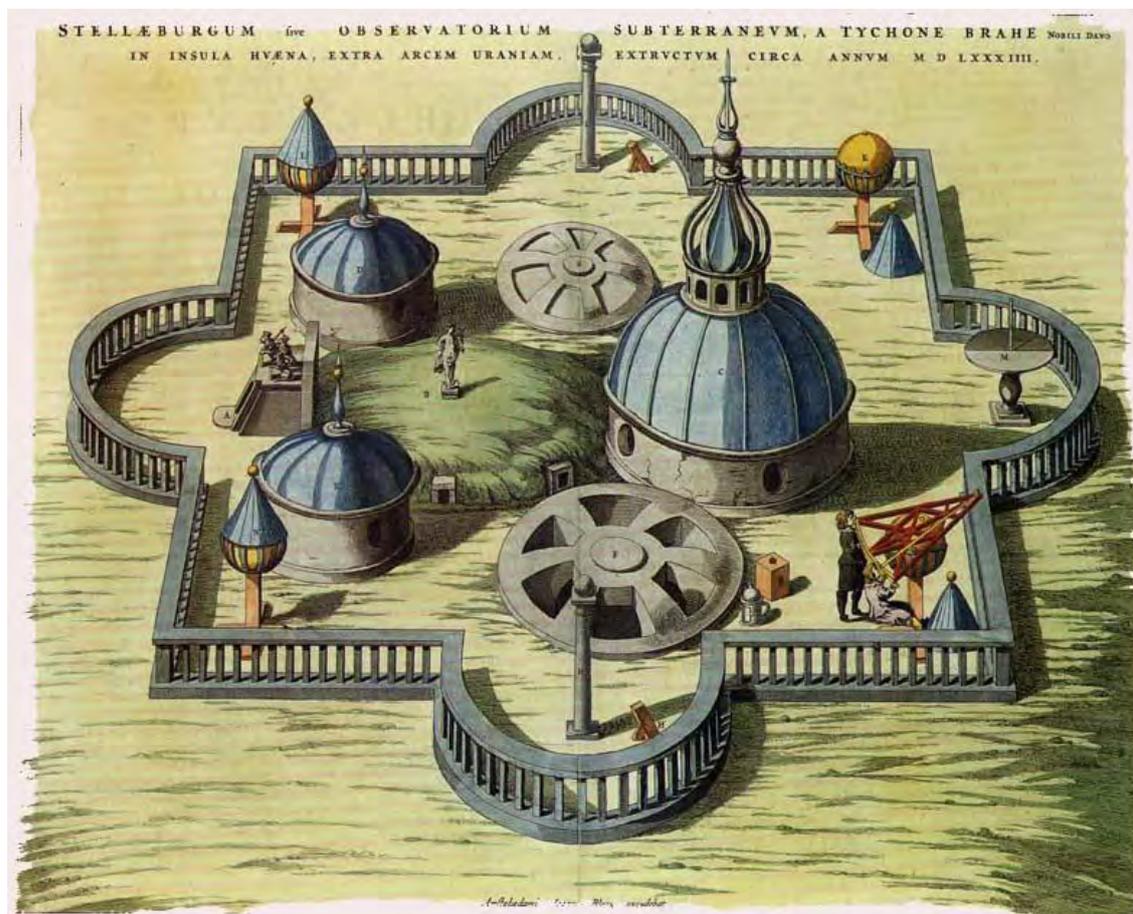
Ce qui est illustré par le dessin suivant :



Source : Encyclopédie Microsoft Encarta ®99

En son temps, le système de Copernic ne fit pas beaucoup de bruit ; néanmoins le livre fut mis à l'Index en 1616 car l'Eglise considérait que c'était un blasphème d'assurer que le Soleil était immobile dans le ciel.

Après lui, **Tycho Brahé** (14-12-1546 / 24-10-1601), astronome danois surnommé *l'homme au nez d'or* à cause de ses superbes moustaches blondes, fut le premier observateur dont les mesures étaient suffisamment précises pour permettre l'élaboration d'un modèle de système solaire. Il se fit construire un observatoire représenté ci-dessous dans une île danoise, où les observations étaient soumises à un climat moins capricieux que celui du continent septentrional. Mais il est remarquable que dans ces conditions climatiques difficiles comparées à celles de l'Italie, Tycho Brahé ait pu recueillir autant de données par l'observation.



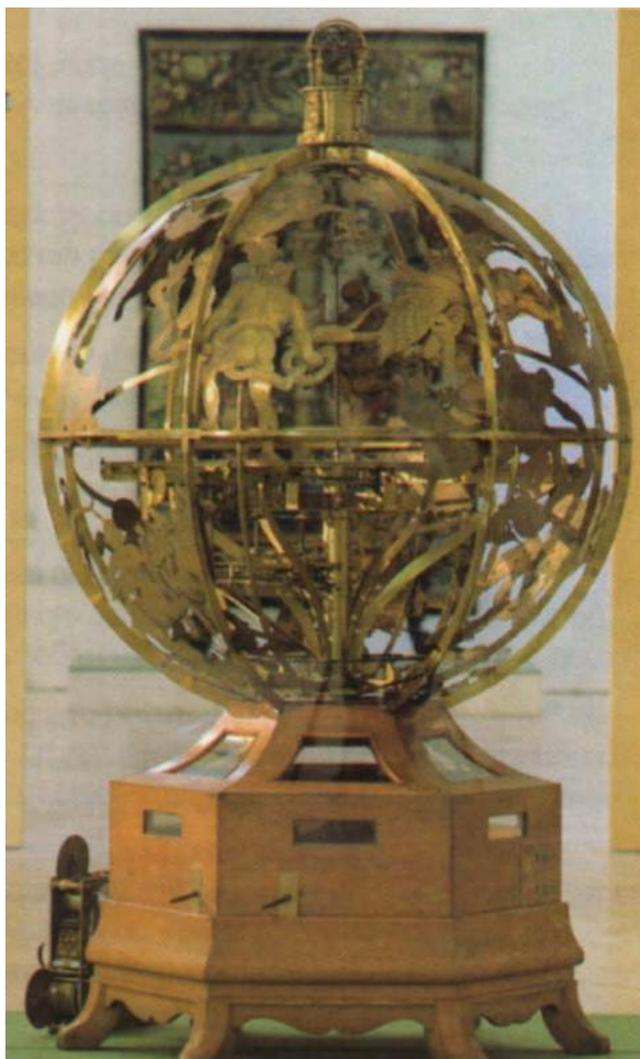
Le Palais des Etoiles “Stjerneborg” dessiné par Willem Blaeu vers 1595.
Source : wikipedia.fr

C'est lui qui découvrit que les rayons lumineux en provenance des astres subissaient dans l'atmosphère terrestre une réfraction qu'il fallait corriger dans les observations. Il fit fabriquer avec soin pour son observatoire d'Uraniborg un grand cadran en laiton ([23]). Une branche dans le cadran est mobile ; l'observateur pointe une étoile et mesure l'angle de sa direction par rapport au zénith.

Johannes Képler (27-12-1571 / 15-11-1630) est un astronome allemand qui devint l'assistant de Tycho Brahé. C'est en cherchant à faire coïncider les résultats de Tycho Brahé avec des constructions géométriques simples et héliocentriques que Képler découvrit les deux premières lois de la Mécanique Céleste en 1604-1605, puis la troisième loi en 1618. L'énoncé des lois de Képler est le suivant ([2], [29], [44], [10]) :

1. *La trajectoire de chaque planète est une ellipse dont le soleil occupe un des foyers.*
2. *Les aires balayées par le rayon vecteur sont proportionnelles aux temps employés pour les balayer (Loi des aires).*
3. *Les carrés des durées de révolution sont proportionnels aux cubes des grands axes.*

Ce qui a conduit à la construction du Planétarium de Képler ci-dessous illustré.



Johannes-Kepler-Planetarium. Source : www.heiligenlexikon.de

Remarque

Pendant des siècles, le mouvement des astres a permis à l'homme de se situer dans le temps. C'est tellement vrai que les unités d'angle

$$\text{degré, minute, seconde,} \\ 1^{\circ} = 60', \quad 1' = 60''$$

ont la même structure que les unités de temps

$$\text{heure, minute, seconde,} \\ 1h = 60mn, \quad 1mn = 60s.$$

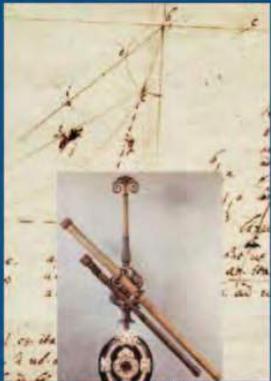
Seul le symbole les différencie.

Plusieurs lycées se sont lancés dans l'aventure de l'étude et de la construction d'instruments de mesure en Astronomie. Leur expérience est relatée dans un excellent numéro de *l'Astronomie*, n^o 19 de Septembre 2009. Les sites Internet suivants peuvent aussi être consultés

<http://dutartre.club.fr/siteinstruments/index.htm>
<http://www.ac-creteil.fr/lycees/94/ebbranlycreteil/>

On peut lire sur cette période [34], [35].

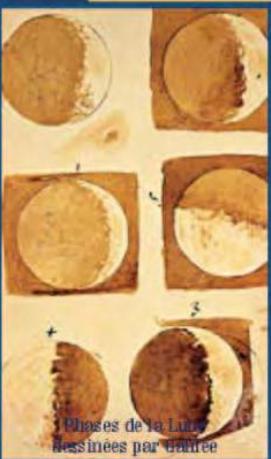
Galileo Galilei messenger des étoiles



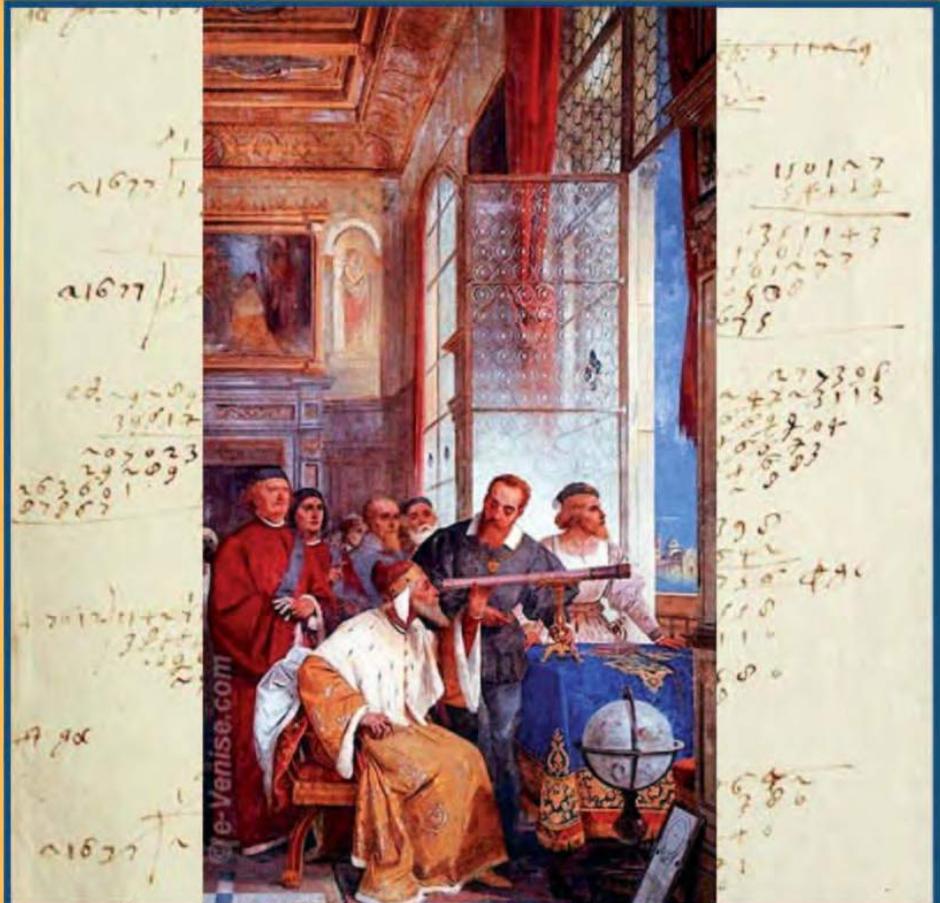
Lunette de Galilée.
Il perfectionna les modèles existants pour observer le ciel



Galilée inventa le compas de proportion, ancêtre de la règle à calcul. Ci-dessus, un modèle plus récent (1743)



Phases de la Lune dessinées par Galilée



Pages manuscrites de Galilée, avec l'aimable autorisation de la Bibliothèque Centrale Nationale de Florence

Le 21 août 1609, Galilée, au sommet du Campanile de la basilique Saint-Marc à Venise, présente sa lunette au Doge Leonardo Donato et aux membres du Sénat. Il réalise ainsi le premier acte de vulgarisation scientifique. Pointée vers le ciel, cette lunette ouvre l'ère de l'astronomie instrumentale.



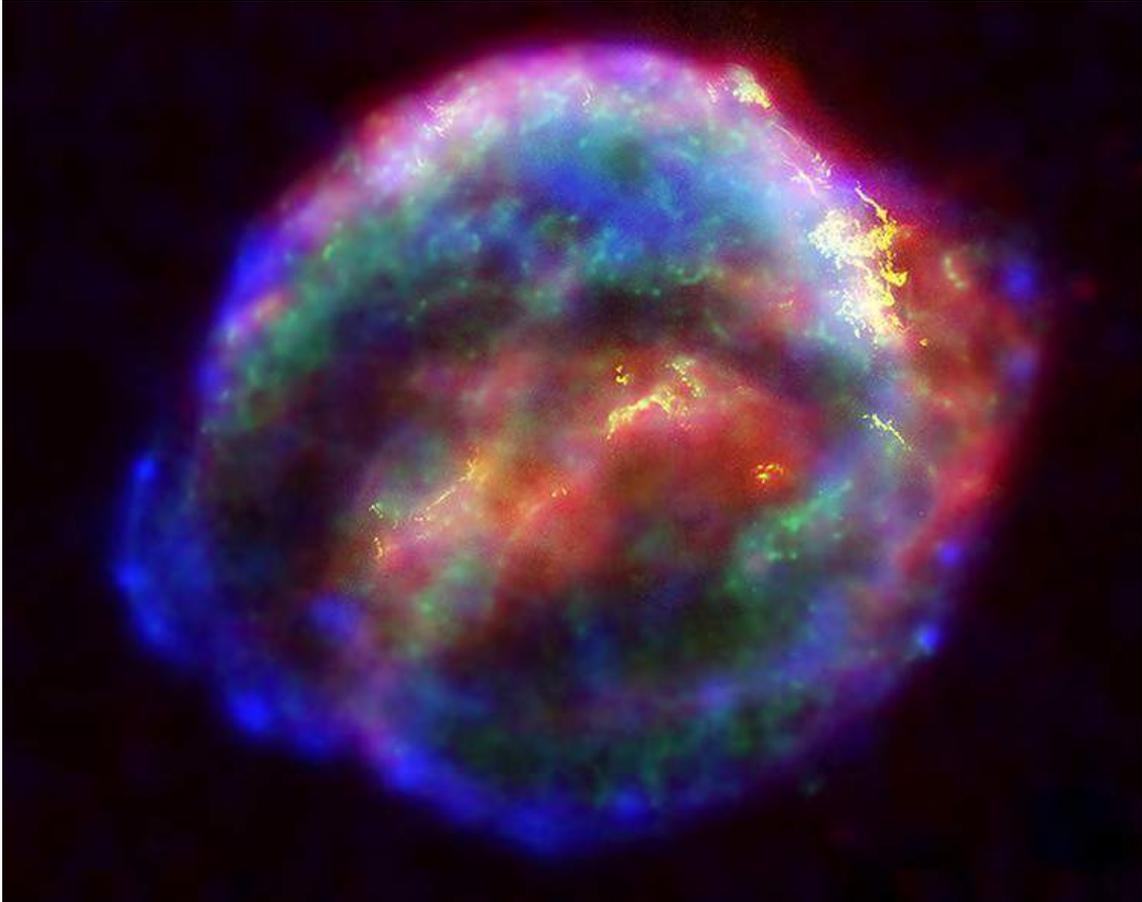
Dessins de Galileo Galilei pour son livre *Siderius Nuncius*
Collection du Service Commun de la Documentation de l'Université de Strasbourg



Instruments astronomiques d'ici à aujourd'hui

3 Galileo Galilei, messenger des étoiles

Galileo Galilei est un Astronome et Mathématicien italien (15-02-1564 / 08-01-1642) contemporain de Képler, né à Pise ([23]). Il enseigne les Mathématiques à l'Université de Padoue. En octobre 1604, apparaît dans le ciel une nouvelle étoile aussi brillante que Vénus. Il s'agit d'une supernova (explosion d'une étoile dans la Voie Lactée) découverte par J. Képler dont la NASA a pu capturer les restes 400 ans plus tard.



Supernova de Képler.

Source : Kepler's SNR from Chandra, Hubble and Spitzer, R. Sankrit and W. Blair (JHU) ESA, NASA.

A quarante ans, Galilée se passionne pour le phénomène qu'il décrit dans quatre conférences. Il défend alors deux points de vue des plus hérétiques pour la culture de l'époque.

- Il affirme qu'un problème astronomique ne peut être résolu que sur la base de mesures et non sur des considérations métaphysiques. Il en déduit que la lumière de 1604 provient d'une nouvelle étoile.
- Il se moque de l'opinion selon laquelle il serait fondamental, même pour un scientifique, de connaître l'essence des étoiles. Ceci mène à un débat purement philosophique et non scientifique, avec des résultats stériles.

Ces prises de position suscitent de violentes querelles.

Pour mener à bien ses observations, Galilée améliore les instruments de mesure de Tycho Brahé. Il conçoit un compas et construit une lunette pour convaincre le Doge de Venise de l'utilité militaire de ces instruments qui permettent de voir correctement des objets éloignés. Puis il construit un des premiers télescopes et observe Jupiter et ses satellites appelés maintenant Satellites Galiléens qu'il voit pour la première fois le 7 Janvier 1610. La conception des télescopes sera améliorée par Newton.

Les satellites galiléens de Jupiter sont au nombre de quatre et portent des noms de la mythologie grecque :

Io (désignée par I), Europe (II), Ganymède (III) et Callisto(IV). Europe est le plus petit et le plus léger. Io vient ensuite, puis Callisto et Ganymède qui est le plus gros.



Photographies prises par la sonde Galileo. NASA.

Les mouvements des trois premiers satellites sont étroitement coordonnés et suivent la troisième loi de Képler. D'après Laplace, les rayons de leurs orbites sont tels que *la longitude du premier satellite, moins trois fois celle du second, plus deux fois celle du troisième, est constamment égale à la demi-circonférence.*

Cela conduit à des positions particulières des satellites dont une illustration est donnée ci-dessous :



Source : www.techno-science.net

Io est le plus proche de Jupiter, puis vient Europe et enfin Ganymède. Callisto a un mouvement à part.

A l'aide de ce télescope, il a pu observer aussi les tâches apparaissant sur le Soleil.

Il publie en 1610 (l'année de la mort d'Henri IV) ses observations et commentaires dans un livre

Le messenger Céleste.

Le succès est très important. Galilée quitte l'Université de Padoue pour un poste de Mathématicien et Philosophe auprès du Grand Duc de Florence, Cosme III de Médicis.

Mais cette intense activité dérange en particulier l'Eglise. Galilée est accusé de subvertir la philosophie naturelle d'Aristote et les Saintes Ecritures. Comme il ne tient pas compte de ces critiques, il est appelé auprès du Commissaire de l'Inquisition à Rome en 1632. Galilée, âgé de soixante dix ans, doit abjurer le 22 Juin 1632. L'Eglise romaine a gagné, comme le montre le tableau ci-dessous :



“Galilée devant le Saint-Office en 1632”. J. Nicolas. Huile sur toile, Musée du Louvre.

Galilée est d'abord envoyé à Sienna en résidence surveillée à l'Evêché, puis il est autorisé à revenir à Florence en 1638 lorsqu'il devient aveugle.

A partir de 1639, Galilée héberge certains de ses élèves en particulier **Evangelista Torricelli**, l'inventeur du baromètre. Galilée meurt à Florence en 1642 aux premiers jours de Janvier. **Isaac Newton**, Mathématicien et Physicien anglais naît le jour de Noël de la même année.

Newton devait beaucoup à ses devanciers. Il disait :

Si j'ai vu plus haut que les autres, c'est que j'étais monté sur des épaules de géant.

En 1992, trois cent cinquante neuf ans après avoir dû abjurer devant le tribunal de l'Inquisition, Galilée est réhabilité par l'Eglise sous le règne du Pape Jean-Paul II. On peut lire à ce sujet, [36].

Encore un numéro de l'Astronomie à ne pas manquer :

“Galilée, Inventeur de l'Astronomie moderne” n^o 20 Octobre 2009. Il y a aussi le livre “Angelo et le messenger des étoiles” de Béa Deru Renard, Collection Archimède l' Ecole des Loisirs. Une pièce de théâtre a été écrite et interprétée par des élèves du Réseau Ambition Réussite de Corbeil-Essonne. Pour cela consulter le site

<http://www.cijm.org>

Lunettes astronomiques



En 1888, la grande lunette de l'Observatoire de Nice a permis le recensement de plus de 2000 étoiles doubles. Un record à l'époque !

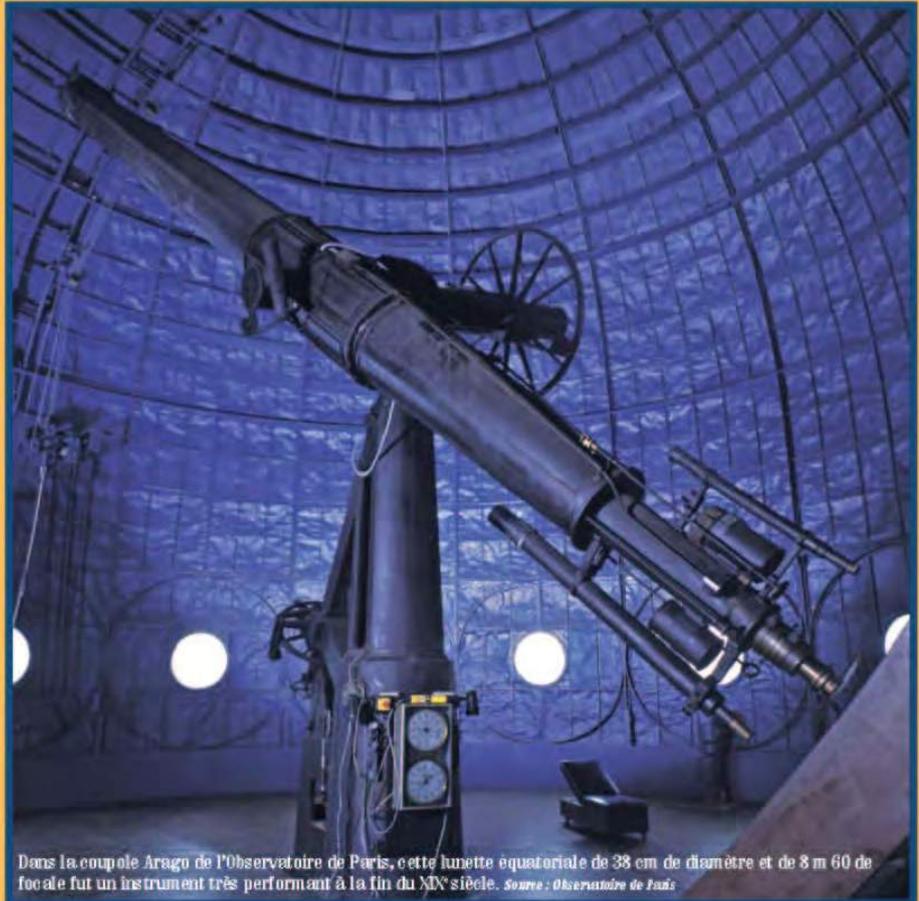
Source : Observatoire Côte d'Azur



La plus grande lunette du monde de 102 cm a été construite à la toute fin du XIX^e siècle à Yerkes (USA)

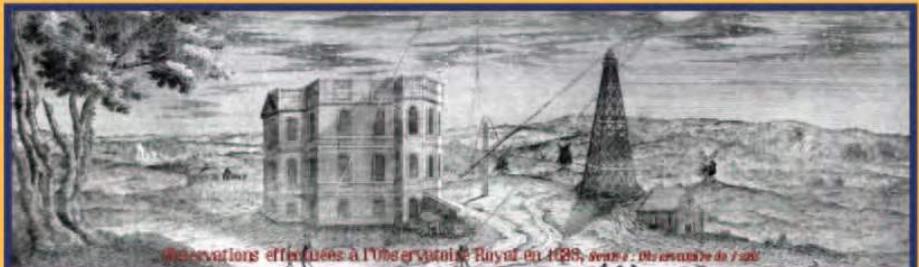


La grande lunette de l'Observatoire de Meudon est une lunette double avec un objectif de 83 cm pour l'observation visuelle et un objectif de 62 cm pour l'observation photographique. Chacune a une focale d'environ 16 m. Source : Observatoire de Paris



Dans la coupole Arago de l'Observatoire de Paris, cette lunette équatoriale de 38 cm de diamètre et de 8 m 60 de focale fut un instrument très performant à la fin du XIX^e siècle. Source : Observatoire de Paris

Avec ses lentilles convergentes, la lunette astronomique obtient une image grossie d'une partie du ciel. Elle est plutôt spécialisée dans l'observation des planètes. Au-delà d'un mètre de diamètre, il devient difficile de construire de bonnes lunettes et les astronomes se sont tournés vers les télescopes.



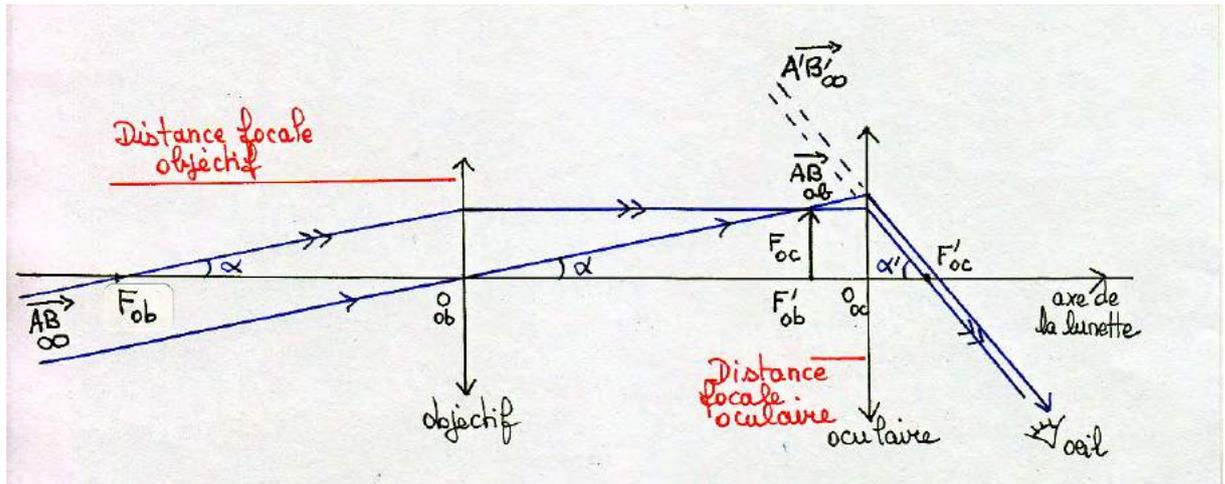
Observations effectuées à l'Observatoire Royal en 1685, dessin : Observatoire de Paris



Instruments astronomiques d'Yerkes aujourd'hui

4 Lunettes astronomiques

Une lunette astronomique est constituée d'un assemblage de lentilles convergentes. La propriété principale d'une lentille convergente est que l'image d'un objet à l'infini est située dans le plan focal image de la lentille. Une lunette est constituée d'un objectif de grand diamètre et d'un oculaire. L'image ci-dessous présente la trajectoire des rayons lumineux à travers le système optique ainsi constitué. L'oculaire est placé de telle façon que son foyer objet soit situé au foyer image de l'objectif. L'image donnée par l'objectif est renversée. L'image définitive est renvoyée à l'infini. C'est le principe de la lunette de Galilée améliorée par Képler en 1611 et apparue seulement en 1617.



$$G = \frac{\text{Distance focale objectif}}{\text{Distance focale oculaire}} = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

Objectif

L'objectif est la pièce maîtresse de l'instrument. Son rôle est de donner une image des objets très éloignés dans une direction voisine de l'axe de la lunette. Sur la grande lunette de l'Observatoire de Nice, il est constitué d'une lentille convergente en crown et d'une lentille divergente en flint. Le crown est un verre contenant de la silice, de la chaux et de la soude. Le flint contient du plomb. Le diamètre de l'objectif de la grande lunette de l'Observatoire de Nice est de 76 cm. Cette disposition permet d'obtenir des images nettes. Pour protéger l'objectif, un système de cache appelé "marguerite" par les uns ou "iris" par les autres est installé pour obturer la lunette quand elle ne sert pas.

Le pouvoir séparateur d'une lunette dépend essentiellement du diamètre de son objectif. Il est inversement proportionnel à ce diamètre. Donc plus ce diamètre est grand et plus il est possible de séparer des objets très proches.

Oculaire

Sur le devant de la lunette se trouve un jeu d'oculaires interchangeables donnant des grossissements différents.

Le grossissement est le rapport entre la distance focale de l'objectif et celle de l'oculaire. Plus la distance focale de l'objectif est grande et plus le grossissement est important. Les lunettes sont donc des instruments très longs.

La grande lunette de Nice a une distance focale de 17,89 m pour la raie jaune 5890 du sodium correspondant à la meilleure sensibilité de l'oeil. La longueur totale de l'instrument est de l'ordre de 18.50 m, pour une masse d'environ 6 tonnes. Ces structures mécaniques sont fragiles et pour des raisons de flexion, il est difficile d'allonger encore ces lunettes. La grande coupole de l'Observatoire de Nice, inaugurée en 1881, se compose d'une construction carrée de 26.40 m de côté et de 11 m d'élévation, oeuvre de Charles Garnier et d'une coupole métallique, oeuvre de Gustave Eiffel. Voir à ce sujet [4], [31], [32].



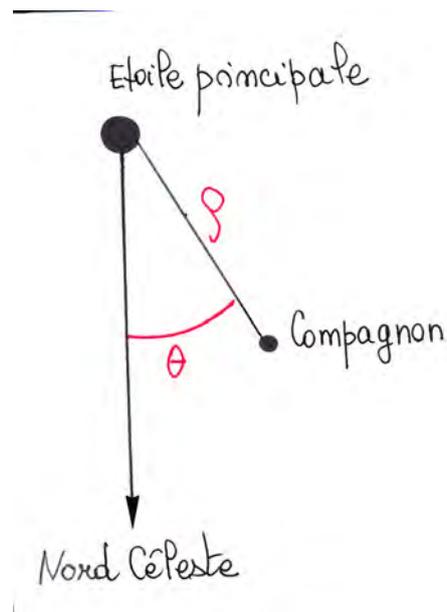
©Observatoire Nice-Côte d'Azur

Les lunettes comme celles de l'Observatoire de Nice ou celle de l'Observatoire de Meudon qui souffrent à l'heure actuelle d'une certaine désaffection, ont été longtemps spécialisées dans l'observation visuelle des étoiles doubles. Une étoile double est composée d'une étoile principale autour de laquelle gravite un compagnon. Et pourtant Paul Cousteau dans [18] défend l'instrument sur lequel il a longtemps travaillé.

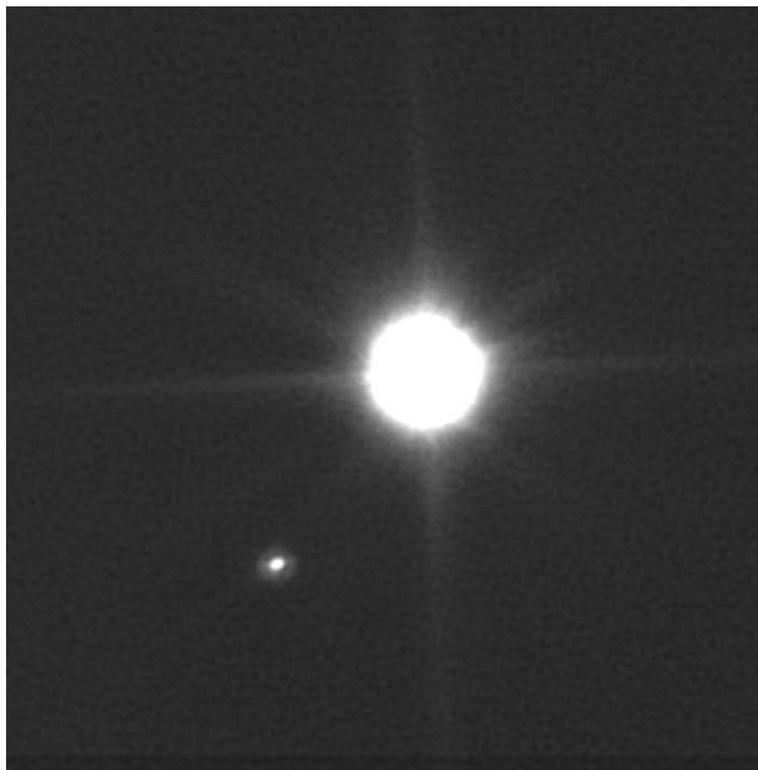
La mesure des étoiles doubles est typiquement une observation à haute résolution. Elle exige des instruments donnant des images théoriques de diffraction pouvant être examinées avec des grossissements suffisants. Les grandes lunettes de la fin du siècle dernier soutiennent bien la comparaison pour la haute résolution avec les meilleurs télescopes modernes.

Les lunettes sont moins lumineuses que les télescopes, plus sélectives, moins adaptées à la réception d'appareils auxiliaires. Elles sont donc réservées aux travaux d'astrométrie dont la mesure des étoiles doubles est une partie importante.

Mesurer une étoile double consiste à déterminer les coordonnées polaires du compagnon par rapport à l'étoile principale prise comme origine, comme sur le schéma ci-après :



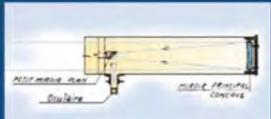
Voici une image de l'étoile polaire qui est une étoile double.



©J. M. Leclaire. Télescope 310 mm

L'étoile principale est au centre, la plus brillante. Le compagnon est en-dessous vers la gauche. A l'aide d'un oculaire muni d'un micromètre, il est possible de déterminer l'angle que fait le compagnon avec le nord céleste ainsi que sa distance de l'étoile principale. L'étoile polaire est de magnitude 2, son compagnon de magnitude 8.2. (La magnitude traduit la brillance d'une étoile. Plus elle est faible et plus l'étoile est brillante). L'écartement des deux étoiles est de 17" d'arc. L'étoile polaire est toute proche du pôle Nord. Elle est située dans le Septentrion qui désigne les sept étoiles de la Grande Ours et de la Petite Ours.

Télescopes et miroirs



Principe du télescope de Newton



Réplique du télescope de Newton
Source : www.museum-history-of-science.com

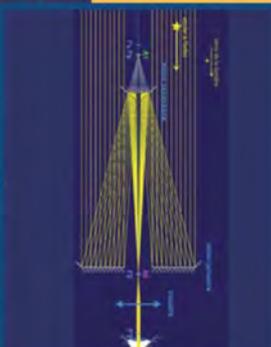


Schéma du télescope inventé par le français Cassegrain en 1672.

Source : www.sciences.univ-nantes.fr



Les plus récentes générations de télescopes adoptent le schéma que l'ingénieur *Nasmyth* inventa en 1842. Un troisième miroir réfléchit le faisceau lumineux vers un oculaire fixe permettant l'utilisation d'appareillages lourds et interchangeables.
Illustration Takaatsu Nensho - Nikkei Science



Image du futur télescope Européen E-ELT. Son miroir principal d'un diamètre de 42 mètres sera composé d'un assemblage de miroirs hexagonaux de 5 cm d'épaisseur placés sur un berceau de 1000 vérins capable de changer la forme du collecteur plusieurs centaines de fois par seconde. *Source ESO*

Avec leur miroir, les télescopes récupèrent la lumière y compris la lumière parasite ; c'est pourquoi on tente d'installer les plus grands en altitude loin de toute pollution lumineuse. Plus leur diamètre est grand, plus ils permettent l'observation d'objets faibles et diffus dont on peut faire, entre autres, l'analyse spectrale.



L'atmosphère déforme les ondes lumineuses qui nous parviennent. Grâce à la technique de l'optique adaptative on peut corriger ces défauts en déformant le miroir primaire posé sur de nombreux vérins. Sur la photo, on peut voir le berceau qui reçoit le miroir principal du VLT et les vérins qui permettent en temps réel, d'obtenir des images d'une grande netteté.



Instruments astronomiques d'hier à aujourd'hui

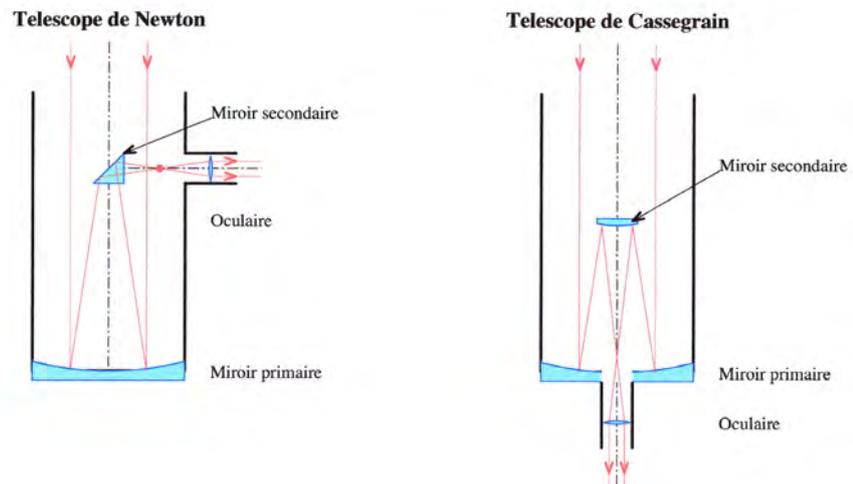
5 Télescopes et miroirs

Le grossissement des lunettes est proportionnel à la distance focale de l'objectif. Donc une lunette performante doit être très longue. Ce qui entraîne des anomalies dans la rigidité de ces longs tubes. Devant ces difficultés mécaniques rencontrées pour augmenter le grossissement des lunettes, les astronomes ont développé depuis Galilée des télescopes basés sur les propriétés réfléchissantes des miroirs.

Un miroir sphérique est une portion de sphère réfléchissante, le plus souvent une calotte sphérique. Les miroirs d'un télescope sont des miroirs concaves, la surface réfléchissante étant du même côté que le centre de la sphère. Le grossissement d'un télescope est fonction du rayon de courbure du miroir sphérique. Il est maintenant possible de réaliser des miroirs de très grand rayon de courbure en juxtaposant des petits miroirs.

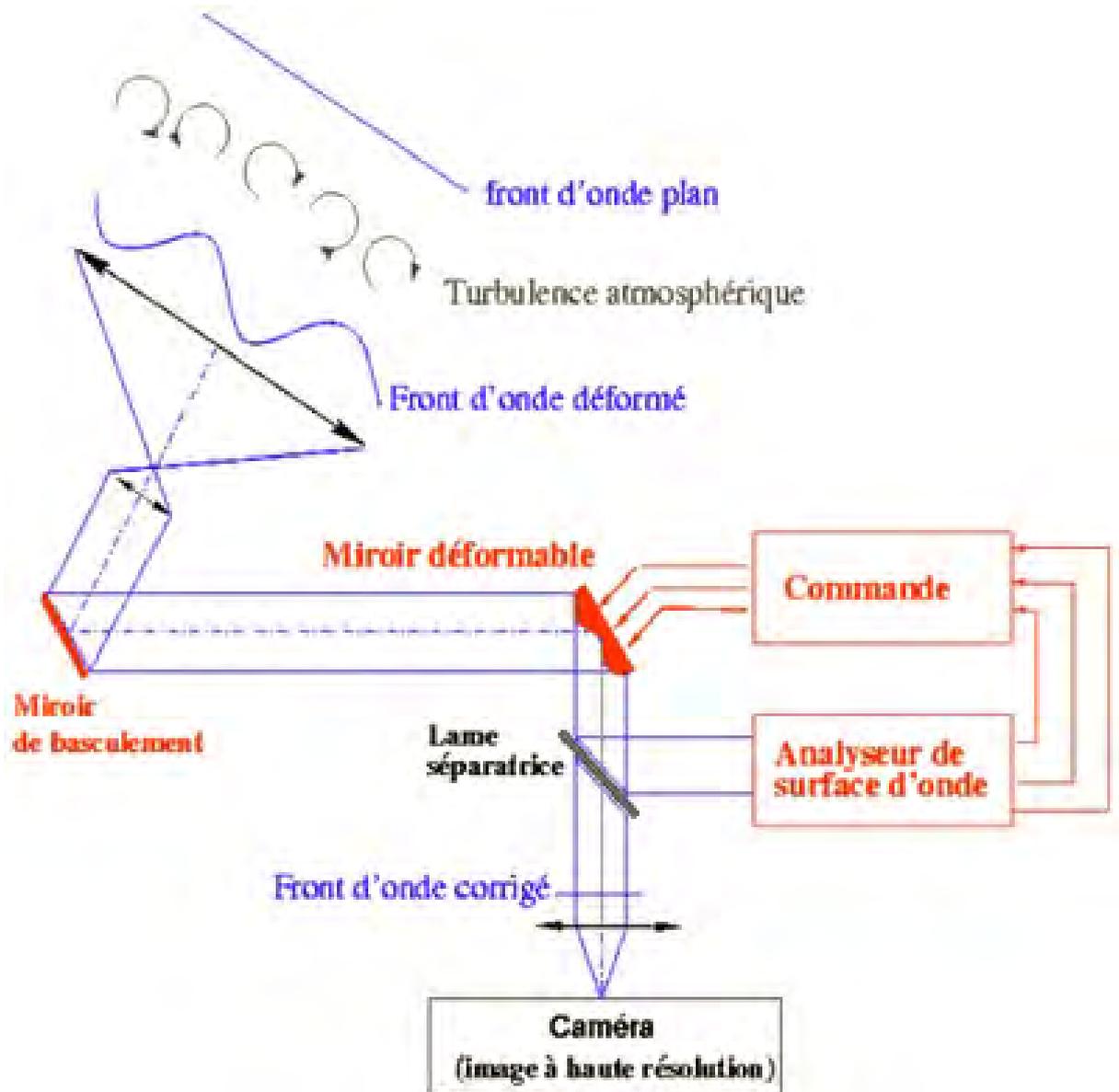
Les télescopes sont des grands collecteurs de lumière (y compris la lumière parasite). Pour un faible encombrement, un télescope permet à des astronomes amateurs d'observer le ciel et de faire des photographies de façon très agréable.

Il y a deux types de télescopes suivant le montage du miroir secondaire (voir le schéma ci-dessous). Les télescopes permettent alors d'installer au niveau de l'oculaire un appareillage lourd comme un spectromètre.



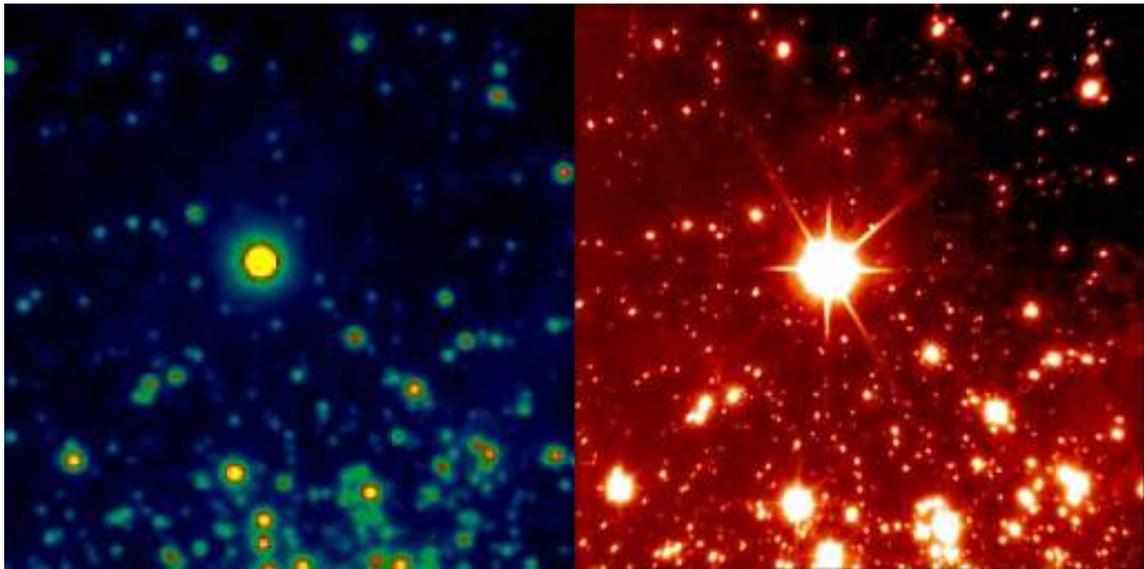
extrait de [41]

Tycho Brahé avait déjà remarqué les déformations produites sur les ondes lumineuses par l'atmosphère. Pour utiliser pleinement les capacités des télescopes, il a fallu trouver une méthode pour corriger les effets néfastes de l'atmosphère. C'est grâce à la technique de l'Optique Adaptative, qu'il est possible de corriger en temps réel les déformations des images obtenues. Le système d'optique adaptative NAOS (Nasmyth Adaptive Optics System) a été mis au point par l'ONERA (Département DOTA) et les observatoires de Paris et de Grenoble. Son principe est le suivant :



©ONERA Recherches Aérospatiales

La lumière issue du front d'onde déformé par la turbulence de l'atmosphère passe à travers un analyseur qui définit une commande de correction mise en oeuvre par un miroir déformable. Le front d'onde corrigé atteint ensuite une Caméra à haute résolution. Voici un exemple d'image obtenue.



©LESIA. Observatoire de Paris

L'image de gauche représente l'amas stellaire dense NGC 3603 dans la constellation de la Carène, obtenue sans correction à l'aide de la caméra ISAAC du VLT de l'ESO sur le mont Paranal au Chili. A droite l'image du même amas d'étoiles est corrigée par le système NAOS. Des détails fins apparaissent surtout dans l'infrarouge. L'Optique Adaptative permet au télescope de sonder toujours plus loin l'Univers.

Pour plus d'informations, voir les liens suivants :

<http://www.onera.fr/conference/naos>

<http://www.onera.fr/actualites/2008-0194-optique-adaptative.php>

<http://www.eso.org/projects/aot/>

<http://www-laog.obs.ujf-grenoble.fr/>

<http://www.lesia.obspm.fr/>

Plaque photographique



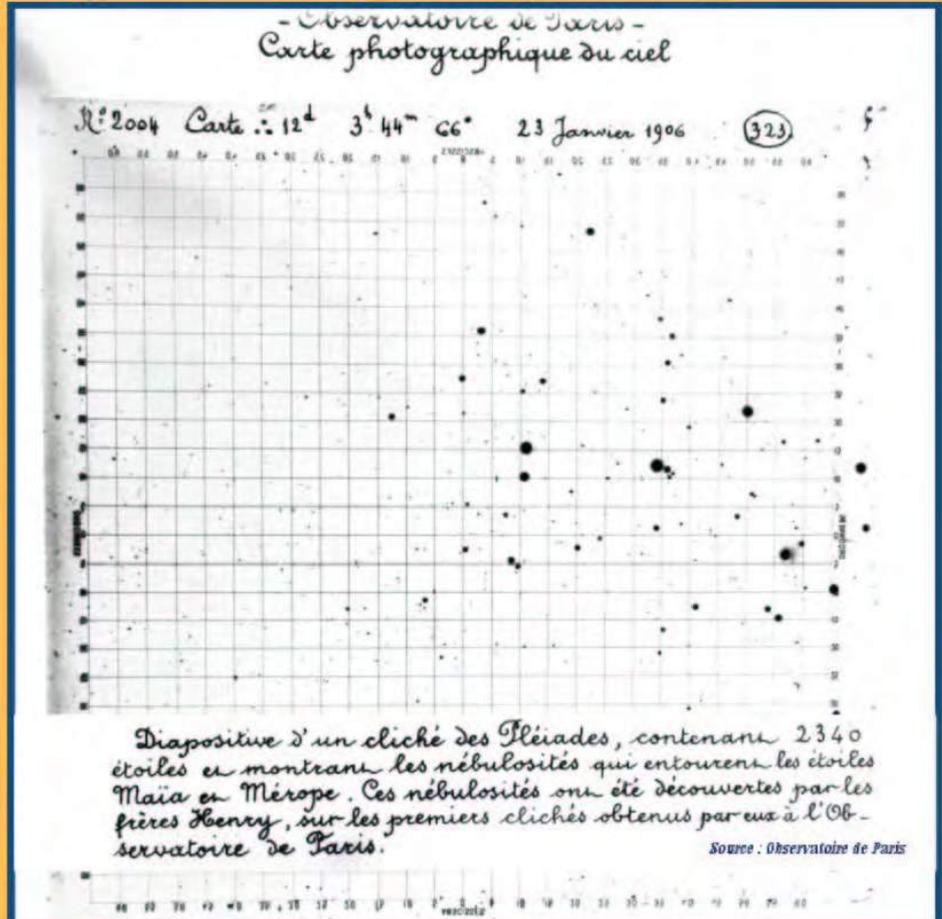
Les précieux coffrets qui renferment les plaques photographiques du ciel
Source : Observatoire de Paris



Appareil parallactique installé à l'Observatoire de Paris au XIX^e siècle pour la photographie
Source : Observatoire de Paris



De 1894 à 1909, les astronomes Lohy et Buisson dirigent un programme de photographies de la Lune
Source : Observatoire de Paris



La plaque photographique repousse les limites de l'observation oculaire : elle élimine la subjectivité de l'observateur, elle enregistre un maximum d'informations lumineuses et elle les fixe. Elle a permis, par une collaboration mondiale, la réalisation de la première carte du ciel de grande précision.



Instrumente astronomiques d'aujourd'hui

6 Plaque photographique

Les observateurs des XVI^e au XIX^e siècles étaient de très bons dessinateurs. Mais c'est la maîtrise de l'utilisation de la plaque photographique qui a permis une grande avancée dans l'observation.

Les frères Prosper et Paul Henry, astronomes à l'Observatoire de Paris ont résolu les problèmes de l'astrométrie photographique dans les années 1885. Leur astrographe est un équatorial formé de deux lunettes accolées et de même longueur, l'objectif principal étant photographique (corrigé pour la lumière violette), l'autre objectif servant au contrôle visuel de l'entraînement.

Les performances de l'astrographe étaient telles que l'Académie des Sciences organisa *un Congrès International* en vue de l'établissement **d'une carte générale du Ciel**. Ce congrès, réuni en 1887 à l'Observatoire de Paris décida que la carte comprendrait toutes les étoiles jusqu'à la magnitude 14 et que lui serait adjoint un catalogue des positions des étoiles de magnitude 11. Le travail fut réparti entre dix huit Observatoires de part le monde, chacun étant équipé d'un instrument identique à celui qu'avaient construit les frères Henry.

Un comité permanent, chargé de suivre l'évolution des travaux, coordonnées par l'Amiral Mouchez, Directeur de l'Observatoire de Paris s'est réuni en 1889 ; ensuite, les Directeurs successifs de l'Observatoire de Paris ont pris la relève :

- François Félix Tisserand en 1896,
- Maurice Loewy en 1900 et
- Benjamin Baillaud en 1909.

Après la première guerre mondiale, c'est à l'Union Astronomique Internationale qu'incomba le contrôle de l'entreprise. Celle-ci fut d'abord dirigée par

- H. Turner (Observatoire d'Oxford) jusqu'en 1930,
- puis depuis Paris par Ernest Esclangon,
- Jules Billaud (fils de Benjamin Billaud)
- enfin Paul Couderc.

Il avait été prévu, pour permettre la détermination des mouvements propres des étoiles, de reprendre les clichés aux alentours de 1950, de sorte que l'opération ne fut terminée qu'en 1970.

Les documents réunis, qui fixent l'état du ciel à des époques déjà anciennes, ont une valeur d'archives inestimable. Pour les besoins de l'Astronomie spatiale on entreprend actuellement, dans plusieurs pays, de remesurer les clichés par des techniques modernes plus rapides et de haute précision.

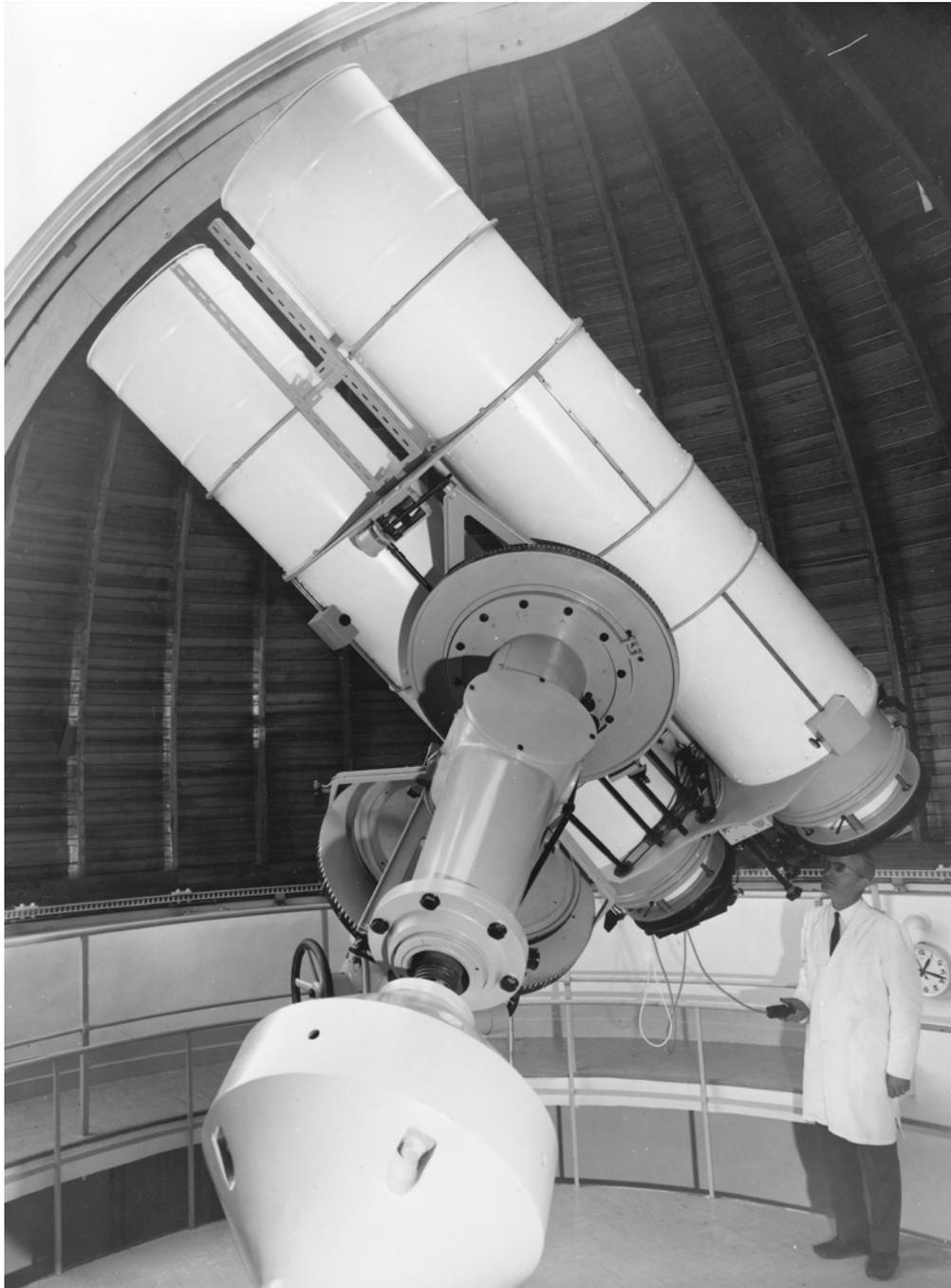
(D'après Suzanne Débarbat).

Pour plus de détails voir les deux sites suivants :

<http://www.grandpublic.obspm.fr>

<http://www.obspm.fr>

L'Astrographe est un instrument très précieux pour les mesures astrométriques. Ci-dessous l'astrographe de l'Observatoire de Nice est représenté. Il a longtemps été spécialisé dans l'étude des Comètes et des Astéroïdes.



©Observatoire de Nice Côte d'Azur

Cette lunette photographique double à grand champ possède une monture équatoriale allemande. Les objectifs ont un diamètre de 40 cm et une distance focale de 2 m. Elle est munie d'un pointeur de 20 cm de diamètre et de 3 m de distance focale. Les plaques photographiques peuvent atteindre 24 cmx30 cm. Un plancher mobile évite à l'astronome d'utiliser un escalier roulant.

Cet instrument est une oeuvre unique. Il date de 1933 et a été installé à l'Observatoire de Nice par l'entreprise Zeiss de Iéna. C'est un dommage de guerre demandé pour l'Observatoire par son directeur Gaston Fayet. La machine à mesurer les clichés photographiques a été construite par Edouard Bouty à Paris en 1934. Cet instrument a été utilisé pour la découverte des petites planètes jusqu'en 1985, en particulier par B. Milet l'Astronome photographié sur l'image précédente.

Il a servi depuis à tester des montages expérimentaux destinés à être portés sur des instruments plus modernes dans des sites moins urbains.

Voici deux clichés pris dans les années 1960 par l'Astrographe de l'Observatoire de Nice, avant que la pollution lumineuse ne soit trop importante.



©Observatoire Nice-Côte d'Azur

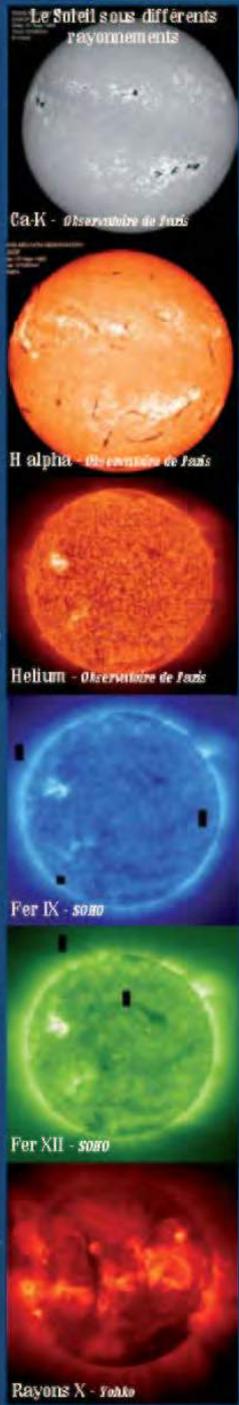
Amas double de Persée



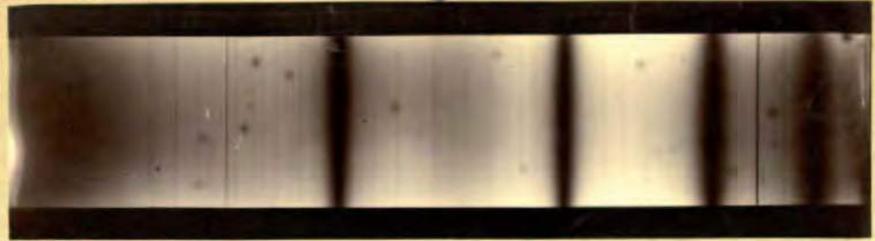
©Observatoire Nice-Côte d'Azur

Galaxie d'Andromède

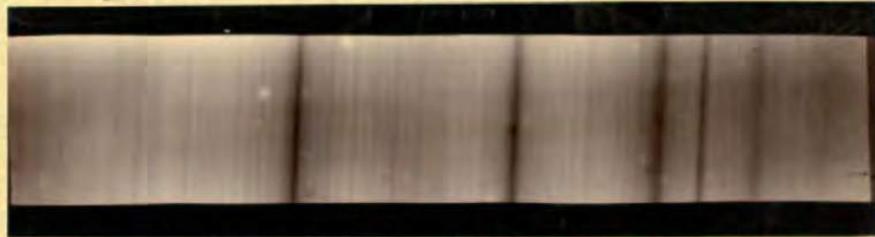
Analyse de la lumière



Photographie du spectre de Vega... L'écume de flint de H5°.



Photographie du spectre d'Altaïr... L'écume de flint de H5°.



par M. M^{rs} Henry.

Source : Observatoire de Paris

La spectrographie, en analysant la lumière, nous a permis de connaître la composition chimique des étoiles. La lumière visible ne concerne qu'une petite partie du rayonnement. Aujourd'hui, les astronomes cherchent à étudier l'image d'un objet à toutes les longueurs d'onde.

Photographie récente du spectre de Véga de la constellation de la Lyre



Photographie récente du spectre d'Altaïr de la constellation de l'Aigle

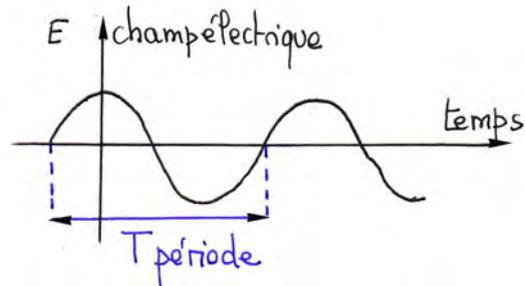


Instrumente astronomiques d'Or et depuis d'Or

7 Analyse de la lumière

Jusqu'à ces dernières années, la connaissance de la physique des astres résultait essentiellement de l'analyse des radiations électromagnétiques que l'atmosphère terrestre voulait bien laisser parvenir jusqu'au sol. Deux domaines de rayonnement nous étaient autorisés : le rayonnement lumineux et le rayonnement radio qui sera présenté sur le panneau Radioastronomie n° 8.

Les rayonnements lumineux et radio sont caractérisés par leur longueur d'onde λ car ce sont des phénomènes physiques se reproduisant périodiquement, la période étant notée T , l'unité étant la seconde. Par exemple, un champ électrique E périodique se représente de la façon suivante :



La longueur d'onde λ dont l'unité est le mètre, est la distance parcourue par l'onde durant une période T , à la vitesse c dont l'unité est le mètre/seconde.

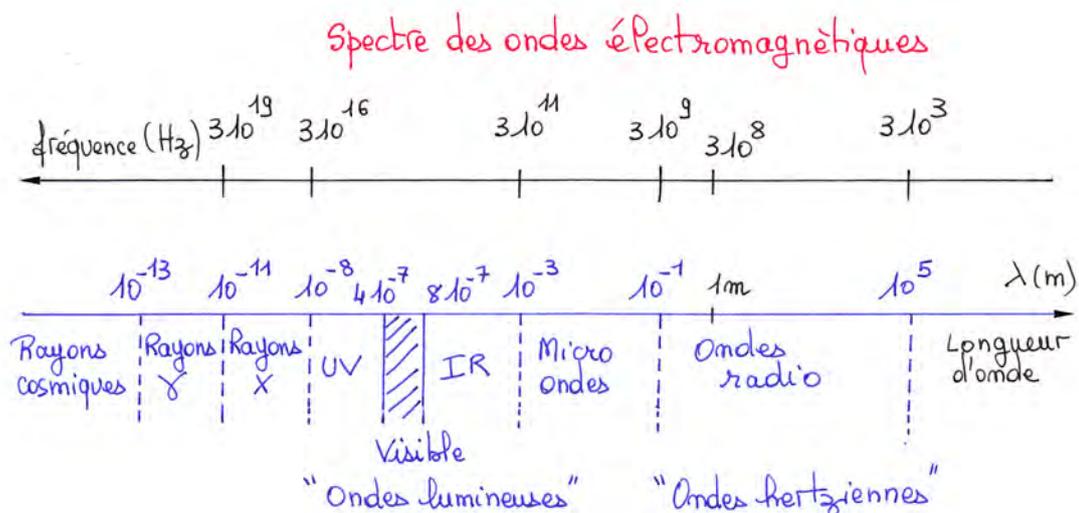
$$\lambda = cT.$$

On définit aussi la fréquence ν par

$$\nu = \frac{1}{T}.$$

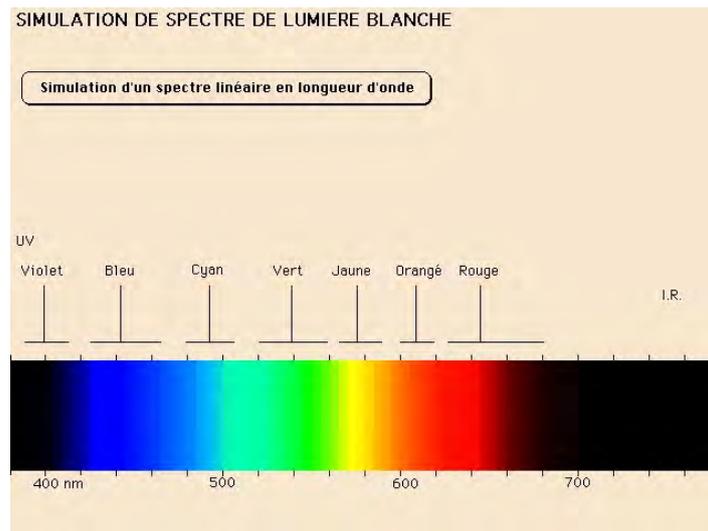
L'unité est le Hertz (Hz).

La coutume chez les physiciens veut que la longueur d'onde soit utilisée pour le rayonnement lumineux et la fréquence pour le rayonnement radio. Voici le spectre des ondes électromagnétiques :

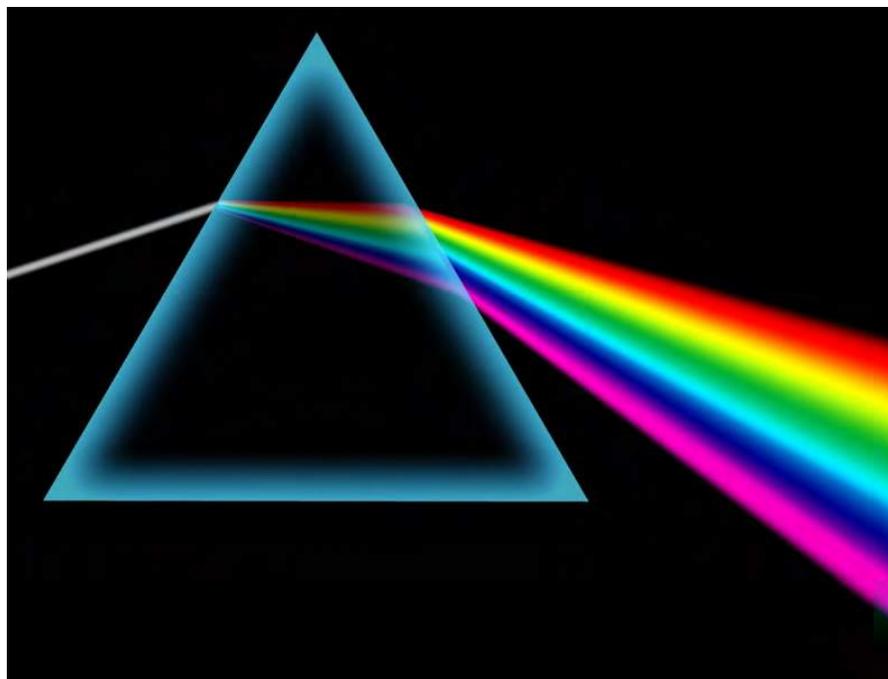


La fenêtre optique s'étend de 3000 angströms ($3 \cdot 10^{-7}$ mètre) dans l'ultraviolet jusqu'aux environs de 20 microns ($2 \cdot 10^{-5}$ mètre) dans l'infra-rouge.

Voici le spectre de la lumière blanche



Il est très important de connaître la composition chimique des étoiles et des planètes pour envisager les voyages intersidéraux. L'étude détaillée des spectres stellaires montre que l'abondance des différents éléments chimiques n'est pas la même dans tous les astres. Pour connaître leur composition, le spectrographe est le moyen le plus approprié pour analyser la lumière provenant de ces astres. La construction de puissants télescopes a permis de mettre en place à leur côté ces moyens lourds. Le spectrographe permet de décomposer la lumière soit à l'aide d'un prisme, soit à l'aide d'un réseau, comme le montre le schéma suivant :

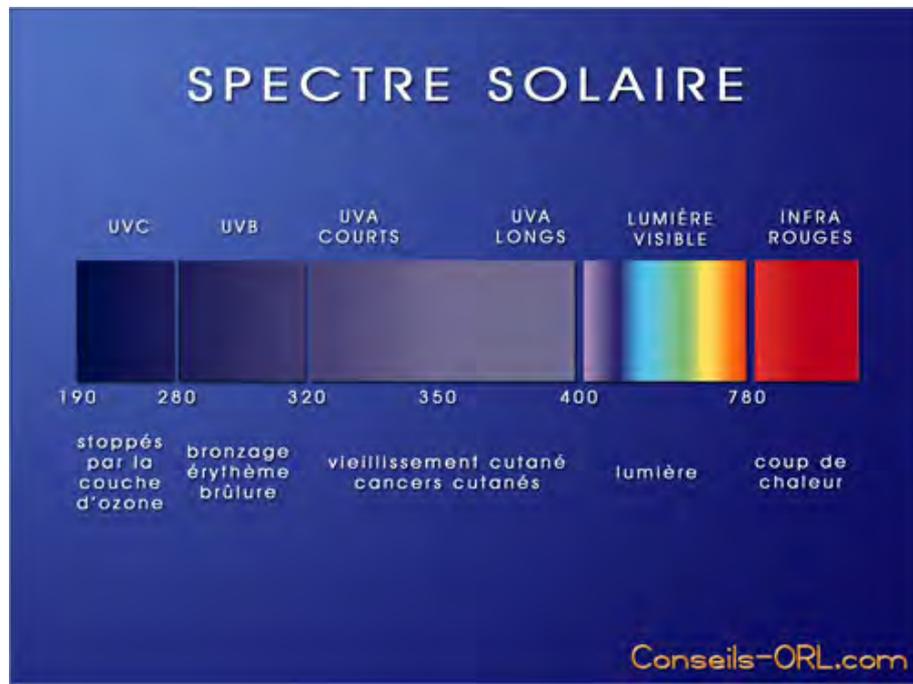


Les différents spectres rencontrés dans l'analyse de l'Univers permettent les classifications suivantes.

- Les étoiles fixes ont été classées en plusieurs catégories spectrales, suivant leur couleur et la structure de leurs spectres. Elle émettent essentiellement un spectre continu sillonné de raies et de bandes d'absorption.

Plus la température est élevée, plus le maximum d'intensité du spectre d'émission continu est situé vers les courtes longueurs d'onde.

Les étoiles bleues sont les plus chaudes. Leur température dépasse 10000 degrés. Les étoiles blanches et jaunes ont des températures comprises entre 10000 et 5000 degrés. Enfin, les étoiles les moins chaudes ont un aspect un peu rougeâtre. C'est ainsi que le spectre du Soleil a pu être obtenu pour mettre en évidence la nocivité de certains rayonnements :

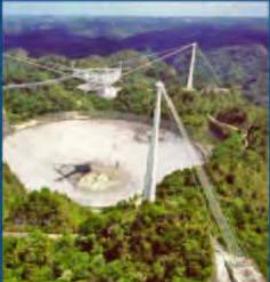


- Les spectres des nébuleuses gazeuses et de la couronne solaire sont essentiellement des spectres d'émission d'une atmosphère de faible densité. Les raies du spectre de la couronne solaire correspondent à des ions Fer et Nickel.
- La lumière des planètes est essentiellement de la lumière solaire diffusée par leur atmosphère ou leur surface, mais leur spectre contient des bandes d'absorption caractéristiques qui nous renseignent sur la composition de leur atmosphère.
- Les spectres des comètes sont essentiellement des spectres de fluorescence excités dans le visible par la lumière solaire.

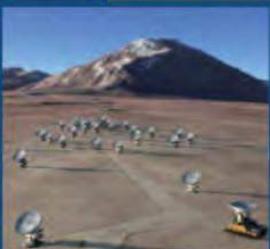
On pourra trouver des expériences simples de décomposition et recombinaison de la lumière dans le livre :

L'Astronomie est un jeu d'enfant de Mireille Hartmann
Collection La main à la Pâte, Editions Le Pommier.

Radioastronomie



Le radiotélescope d'Arecibo, avec son miroir fixe de 300 m de diamètre, est le plus grand du monde.
Source NAO - Arecibo Observatory, a facility of the NSF



Vue d'artiste d'ALMA, au Chili. Ce futur ensemble de radiotélescopes constituera un puissant interféromètre travaillant dans les ondes submillimétriques.
Source ESO



Vue des antennes Nord-Sud du Radiohéliographe de Nançay, réseau interférométrique, spécialisé dans les images de la couronne solaire.
Station de Radioastronomie de Nançay, Observatoire de Paris/CNRS



Vue des deux antennes du Radiotélescope décimétrique de la Station de Radioastronomie de Nançay. Construit en 1960, c'est un des télescopes les plus performants. *Station de Radioastronomie de Nançay, Observatoire de Paris, CNRS/INSU*

Pour observer dans les grandes longueurs d'onde, hors du domaine visible, la radioastronomie s'est imposée après guerre. Elle a permis de nombreuses découvertes et sera une branche majeure de l'astronomie du futur.



Couplées entre elles, les antennes du futur radiotélescope LOFAR (Low Frequency ARry), situées dans plusieurs pays européens et pour la partie française sur le site de la Station de radioastronomie de Nançay, ne feront qu'un seul immense télescope travaillant dans les basses fréquences.

Photo de l'Institut ASTRON / NL



8 Radioastronomie

La Radioastronomie comme la spectrographie va capter les ondes électromagnétiques pour explorer l'Univers mais cette fois-ci dans un très large spectre de longueur d'onde correspondant aux ondes radio. Les astres ne produisent aucun son (qui ne pourrait d'ailleurs pas se propager dans le vide). Les ondes radio que l'on reçoit des astres sont des ondes électromagnétiques comme la lumière mais à des longueurs d'onde différentes, dans une large bande spectrale.

Le son, lui, est une onde de pression qui ne peut se propager que dans un milieu solide, liquide ou gazeux.

Les domaines de l'observation radio concernent l'Univers, l'exploration de l'environnement terrestre et le système solaire.

La station de Radioastronomie de Nançay, située à une trentaine de kilomètres de Bourges, dans le Cher, est une unité scientifique de l'Observatoire de Paris chargée du développement et de l'application des techniques radio à l'Astronomie et à l'Astrophysique. Les longueurs d'onde étudiées sont comprises entre le centimètre et le kilomètre. Les miroirs sont constituées de réflecteurs métalliques de très grande dimension ou de nombreuses petites antennes comme celles utilisées pour recevoir la télévision.

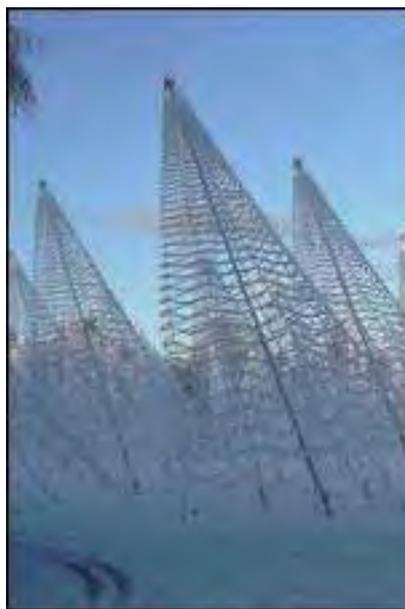
Le site de Nançay accueille de nombreuses installations toutes gigantesques.

- Le Radiohéliographe est un radiotélescope qui fait des images du soleil en ondes radioélectriques, c'est à dire pour :

$$0.7m < \lambda < 2m.$$

- Le réseau décamétrique pour des planètes comme Jupiter ou le soleil pour des longueurs d'onde décamétriques, c'est à dire pour :

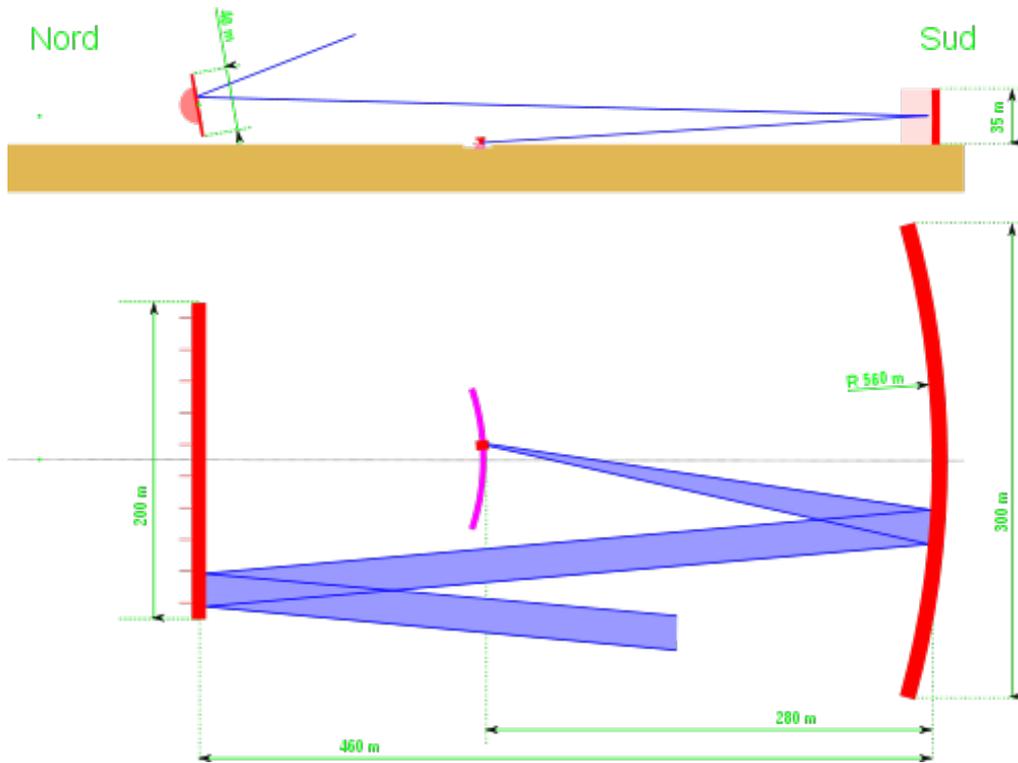
$$10m < \lambda < 1000m.$$



Source : www.obs-nancay.fr

- Le Radiotélescope pour l'observation dans des longueurs d'onde décimétriques. C'est le radiotélescope qui est représenté sur le panneau.

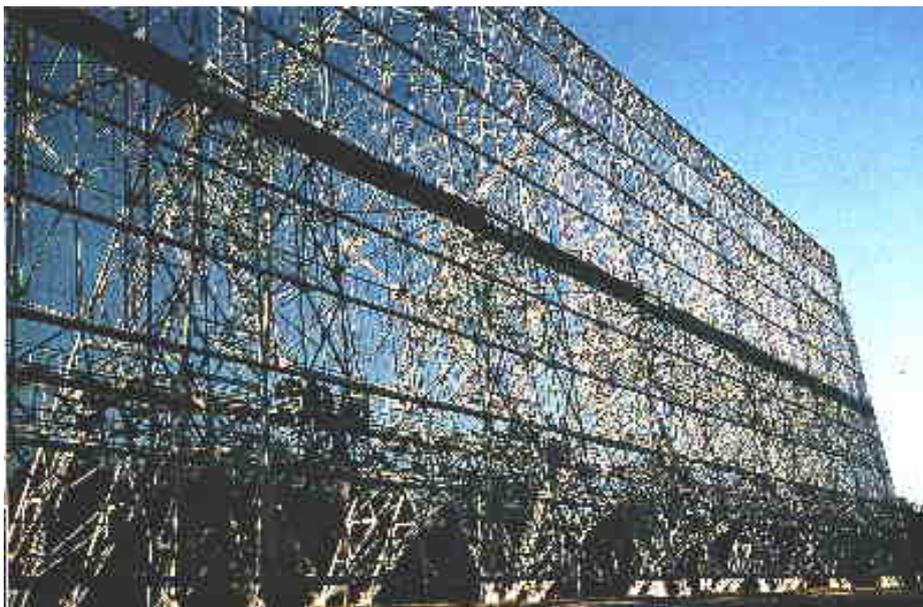
$$0.1m < \lambda < 1m.$$



Source : www.obs-nancay.fr

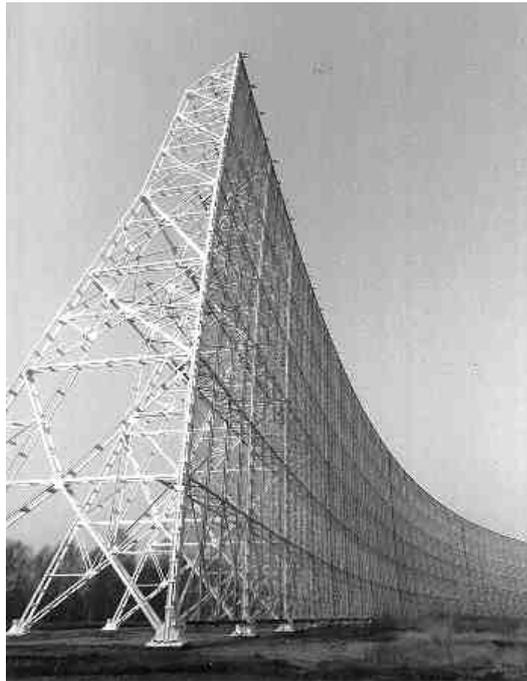
Le radiotélescope est symétrique par-rapport à un plan Nord-Sud, dit plan méridien. On ne peut observer les astres que lors de leur passage au voisinage de ce plan méridien. Le schéma ci-dessus montre le trajet des rayons à travers le radiotélescope.

- Les rayons arrivent sur le grand miroir-plan mobile de 200 m de long sur 40 m de hauteur. Il est inclinable et constitué d'un grillage métallique dont les mailles sont de 12.5 mm de côté. Il est situé au Nord. En voici une photographie.



Source : www.obs-nancay.fr

- A 460 m de ce premier miroir, au Sud, se trouve un miroir sphérique de 560 m de rayon, mesurant 300 m de longueur sur 35 m de hauteur, dont voici une photographie.



Source : www.obs-nancay.fr

- Il concentre en son foyer les ondes radio qui sont recueillies par les antennes.
- Les antennes sont situées sur un chariot qui roule sur une voie ferrée de 100 m de long. En voici une photographie.



Source : www.obs-nancay.fr

Elles transmettent les ondes radio à des amplificateurs en vue de les analyser.
Voir aussi les sites :

<http://www.obs-nancay.fr>

<http://www.insu.cnrs.fr>

Ce dernier est le site de l'Institut National des Sciences de l'Univers.

Grands observatoires



Observatoire de Kitt Peak
Tucson USA - Source : NMSO



Pollution lumineuse dans le monde - NASA & SSC



Observatoire de La Silla - Chili
Source : ESO



Répartition des observatoires
Lucy McNick

Les grands observatoires sont situés en altitude pour s'affranchir au mieux de l'humidité de l'air, de toute pollution en particulier lumineuse et pour profiter d'un nombre maximum de nuits claires.



Observatoire du Mauna Kea
à Hawaï
Source : Jean-Christophe Calabrese - CNET



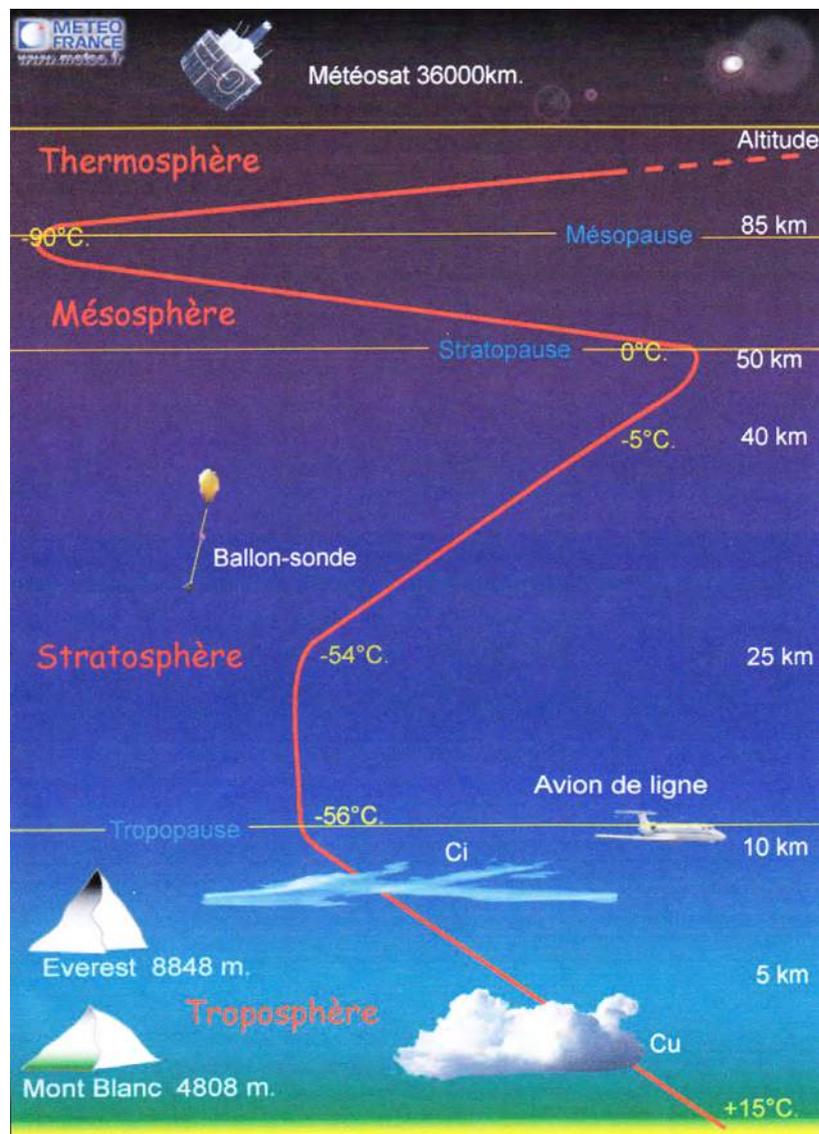
ANU - Les Atacama, KUEYEN du Lane, MELIPAR du Crou-du-Sud et YEPUN sont les quatre télescopes de 3 m de diamètre de l'Observatoire Européen du Paranal au Chili - Source : ESO



Instrumentation astronomique d'Etat à support d'Etat

9 Grands observatoires

Pour préparer les missions spatiales il a fallu continuer à améliorer les observations depuis la Terre en essayant de s'affranchir le plus possible des effets néfastes de l'atmosphère terrestre. Le schéma ci-dessous représente les grandes zones de l'atmosphère :



©MeteoFrance

L'atmosphère est une enveloppe gazeuse entourant la Terre essentiellement composée d'azote, d'oxygène, d'argon, de gaz carbonique et de divers gaz rares dont l'ozone. Cette enveloppe se compose également de vapeur d'eau provenant surtout de l'évaporation des mers et des eaux douces.

La Troposphère, située entre la surface du globe et une altitude d'environ 8 à 15 km, selon la latitude et la saison, contient 90% de la masse totale de l'atmosphère. La température diminue avec l'altitude d'à peu près 10°C tous les 1000 m. C'est dans cette partie que se trouve la plupart des phénomènes météorologiques.

C'est pourquoi, les grands observatoires construits depuis 40 ans sont situés, dans l'hémisphère Sud pour éviter la pollution lumineuse, proche d'un Océan pour les qualités de laminarité de l'air et en haute altitude.

Le Very Large Telescope (VLT)

Le VLT est un ensemble unique au monde de quatre télescopes construits au sommet du Mont Paranal au Chili par l'European Southern Observatory (ESO), déjà présent en Amérique du Sud avec l'Observatoire de La Silla. Cet observatoire est suffisamment proche de l'Océan Pacifique pour que l'atmosphère soit aussi laminaire que possible. Il est à une altitude de 2665 mètres. Après un temps d'acclimatation, les astronomes et les techniciens peuvent y travailler confortablement.

Chaque télescope a un diamètre de 8 mètres pour une masse de 23 tonnes.

Malgré toutes ces précautions, la résolution de l'instrument, c'est à dire sa capacité à percevoir des détails fins, ne dépend plus de la taille de son miroir, mais elle est limitée par les effets de la turbulence atmosphérique. C'est pourquoi le système d'optique adaptative NAOS (voir le panneau 5) est installé sur les télescopes du Mont Paranal. Pendant les dix années de la vie prévue de NAOS, le VLT fournira aux astronomes européens l'outil indispensable à l'étude des planètes du système solaire, des environnements stellaires et de l'évolution des galaxies,....

Voici une image issue des observations du Mont Paranal :



©VIMOS/ESO-LAM-OAMP-INSU

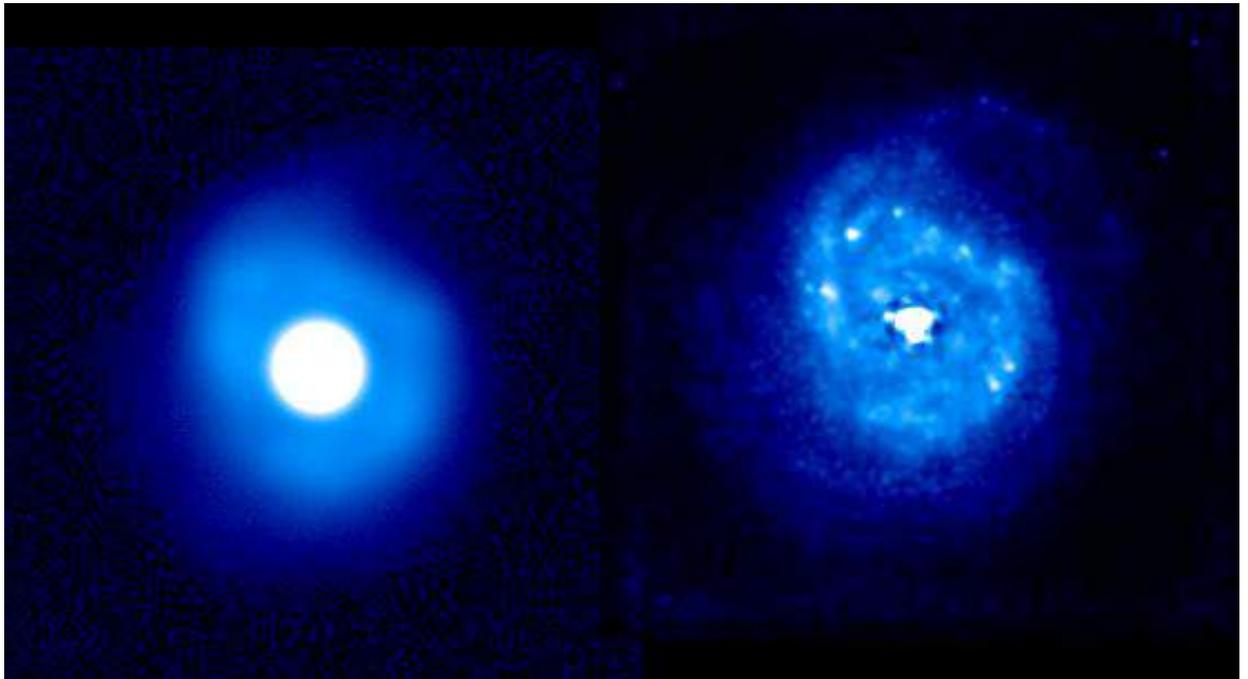
La photographie des galaxies NGC6769 et 6770 est prise avec le spectrographe VIMOS équipant l'un des télescopes du VLT de l'ESO. Ces deux galaxies sont en interactions. En dessous on aperçoit la galaxie NGC6771.

Le Canada France Hawaï (CFHT)

Cet observatoire est situé sur le volcan Mona Kea de l'île de Hawaï, à 4200 mètres d'altitude. C'est un des plus performants surtout lorsque l'optique adaptative NAOS est utilisée.

Comme il est très difficile pour un être humain de rester longtemps à cette altitude à cause du manque d'oxygène, toutes les opérations ont été automatisées et sont guidées depuis un bâtiment situé à une altitude d'environ 2000 mètres.

Voici une image obtenue au CFHT :



©CFHT

La Galaxie NGC7469 est observée sans optique adaptative à gauche et avec optique adaptative à droite.

Astronomie spatiale



Anneau de poussières autour du noyau de la galaxie M64
Source : HST - NASA



Coque de poussière et de gaz autour de l'étoile super géante V888 Monocerotis.
Source : HST - NASA



Galaxie spirale sur fond d'amas de galaxies. Certaines galaxies sont à plus de 13 milliards d'années lumière.
Source : HST - NASA



Après son ultime cure de jeunesse faite par l'équipage de la mission STS-125, le télescope spatial Hubble quitte la navette Atlantis pour observer l'espace quelques années encore. Il sera remplacé par le télescope spatial James Webb.

Source : NASA



En s'affranchissant de l'atmosphère, les télescopes spatiaux ouvrent de nouvelles fenêtres sur notre Univers, en observant dans des domaines de longueurs d'onde inaccessibles depuis la Terre.



Groupe d'étoiles dans le nuage de Magellan à 179 000 années lumière.

Source : HST - NASA



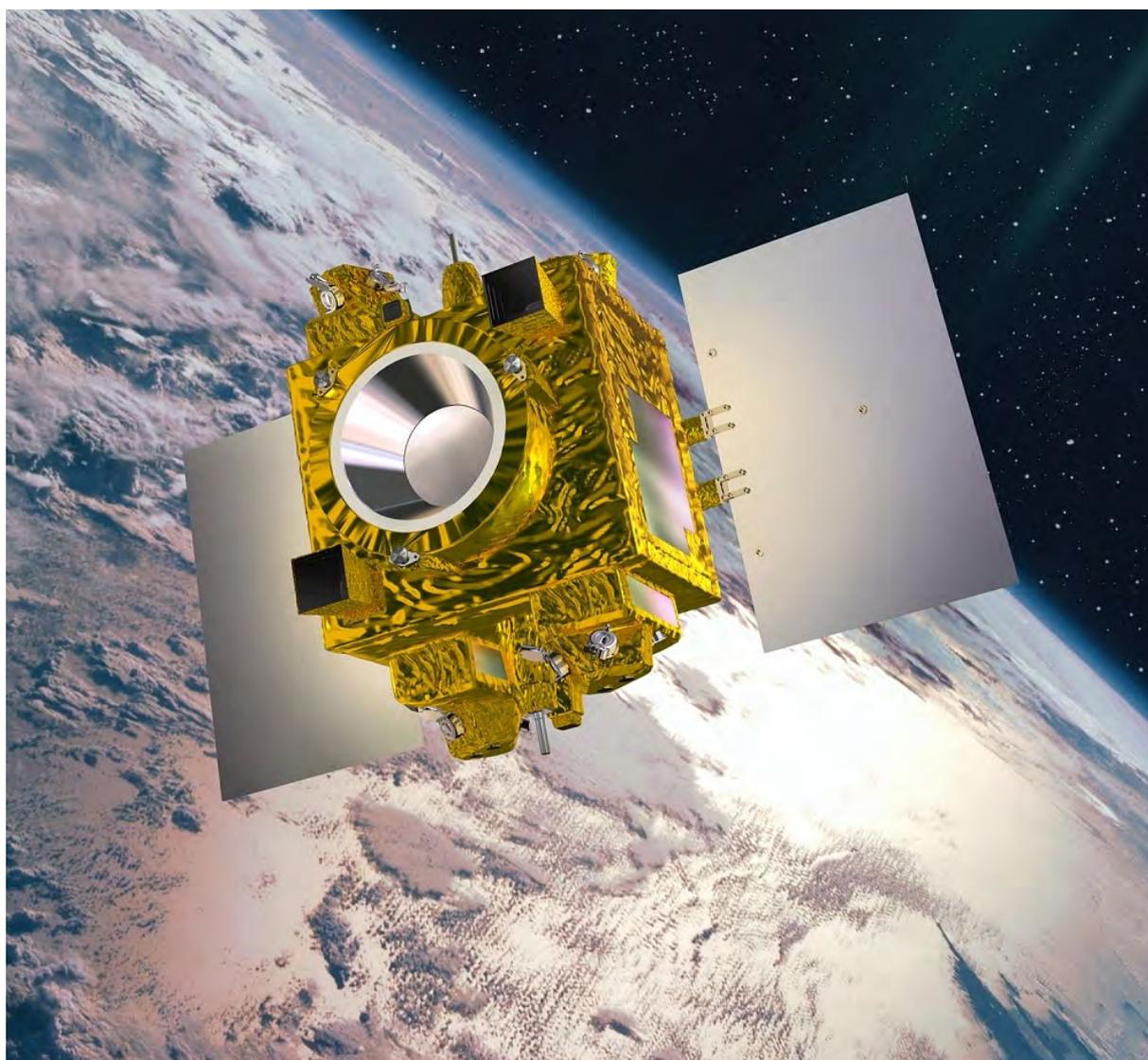
Instruments astronomiques d'hier à aujourd'hui

10 Astronomie spatiale

Pour s'abstraire complètement des effets nocifs de l'atmosphère terrestre, les télescopes sont maintenant embarqués sur des satellites évoluant dans l'exosphère à une altitude supérieure à 250 kilomètres pour espérer une durée de vie suffisante. Il y a deux types de mission spatiale :

- Satellite d'observation avec un télescope, comme Hipparcos ou Hubble.
- Satellite de géodésie spatiale. Le but de la géodésie est l'étude de la forme géométrique de la Terre, ainsi que celle des forces de gravitation. C'est l'objet de la mission GOCE dont le lancement a eu lieu le 17 Mars 2009. La mission MICROSCOPE a pour objectif une meilleure compréhension des lois fondamentales de la Physique. Elle est en cours de préparation. C'est une expérience conjointe CNES-ONERA-Observatoire de Nice Côte d'Azur.

Voici une vue d'artiste du satellite :



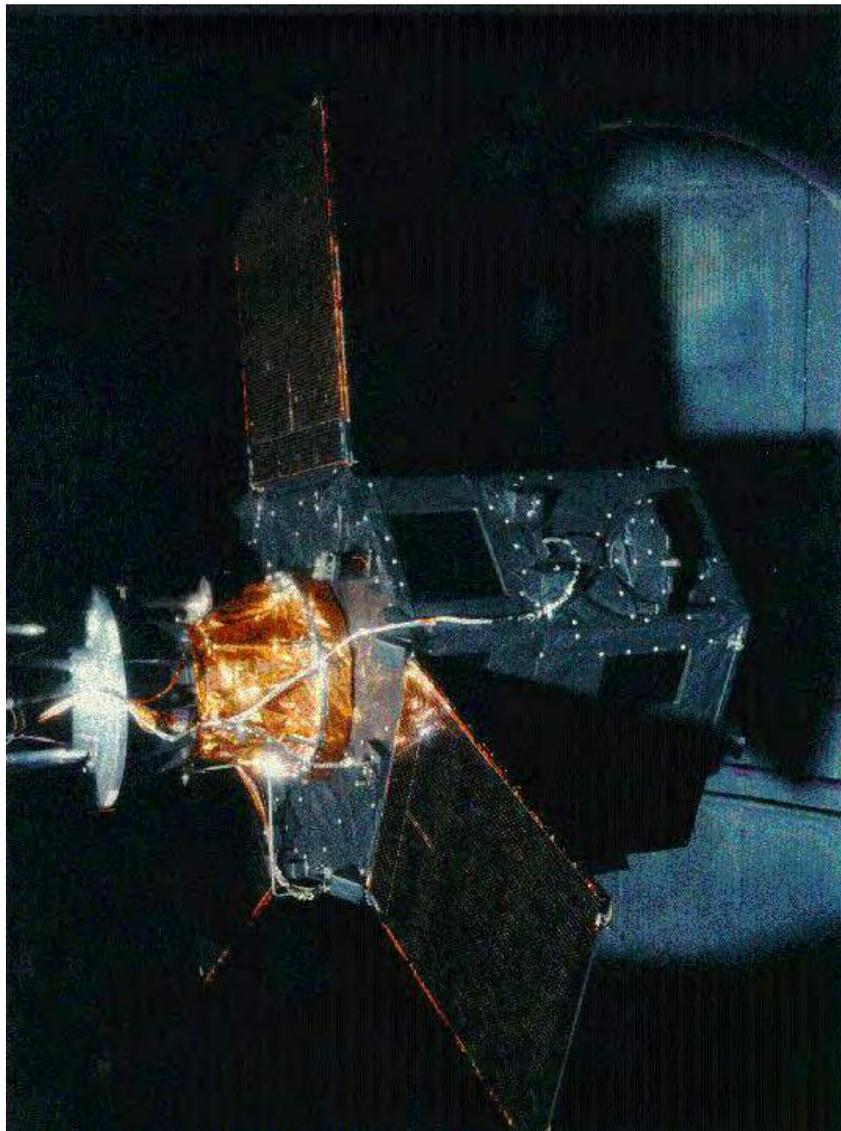
© CNES - Mars 2006/Illust. D. Ducros

Télescope spatial HIPPARCOS

Le télescope de l'ESA HIPPARCOS a été envoyé dans l'espace en Août 1989 pour une mission d'Astronomie Spatiale jusqu'en Mars 1993. C'est le Français Jean Kovalevsky qui a dirigé cette entreprise européenne. A partir de ses observations de très grande précision, un premier catalogue nommé HIPPARCOS a été écrit pour présenter les positions très précises de **118 218 étoiles**.

Les catalogues TYCHO1 et TYCHO2 présentent avec une précision moindre les positions de **2 539 913 étoiles**, soit 99% des étoiles jusqu'à une magnitude de 11. Les données obtenues sont tellement volumineuses que leur exploitation est toujours en cours dix ans après la fin de la mission. Voir le site :

<http://www.rssd.esa.int/index.php?project=HIPPARCOS>



Source : spiff.rit.edu

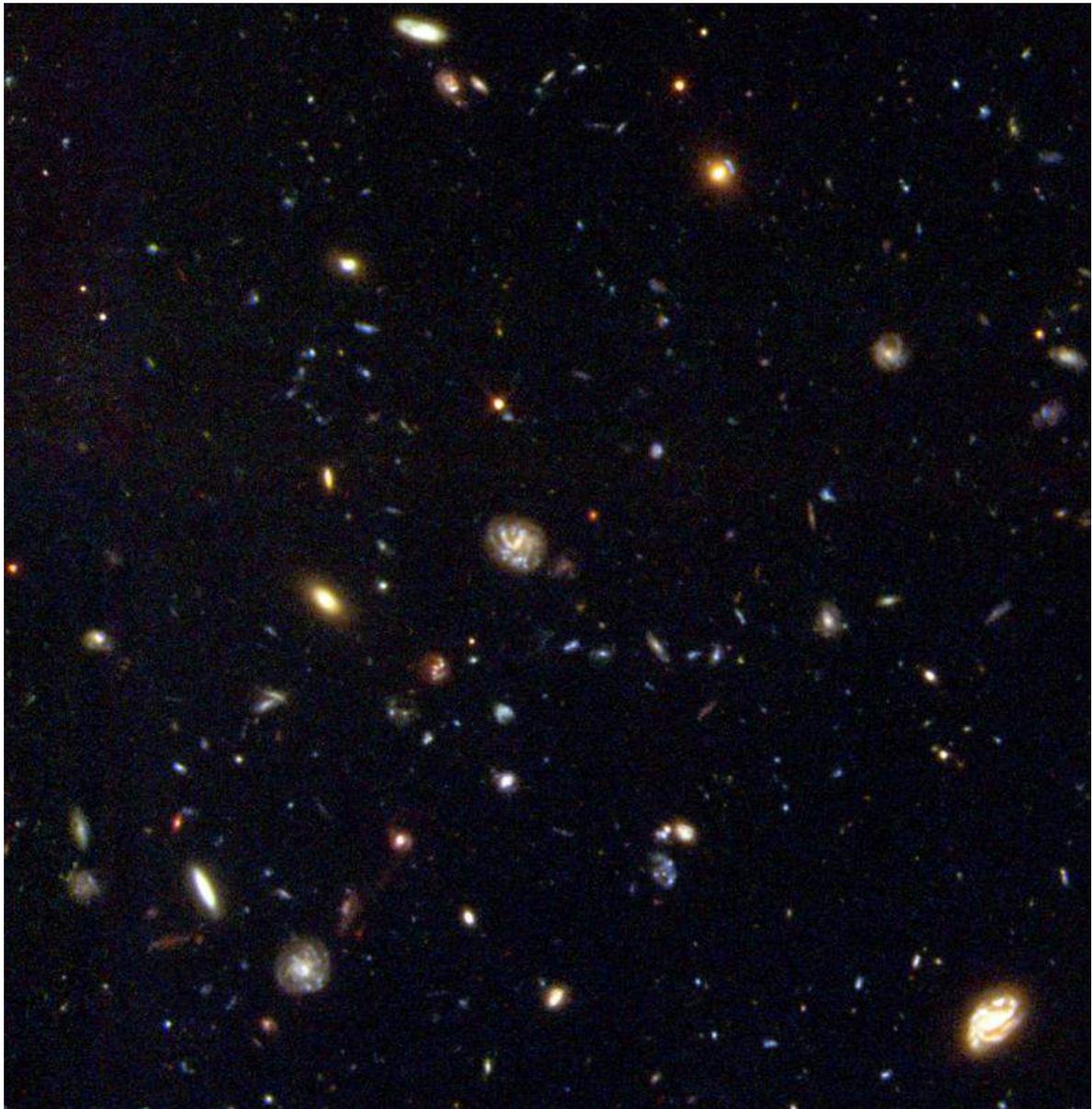
Pour l'histoire, HIPPARCOS devait être placé sur une orbite géostationnaire à 36000km d'altitude. Un problème de moteur d'apogée a fait qu'il est resté sur une orbite de transfert dont le périégée a été porté à 500 km, ce qui lui a permis de vivre trois ans et demi.

Télescope spatial HUBBLE

C'est un projet conjoint NASA-ESA.

Le télescope est sur une orbite elliptique basse, d'altitude d'environ 589 km. Pour mémoire, la station spatiale ISS a une altitude de 354 km. Il n'a pas de moteur de propulsion à son bord, si bien que les corrections de trajectoire doivent venir de l'extérieur en l'occurrence la navette spatiale américaine. Le télescope a été lancé le 24 Avril 1990 pour une durée de vie de 30 ans, soit jusqu'en 2020. Un défaut de courbure du miroir principal a été détecté en début de mission. C'est grâce à un post-traitement mathématique que ce défaut a pu être corrigé.

Un des apports majeurs de HUBBLE a été la photographie en 1995 du champ profond du ciel. Dans une région couvrant 30-millionièmes du ciel se trouvent plusieurs milliards de Galaxies, représentée ci-dessous :



Champ profond observé par le télescope spatial HUBBLE. NASA. Source : irfu cea.fr

En 18 ans de service, HUBBLE a révolutionné l'Astronomie. Ce télescope doit son nom à l'astronome américain qui le premier a établi l'existence des galaxies extérieures à la notre et a formulé la théorie de l'expansion de l'Univers.

ASTRONOMIE AMATEUR

Dans le monde, les astronomes et astrophysiciens professionnels ne sont plus assez nombreux pour fournir les données nécessaires aux missions spatiales et dépouiller les résultats obtenus. C'est pourquoi, en France comme partout dans le monde, des milliers d'astronomes amateurs servent les instruments classiques et multiplient les observations souvent pour le plaisir mais aussi pour faire des mesures que les professionnels n'ont plus le temps de faire.

Le matériel est de plus en plus performant. Ils ont à leur disposition de nombreux clubs, souvent encadrés par des astronomes professionnels en retraite, des revues et des sites Internet. En voici quelques uns :

<http://www2.saf-lastronomie.com>

<http://www.eso.org/public>

<http://www.esa.int/>

<http://www.nasa.gov/>

Enfin pour conclure, voici une expérience originale :

HOU ou EU-HOU ou F-HOU.

Le groupe international de liaison recherche-enseignement **Hands-On-Universe** et plus particulièrement les partenaires européens **Europe-Hands-On-Universe**, sont associés pour promouvoir en France les Sciences à travers l'Astronomie et intéresser ainsi les jeunes à ces disciplines.

L'Astronomie est ainsi mise à la portée de tous grâce aux technologies de l'information. Des radiotélescopes et télescopes pilotés à distance par internet sont mis à la disposition de tous. Le logiciel **SalsaJ**, de traitement des images ainsi obtenues, est téléchargeable gratuitement sur les sites

<http://www.fr.euhou.net>

<http://www.euhou.net>

Dans le cadre de nos programmes scolaires, des exercices permettant de mesurer des distances dans l'Univers, d'appréhender le concept de matière noire ou d'aller à la découverte de planètes extra-solaires, sont proposés. Ils sont accessibles à des élèves du collège au lycée. Ils utilisent des données réelles provenant des plus grands observatoires ou obtenues par les élèves eux-mêmes. En plus des sites Internet ci-dessus, il est possible de consulter le numéro spécial sur l'Astronomie de TDC (Textes et Documents pour la Classe) du CNDP.

Les documents généraux sur l'Astronomie sont désignés en rouge. Ils sont de lecture facile.

Les documents plus spécialisés sont désignés en bleu.

Les documents en noir permettent d'approfondir des points particuliers du document.

Références

- [1] Abalakin V., Balmino G., Lambeck K., Moritz H., Mulholland J.D., Tozer F.
La Géodynamique Spatiale
Ecole d'Été de Physique Spatiale du CNES. Lannion. 1974.
- [2] Arbey L.
Cours d'Astronomie
Université de Besançon
- [3] Bernard A.
A three-axis ultrasensitive accelerometer for space
1st Space Microdynamics and Accurate Control Symposium
Nice Novembre 1992. ONERA TP 1992-208
- [4] Bonillo J.L.
Les Riviera de Charles Garnier et de Gustave Eiffel : le rêve de la raison
Imbernon Editions. 2004.
- [5] Boudon Y., Barlier F., Bernard A., Juillerat R., Mainguy A-M., Walch J-J.
Synthèse des résultats en vol de l'accéléromètre CACTUS pour des accélérations inférieures à $10^{-9} g$.
Recherche Aérospatiale 1978-6 pp 335-342.
- [6] Bouttes J., Delattre M., Juillerat R.
Qualification in orbital flight of the CACTUS high sensitivity accelerometer
19ième réunion du COSPAR. Juin 1976. ONERA TP 1976-66.
- [7] Brahic A., Grenier I.
Lumières d'Etoiles. Les couleurs de l'invisible.
Odile Jacob 2008.
- [8] Brouwer D., Clemence G.M.
Methods of Celestial Mechanics
Academic Press. 1971.
- [9] Bruhat G.
Cours de Physique Générale : Optique
Masson Editeurs 1965.
- [10] Bruhat G.
Cours de Physique Générale : Mécanique
Masson Editeurs 1967.
- [11] Caratini R.
Astronomie
Bordas Encyclopédie. 1968.
- [12] *Sur les traces des Cassini.*
Astronomes et Observatoires du sud de la France
Editeurs P. Brouzeng, S. Débarbat.
Congrès National des Sociétés historiques et scientifiques, Nice 1996.
Comité des Travaux Historiques et Scientifiques
Editions du CTHS 2001.

- [13] Cazenave A., Massonet D.
La Terre vue de l'espace
Belin. Collection "Pour la Science" 2005.
- [14] Celnikier L.M.
Histoire de l'Astronomie
Tec et Doc . Lavoisier.1986.
- [15] Clarke P. B.
Le grand livre des Religions du Monde.
Traduction-adaptation de Franck Jouve de *The World's Religions*
Marshall Editions 1993.
Editions Solar, Paris 1995.
- [16] Copernic N.
Des révolutions des orbés célestes
Texte latin et traduction de A. Koyré.
Librairie scientifique et technique BLANCHARD, 1970.
- [17] Couteau P.
La grande lunette de l'Observatoire de Nice
Astronomie. Mai 1970.
- [18] Couteau P.
L'observation des étoiles doubles visuelles
Flammarion. Sciences Humaines.
PDF sur le site de l'Observatoire de Nice :
URL : <http://www.oca.eu>
- [19] Danjon A.
Astronomie Générale
Sennac. Paris. 1969.
- [20] Delattre M., Beaussier J., Bernard A., Boulay J-L., Bouttes J., Fave J.,
Gay M., Guibert J-P., Juillerat R., Laroche P., Mainguy A-M.
Les essais en orbite de l'accéléromètre CACTUS
ONERA Publication 1976-5. 1976.
- [21] Flammarion C.
Astronomie Populaire
Flammarion. 1955.
(une version plus récente existe.)
- [22] Fehrenbach Ch.
Des hommes, des télescopes, des étoiles
Editions du CNRS. 1990.
- [23] Galilée
Les Génies de la Science
Pour la Science. Novembre 1999.
- [24] GOCE
GOCE , The Geoid and Oceanography
ESA-ESRIN, Frascati, Italy, 8-10 March 2004 (ESA SP-569, June 2004).
- [25] Hamilton E.
La mythologie : ses dieux, ses héros, ses légendes
Traduction de *Mythology* 1940-1962
Marabout 1978-1997.
- [26] Kaplan M.H.
Modern Spacecraft Dynamics and Control
John Wiley and Sons 1976.

- [27] Kovalevsky J.
Trajectory of artificial bodies
Springer-Verlag 1966.
- [28] Kovalevsky J.
Reference frames in Astronomy and Geophysics
Kluwer Academic Publisher. 1989.
- [29] Kovalevsky J.
Introduction to Celestial Mechanics
Astrophysics and Space Science Library. Volume 7.
Springer Verlag. 1967.
- [30] Kovalevsky J.
Géodésie par Satellites
Ciel et Terre, volume 87 - Numéro 1 - 1971.
- [31] LeGuet-Tully F., Berruyer N.
*Les observations astronomiques d'hier à aujourd'hui :
Brève histoire des instruments astronomiques*
Observatoire de la Côte d'Azur. Mars 2004.
- [32] LeGuet-Tully F.
*De la réorganisation du Bureau des Longitudes en 1854 à la création de l'Ob-
servatoire de Nice en 1879 : vingt cinq années cruciales pour l'Astronomie
Française*
dans Observatoires et Patrimoine Astronomique Français
Editeur G. Boistel
Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences n^o 54
SFHST. ENS Editions. 2005.
- [33] Light M, Chaikin A.
Pleine Lune
Edition anglaise Jonathan Cape. Random House, 1999
Editions de la Martinière 1999.
- [34] Luminet J.P.
Le secret de Copernic
Les Bâtisseurs du Ciel. Tome 1
J. C Lattès 2006
- [35] Luminet J.P.
La discorde céleste
Les Bâtisseurs du Ciel. Tome 2
J. C Lattès 2008
- [36] Luminet J.P.
L'oeil de Galilée
Les Bâtisseurs du Ciel. Tome 3
J. C Lattès 2009
- [37] Luminet J.P.
La perruque de Newton
Les Bâtisseurs du Ciel. Tome 4
J. C Lattès 2010

- [38] Moureu H., Bernard M.Y.
Astronautique et Recherche Spatiale
Dunod Paris 1964.
- [39] Pecker J.C.
La nouvelle astronomie, science de l'univers.
Sous la Direction de Jean-Claude Pecker. Hachette, 1971.
- [40] Poincaré H.
Les Méthodes Nouvelles de la Mécanique Céleste :
Tome1 : Solutions périodiques. Non-existence des intégrales uniformes. Solutions asymptotiques.
Tome 2 : Methodes de Newcomb, Glyden, Lindstedt et Bohlin.
Tome 3 : Invariants intégraux. Solutions périodiques du deuxième genre. Solutions doublement asymptotiques.
Les Grands Classiques Gauthier-Villars.
Edition originale : 1892. 1893 et 1899.
Réédition en 1987. Librairie Scientifique et Technique Albert Blanchard.
- [41] Rivet J.P.
Introduction à l'Astronomie
PDF sur le site de l'Observatoire de Nice
URL : <http://www.oca.eu> 2005.
- [42] Seidelmann P.K., Kovalevsky J.
Fundamentals of Astrometry
Cambridge University Press 2004.
- [43] Serre M.F, Bourge P.
Histoires d'Etoiles : les merveilleuses légendes du ciel de l'Antiquité
Edition à compte d'auteur. 1987.
- [44] Tisserand F.
Traité de Mécanique Céleste :
Tome1 : Perturbations des Planètes d'après la Méthode de la Variation des Constantes Arbitraires.
Tome 2 : Théorie de la Figure des Corps Célestes et de leur Mouvement de Rotation.
1ière Edition 1890.
Nouveau tirage 1960. Paris Gauthier-Villars.
- [45] Unsöld A.
New Cosmos
Springer Verlag.1969.
- [46] Westfall R.
Newton
Figures de la Science. Flammarion. 1980.

Addendum du CIJM- Juin 2024

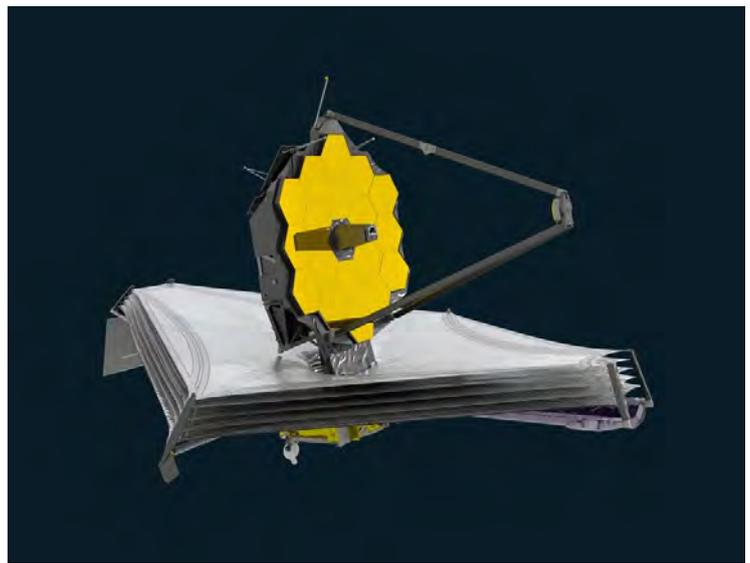
Aujourd'hui, le télescope James Webb*, fruit d'un partenariat international entre la NASA, l'ESA et l'Agence spatiale canadienne (ASC) est venu compléter les observations du télescope Hubble**.

Lancé le 25 décembre 2021 depuis la base spatiale de Kourou par une fusée Ariane 5, il lui a fallu un mois pour atteindre sa destination finale, le point de Lagrange (L2) étant situé à 1,5 million de km de la Terre. Ce point de l'espace (il y en a 3) a la particularité d'être une zone stable où les attractions de la Terre, de la Lune, et du Soleil s'annulent. Il accompagne la Terre dans sa rotation autour du Soleil. C'est donc un endroit idéal pour avoir plus de précision dans la visée et profiter d'un ciel profond à l'abri des lumières parasites.



Décollage d'Ariane 5 emportant le télescope James Webb.

© ESA Webb



Vue d'artiste du télescope Webb déployé, en fonctionnement au point de Lagrange (L2)

© ESA/ATG medialab

Un pare-soleil composé de cinq éléments séparés de la taille d'un court de tennis protège le télescope en absorbant la température venant du Soleil, qui peut atteindre 85°C . Côté miroir, une température constante de -263°C proche du zéro absolu permet les meilleures observations. Ce miroir principal d'un diamètre de 6,50 m, d'une superficie de 25 m^2 et d'une distance focale de 131,4 m en fait le plus grand et le plus puissant télescope spatial jamais lancé.

Cette aventure technique et humaine a mobilisé et mobilise encore des milliers d'intelligences.

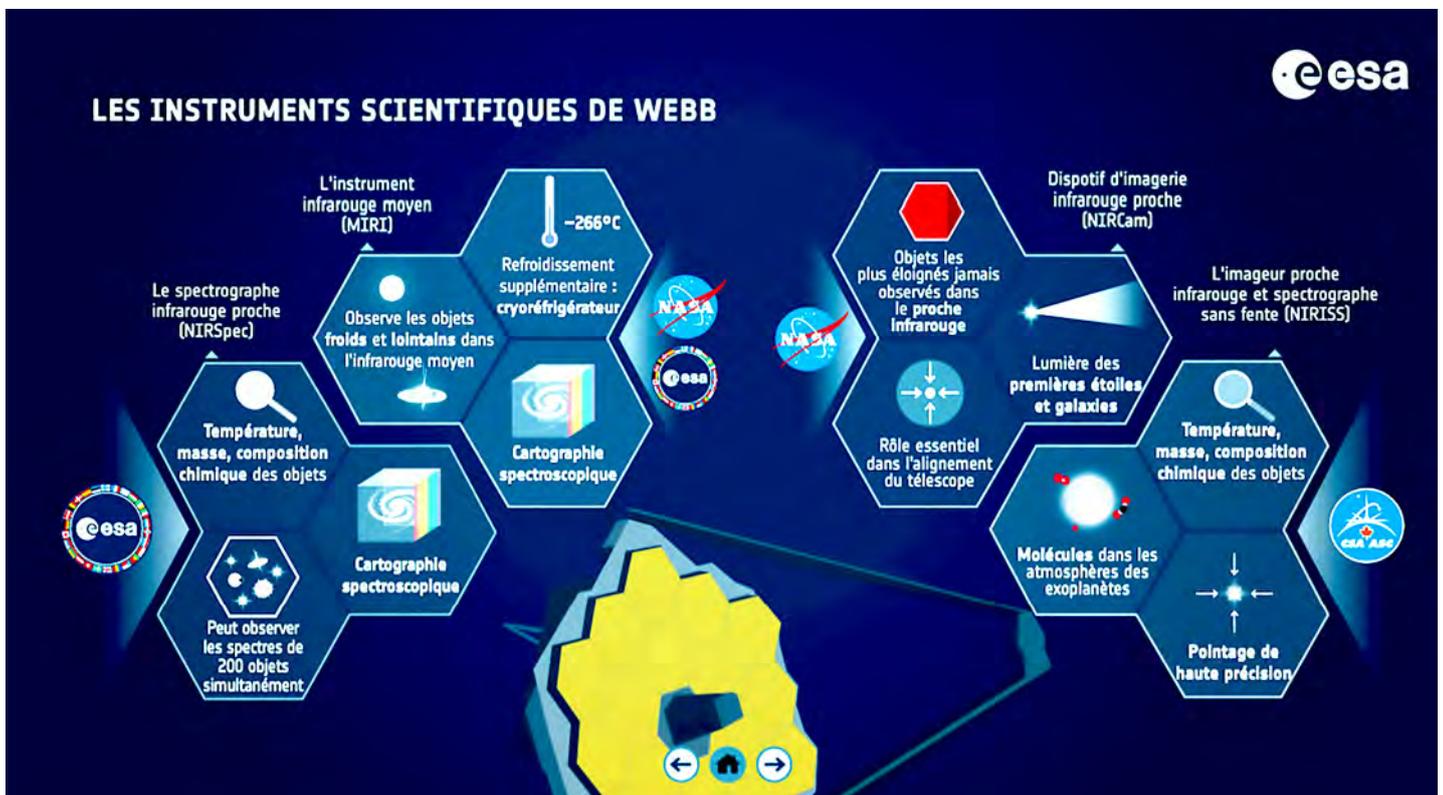
Le miroir est formé de 18 sections hexagonales de béryllium plaqué or, chacune pouvant être réglée individuellement. L'ensemble du télescope a été plié pour trouver sa place sous la coiffe de la fusée et a nécessité plus de trois cents opérations dans l'espace pour être redéployé. Contrairement à la possibilité de réparation et de maintenance sur Hubble placé sur une orbite basse, l'éloignement du point de Lagrange rend impossible toute intervention.

* en l'honneur de James Edwin Webb (1906-1992), second administrateur de la NASA dont les talents de gestionnaire ont permis au programme Apollo de voir le jour avec le succès que l'on sait.

**en l'honneur du mathématicien et astronome Edwin Hubble (1889-1953) qui a mis en évidence l'existence de galaxies lointaines et a formulé le concept d'expansion de l'Univers.

Les observations du télescope James Webb se font dans l'infrarouge dont la longueur d'onde permet de ne pas être gêné par la lumière visible des étoiles et de faire abstraction de la poussière interstellaire. Il embarque quatre instruments, issus d'une collaboration internationale, pouvant travailler ensemble ou séparément : NIRCam, NIRISS, NIRSpec et MIRI.

Le tableau ci-dessous, réalisé par « ESA/ATG medialab », nous en donne le détail.



Les images ainsi obtenues sont d'une qualité jamais acquise. Elle nous permettent de remonter dans le temps et d'avoir d'observation en observation une meilleure connaissance de notre Univers.

Nous vous en proposons quelques-unes pour clore ce dossier.

De nombreux sites permettent de suivre les exploits du télescope **James Webb**, dont

Pour les Etats-Unis **NASA** : <https://webb.nasa.gov/>

Pour l'Europe **ESA** : <https://esawebb.org/images/>

Pour le Canada **ASC** : <https://www.asc-csa.gc.ca/fra/satellites/jwst/>



Source NASA, ESA, CSA, STScI; J. DePasquale, A. Koekemoer, A. Pagan

«Les Piliers de la Création» sont une petite région de la vaste nébuleuse de l'Aigle, située à 6 500 années-lumière de la Terre.

Cette image saisissante montre une autre zone du cosmos où de nouvelles étoiles sont créées. Ces nouvelles étoiles envoient des jets dans le gaz et la poussière environnants, ce qui crée les caractéristiques vibrantes de lave cramoisie au bord des piliers de la nébuleuse. En étudiant des images comme celle-ci, les astronomes en apprennent davantage sur la formation des étoiles.

Source ESA



Source : *NASA, ESA, CSA, and STScI*

Cette vue étonnante montre le bord de la nébuleuse de la Carène,
à 7600 années-lumière de la Terre.

On peut voir la « vapeur » bleu clair qui s'élève de la nébuleuse teintée d'orange. Il s'agit en fait de gaz chauds et de poussières balayés de la nébuleuse par les fortes radiations émises par les jeunes étoiles.

Source *ESA*



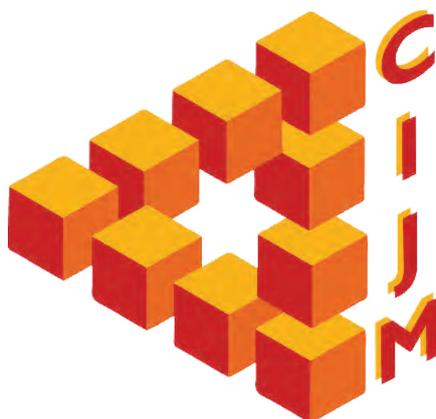
Source : *ESA/Webb, NASA & CSA, J. Lee and the PHANGS-JWST Team.*
Acknowledgement: J. Schmidt

Vue du centre de « la galaxie fantôme » qui se trouve dans la constellation des Poissons
à environ 32 millions d'années-lumière de la Terre,

La vue infrarouge de Webb a été combinée avec les données du télescope spatial Hubble pour créer cette incroyable image de la galaxie M74. Les couleurs rouges représentent les poussières réparties dans les bras de la galaxie. Les couleurs orange plus claires correspondent à des poussières très chaudes. Les jeunes étoiles apparaissent en bleu, tandis que les étoiles plus anciennes situées près du centre de la galaxie apparaissent en cyan et en vert.

Source *ESA*

Comité International des Jeux Mathématiques



Comité International des Jeux Mathématiques

**Association nationale de jeunesse et d'éducation populaire
Association agréée par l'Éducation Nationale**

CIJM - Institut Henri Poincaré
11 rue Pierre et Marie Curie
75231 PARIS Cedex 05

cijm@cijm.org N° SIRET : 433 879 343 00047 APE 927 C

www.cijm.org