

EXPLORER L'UNIVERS

NOS PROCHAINS PAS

EXPLORING
THE **UNIVERSE**
OUR NEXT STEPS

EXPOSITION / EXHIBITION

EXPLORER L'UNIVERS, NOS PROCHAINS PAS

CAHIER DE L'ANIMATEUR

version mars 2011

Exposition n°0 - Centre•Sciences

16 panneaux scénographiés, 32 interactifs et 4 vitrines optionnelles

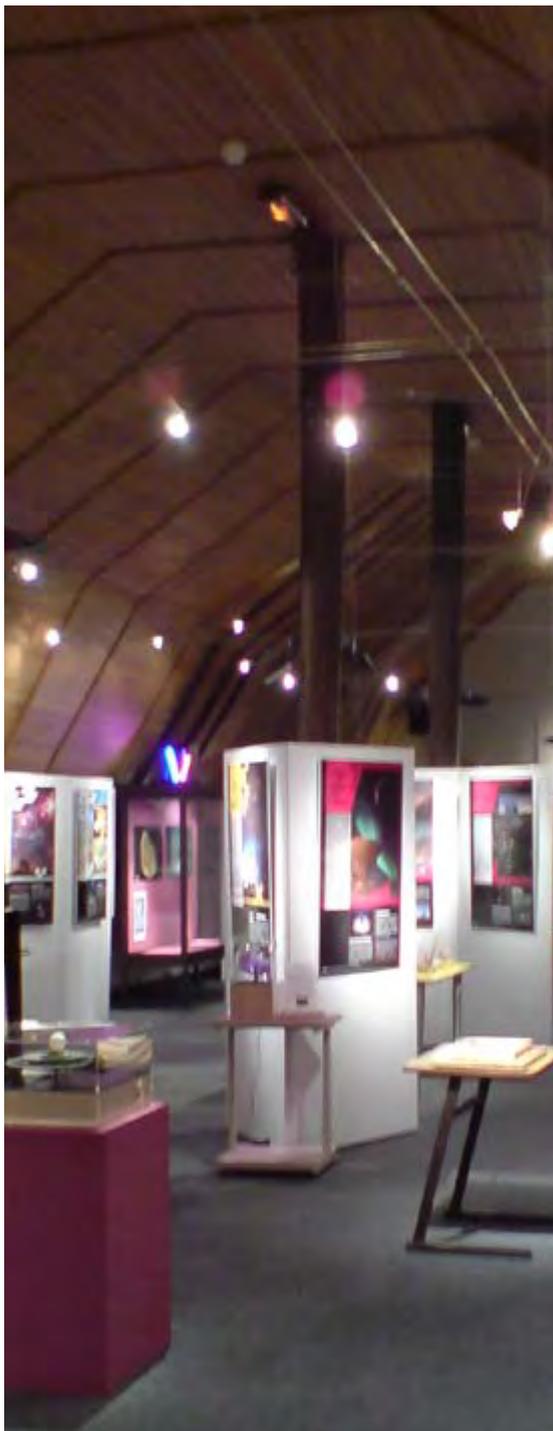
EXPLORER L'UNIVERS, *nos prochains pas*

Explorer l'Univers, nos prochains pas	P6
0.0 La Terre vue de l'espace	
Quand la Terre était le centre du monde	P8
1.1 La course du Soleil	
1.2 Zodiaque de Denderah	
Arpenter le ciel avec précision	P10
2.1 Elle tourne !	
2.2 Instruments de précision	
Un nouveau regard sur le ciel	P12
3.1 Double lentille	
3.2 La lunette de Galilée	
Comprendre la mécanique céleste	P14
4.1 Mise sur orbite	
4.2 Des constellations dans l'espace ?	
Nouvelles fenêtres sur l'Univers	P16
5.1 Décomposer la lumière	
5.2 Les couleurs du Ciel	
Soleil, une étoile comme les autres	P18
6.1 L'état de plasma	
6.2 Le Soleil dans tous ses états	
6.3 Champs et lignes	
Explorer notre système solaire	P20
7.1 Turbulences chaotiques sur Jupiter	
7.2 Tombés du ciel	
La chasse aux exoplanètes	P22
8.1 La chasse aux exoplanètes	
8.2 De l'eau pour la vie	
Au cœur des nébuleuses	P24
9.1 Les dominos de la vie	
9.2 Aux fréquences de l'invisible	
Des galaxies aux amas	P26
10.1 Lentille gravitationnelle	
10.2 Tourbillons galactiques	
Déterminer le futur de l'Univers	P28
11.1 Univers en expansion	
11.2 Le panier du cosmologiste	
Premiers instants de l'Univers	P30
12.1 Aux échelles de l'univers	
12.2 Tout l'Univers dans un ordinateur	
Mystérieuses ondes gravitationnelles	P32
13.1 Orbitogramme	
13.2 Détecter les ondes gravitationnelles	
Aux très hautes énergies	P34
14.1 En stéréoscopie	
14.2 Des astres de poids!	
Sur la trace des neutrinos	P36
14.1 Multiplier la lumière	
15.2 Détecter l'invisible	

Sommaire

STRUCTURE DE L'EXPOSITION	P38
VITRINES DE L'EXPOSITION	P41
REPRÉSENTER LE CIEL	P42
LA MESURE DU TEMPS	P43
ARPENTER LE CIEL	P44
OBSERVER L'UNIVERS	P45
FICHE ÉTAT DE L'EXPOSITION	P46





EXPLORER L'UNIVERS, nos prochains pas

Exposition réalisée par Centre•Sciences, CCSTI de la région Centre
Création graphique Supersoniks, Tours - Impression Publigraphie, Semoy
Mobilier bois Établissement Berge, Fleury-les-Aubrais
Mobilier plastique BCF, Jouy-le-Potier
Maquettes et interactifs Julien Fleureau, Saint-Pryvé-Saint-Mesmin
Numérisation MCP, Saran.

Réalisée avec le soutien du ministère des Affaires étrangères et européennes,
du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, et du Conseil régional du Centre,

Remerciements pour leur concours scientifique aux organismes de recherche français et européens :
CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique), CERN (Organisation européenne pour la recherche nucléaire), CNES (Centre National des Études Spatiales), CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique), ESA (Agence Spatiale Européenne), ESO (Observatoire Européen Austral), IAP (Institut d'Astrophysique de Paris), IRAM (Institut de Radioastronomie Millimétrique), IRFU (Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers), Observatoire de Paris-Meudon, et avec leurs unités en région Centre : CBM (Centre de Biophysique Moléculaire), LPCEE (Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement et de l'Espace), Station de Radioastronomie de Nançay, OSUC (Observatoire des Sciences de l'Univers en région Centre).

Contribution à l'iconographie : Association Française d'Astronomie, Bibliothèque nationale de France (BnF), CFHT (Canada France Hawaï Télescope), IBMP (Institut de Biologie Moléculaire des Plantes), IN2P3 (Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules), NASA (National Aeronautics and Space Administration) et le Pôle des étoiles de Nançay (Cher).

EXPLORER L'UNIVERS

NOS PROCHAINS PAS

Au cours des siècles, l'œil, puis de façon de plus en plus puissante, les instruments d'observation astronomique ont permis d'enregistrer les informations émises par les objets les plus lointains.

À partir de ces données, l'homme se construit des représentations de notre Univers de plus en plus fidèles mais aussi de plus en plus complexes. La classification des astres laisse aujourd'hui la place à l'étude de leur évolution... à l'astronomie succède l'astrophysique et la cosmologie. Les très grands instruments au sol, le développement des capacités de modélisation et de calculs et l'astronomie spatiale - au-delà des rayonnements accessibles au sol - permettent aujourd'hui de recueillir de nouvelles informations sur la formation et la dynamique de l'Univers.

Conception Centre•Sciences, CCSTI de la région Centre

Création graphique **super-soniks**, Tours - Impression Chabrilac, Toulouse

Réalisée à l'initiative du ministère des Affaires étrangères et européennes, avec le soutien du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, du Conseil régional du Centre, avec le concours des organismes de recherche français et européens : CEA, CERN, CNES, CNRS, ESA, ESO, IAP, IRAM, IRFU, Observatoire de Paris-Meudon et de leurs unités en région Centre : CBM, LPCEE, Station de Radioastronomie de Nançay, OSUC.

Remerciements pour leur contribution à la conception et à l'iconographie : l'Association Française d'Astronomie, la Bibliothèque Nationale de France, le CFHT, l'IBMP, l'IN2P3 la NASA, le Pôle de l'espace et des étoiles de Nançay.



P00- EXPLORER L'UNIVERS, NOS PROCHAINS PAS

Au cours des siècles, l'œil, puis de façon de plus en plus puissante, les instruments d'observation astronomique ont permis d'enregistrer les informations émises par les objets les plus lointains. À partir de ces données, l'homme se construit des représentations de notre Univers de plus en plus fidèles mais aussi de plus en plus complexes. La classification des astres laisse aujourd'hui la place à l'étude de leur évolution...à l'astronomie succède l'astrophysique et la cosmologie.

Les très grands instruments au sol, le développement des capacités de modélisation et de calculs et l'astronomie spatiale - au-delà des rayonnements accessibles au sol - permettent aujourd'hui de recueillir de nouvelles informations sur la formation et la dynamique de l'Univers.

Réalisée à l'initiative du ministère des Affaires étrangères et européennes, avec le soutien du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, du Conseil régional du Centre et de la Réunion des CCSTI,

Avec le concours des organismes de recherche français et européens : CEA, CERN, CNES, CNRS, ESA, ESO, IAP, IN2P3, INSU, IRAM, IRFU, Observatoire de Paris-Meudon, et de leurs unités en région Centre : CBM, LPCEE, Station de Radioastronomie de Nançay et l'Observatoire des Sciences de l'Univers en région Centre.

Remerciements pour leur contribution à la conception et à l'iconographie : Association française d'astronomie, Bibliothèque nationale de France, NASA, Canada France Hawaï Télescope, Pôle de l'espace et des étoiles à Nançay et l'Université de Liège.



« La Terre est **bleue comme une orange »**
Paul Eluard, L'Amour la poésie, 1929

Objet : Globe terrestre pour visualiser la durée des jours et des nuits au cours des saisons (inclinaison)



1.1 - La course du Soleil

Que faire ?

Placez le Soleil sur un changement de saisons et faites-le tourner dans le bon sens. Imaginez l'ombre de la pyramide dans son déplacement. Quand est-elle la plus courte ? La plus longue ?

Que retenir ?

Le Soleil se lève à l'Est et se couche à l'Ouest. À midi, il est au plus haut ; l'ombre d'un bâton planté en terre est alors la plus courte de la journée. Au début de l'été, à midi (au Soleil), l'ombre du bâton sera la plus courte (au solstice, le 21 juin dans l'hémisphère Nord).

Ce bâton planté verticalement dans le sol est le plus ancien cadran solaire, appelé gnomon, mais il ne permet que de décompter la journée en deux parties : avant midi et après midi.

En repérant la position du Soleil par rapport aux étoiles, il semble parcourir le ciel au cours de l'année. Premiers repères de ce calendrier céleste, les 12 constellations du zodiaque correspondent à ce déplacement apparent. C'est la Terre qui tourne autour du Soleil, l'étoile... la plus proche !

1.2 - Zodiaque de Dendérah

Que faire ?

Parmi les constellations représentées sur ce ciel égyptien, essayez de retrouver celles encore utilisées de nos jours.

Que retenir ?

Ce motif représenté dans une dalle de grès, orne le plafond du temple d'Hathor à Dendérah. Sous la forme d'un disque soutenu par 36 génies (les « décans ») symbolisant les 360 jours de l'année égyptienne, la voûte céleste présente les constellations. Au centre se trouvent celles du ciel au Nord, dont la Grande Ourse (ici une patte avant de taureau), la déesse hippopotame en face de la Petite Ourse figure la constellation du Dragon.

Au-delà des croyances astrologiques, c'est un paysage nocturne qui est représenté. Les cinq planètes connues y sont associées à certains signes zodiacaux : Vénus derrière le Verseau (ici le dieu égyptien de l'inondation Hâpy), Jupiter près du Cancer, Mars sur le dos du Capricorne. Sont aussi nommés Mercure comme « l'Inerte » et Saturne « Horus-le-taureau ». Cette disposition parmi les constellations du ciel a pu être datée précisément entre le 15 juin et le 15 août 50 avant J.-C.

Deux éclipses ont été représentées à l'endroit précis où elles se sont produites. L'éclipse solaire du 7 mars 51 est figurée sous l'aspect de la déesse Isis retenant un babouin par la queue, c'est-à-dire empêchant la lune, sous la forme du dieu Thot, de cacher le soleil. L'éclipse lunaire du 25 septembre 52 est un oeil - oudjat (qui signifie « être intact »), car une éclipse lunaire a toujours lieu à la pleine lune.



ARPENDER LE CIEL AVEC PRÉCISION

Au 16^e siècle, le danois Tycho Brahe pousse à l'extrême la précision des observations en construisant de grands instruments : quadrants, sextants... Il observe l'apparition d'une « nouvelle étoile » en 1572 -une supernova- puis la grande comète de 1577. Il montre que cette comète se déplace dans la zone des planètes et que sa trajectoire n'est pas circulaire.

En 1543, Nicolas Copernic propose un nouveau modèle mathématique : les planètes, dont la Terre, tournent autour du Soleil. C'est la théorie héliocentrique ; le Soleil est au centre de l'Univers qui est toujours fini, limité par la sphère des étoiles, mais ces étoiles sont repoussées très loin pour expliquer leur immobilité.



1. Grand quadrant de Tycho Brahe © BNF
2. La ville de l'astronomie de Copernic 1473 - 1543 © BNF
3. Copernic, l'astronomie de Copernic
4. Musée de l'Observatoire de Paris © Centre National de la Recherche Scientifique



MARS RÉTROGRADE ?

A la fin du Moyen-Âge, les instruments de mesure d'angle, tel le quadrant, permettent aux astronomes d'observer avec précision le ciel et le mouvement des planètes. Mars semble revenir en arrière dans sa course céleste : en fait, elle tourne autour du Soleil, comme la Terre, qui va plus vite et « rattrape Mars pour la dépasser ». C'est le mouvement rétrograde.

LA RÉVOLUTION COPERNICIENNE

Le système héliocentrique animé de mouvements circulaires uniformes n'explique pas tous les phénomènes observés, mais il propose une représentation qui émancipe la cosmologie de la théologie.



Mouvement rétrograde de Mars

P02- ARPENTER LE CIEL AVEC PRECISION

Au 16^e siècle, le danois Tycho Brahe pousse à l'extrême la précision des observations en construisant de grands instruments : quadrants, sextants... Il observe l'apparition d'une « nouvelle étoile » en 1572 -une supernova- puis la grande comète de 1577. Il montre que cette comète se déplace dans la zone des planètes et que sa trajectoire n'est pas circulaire.

En 1543, Nicolas Copernic propose un nouveau modèle mathématique : les planètes, dont la Terre, tournent autour du Soleil. C'est la théorie héliocentrique ; le Soleil est au centre de l'Univers qui est toujours fini, limité par la sphère des étoiles, mais ces étoiles sont repoussées très loin pour expliquer leur immobilité.

La révolution copernicienne

Le système héliocentrique animé de mouvements circulaires uniformes n'explique pas tous les phénomènes observés, mais il propose une représentation qui émancipe la cosmologie de la théologie.

Mars rétrograde ?

A la fin du Moyen-Âge, les instruments de mesure d'angle, tel le quadrant, permettent aux astronomes d'observer avec précision le ciel et le mouvement des planètes. Mars semble revenir en arrière dans sa course céleste : en fait, elle tourne autour du Soleil, comme la Terre, qui va plus vite et « rattrape Mars pour la dépasser ». C'est le mouvement rétrograde.



2.1 - Elle tourne !

Que faire ?

Mettez les planètes en mouvement autour du Soleil. Observez comment la lumière du Soleil éclaire la Terre selon les saisons, pourquoi la lune change d'aspect et le déplacement apparent du Soleil et des planètes par rapport à la Terre.

Que retenir ?

Sur ce planétaire de Copernic sont représentés les mouvements de Mercure, Vénus, la Lune et l'inclinaison de la Terre. Il explique les saisons, les quartiers de la lune et la possibilité d'une éclipse lors d'une nouvelle lune.

Les saisons sont dues à l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de révolution autour du soleil: l'écliptique. Cet angle de près de 23° fait varier la durée du jour et de la nuit, comme l'inclinaison des rayons solaires au fil des saisons.

Le diamètre de la Lune et sa distance par rapport à la Terre lui permettent d'occulter parfaitement le disque solaire, mais comme elle se déplace selon un plan incliné par rapport à l'écliptique, les éclipses du Soleil par la Lune ne se produisent pas à chaque nouvelle lune.

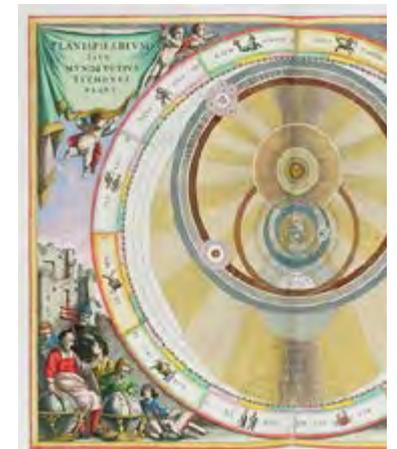
2.2 – Instruments de précision

Cet instrument est une reproduction d'un quadrant. Il permet de mesurer avec précision l'angle à l'horizon d'un astre et donc sa position dans le ciel.

Que retenir ?

À la fin du Moyen Age, les instruments de mesure d'angle, comme le quadrant, permettent à Tycho Brahé d'observer avec précision le ciel et le mouvement des planètes. La graduation des instruments et leur stabilité augmentent alors significativement la qualité des observations. Celles-ci permettront aux astronomes tel Kepler de s'affranchir des représentations anciennes et de calculer le mouvement des planètes autour du Soleil sur des orbites elliptiques et non circulaire.

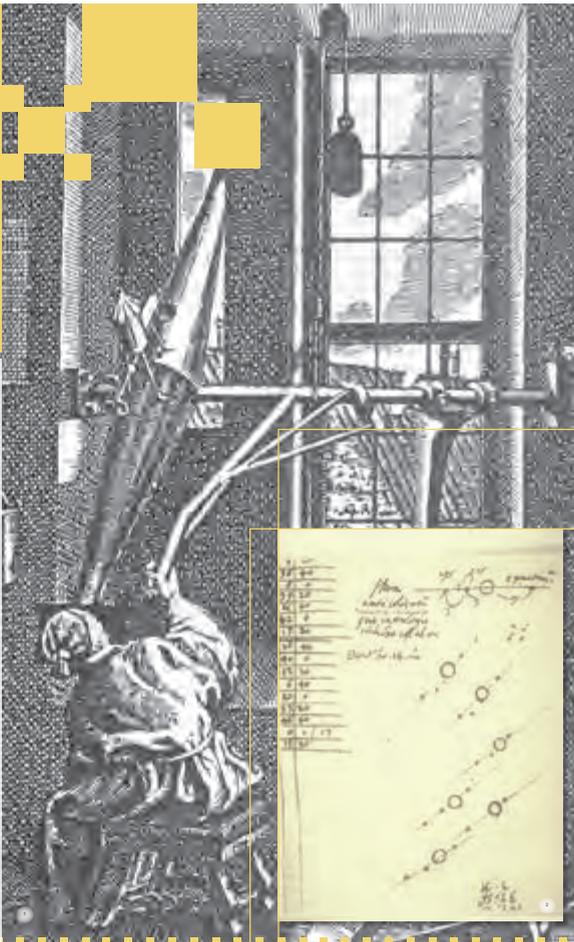
Jusqu'alors, les observations visaient à confirmer le modèle géocentrique où les astres devaient avoir un mouvement uniforme et circulaire ; malgré cette représentation erronée, la précision des tables de calcul de Ptolémée autorisait la prévision d'événements plus ou moins réguliers comme les éclipses solaires et lunaires.



UN NOUVEAU REGARD SUR LE CIEL

Au 17^e siècle, Galilée est le premier à scruter le ciel avec une lunette. Que voit-il de nouveau ? Beaucoup de nouvelles étoiles, des montagnes sur la Lune, les phases de Vénus, des satellites autour de Jupiter, des taches sur le Soleil, autant de remises en question des connaissances antérieures.

La preuve est faite que la Terre n'est pas le centre de l'Univers et que le ciel est rempli de milliers d'autres étoiles à des distances très grandes et variables. Les travaux de Galilée sur la chute des corps et le principe d'inertie vont ouvrir le chemin de la mécanique newtonienne.



1 - © 1975, Carl Dreyer donne une première mesure de la vitesse de la lumière © Observatoire de Paris-Muséum
2 - Copie d'un dessin de Galilée de Jupiter © Didier Malgouyres © Faculté de Saint-Pierre
3 - Copie d'un dessin de Galilée © Observatoire de Paris-Muséum
4 - Observatoire de Paris © Observatoire de Paris-Muséum



LA LOI DES AIRES
Kepler établit en 1609 des mesures d'une extraordinaire précision de Tycho Brahe que la trajectoire des planètes est une ellipse dont le Soleil occupe l'un des foyers, et que leur vitesse n'est pas constante : le rayon au Soleil balaye des aires égales en des temps égaux, c'est la loi des aires. En 1618, il énonce que le carré des périodes de révolution est proportionnel au cube du grand axe de l'orbite.

DE GRANDS OBSERVATOIRES

Jusqu'au 19^e siècle, lunettes et instruments de mesure se développent en taille et en précision. Ils permettent de calculer les positions exactes des astres, d'améliorer la précision des mesures. Ainsi naissent les grands observatoires européens de Paris (1667) et de Greenwich (1675).



P03- UN NOUVEAU REGARD SUR LE CIEL

Un nouveau regard sur le ciel

Au 17^e siècle, Galilée est le premier à scruter le ciel avec une lunette. Que voit-il de nouveau ? Beaucoup de nouvelles étoiles, des montagnes sur la Lune, les phases de Vénus, des satellites autour de Jupiter, des taches sur le Soleil, autant de remises en question des connaissances antérieures.

La preuve est faite que la Terre n'est pas le centre de l'Univers et que le ciel est rempli de milliers d'autres étoiles à des distances très grandes et variables. Les travaux de Galilée sur la chute des corps et le principe d'inertie vont ouvrir le chemin de la mécanique newtonienne.

La loi des aires

Kepler établit en 1609 des mesures d'une extraordinaire précision de Tycho Brahe que la trajectoire des planètes est une ellipse dont le Soleil occupe l'un des foyers, et que leur vitesse n'est pas constante : le rayon au Soleil balaye des aires égales en des temps égaux, c'est la loi des aires. En 1618, il énonce que le carré des périodes de révolution est proportionnel au cube du grand axe de l'orbite.

De grands observatoires

Jusqu'au 19^e siècle, lunettes et instruments de mesure se développent en taille et en précision. Ils permettent de calculer les positions exactes des astres, d'améliorer la précision des mesures. Ainsi naissent les grands observatoires européens de Paris (1667) et de Greenwich (1675).



3.1 - Double lentille

Que faire ?

Choisissez et regardez à travers deux de ces lentilles correctement disposées et suffisamment éloignées l'une de l'autre.

Que retenir ?

Les lunettes connues à l'époque de Galilée étaient constituées de deux lentilles. À l'avant une lentille convexe, convergente (C), et pour regarder une lentille concave, divergente (D), l'oculaire.

Galilée a fabriqué lui-même ses lunettes et atteint un facteur 30 d'agrandissement, mais les images restaient floues. Kepler utilisera une lentille convergente pour l'oculaire, ce qui lui donnera une image plus grande mais renversée.

Enfin, Newton, persuadé que les défauts optiques des lunettes ne seront jamais résolus, invente le télescope où l'image est formée par un miroir qui peut être très grand.

3.2 - La lunette de Galilée

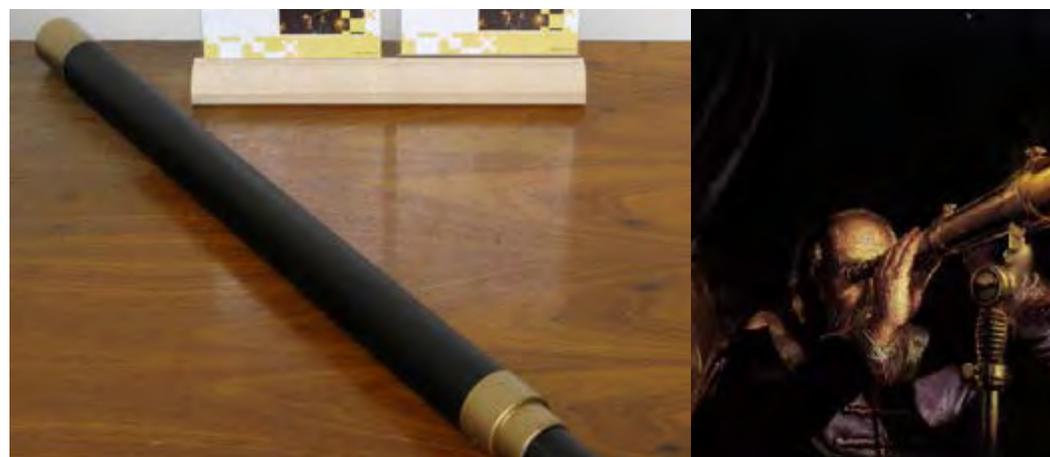
Que faire ?

Observez un détail éloigné avec cette lunette selon le principe optique de celle de Galilée. L'image est-elle inversée ?

Que retenir ?

Au 17^e siècle, Galilée est le premier à observer le ciel avec une lunette ; il découvre des montagnes sur la Lune, les phases de Vénus, des satellites autour de Jupiter, des taches sur le Soleil, autant de remise en question des connaissances antérieures. Le ciel se révèle constellé d'étoiles à des distances très grandes et variables.

Ce principe des doubles lentilles, utilisé par les lunettes astronomiques, permet de recueillir plus de lumière qu'à l'œil nu. Leurs qualités dépendent du grossissement (rapport des 2 distances focales), du pouvoir séparateur entre deux objets voisins et de la quantité d'énergie lumineuse qu'elles transmettent.



COMPRENDRE LA MÉCANIQUE CÉLESTE

Avec Newton, la gravitation et la force centrifuge maintiennent les planètes en orbite. En 1666, il décompose la lumière blanche du Soleil en ses différentes couleurs et présente le télescope à miroirs qui évite la dispersion de lumière. Les télescopes géants succèdent aux lunettes.

Équipés d'appareils photographiques, les télescopes permettent d'observer des objets célestes non visibles à l'œil nu, d'étudier leur composition et surtout leur évolution. Les grands observatoires deviennent des laboratoires de la recherche en physique. Les astronomes s'investissent dans la mise au point de très grands télescopes munis de miroirs avoisinant les dix mètres de diamètre.

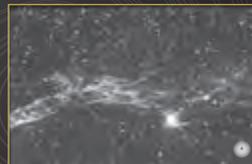


DE NOUVEAUX OBJETS

Halley observe la trajectoire des comètes et note que les étoiles n'ont pas des positions fixes. Herschel découvre Uranus en 1781 et les premières étoiles doubles. Il montre que le Soleil se déplace dans l'espace, observe les nébuleuses et déduit de la répartition des étoiles, la forme de notre galaxie.

LA SPECTROSCOPIE

L'analyse du spectre solaire révèle la signature des éléments chimiques de notre étoile, tel l'hydrogène mais aussi l'hélium, alors inconnu sur Terre. La spectroscopie renseigne sur la composition d'une étoile et son évolution, la nature gazeuse des nébuleuses et le déplacement des astres ; elle ouvre ainsi sur l'astrophysique.



P04- COMPRENDRE LA MECANIQUE CELESTE

Avec Newton, la gravitation et la force centrifuge maintiennent les planètes en orbite. En 1666, il décompose la lumière blanche du Soleil en ses différentes couleurs et présente le télescope à miroirs qui évite la dispersion de lumière. Les télescopes géants succèdent aux lunettes.

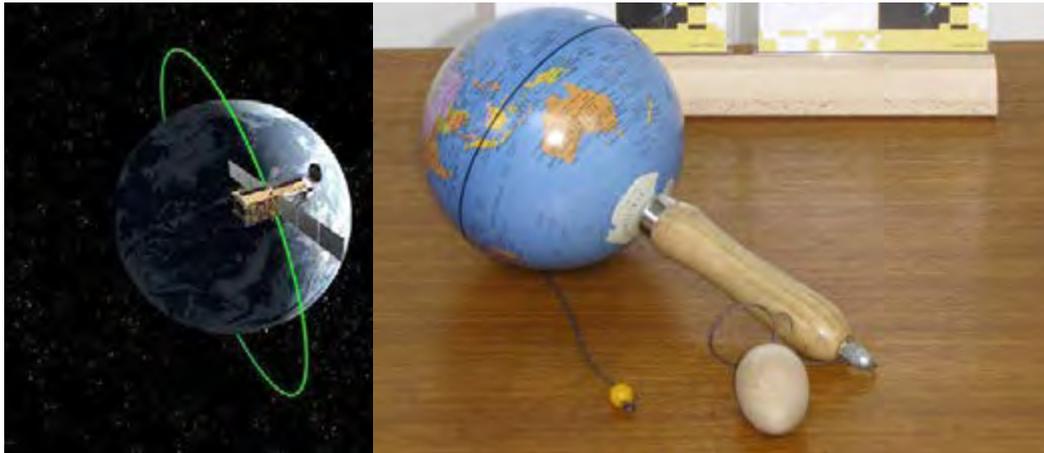
Équipés d'appareils photographiques, les télescopes permettent d'observer des objets célestes non visibles à l'œil nu, d'étudier leur composition et surtout leur évolution. Les grands observatoires deviennent des laboratoires de la recherche en physique. Les astronomes s'investissent dans la mise au point de très grands télescopes munis de miroirs avoisinant les dix mètres de diamètre.

La spectroscopie

L'analyse du spectre solaire révèle la signature des éléments chimiques de notre étoile, tel l'hydrogène mais aussi l'hélium, alors inconnu sur Terre. La spectroscopie renseigne sur la composition d'une étoile et son évolution, la nature gazeuse des nébuleuses et le déplacement des astres ; elle ouvre ainsi sur l'astrophysique.

De nouveaux objets

Halley observe la trajectoire des comètes et note que les étoiles n'ont pas des positions fixes. Herschel découvre Uranus en 1781 et les premières étoiles doubles. Il montre que le Soleil se déplace dans l'espace, observe les nébuleuses et déduit de la répartition des étoiles, la forme de notre galaxie.



4.1 - Mise sur orbite

Que faire ?

Faites tourner la bille rapidement jusqu'à la mettre en orbite autour de la Terre à une vingtaine de centimètres. Accélérez ou ralentissez la rotation et observez le contrepoids en bois.

Que retenir ?

La gravité s'exerce en permanence sur tous les corps qui nous entourent, les attirant en permanence vers la Terre. La rotation met en jeu une autre force, la force centrifuge, qui tend à éloigner les corps en orbite. Le fil, simulant la gravité, l'oblige à rester à une distance constante.

C'est Isaac Newton, en 1686, qui expliqua le premier la chute des corps par la gravitation universelle : *la force qui attire deux corps est proportionnelle à leurs masses et inversement proportionnelle au carré de leur distance.*

Ce sont ces mêmes causes qui maintiennent les satellites artificiels ou la Lune en orbite autour de la Terre (et les planètes autour du Soleil). Ils tombent sans cesse vers la Terre mais leur vitesse équilibre cette attraction et les laisse suffisamment longtemps en orbite.

4.2 - Constellations en 3D

Que faire ?

Observez la double image de ces étoiles. Après quelques instants, semblent-elles toutes à la même distance de nous ?

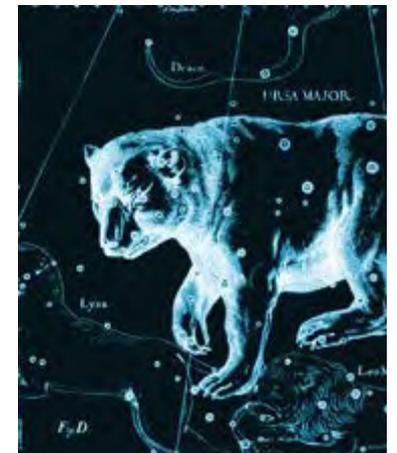
(de bas en haut, constellations de Cassiopée, du Cygne, du Lion et de la Croix du sud)

Que retenir ?

La perception de la profondeur est ici simulée pour illustrer les distances relatives des étoiles.

Si les étoiles semblent fixées sur la voûte céleste, l'observation du ciel avec les premières lunettes conduit à constater qu'elles sont à des distances très grandes et variables. La représentation d'une constellation est imaginaire ; elle dépend de la position de l'observateur (depuis la Terre) et des mouvements propres des étoiles sur de longues périodes.

De deux étoiles en apparence proche, la plus éloignée semble se décaler, vue sous un angle différent après six mois quand la Terre est à l'opposé autour du Soleil. Ce phénomène nommé parallaxe permet dès le 18^e siècle une première estimation de la distance des étoiles. À la fin du 20^e siècle, avec une précision accrue, le satellite européen Hipparcos a cartographié quelques 2,5 millions d'étoiles.



NOUVELLES FENÊTRES SUR L'UNIVERS

En étudiant la nature électromagnétique de la lumière, Maxwell suggère dès 1865 la possibilité d'un rayonnement à d'autres longueurs d'onde. En 1932, Karl Jansky analyse les parasites radio et déduit de leur régularité d'apparition leur origine céleste, notre Voie lactée ; c'est le début de la radioastronomie qui permet une observation d'objets inconnus jusque-là, tels les quasars et les pulsars.

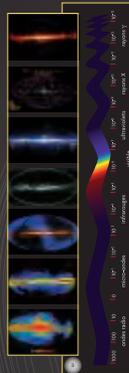
Tout corps rayonne des ondes électromagnétiques dont l'énergie est d'autant plus grande que sa température est élevée. L'Univers utilise toute la palette des énergies. En observant l'ensemble du spectre, l'astronomie accède aux énergies extrêmes.



1 - L'identification des objets, au traitement et à l'analyse des données ont été réalisés par les astronomes de l'Observatoire de Nançay / CNRS - photo J. Baudry
2 - Image simulée de la galaxie M33 prise par le télescope radio de Nançay
3 - Image simulée de la galaxie M33 prise par le télescope radio de Nançay
4 - Image simulée de la galaxie M33 prise par le télescope radio de Nançay
5 - Image simulée de la galaxie M33 prise par le télescope radio de Nançay
6 - Image simulée de la galaxie M33 prise par le télescope radio de Nançay

UNIVERS EN RADIO

Van de Hulst découvre en 1943 la possibilité d'une raie spectrale radio, celle de l'hydrogène à 21 cm de longueur d'onde. Les radiotélescopes permettent alors l'étude de l'Univers, pour déterminer son âge, comprendre son évolution, construire et de vérifier les théories telle la constante de Hubble.



L'ASTRONOMIE SPATIALE

Au 20^e siècle, l'astronomie spatiale permet d'observer toutes les longueurs d'ondes, en particulier les rayonnements qui ne peuvent traverser l'atmosphère terrestre : de nombreux satellites artificiels scrutent aujourd'hui l'Univers dans l'infrarouge, l'ultraviolet, les rayons X et gamma.



P05- NOUVELLES FENETRES SUR L'UNIVERS

En étudiant la nature électromagnétique de la lumière, Maxwell suggère dès 1865 la possibilité d'un rayonnement à d'autres longueurs d'onde. En 1932, Karl Jansky analyse les parasites radio et déduit de leur régularité d'apparition leur origine céleste, notre Voie lactée ; c'est le début de la radioastronomie qui permet une observation d'objets inconnus jusque-là, tels les quasars et les pulsars.

Tout corps rayonne des ondes électromagnétiques dont l'énergie est d'autant plus grande que sa température est élevée. L'Univers utilise toute la palette des énergies. En observant l'ensemble du spectre, l'astronomie accède aux énergies extrêmes.

Univers en radio

Van de Hulst découvre en 1943 la possibilité d'une raie spectrale radio : celle de l'hydrogène à 21 cm de longueur d'onde. Les radiotélescopes permettent alors l'étude de l'Univers, pour déterminer son âge, comprendre son évolution, construire et de vérifier les théories telle la constante de Hubble.

L'astronomie spatiale

Au 20^e siècle, l'astronomie spatiale permet d'observer toutes les longueurs d'ondes, en particulier les rayonnements qui ne peuvent traverser l'atmosphère terrestre : de nombreux satellites artificiels scrutent aujourd'hui l'Univers dans l'infrarouge, l'ultraviolet, les rayons X et gamma.



5.1 - Décomposer la lumière

Que faire ?

Dirigez le spectroscopie vers l'une des deux sources de lumière ; regardez par l'oculaire la bande colorée qui apparaît et comparez-les.

Que retenir ?

La lumière émise est un mélange, plus ou moins continu, de différentes longueurs d'ondes. Le prisme du spectroscopie permet d'étaler ce mélange en fonction de la longueur d'onde comme le font les gouttes de pluie pour l'arc en ciel. L'émission de lumière des gaz hélium et néon sont ici bien distinctes et caractérisées. Leur spectre discontinu est une signature reconnaissable.

En 1664 Newton comprend que la lumière blanche est constituée de plusieurs couleurs et c'est Fraunhofer qui obtient le premier spectre solaire au début du 19^e siècle. L'analyse des spectres donne accès à un ensemble de paramètres fondamentaux (luminosité, masse, température, composition chimique, distance...) et permet de mieux appréhender la nature des astres observés, comme le milieu interstellaire que le rayonnement traverse.

5.2 – Les couleurs du Ciel

Que faire ?

Exercez votre mémoire d'astrophysicien et retrouvez les paires qui se cachent derrière ces 32 cartes. Associez les 16 paires en un minimum de coups !

Que retenir ?

Les paires d'images que vous avez retrouvées bien que très différentes sont en fait celles de 2 galaxies : la nôtre, la Voie lactée, et la galaxie d'Andromède ou M31, l'objet céleste le plus éloigné de nous encore visible à l'œil nu. Ces images ont été prises à différentes de longueurs d'onde. Leur analyse est la base du travail des astrophysiciens.

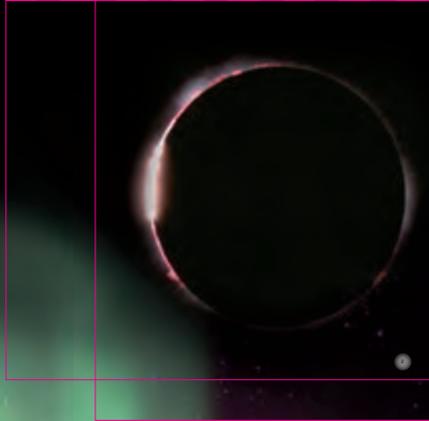
Le spectre électromagnétique ne se limite pas au domaine du visibles (du rouge au violet). En deçà du rouge, c'est l'infrarouge puis les ondes radio ; au-delà du violet, c'est l'ultraviolet, les rayons X et les rayons gamma dans le domaine des plus hautes énergies. Au cours du 20^e siècle, les instruments terrestres et satellitaires permettent d'observer les astres dans toutes les lumières du spectre et de mieux comprendre notre univers.



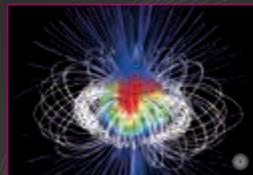
LE SOLEIL, UNE ÉTOILE COMME LES AUTRES

Proche de nous, le Soleil est l'étoile la plus facile à observer. Sous l'effet de la gravitation, cette masse d'hydrogène dépasse 15 millions de degrés au cœur. À cette température, les atomes d'hydrogène fusionnent en hélium, libérant une énergie colossale qui équilibre l'effondrement et porte la surface à 5 700° C.

L'intense champ magnétique du Soleil est à l'origine de taches, de protubérances et d'éruptions solaires. Observant ses vibrations, le satellite SoHO perçoit la structure et les mouvements internes générateurs d'effet dynamo. Avec le Soleil pour modèle, les astronomes observent l'activité des étoiles et scrutent en ondes radio l'interaction magnétique avec la matière interstellaire.



1 - Les vents solaires sont à l'origine des aurores dans la haute atmosphère des planètes du Système Solaire.
2 - La sonde spatiale Solar Orbiter de l'ESA sera lancée en 2020 en direction du Soleil.
3 - La sonde spatiale Parker Solar Probe de la NASA sera lancée en 2018 en direction du Soleil.
4 - Au Népal, les vents solaires sont à l'origine des aurores polaires.



INTERFÉROMÈTRE

En combinant le signal de plusieurs récepteurs, un interféromètre atteint la résolution d'un instrument unique d'un diamètre égal à la distance qui les sépare, à condition de précisément « retarder » leurs signaux. L'interférométrie, très tôt mise en œuvre en radio, permet la réalisation d'instruments géants (SKA en radio, VLT en optique).

DES PUCES POUR L'UNIVERS

Accédant à d'invisibles champs magnétiques, la radioastronomie permet d'étudier l'influence dans la formation et l'évolution des astres. Pour s'affranchir des perturbations générées par l'homme, des traitements informatiques et électroniques indispensables sont développés, notamment pour le radiotélescope SKA.



P06- SOLEIL, UNE ÉTOILE COMME LES AUTRES

Proche de nous, le Soleil est l'étoile la plus facile à observer. Sous l'effet de la gravitation, cette masse d'hydrogène dépasse 15 millions de degrés au cœur. À cette température, les atomes d'hydrogène fusionnent en hélium, libérant une énergie colossale qui équilibre l'effondrement et porte la surface à 5 700° C.

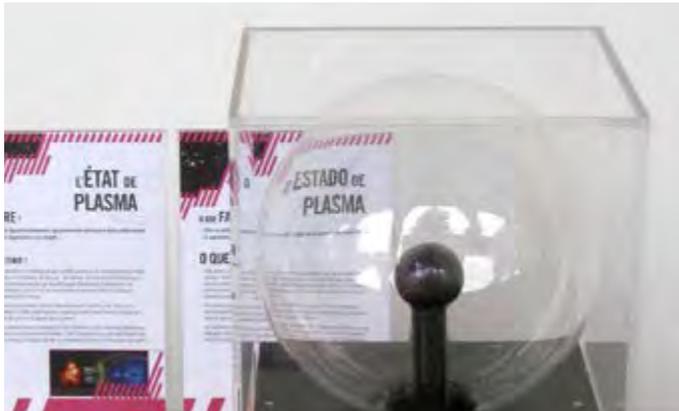
Le champ magnétique du Soleil, intense et complexe, est à l'origine de taches, de protubérances et d'éruptions solaires. Observant ses vibrations, le satellite Soho perçoit la structure et les mouvements internes générateurs d'effet dynamo. Avec le Soleil pour modèle, les astronomes observent l'activité des étoiles et scrutent en ondes radio l'interaction magnétique avec la matière interstellaire.

Des puces pour l'Univers

Accédant à d'invisibles champs magnétiques, la radioastronomie permet d'en étudier l'influence dans la formation et l'évolution des astres. Pour s'affranchir des perturbations générées par l'homme, des traitements informatiques et électroniques indispensables sont développés, notamment pour le radiotélescope SKA.

Interféromètre

En combinant le signal de plusieurs récepteurs, un interféromètre atteint la résolution d'un instrument unique d'un diamètre égal à la distance qui les sépare, à condition de précisément « retarder » leurs signaux. L'interférométrie, très tôt mise en œuvre en radio, permet la réalisation d'instruments géants (SKA en radio, VLT en optique...).



6.1 – L'état de plasma

Que faire ?

Regardez les lignes lumineuses qui prennent naissance dans cette boule lorsque vous approchez vos doigts.

Que retenir ?

Cette sphère contient un mélange de gaz raréfiés soumis à un champ électrique élevé. On obtient ainsi une ionisation de ces gaz : les atomes ne sont plus électriquement neutres. Leurs électrons excités par les décharges électriques se désexcitent en émettant de l'énergie sous forme lumineuse comme dans les tubes d'éclairage appelés (souvent à tort) "néons".

La matière sous forme ionisée est très abondante dans l'univers. Sur Terre nous sommes habitués à l'état solide, liquide ou gazeux, mais le soleil comme toutes les étoiles est fait de gaz ionisé appelé aussi plasma.

Les couches supérieures de l'atmosphère sont ionisées sous le choc des particules et du rayonnement constituant le vent solaire. C'est l'ionosphère qui permet d'établir des liaisons radio à longue distance car elle se comporte comme un miroir pour ces ondes.

6.2 - Le Soleil dans tous ses états

Que faire ?

Observez à toutes les longueurs d'onde les indices d'un événement solaire.

Que retenir ?

L'énergie considérable développée par le Soleil se manifeste lors de phénomènes cycliques comme les taches solaires, ou violents et imprévisibles : les éruptions. D'intenses rayonnements en ondes radio, dans l'ultraviolet et en rayons X accompagnent ces événements invisibles à nos yeux.

Divers instruments d'observations suivent ainsi son activité : sur Nançay (Cher), les antennes observent un vaste domaine de longueurs d'ondes radio et permettent de sonder la couronne solaire à différentes altitudes, depuis l'espace, des satellites comme SoHO scrutent le Soleil du visible aux UV extrêmes et rayons X, ou tels STEREO A et B l'embrassent d'un regard en 3D.

Lors des maximums d'activité solaire, des éjections brutales et considérables de particules chargées traversent l'espace et peuvent perturber l'environnement terrestre, provoquant notamment de splendides aurores polaires.

6.3 - Champs et lignes

Que faire ?

Agitez doucement le cadre pour répartir la limaille de fer. Placez-le sur le Soleil et tapotez légèrement. Comment s'organise la limaille de fer ?

Que retenir ?

La limaille rend visible le champ magnétique produit par l'aimant qui se trouve dans la représentation du Soleil.

Les aimants ont des applications depuis longtemps, la première fut sans doute la boussole. En effet la Terre comme beaucoup de corps célestes produit un champ magnétique, semblable à celui-ci, avec un pôle nord et un pôle sud.

Le soleil aussi crée un champ magnétique, la forme de sa couronne dépend de celui-ci. La couronne solaire est faite d'un gaz de particules qui ont une charge électrique, celles-ci sont donc canalisées par les lignes de champ. Ce champ est très déformé par les mouvements de la matière dans les zones plus profondes du Soleil. La compréhension des phénomènes en jeu est un sujet de recherche en plein développement.





7.1 - En route vers le chaos

Que faire ?

Faites tourner le cylindre intérieur, de plus en plus vite. Observez l'évolution des rouleaux horizontaux.

Que retenir ?

Cette expérience (Couette - Taylor) illustre un phénomène menant d'un état laminaire vers un état chaotique. Observez le liquide entre ses parois en augmentant progressivement la vitesse de rotation du cylindre intérieur : à petite vitesse, l'écoulement caractérise un état laminaire ; en accélérant, on observe un empilement de tourbillons toroïdaux, stable dans le temps.

Si la vitesse augmente, des ondulations se développent et l'écoulement devient périodique. Si la rotation est trop rapide, il passe à un état chaotique turbulent.

En laboratoire, on modélise pour comprendre les phénomènes à l'origine des bandes nuageuses des planètes gazeuses ; ainsi la tache rouge de Jupiter est un gigantesque cyclone résultant de la rotation des masses de gaz dans l'atmosphère jovienne et de mouvements de convection thermique dus à la température plus élevée au cœur de la planète.

7.2 – Tombés du ciel

Que faire :

Observez ces météorites, leur surface a subi un échauffement intense lors de la rentrée dans l'atmosphère.

Météorites : chondrite carbonée – sidérite Gibéon de Namibie – poussières d'étoiles (coll. Alain Carion)

Que retenir ?

La chimie organique est particulièrement active dans le milieu interstellaire. Les comètes, astéroïdes et météorites sont riches en carbone, d'où l'hypothèse spatiale de l'origine de la vie. Ces corps célestes ont pu apporter de grandes quantités de matière organique sur Terre pendant la phase de bombardement intense des premiers millions d'années.

L'analyse des poussières résiduelles de la formation du système solaire (chevelure de comètes, météorite type chondrite carbonée...) fournit de précieux indices pour en comprendre les mécanismes. L'exploration spatiale de comètes et astéroïdes, la modélisation des systèmes dynamiques ou l'étude des répartitions des exoplanètes connues complexifient le scénario de notre système planétaire.



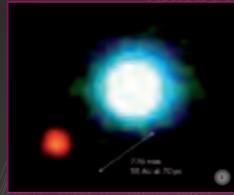
LA CHASSE AUX EXOPLANÈTES

En 1995, Mayor et Queloz annoncent la découverte d'une planète autour de l'étoile 51 Pegasi, lançant la traque aux exoplanètes, objets non stellaires en orbite autour d'une étoile. La présence d'une planète massive autour d'une étoile peut être décelée grâce aux variations de l'orbite de l'étoile.

La mise au point de spectromètres hypersensibles, tel HARPS installé à la Silla au Chili, permet désormais d'observer parmi les quelques 300 premières exoplanètes, la présence de planètes rocheuses de plus en plus proches du modèle terrestre. L'observation de ces nouveaux systèmes planétaires questionne notre compréhension de la formation du système solaire.



1. Site d'annonce de la découverte de la planète 51 Pegasi © ESO
 2. Observatoire de la Silla au Chili © Observatoire de la Silla, Transiting Exoplanet Search
 3. Planète rocheuse autour de l'étoile 51 Pegasi © ESO
 4. Spectromètre HARPS installé à la Silla © ESO



STARS DISCRÈTES ?

L'observation directe d'une planète à proximité d'une étoile requiert un instrument de grand diamètre pour les distinguer. Le satellite CoRoT, avec son télescope de 30 cm, surveille les variations de luminosité des étoiles. Très sensible, il peut détecter le passage d'exoplanètes devant leur étoile.

NAISSANCE PLANÉTAIRE

La diversité observée des systèmes d'exoplanètes bouleverse la hiérarchie planétaire. Une planète géante naît-elle proche de son étoile ou migre-t-elle ? La simulation numérique permet de tester les hypothèses comme celle de la migration des géantes gazeuses... à l'origine d'un bombardement tardif de la Lune, il y a 3,9 milliards d'années.



P08- LA CHASSE AUX EXOPLANÈTES

En 1995, Mayor et Queloz annoncent la découverte d'une planète autour de l'étoile 51 Pegasi, lançant la traque aux exoplanètes, objets non stellaires en orbite autour d'une étoile. La présence d'une planète massive autour d'une étoile peut être décelée grâce aux variations de l'orbite de l'étoile. La mise au point de spectromètres hypersensibles, tel HARPS installé à la Silla au Chili, permet désormais d'observer parmi les quelques 300 premières exoplanètes, la présence de planètes rocheuses de plus en plus proches du modèle terrestre. L'observation de ces nouveaux systèmes planétaires questionne notre compréhension de la formation du système solaire.

Naissance planétaire

La diversité observée des systèmes d'exoplanètes bouleverse la hiérarchie planétaire. Une planète géante naît-elle proche de son étoile ou migre-t-elle ? La simulation numérique permet de tester les hypothèses comme celle de la migration des géantes gazeuses... à l'origine d'un bombardement tardif de la Lune, il y a 3,9 milliards d'années.

Stars discrètes ?

L'observation directe d'une planète à proximité d'une étoile requiert un instrument de grand diamètre pour les distinguer. Le satellite CoRoT, avec son télescope de 30 cm, surveille les variations de luminosité des étoiles. Très sensible, il peut détecter le passage d'exoplanètes devant leur étoile.



8.1 – La chasse aux exoplanètes

Que faire ?

Lancez ces étoiles en rotation ; que remarquez-vous ? Peut-on alors deviner la présence toute proche d'une planète, plus ou moins massive, plus ou moins proche ?

Que retenir ?

La chasse aux exoplanètes tente de repérer un astre qui n'émet pas de lumière mais reflète celle de son étoile à grande proximité. Les distinguer malgré la différence de luminosité implique des instruments de très grand diamètre (projet E ELT) ou une méthode indirecte.

Dès 1995, le spectrographe Elodie mis en place par les astronomes Mayor et Queloz détecte les variations dans l'orbite d'une étoile générées par son système planétaire. Comme pour un lanceur de poids tournoyant sur lui-même, sa rotation révèle la présence d'objet massif.

Mais la détection de planète comparable à la Terre, Mars, Vénus ou Mercure, de faible masse s'avère plus délicate. C'est en suivant l'occultation infime de la lumière de son étoile que le satellite CoRoT a détecté une planète à peine plus grosse que la Terre lors de son passage.

8.2 - L'eau ailleurs

Que faire ?

Observez ces différents objets célestes, les reconnaissez-vous ? SOLEIL - VÉNUS - TERRE - LUNE - MARS - ASTÉROÏDES - EUROPE - TITAN - COMÈTE - GÉANTE ROUGE - NÉBULEUSE.

A votre avis, lesquels possèdent de l'eau et sous quels états ? Pour le savoir, retournez-les.

Que retenir :

La molécule d'eau résulte de la combinaison de deux atomes très répandus dans l'univers : l'hydrogène qui représente à lui seul 70 % de la masse visible de l'univers et l'oxygène pour 0,92 %. L'eau est présente dans tout le cosmos, sous forme de glace ou de vapeur. Elle est même relativement courante à l'état gazeux. Mais l'eau à l'état liquide étant plus fugace, sa présence dépend de conditions restreintes de température et de pression suffisante.

SOLEIL - Comme toute étoile, il brille par des réactions de fusion thermonucléaire qui transforment l'hydrogène en hélium à plusieurs millions de degrés. Trop chaud, il ne peut pas y avoir de molécules d'eau.

TERRE - Par sa taille, sa gravité suffisante pour retenir une atmosphère, et sa distance au Soleil, la Terre est la seule planète connue à posséder l'eau à l'état liquide. Les états liquide, solide et gazeux y coexistent.

MARS - L'atmosphère de Mars est riche en CO₂ (95,3 %) et pauvre en vapeur d'eau (0,035 %). Les traces d'érosion observées ont révélé que si l'eau a pu couler, elle ne subsisterait aujourd'hui qu'à l'état gelé dans le sol.

VÉNUS - Proche du Soleil et avec une atmosphère riche en gaz à effet de serre (CO₂ à 95,5 %), la température sur Vénus dépasse 450°C. L'eau a pratiquement disparu (0,006%).

LUNE - La Lune ne possède pas d'atmosphère, donc pas de vapeur d'eau. Les «mers» lunaires ne sont que des plaines de poussières. Mais en 2009, la chute d'une sonde lunaire a révélé la trace d'eau gelée à son pôle sud.

ASTÉROÏDES - Datant de la formation de notre système, ils peuvent avoir de la glace en surface. Constitués de matériaux hydratés, ils témoignent d'une origine interstellaire de l'eau, quand poussières et vapeur d'eau se seraient recondensés.

EUROPE - Observé par les sondes Voyager, ce satellite de Jupiter est couvert de glace. Il semble parcouru de failles, à l'image des banquises à la dérive. Ces indices laissent soupçonner sous sa surface de vastes océans d'eau liquide.

COMÈTES - Ces «boules de neige» sales marquent leur passage à proximité du Soleil par une fonte du noyau cométaire. Les observations ont révélé une forte présence d'eau sous forme de glace et de matière organique.

TITAN - Avec son atmosphère riche en molécules organiques, Titan réunit les conditions nécessaires à l'apparition de la vie. Mais avec une température de -183°C en surface, c'est plus une Terre primitive congelée !

GÉANTE ROUGE - Comme les naines brunes, les géantes rouges sont de vieilles étoiles où la température de l'enveloppe gazeuse permet la présence de vapeur d'eau et même de glace quand cette atmosphère très étendue est assez froide.

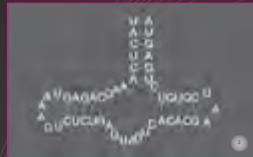
NÉBULEUSES - Riches en hydrogène, ces nuages interstellaires ont révélé des centaines de molécules y compris d'eau. C'est au sein de ces nuages que naissent les étoiles et parfois de futurs systèmes planétaires.

AU CŒUR DES NÉBULEUSES

Véritables nurseries stellaires, de vastes masses de gaz s'y condensent en étoiles. Au terme de leur vie, les étoiles les plus massives, à la dynamique de formation plus rapide, enrichissent le milieu en carbone, oxygène et autres éléments synthétisés.

Les grands nuages interstellaires, riches en molécules et poussières sont le siège d'une chimie complexe, observable principalement en ondes radio millimétriques et en infrarouge. La sensibilité accrue des instruments a permis d'identifier plus de 140 molécules, y compris les précurseurs des acides aminés, ces briques élémentaires des protéines, démontrant ainsi le caractère universel de la chimie organique menant à la vie.

1 - Formation d'étoiles dans le nuage de gaz de Carina vu par le télescope spatial Hubble.
 2 - Nébuleuse de l'Épave (SNR) vue par le télescope spatial Hubble.
 3 - Les molécules organiques les plus complexes détectées dans le nuage de gaz de Carina, image obtenue par le télescope ALMA.
 4 - Les molécules organiques les plus complexes détectées dans le nuage de gaz de Carina, image obtenue par le télescope ALMA.
 5 - Photographie aérienne du désert d'Atacama, Longue-Montagne Atacama au Chili, au Chili.



ASTROCHIMIE
 Pour sonder les réactions chimiques au cœur des nébuleuses, les astronomes doivent observer les ondes millimétriques. Celles-ci étant absorbées par la vapeur d'eau, leurs observations nécessitent un ciel favorable, comme dans le désert d'Atacama pour le futur ALMA, ou depuis l'espace avec le satellite Herschel.

EXOBILOGIE
 Pour explorer les origines de la vie, biologistes, chimistes, paléontologues comme astronomes cherchent à identifier des systèmes chimiques capables d'auto reproduction et d'évolution, deux qualités requises *a minima* pour le passage de la matière à la vie. Les acides ribonucléiques (ARN) et les viroïdes sont particulièrement étudiés dans ce contexte.



P09- AU CŒUR DES NEBULEUSES

Véritables pouponnières stellaires, de vastes masses de gaz s'y condensent en étoiles. Au terme de leur vie, les étoiles les plus massives, à la dynamique de formation plus rapide, enrichissent le milieu en carbone, oxygène et autres éléments synthétisés.

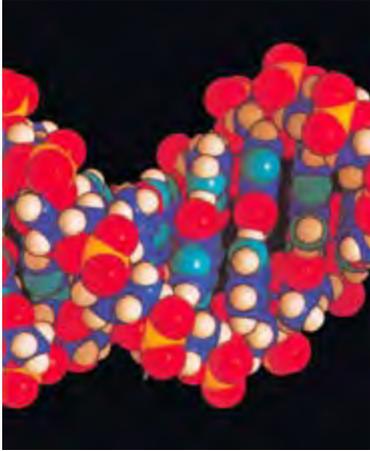
Les grands nuages interstellaires, riches en molécules et poussières sont le siège d'une chimie complexe, observable principalement en ondes radio millimétriques et en infrarouge. La sensibilité accrue des instruments a permis d'identifier plus de 140 molécules, y compris les précurseurs des acides aminés, ces briques élémentaires des protéines, démontrant ainsi le caractère universel de la chimie organique menant à la vie.

Exobiologie

Pour explorer les origines de la vie, biologistes, chimistes, paléontologues comme astronomes cherchent à identifier des systèmes chimiques capables d'auto reproduction et d'évolution, deux qualités requises a minima pour le passage de la matière à la vie. Les acides ribonucléiques (ARN) et les viroïdes sont particulièrement étudiés dans ce contexte.

Astrochimie

Pour sonder les réactions chimiques au cœur des nébuleuses, les astronomes doivent observer les ondes millimétriques. Celles-ci étant absorbées par la vapeur d'eau, leurs observations nécessitent un ciel favorable, comme dans le désert d'Atacama pour le futur ALMA, ou depuis l'espace avec le satellite Herschel.



9.1 La photocopie de la vie !

Que faire ?

Dupliquez cet ADN. La duplication respecte la règle suivante : adénine s'associe avec thymine - cytosine s'associe avec guanine. Si une erreur se glisse pendant la copie, il y a mutation et le produit du gène est modifié.

Que retenir ?

L'ADN constitue tout le programme génétique d'un être vivant, animal, végétal ou microbien. Ce filament est constitué d'une succession d'un phosphate et d'un sucre flanqué de 4 molécules de base qui permettent les appariements, adénine (A), cytosine (C), thymine (T) et guanine (G), véritable source de l'information génétique, comme les lettres d'un mot.

Molécule en forme de double hélice, chaque brin d'ADN est la réplique de l'autre. Pour lire puis écrire cette information, cette double hélice est ouverte, puis chaque brin est dupliqué. L'information transcrite en ARN messager (ARNm) est alors traduite en protéine, chaque acide aminé étant codé par 3 «lettres» (codon) de l'ARN messager. Au cours de l'évolution, des mécanismes de réparation ont permis la conservation et la réplique du vivant par des procédés réduisant le risque d'erreur de copie tout en permettant aux brins de s'allonger afin d'augmenter le volume de l'information génétique.

9.2 – Aux fréquences de l'invisible

Que faire ?

L'allume gaz émet un signal dans le domaine radio. Testez la réception de cette lumière radioélectrique avec ou sans le dôme grillagé. Que se passe-t-il ?

Que retenir ?

Comme un miroir, le grillage métallique réfléchit la lumière radio si sa maille est dix fois plus fine que la longueur d'onde (ici quelques centimètres). Les grands radiotélescopes au 20^e siècle tels Arecibo, Green Bank ou Nançay comportent ainsi de grandes surfaces collectrices pour concentrer l'énergie sur le récepteur et observer l'univers dans le domaine radio.

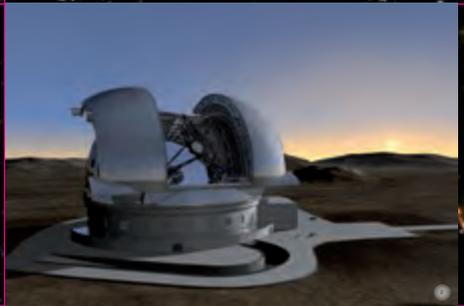
La radioastronomie se développe notamment pour l'observation des molécules dans le milieu interstellaire, à quelques millimètres de longueur d'ondes avec des réseaux d'antenne qui interfèrent, comme l'Atacama Large Millimeter Array (ALMA) sur le mont Paranal au Chili. L'amélioration du traitement des signaux permet d'accroître exponentiellement les objets d'études, depuis l'influence des champs magnétiques sur l'évolution des galaxies au rayonnement synchrotron d'étoiles effondrées.



DES GALAXIES AUX AMAS

Les galaxies, archipels de matière dans l'Univers, rassemblent chacune près de cent milliards d'étoiles. Les galaxies spirales, telle la Voie lactée, présentent un disque de gaz et de poussières en rotation où se forment les étoiles. Leur trop grande vitesse de rotation en périphérie laisse les astronomes perplexes : une partie de la matière doit être cachée, ou est-ce la gravité qui se modifie à cette échelle ?

La distribution de la matière, visible ou non, permet de comprendre la formation et l'évolution des galaxies et des amas. L'observation à de très grandes distances – près de dix milliards d'années-lumière – montre un univers jeune où les galaxies, déjà en pleine formation d'étoiles, se concentrent à l'intersection de vastes filaments de gaz.



1 - Hubble Ultra Deep Field © NASA/ESA - G. Biscione
2 - Le ciel d'été © J. L. Lemaître - 100 ans de la découverte de la lumière © ILL - G. Biscione
3 - Les galaxies M81 et M33 vues par le télescope grand champ Magellan © Canada France Hawaii Telescope
4 - Schéma du LIGO en lumière gravitationnelle © Université de Liège



CACHE-CACHE AVEC LA MATIÈRE

L'univers se limite-t-il à ce que l'on en voit ? Même invisible, la matière peut être détectée par un effet gravitationnel. L'expérience Eros a scruté un pic de luminosité d'étoiles éloignées « déformées » par la matière noire. Très rare, leur détection a impliqué la réalisation de caméras CCD grand champ.

COMBIEN PÈSE UNE GALAXIE ?

Les astronomes l'estiment en comptant la masse d'étoiles, de gaz et de poussières d'une part, et en extrapolant de sa vitesse de rotation, la masse requise pour qu'elle ne se disperse pas d'autre part. Les galaxies semblent alors 5 à 10 fois plus massives que la matière visible le laisse à penser.



P10- DES GALAXIES AUX AMAS

Les galaxies, archipels de matière dans l'Univers, rassemblent chacune près de cent milliards d'étoiles. Les galaxies spirales, telle la Voie lactée, présentent un disque de gaz et de poussières en rotation où se forment les étoiles. Leur trop grande vitesse de rotation en périphérie laisse les astronomes perplexes : une partie de la matière doit être cachée, ou est-ce la gravité qui se modifie à cette échelle ? La distribution de la matière, visible ou non, permet de comprendre la formation et l'évolution des galaxies et des amas. L'observation à de très grandes distances – près de dix milliards d'années-lumière – montre un univers jeune où les galaxies, déjà en pleine formation d'étoiles, se concentrent à l'intersection de vastes filaments de gaz.

Combien pèse une galaxie ?

Les astronomes l'estiment en comptant la masse d'étoiles, de gaz et de poussières d'une part, et en extrapolant de sa vitesse de rotation, la masse requise pour qu'elle ne se disperse pas d'autre part. Les galaxies semblent alors 5 à 10 fois plus massives que la matière visible le laisse à penser.

Cache-cache avec la matière

L'univers se limite-t-il à ce que l'on en voit ? Même invisible, la matière peut être détectée par un effet gravitationnel. L'expérience Eros a scruté un pic de luminosité d'étoiles éloignées « déformées » par la matière noire. Très rare, leur détection a impliqué la réalisation de caméras CCD grand champ.



10.1 – Lentille gravitationnelle

Que faire?

Visez le point de lumière au travers de la lentille. Faites apparaître des motifs d'arc lumineux en déplaçant légèrement celle-ci. La lumière vous semble-t-elle alors augmentée ?

Que retenir?

Prédites par la théorie de la relativité générale dès 1917, les premiers mirages gravitationnels furent observés en 1979 : l'image lointaine d'un noyau de galaxie – un quasar- semble démultipliée par l'effet gravitationnel d'une masse relativement compact dans l'axe d'observation. Depuis, de nombreux mirages sont observés, permettant de scruter des objets lointains, de déterminer la constante de Hubble, voire de déceler la matière noire par l'effet gravitationnel...

En plaçant la lentille dans l'axe de la lumière, vous interposez l'équivalent d'un objet de $2/3$ de masse terrestre, créant ainsi les conditions pour former un arc de lumière appelé anneau d'Einstein. Si l'alignement n'est plus parfait, l'anneau se brise en plusieurs arcs, configuration observée par les astrophysiciens.

10.2 - à l'image d'une galaxie ?

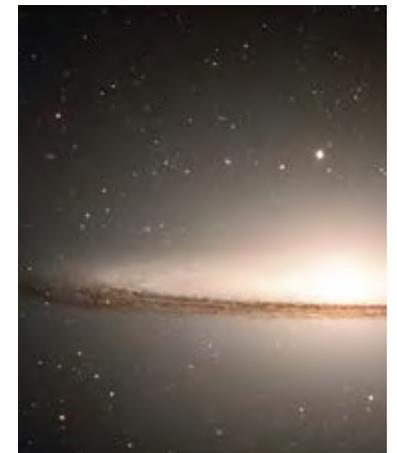
Que faire ?

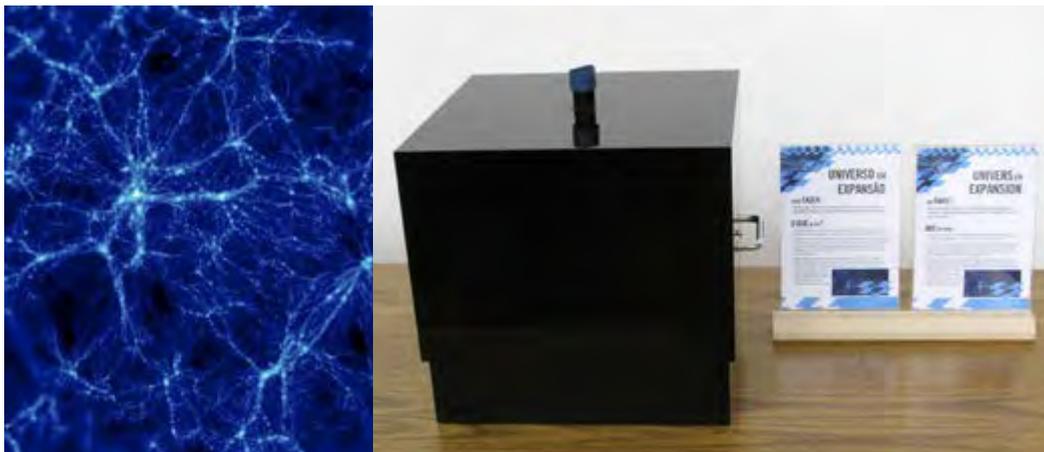
Tournez doucement et régulièrement le disque. Observez les mouvements dans le liquide.

Que retenir ?

C'est au début du 20^e siècle que les astronomes ont pu déterminer la silhouette de notre ensemble d'étoile, la Voie Lactée, notre galaxie. Oort établi en 1927 que les étoiles sont animées d'un mouvement de rotation autour du centre. Mais à la différence d'un disque, la rotation des objets dépend de leur distance au centre : le système solaire, à près d'un tiers de rayon du centre galactique, se déplace à 230 km/s ! Cette rotation différentielle est ici simulée par le mouvement des paillettes dans le fluide en mouvement. Dans un mouvement tourbillonnaire, les paillettes s'enroulent en bras spiraux à l'image d'une galaxie.

Dans ces galaxies spirales, c'est essentiellement dans les bras spiraux que les nouvelles étoiles se forment. Un événement comme la collision entre deux galaxies peut en accélérer la flambée d'étoiles et en épuiser les réserves. L'étude de la quantité de matière disponible, l'hydrogène gazeux, permet l'étude de l'évolution des galaxies dans l'Univers jeune.





11.1 Univers en expansion

Que faire ?

Dans cette boîte, observez l'image de l'Univers en faisant varier la hauteur. Les galaxies changent-elles de place ? S'éloignent-elles les unes des autres ?

Que retenir ?

Peintes sur les deux miroirs de ce kaléidoscope, les galaxies restent à leur place mais semblent ici s'éloigner quand la distance entre les miroirs augmente.

Par l'effet doppler, la signature d'une source lumineuse se décale vers le bleu si elle se rapproche et vers le rouge en s'éloignant. Hubble observe dès 1926 qu'à des distances cosmologiques toutes les galaxies présentent ce décalage vers le rouge, proportionnellement plus élevé que la galaxie est lointaine.

Ce décalage systématique, où une galaxie s'éloigne d'autant plus vite qu'elle est lointaine, montre que l'Univers subit une expansion globale. Son observation induit l'idée d'un Univers extrêmement dense il y a près de 13,7 milliards d'années ; avec le rayonnement diffus, lueurs fossiles de la propagation de la lumière dans un univers primordial moins dense et transparent, ces indices étayaient l'hypothèse du big-bang.

11.2 - Le panier du cosmologiste

Que faire ?

Voici une bien étrange boîte à outils... Retrouvez les concepts inventés en astronomie !

Que retenir ?

Les astronomes ont scruté le ciel à l'œil nu, puis avec leurs instruments ; ceux-ci ont permis d'étudier les astres avec précision, d'en déduire nature et lois physiques. Ces représentations de notre Univers de plus en plus fidèles sont aussi de plus en plus complexes.

Avec le développement de très grands instruments au sol comme dans l'espace, des capacités de modélisation et de calculs, les astronomes peuvent recueillir de nouvelles informations sur la formation et la dynamique de l'Univers. Ils élaborent les concepts pour manipuler ces représentations, qui peuvent nous sembler abstraits ou poétiques : les supernovae lointaines y sont des chandelles éclairant l'âge de l'Univers... la force gravitationnelle courbe la lumière et révèle comme une loupe les amas de galaxie... des acteurs invisibles semblent gérer le devenir de l'Univers, telle la masse manquante ou l'énergie noire.



PREMIERS INSTANTS DE L'UNIVERS

Pour obtenir des indications sur le passé lointain de l'Univers, les physiciens provoquent de violentes collisions de particules dans les accélérateurs de haute énergie. Ils recréent, dans un tout petit volume et un très bref instant, les conditions physiques extrêmes de l'Univers primordial.

De ces chocs naissent de nombreuses particules -matérialisées de l'énergie incidente- qui n'existent plus dans l'Univers ; fugaces, elles se transforment rapidement en des particules plus stables. Mais l'Univers n'en a pas moins perdu la possibilité de faire réapparaître en son sein, selon des lois physiques invariables, ces objets qu'il ne contient plus.

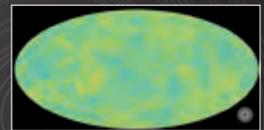


1. Collisions de protons au LHC au CERN.
2. Pour obtenir les concepts de l'univers primordial, à l'échelle temporelle et spatiale, on étudie le comportement du plasma de quarks et de gluons.
3. Les particules sont produites en abondance dans les collisions de haute énergie.
4. L'Univers primordial est un état de haute énergie et de haute température.



FOND DIFFUS COSMOLOGIQUE

380 000 ans après le big-bang, la dissociation entre matière et énergie permise par l'inflation laisse se propager librement la lumière. C'est cette lueur fossile dont on observe l'étonnante uniformité dans toutes les directions. Les astronomes scrutent dans les « grumeaux » du fond cosmologique l'empreinte des premiers instants de l'Univers.



BESTIAIRE DE PARTICULES

Les particules élémentaires comptent deux familles. Les bosons véhiculent les quatre interactions – forte, faible, électromagnétique et gravitationnelle – quand les fermions constituent la matière ordinaire – électron, neutrino, quarks « bas » et « haut » – et d'autres particules dont l'observation nécessite des énergies extrêmes.

P12- PREMIERS INSTANTS DE L'UNIVERS

Pour obtenir des indications sur le passé lointain de l'Univers, les physiciens provoquent de violentes collisions de particules dans les accélérateurs de haute énergie. Ils recréent, dans un tout petit volume et en un très bref instant, les conditions physiques extrêmes de l'Univers primordial.

De ces chocs naissent de nombreuses particules – matérialisées de l'énergie incidente – qui n'existent plus dans l'Univers ; fugaces, elles se transforment rapidement en des particules plus stables. Mais l'Univers n'en a pas moins perdu la possibilité de faire réapparaître en son sein, selon des lois physiques invariables, ces objets qu'il ne contient plus.

Bestiaire de particules

Les particules élémentaires comptent deux familles. Les bosons véhiculent les quatre interactions – forte, faible, électromagnétique et gravitationnelle – quand les fermions constituent la matière ordinaire – électron, neutrino, quarks « bas » et « haut » – et d'autres particules dont l'observation nécessite des énergies extrêmes.

Fond diffus cosmologique

380 000 ans après le big-bang, la dissociation entre matière et énergie permise par l'inflation laisse se propager librement la lumière. C'est cette lueur fossile dont on observe l'étonnante uniformité dans toutes les directions. Les astronomes scrutent dans les « grumeaux » du fond cosmologique l'empreinte des premiers instants de l'Univers.

12.2 – Tout l'Univers dans un ordinateur

Que retenir ?

À défaut d'observer l'Univers dans son ensemble, les astrophysiciens le recréent au cœur de super ordinateurs. La puissance des calculateurs permet aujourd'hui aux scientifiques de simuler la formation et l'évolution des astres en images virtuelles à 3 dimensions voire de tester les théories de formation et d'évolution des structures de l'Univers, du big-bang à nos jours, avec une précision suffisante pour confronter le résultat des calculs afin de comprendre les mécanismes à l'œuvre dans l'Univers.

12.1 - Aux échelles de l'Univers

De notre échelle à l'infiniment grand, faites ici le voyage depuis un brin d'herbe jusqu'aux plus grandes dimensions de l'Univers connu. D'une prise de vue à l'autre, vous vous déplacez d'un facteur 10.

Descriptif : 27 cadres de 40x40cm avec illustrations de puissances de 10, à suspendre ou accrochage mural en respectant un espace entre chaque (maximum 5m - minimum 1m).

La modélisation illustre ici la formation des galaxies aux débuts de l'Univers. Les images sont les résultats de calculs numériques effectués sur «Mare Nostrum», l'un des plus gros ordinateurs du monde. Elle montre la formation de plus de 100 millions de galaxies qui sont apparues à l'intersection d'un réseau complexe de filaments gazeux. La précision et la taille de cette simulation permettent d'étudier en détail comment les galaxies concentrent la matière qui les constitue et les conduit à former des étoiles. Dans cette nouvelle théorie, la plupart des galaxies croissent par accrétion continue de gaz venant de courants froids, plutôt que par des collisions entre galaxies satellites. Elles sont baptisées «les Galaxies à Courants Froids».



LES MYSTÉRIEUSES ONDES GRAVITATIONNELLES

Pour le physicien, dans le modèle standard, les relations entre particules et forces -forte, faible et électromagnétique- sont d'une grande cohérence à l'exception de la gravité, décrite géométriquement. La théorie d'Einstein prédit l'existence d'ondes gravitationnelles, comme des perturbations du champ gravitationnel qui se propagent dans l'espace à la vitesse de la lumière.

Mais la très faible interaction avec la matière en rend la détection délicate, expérience tentée avec des instruments comme Virgo. Les astronomes accèderaient à de nombreux objets compacts, dont la lumière ne sort jamais, tels des cœurs de supernovæ ou des systèmes de trous noirs en orbite l'un autour de l'autre.



1 - Cratère de Chicxulub, photo de l'ESA © CNRS / IAGLR / Virgo
 2 - Photographie d'un trou noir supermassif prise par le télescope spatial Hubble © CNRS
 3 - Illustration d'un trou noir supermassif au centre d'une galaxie © CNRS / IAGLR / Virgo
 4 - © 2016 - Photo d'artiste d'un trou noir supermassif au centre d'une galaxie © CNRS / IAGLR / Virgo



LA GRANDE UNIFICATION

À l'Institut des Hautes Études Scientifiques, mathématiques et physique quantique questionnent les premiers instants de l'Univers avec une craie blanche sur un tableau noir. Les hypothèses des physiciens sont nombreuses, mathématiquement précises, très spéculatives sur le cadre où elles se développent, celui des cordes. Elles tendent vers une théorie quantique de la gravitation.

UN BOSON DE POIDS !

« Dans la famille des bosons, je voudrais le... graviton ! ». Selon la conception quantique, cette particule est responsable de la propagation de l'interaction gravitationnelle, comme le photon transmet l'interaction électromagnétique. Un éventuel boson de Higgs donnerait ainsi leur masse aux particules.



P13- MYSTÉRIEUSES ONDES GRAVITATIONNELLES

Pour le physicien, dans le modèle standard, les relations entre particules et forces -forte, faible et électromagnétique- sont d'une grande cohérence à l'exception de la gravité, décrite géométriquement. La théorie d'Einstein prédit l'existence d'ondes gravitationnelles, comme des perturbations du champ gravitationnel qui se propagent dans l'espace à la vitesse de la lumière.

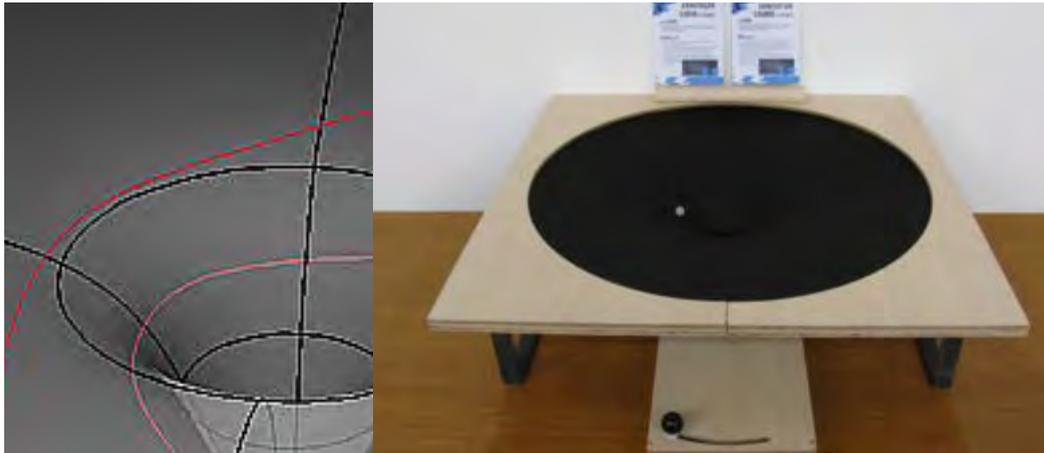
Mais la très faible interaction avec la matière en rend la détection délicate, expérience tentée avec des instruments comme Virgo. Les astronomes accèderaient à de nombreux objets compacts, dont la lumière ne sort jamais, tels des cœurs de supernovæ ou des systèmes de trous noirs en orbite l'un autour de l'autre.

La grande unification

À l'Institut des Hautes Études Scientifiques, mathématiques et physique quantique questionnent les premiers instants de l'Univers avec une craie blanche sur un tableau noir. Les hypothèses des physiciens sont nombreuses, mathématiquement précises, très spéculatives sur le cadre où elles se développent, celui des cordes. Elle tendent vers une théorie quantique de la gravitation.

Un boson de poids !

« Dans la famille des bosons, je voudrais le... graviton ! » Selon la conception quantique, cette particule est responsable de la propagation de l'interaction gravitationnelle, comme le photon transmet l'interaction électromagnétique. Un éventuel boson de Higgs donnerait ainsi leur masse aux particules.



13.1 – Quand la gravitation courbe l'espace

Que faire ?

Avec la manette, accentuez plus ou moins la forme d'entonnoir. Lancez une bille dans l'arène pour qu'elle fasse le plus de tours possible. Observez les trajectoires elliptiques.

Que retenir ?

Au 17^e siècle, Kepler puis Newton ont découvert les lois physiques qui permettent de décrire la trajectoire d'une planète autour du Soleil.

Avec la théorie de la relativité générale d'Einstein, la gravitation devient une manifestation de la courbure de l'espace : les propriétés géométriques de l'espace sont conditionnées par la distribution de la matière. La théorie fut vérifiée dans l'observation de la courbure d'un rayon lumineux par notre étoile le Soleil en 1919.

Il est possible de se représenter cette déformation à l'image d'une toile élastique localement creusé par la présence d'un objet. En agissant sur la commande, vous augmentez donc l'attraction gravitationnelle de l'objet massif au centre, la Terre, une étoile, voire un trou noir !

13.2 - Des ondes gravitationnelles ?

Que faire ?

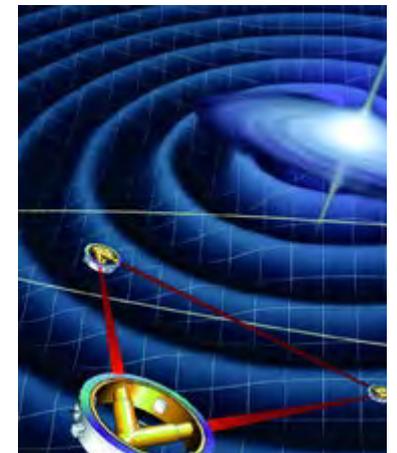
Avec le batteur, perturbez la surface de l'eau en créant une onde ; observez son passage à hauteur des flotteurs...

Que retenir ?

Prédites par la théorie de la relativité, l'existence des ondes gravitationnelles reste à observer.

Si la courbure de l'espace-temps dépend des objets massifs qui la déforme (cf. toile élastique), le déplacement d'un astre très massif doit être à l'origine d'un front d'onde, tel une vague à la surface de l'eau. La détection de ce phénomène nécessite de très grands instruments sensibles à une perturbation locale de l'espace-temps, telle l'expérience Virgo en Italie ou les satellites LISA prochainement.

Une autre possibilité réside dans l'observation de pulsars. Cette étoile effondrée et en rotation sur elle-même, extrêmement dense, émet un signal directif tel un phare céleste. La mesure d'avance ou de retard des impulsions en ondes radio étayeraient l'existence des ondes gravitationnelles.



AUX TRÈS HAUTES ÉNERGIES

L'effondrement d'une étoile sur elle-même, si sa masse est suffisante, forme un objet compact doté d'une gravité très élevée : les étoiles à neutrons et les trous noirs sont entourés de champs de forces gravitationnelle et magnétique extrêmes et se manifestent comme de puissantes sources de rayonnements X ou gamma.

Si l'atmosphère est opaque aux rayonnements gamma, les particules y interagissent : elles sont à l'origine d'une gerbe très directive qui peut être observée au sol. Par cet effet Cerenkov, l'instrument HESS reconnaît et interprète les sources avec plusieurs télescopes fonctionnant en stéréoscopie dotés chacun de caméras très sensibles et rapides.



1. Au Nord, l'instrument HESS pour l'étude des rayonnements gamma de haute énergie.
2. L'Institut de Recherches sur les lois Fondamentales de l'Univers.
3. L'Institut de Recherches sur les lois Fondamentales de l'Univers.
4. L'Institut de Recherches sur les lois Fondamentales de l'Univers.
5. L'Institut de Recherches sur les lois Fondamentales de l'Univers.
6. L'Institut de Recherches sur les lois Fondamentales de l'Univers.



INNOVATION TECHNOLOGIQUE

Les instruments de recherche font appel à des technologies hors du commun. Les ingénieurs développent et réalisent ces équipements avec les industriels. Imaginée à l'Institut de Recherches sur les lois Fondamentales de l'Univers, l'électronique de traitement des signaux en temps réel à des cadences élevées équipe de nombreux laboratoires.

SURSAUTS GAMMA

Découverts par hasard en surveillant les essais nucléaires atmosphériques, les sursauts gamma ont une origine cosmologique. Événement parmi les plus énergétiques de l'Univers, l'émission de lumière gamma est associée à l'effondrement d'une étoile qui éjecte alors des bouffées de matière à des vitesses proches de celle de la lumière.



P14- AUX TRES HAUTES ENERGIES

L'effondrement d'une étoile sur elle-même, si sa masse est suffisante, forme un objet compact doté d'une gravité très élevée : les étoiles à neutrons et les trous noirs sont entourés de champs de forces gravitationnelle et magnétique extrêmes et se manifestent comme de puissantes sources de rayonnements X ou gamma.

Si l'atmosphère est opaque aux rayonnements gamma, les particules y interagissent : elles sont à l'origine d'une gerbe très directive qui peut être observée au sol. Par cet effet Cerenkov, l'instrument HESS reconnaît et interprète les sources avec plusieurs télescopes fonctionnant en stéréoscopie dotés chacun de caméras très sensibles et rapides.

Sursauts gamma

Découverts par hasard en surveillant les essais nucléaires atmosphériques, les sursauts gamma ont une origine cosmologique. Événement parmi les plus énergétiques de l'Univers, l'émission de lumière gamma est associée à l'effondrement d'une étoile qui éjecte alors des bouffées de matière à des vitesses proches de celle de la lumière.

Innovation technologique

Les instruments de recherche font appel à des technologies hors du commun. Les ingénieurs développent et réalisent ces équipements avec les industriels. Imaginée à l'Institut de Recherches sur les lois Fondamentales de l'Univers, l'électronique de traitement des signaux en temps réel à des cadences élevées équipe de nombreux laboratoires.



14.1 - En stéréoscopie

Que faire ?

En vous aidant de l'ocillon, observez ces sources de lumière avec l'œil gauche puis le droit ; laquelle est en avant, rouge ou bleue ? Et avec les deux yeux ?

Que retenir ?

Votre cerveau interprète les différences entre l'œil gauche et le droit et construit une représentation en relief de ces lumières. En multipliant les points de vue, si vous vous déplacez, leur inclinaison devient plus précise.

Sur ce principe de stéréoscopie, les antennes réceptrices de l'instrument HESS installées dans le désert namibien perçoivent différemment un faible éclat de lumière né en haute altitude de l'interaction de particules très énergétiques avec la haute atmosphère. Le gain en sensibilité de l'instrument permet d'associer les observations à celles des télescopes spatiaux dans le domaine gamma.

En déterminant avec précision l'orientation du flash et l'origine céleste des sursauts de rayons gamma, les astronomes peuvent mieux comprendre les mécanismes très énergétiques associés au cœur des galaxies ou à l'effondrement d'étoiles massives.

14.2 - Des astres de poids

Que faire ?

Naine brune, pulsar ou trou noir... Essayez-vous à lutter contre l'attraction de chacun de ses objets ! Attention, tirez sans forcer puis relâchez l'objet doucement.

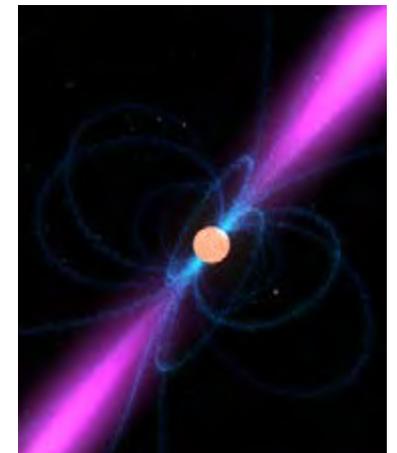
Que retenir ?

Le destin des étoiles dépend fortement de leur masse ; une étoile comme le soleil évoluera en consommant son hydrogène, principale constituant, transformé en hélium puis en carbone et brûlera pendant quelques milliards d'année. Une fois consommé, elle s'effondre sur elle-même sous l'effet de la gravité, et les réactions se poursuivent avec la formation d'éléments plus lourds comme l'oxygène. La puissance des réactions font alors exploser l'enveloppe et ne reste que le cœur de l'étoile qui s'effondre en naine blanche, de la taille de la Terre mais beaucoup plus dense : un dés à coudre de matière peserait plusieurs tonnes !

Les étoiles géantes, dont la masse est au moins supérieure à 6 fois la masse solaire, brûlent beaucoup plus vite et évoluent en supergéantes avant d'exploser en supernovæ. L'effondrement du cœur en étoile à neutron, voire en trou noir dépendra de la masse de l'étoile.

Remarque pour l'animateur :

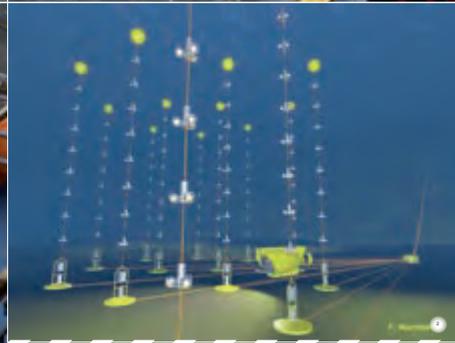
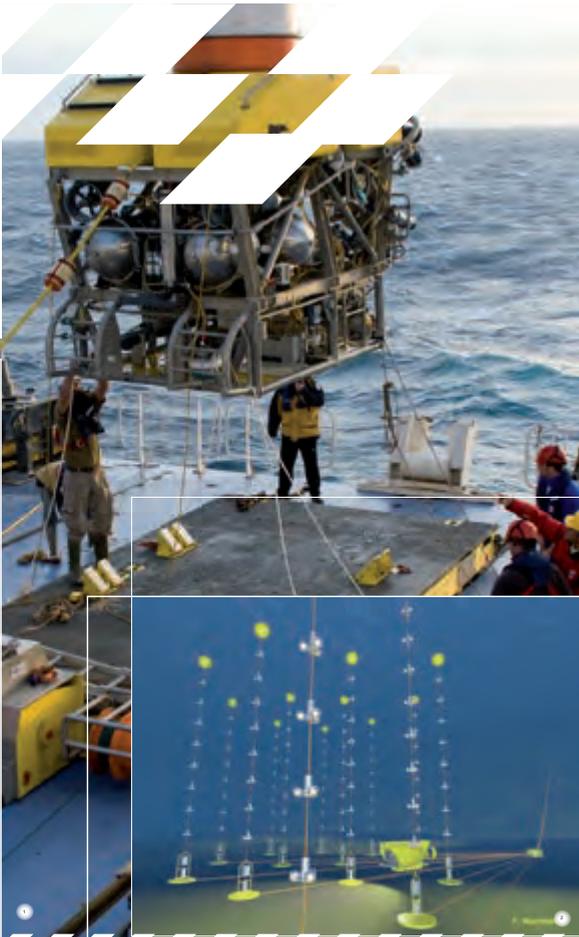
L'astronomie moderne est obligé de faire avec les objets étranges et sources aléatoires (cf. la nébuleuse du Crabe qui ne pouvait être « accepté » par les astronomes du Moyen-Âge). Depuis l'ouverture de la fenêtre des hautes énergies, l'Univers semble aujourd'hui extrêmement variable aux astronomes, en particulier sur des échelles de temps très courtes. Les sources de sursauts gamma comme les trous noirs émettent des bouffées d'énergie mais encore faut-il le capter au bon instant. Pour cela les instruments récents sacrifient la précision à l'étendue la plus vaste possible de leur regard afin de comprendre l'origine avant de pouvoir prospecter les mécanismes de ces phénomènes.



SUR LA TRACE DES NEUTRINOS

L'Univers nous est connu par ses lumières, les photons. Ils s'échappent difficilement des régions denses et chaudes des étoiles, des noyaux actifs de galaxie et autres sources très énergétiques. Pour l'Univers lointain, il faut un messager qui interagisse faiblement : le neutrino.

L'observation de neutrinos de haute énergie permet d'étudier la physique des objets les plus violents de l'Univers, peut-être à l'origine du rayonnement cosmique. Ceux de basse énergie peuvent révéler la matière noire. Pour détecter les neutrinos, il faut des détecteurs extrêmement puissants et donc sensibles aux perturbations, tels ceux d'Antarès immergés à 2 500 mètres en Méditerranée.



DANS LES PROFONDEURS DE L'OcéAN

Les neutrinos traversent la Terre en permanence. Pour observer le ciel de l'hémisphère sud, les yeux d'Antarès détectent la faible lumière née de l'interaction avec la Terre, bien protégés sous le blindage naturel de la mer au large de Toulon.

ASTROPARTICULES

L'astronomie des particules étudie l'infiniment petit et contribue aux grandes questions de l'Univers : si l'essentiel de l'Univers reste à élucider, la théorie de la « supersymétrie » prédit l'existence de particules élémentaires massives accumulées au cœur des astres : les Wimps, en s'annihilant, émettraient des neutrinos...



P15- SUR LA TRACE DES NEUTRINOS

L'Univers nous est connu par ses lumières, les photons. Ils s'échappent difficilement des régions denses et chaudes des étoiles, des noyaux actifs de galaxie et autres sources très énergétiques. Pour l'Univers lointain, il faut utiliser un messager qui interagisse faiblement : le neutrino.

L'observation de neutrinos de haute énergie permet d'étudier la physique des objets les plus violents de l'Univers, peut-être à l'origine du rayonnement cosmique. Ceux de basse énergie peuvent révéler la matière noire. Pour détecter les neutrinos, il faut des détecteurs extrêmement puissants et donc sensibles aux perturbations, tels ceux d'Antarès immergés à 2 500 mètres en Méditerranée.

Dans les profondeurs de l'océan

Les neutrinos traversent la Terre en permanence. Pour observer le ciel de l'hémisphère sud, les yeux d'Antarès détectent la faible lumière née de l'interaction avec la Terre, bien protégés sous un blindage naturel de la mer au large de Toulon.

Astroparticules

L'astronomie des particules étudie l'infiniment petit et contribue aux grandes questions de l'Univers : si l'essentiel de l'Univers reste à élucider, la théorie de la « supersymétrie » prédit l'existence de particules élémentaires massives accumulées au cœur des astres : les Wimps, en s'annihilant, émettraient des neutrinos...



15.1 - Multiplier la lumière

Que faire ?

Tel notre œil, un photomultiplicateur capte les « grains » de lumière ; à chaque photon reçu, un électron est arraché, puis amplifié en un signal électrique détectable. Observez ici la succession des composants.

Que retenir ?

Aux plus hautes énergies, les rayonnements-gamma révèlent des événements cataclysmiques. Mais arrêtées par l'atmosphère, les particules cosmiques ne parviennent pas jusqu'au sol ; pourtant lorsqu'une particule de haute énergie heurte une molécule de l'atmosphère, celle-ci produit des particules de moindre énergie qui elles-mêmes vont rencontrer des molécules... il se produit un effet en cascade, une gerbe de lumière « bleutée » formant un cône alors détectable.

En captant ce signal, les astronomes ont eu la possibilité de localiser l'origine de ces rayonnements comme la fin violente des étoiles géantes ou l'environnement des objets les plus massifs de notre Univers.

Photomultiplicateur issu de l'expérience Thémistocle - Targassonne (Pyrénées-Orientales) : détection des rayonnements gamma. Prêt du LPC - Collège de France (IN2P3)

Remarques pour animateur : Précurseur de l'expérience Antarès, ce télescope est utilisé dans l'expérience Thémistocle, qui se situe sur le site de Thémis, auprès de l'ancienne centrale solaire de EDF, à Targassonne (Pyrénées-Orientales). Avec 17 autres instruments semblables, il se consacre à l'étude des rayons gamma de très haute énergie. Un miroir parabolique de 400 millimètres de longueur focale collecte, sur un photomultiplicateur placé en son foyer, certains photons produits par les gerbes de rayons gamma interagissant dans l'atmosphère. Le nombre et les temps d'arrivée des photons sont mesurés. La direction d'où provient le rayonnement, et donc la source, peut ainsi être déduite. À la suite de cette expérimentation fructueuse, les développements des détecteurs et la faisabilité de l'instrumentation ont permis la réalisation de l'observatoire Antarès, au fond de la mer.

15.2 – De nouvelles fenêtres sur l'Univers

Que faire ?

Tendez l'oreille ; les carillons au-dessus de vous signalent-ils un léger courant d'air ou la main d'un visiteur ?

Que retenir ?

La distinction tient ici à la détection simultanée d'un courant d'air qui agite chaque mobile et fait tinter le carillon.

Pour questionner l'Univers, les astronomes font preuve d'audace ! Dans la région de Cuyo, en Argentine, les 1600 cuves remplies d'eau et 24 télescopes constituent sur 3000 kilomètres carrés le plus grand observatoire. Ils scrutent les rayons cosmiques, témoins des manifestations les plus violentes de l'Univers. L'observatoire Pierre Auger en détermine l'origine extragalactique.

Un grain de matière éjectée à la vitesse proche de celle de la lumière, après une course folle de quelques millions d'années, percute une molécule atmosphérique ; la gerbe de particules secondaires émises alors dans l'atmosphère induit de brefs flashes dans les cuves à eau... et ouvrent une fenêtre inédite sur l'Univers extrême, celui du cœur de galaxies, où de probables trous noirs sont le siège d'une physique encore à explorer.

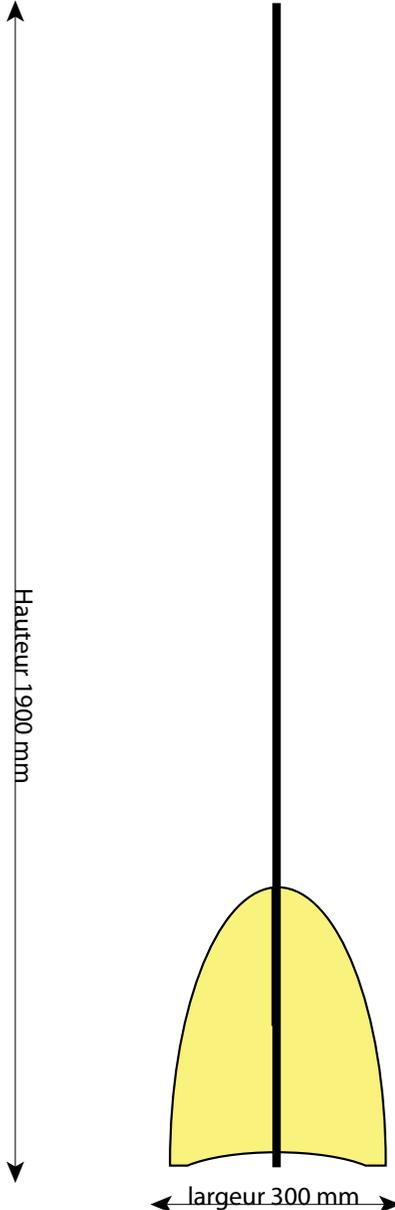


STRUCTURE DE L'EXPOSITION

16 panneaux autoportants

Format 1,90 m de haut sur 0,67 m de largeur

Présentation Recto-verso, chapitrage avec code couleur



AU VERSO - Parcours photographique

(avec l'aimable autorisation de l'ESO)

P01 - Kudurru du roi Melishipak II (1186 - 1172 avant J.-C.)

P02 - Comète Mc Naught depuis le VLT en janvier 2007

P03 - D'après Galilée, dessins d'observations lunaires

P04 - Rotation nocturne du ciel austral à l'observatoire de la Silla

P05 - Galaxie M82 en infrarouge, rayons X et dans le visible

P06 - Protubérance solaire enregistrée le 8 janvier 2000

P07 - Reflet du Soleil dans les anneaux de Saturne

P08 - Pouponnière d'étoile, la nébuleuse NGC 3603

P09 - Nébuleuse M78, une vaste étendue de gaz reflète l'éclat des étoiles

P10 - M104, la galaxie du Sombrero

P11 - Hubble Ultra Deep Field

P12 - Simulation de la formation des galaxies au sein de la toile cosmique

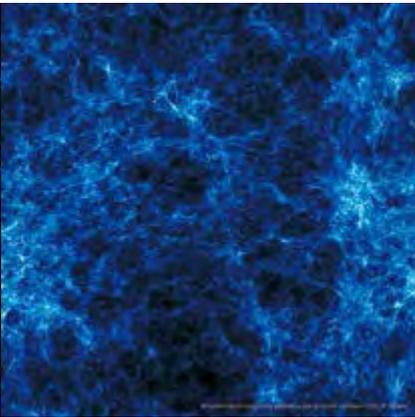
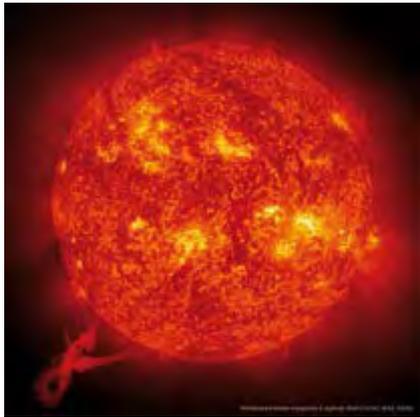
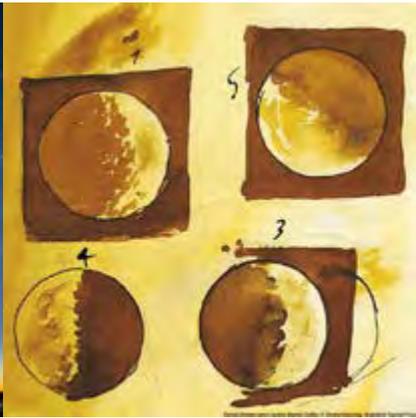
P13 - Au cœur de la nébuleuse de l'hélice brillent les restes d'une étoile

P14 - La nébuleuse du Crabe où une étoile à neutron tourne sur elle-même

P15 - Le jet aux hautes énergies révèle un trou noir

RMN, cliché Centre•Sciences ; ESO, cliché S. Deiries ; Centre•Sciences, illustration Samuel Roux ; ESO, cliché Iztok Bončina ; NASA, ESA, CXC, JPL-Caltech ; SOHO (ESA, NASA) ; NASA/JPL/Space Science Institute ; ESO ; ESO, cliché Igor Chekalin ; ESO, cliché P. Barthel ; NASA, ESA, S. Beckwith, B. Mobasher (STScI) ; CEA, R. Teyssier ; ESO ; ESO ; ESO/WFI (visible), MPIFR/ESO/APEX/A.Weiss et al. (submillimétrique), NASA/CXC/CfA/R.Kraft et al. (rayons X)

D'après le 100 images les plus fameuses de l'ESO et l'exposition du CEA et du CNRS <http://irfu.cea.fr/Sap/Images/expositions/ratp2009/expo-ratp.htm>



**VITRINES DE L'EXPOSITION
(EN OPTION, MOBILIERS À FOURNIR)**

REPRÉSENTER LE CIEL



Planisphère céleste

Cette tablette babylonienne (VII^{ème} siècle avant J.C.) est une projection plane de la sphère céleste.

Des inscriptions en cunéiforme indiquent le nom des étoiles et des constellations. Le centre de ce disque d'argile représente le pôle nord céleste.

Réalisation Olivier RENARD (Centre•Sciences - Orléans)



Astrolabe en bois

Construit à partir du V^{ème} siècle de notre ère, l'astrolabe plan remonterait à l'Antiquité grecque.

La base représente le monde, sur laquelle pivote « l'araignée », une carte céleste marquant les étoiles et la trajectoire annuelle du Soleil. On en déduit l'aspect du ciel à tout instant.

Réalisation Alphonse DELAVERGNE (GERMEA - Pau)



Sphère armillaire

C'est un instrument très ancien qui existe en Chine dès le II^{ème} siècle avant J.C.

Constituée d'anneaux de bois (les armilles), la sphère armillaire permet de reproduire le mouvement apparent des astres mais aussi de comprendre leur déplacement et ainsi prédire leur position.

Réalisation Alphonse DELAVERGNE (GERMEA - Pau)

LA MESURE DU TEMPS



Cadran solaire

Simple bâton planté au sol, le gnomon, ou cadran solaire subtilement dessiné, le principe est le toujours le même : l'observation d'un déplacement de l'ombre portée d'une tige (le style) divise la journée autour du midi. Orienté nord-sud (méridien), le déplacement apparent du Soleil projette l'ombre du style qui donne l'heure solaire locale.

Réalisation ARTISSIME (Mirabel-aux-Baronnies)



Nocturlab

Ce cadran stellaire permet de connaître l'heure locale pendant la nuit. C'est l'équivalent nocturne du cadran solaire.

Par la rotation apparente du ciel autour de l'étoile Polaire, deux étoiles de la Grande Ourse forment un alignement effectuant une rotation apparente dans le ciel en 24 h ; Comme l'aiguille d'une horloge, elles donnent chaque jour les heures de nuit.

Réalisation Alphonse DELAVERGNE (GERMEA - Pau)



Sablier

Si on ne connaît pas précisément l'origine des premiers sabliers, son utilisation est attestée dès le Xème siècle. Cet instrument permet de mesurer un intervalle de temps par écoulement de sable. Puis lorsque tout le sable s'est écoulé, de le retourner !

Réalisation Centre•Sciences (Orléans)

Horloge astronomique (temps sidéral)

Elle est réglée sur le temps d'une rotation de la Terre sur elle-même, en fixant pour repère les étoiles. Cette horloge avance donc de quatre minutes par jour par rapport à une horloge habituelle ; ainsi si une étoile est visible au méridien à 23H22 min, la nuit suivante elle y passera à 23H18 à nos montres. Cette horloge aura compté 24H.

TS 23:56:04



Bâton de Jacob

Instrument de navigation, l'arbalétrille ou bâton de Jacob sert à mesurer la hauteur des étoiles dès le XIV^{ème} siècle.

L'observateur vise l'horizon et une étoile coïncidant avec l'une des extrémités du marteau, ce qui lui donne la hauteur de l'astre sur l'horizon.

Réalisation Alphonse DELAVERGNE (GERMEA - Pau)



Quartier de Davis

Inventé pour faire le point sans être ébloui, à la fin du XVI^{ème} siècle, le quartier de Davis permet de mesurer la hauteur du Soleil en lui tournant le dos.

L'observateur dirige le viseur vers l'horizon. L'ombre du marteau se projette sur le viseur indiquant sur l'arc gradué, la hauteur du Soleil

Réalisation Alphonse DELAVERGNE (GERMEA - Pau)



Sextant de marine

Le sextant, mis au point au XVIII^{ème} siècle, reste l'indispensable auxiliaire du navigateur.

Le Soleil est réfléchi par deux miroirs successifs. Le premier, étamé sur la moitié, permet de superposer le Soleil et l'horizon, la hauteur étant alors le double de l'angle des miroirs.



Lunette de Galilée

En 1609, Galilée expérimente la construction de lunettes grossissantes pour observer le ciel. Il améliore l'invention hollandaise par une lentille divergente en oculaire. Montées sur de simples tubes en bois, les lentilles conçues par Galilée permirent pour la première fois d'étudier de près la Lune, les taches solaires et les planètes.

Fac-similé réalisation Atelier des Charrons (Lyon)



Télescope de Newton

Pour pallier les défauts optiques des lunettes, Isaac Newton construit en 1668 un premier télescope, avec un miroir en bronze poli ; la lumière, focalisée dans l'axe de ce miroir, est renvoyée sur le côté par un prisme à réflexion totale, et l'image est examinée par l'oculaire formé d'une simple lentille.

Fac-similé réalisation Atelier des Charrons (Lyon)



Détecteur de neutrinos : Chooz - Ardennes

Les centrales nucléaires sont des sources colossales de neutrinos. C'est pourquoi une expérience a été installée près des réacteurs nucléaires de la centrale de Chooz dans les Ardennes. Son but est de déterminer si les neutrinos ont une masse.

Le détecteur de neutrinos construit pour réaliser cette expérience est constitué de trois enveloppes ayant chacune la forme d'un cylindre fermé à chaque extrémité par une demi-sphère. On voit ici un instrument de mesure placé sur la demi-sphère de l'enveloppe extérieure (un photomultiplicateur). Le détecteur est installé dans une galerie souterraine pour se protéger des rayons cosmiques. Il se trouve dans une fosse de 7 m de diamètre et 7 m de profondeur, à 150 m sous terre.

Prêt. Expérience Chooz