

LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 135 - Septembre 2011 7 €

Bulletin du Comité de Liaison Enseignants et Astronomes

Numéro 135 - automne 2011



ISSN 0758-234X

Comité de Liaison Enseignants et Astronomes

Le **CLEA**, Comité de Liaison Enseignants et Astronomes, est une association déclarée à but non lucratif (loi de 1901), fondée en 1977. Elle réunit des enseignants et des astronomes professionnels qui veulent ensemble promouvoir l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux de l'enseignement et dans les organismes de culture populaire.

Le **CLEA** organise des stages nationaux (Écoles d'Été) et régionaux. Ces stages sont ouverts aux enseignants de l'école, du collège et du lycée et, de manière générale, à tous les formateurs. On s'efforce d'y conjuguer information théorique et travaux pratiques (observations, travaux sur documents, mise au point de matériels didactiques et recherche du meilleur usage de ces matériels, etc.). Le **CLEA** favorise les échanges directs entre enseignants et astronomes, hors de toute contrainte hiérarchique.

L'organe de liaison du **CLEA**, les **CAHIERS CLAIRAUT**, est une revue trimestrielle. On y trouve des articles de fond (astrophysique, histoire, philosophie, enseignement...), des comptes rendus d'expériences pédagogiques, des notes critiques de livres récents, des innovations en matière d'activités pratiques.

Le **CLEA** a mis en place une liste de diffusion afin de permettre des échanges rapides entre les abonnés.

Présidents d'honneur :

Jean-Claude Pecker
Lucienne Gouguenheim,
Georges Paturel

Bureau du CLEA pour 2011

Présidente : Cécile Ferrari
Trésorier : Jean Ripert
Trésorière Adjointe : Roseline Jamet
Secrétaire : Christian Larcher
Secrétaire Adjoint : Jean-Luc Fouquet

Responsables des groupes

Vie associative : Jean-Michel Vienney

Cahiers Clairaut : Christian Larcher

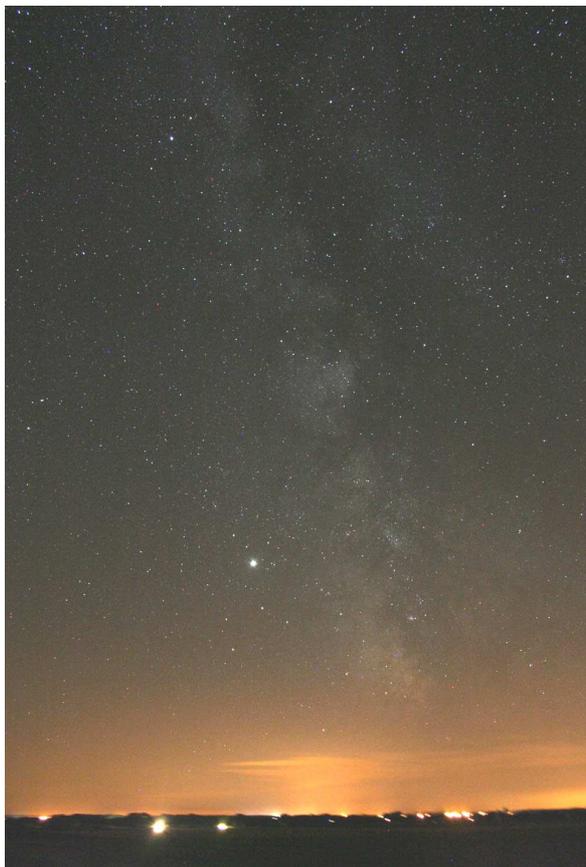
Productions Pédagogiques : Pierre Causeret

Communication : Charles-Henri Eyraud

École d'Été d'Astronomie: Danièle Imbault

Responsables du site :

Francis Berthomieu et Charles-Henri Eyraud



Merci à tous celles et ceux qui ont permis la réalisation de ce Cahiers Clairaut, nous citerons :

Francis Berthomieu, Francine Billard, Gilles Bouteville, André Brack, André Brahic, Alain Brémond, Henri Broch, Pierre Causeret, Nicolas Esseiva, Jean-Luc Fouquet Michèle Gerbaldi, Gilbert Gretillat, Jean-Jacques Hillairet, Roland Laffitte, Christian Larcher, Chantal Lecoutre, Georges Lecoutre, James Lequeux, Jean Ripert, Jean-Michel Vienney, Philippe Zarka .

Les auteurs recevront plusieurs numéros 134, afin de faire connaître la revue autour d'eux.

Nous nous excusons auprès de ceux qui nous ont envoyé des articles que nous n'avons pas encore publiés.

Jupiter en août 2008 dans la constellation du Sagittaire, traversée par la Voie Lactée. La forme de théière est visible en bas de l'image. La planète géante est passée depuis dans le Capricorne, le Verseau, les Poissons, la Baleine et se trouve actuellement dans le Bélier. Pose de 2 minutes sur pied, objectif de 18 mm ouvert à 5, 400 ISO.

Photo Pierre Causeret

Les Cahiers Clairaut

Automne 2011 n° 135

Éditorial

Devinez qui fut conçu 16 mai 1571 à 4 h 37 du matin, et mis au monde le 27 décembre à 2 h 30 de l'après midi, après une grossesse de 224 jours, 9 h heures et 53 minutes ?

Sans doute cela ne suffit pas pour indiquer de qui il s'agit, mais ces informations sont considérées comme importantes en ce qui concerne les précisions astrologiques ...

En fait il s'agit de Kepler, un grand scientifique qui a eu le titre officiel de "mathématicus" dans une province autrichienne et à qui on imposait la publication d'un calendrier annuel de prévisions astrologiques. Tout en traitant l'astrologie de "belle-fille de l'Astronomie", et les prophéties populaires de "singerie à sortilèges" Kepler gagnait sa vie grâce à ces "prévisions" ! Dans un véritable "exercice de somnambule", il prit même l'habitude de faire son propre horoscope à chacun de ses anniversaires sans pour autant être dupe (1).

Le thème de ce numéro, consacré à l'étude du zodiaque, ne pouvait esquiver une question aussi récurrente que celle de l'astrologie.

Dans la partie histoire, vous lirez une étude passionnante sur la découverte de Neptune par Le Verrier (1811 - 1877) et une autre sur les méthodes utilisées par Galilée pour déterminer les performances des lunettes astronomiques qu'il construisait.

L'année 2011 a été proclamée par l'ONU "année internationale de la chimie". Nous nous associons à cet événement en vous proposant un "article de fond" sur la vie dans l'Univers : de la chimie à l'astronomie.

Avec vos élèves et le matériel mis à disposition par "Science à l'École" vous pourrez, à l'aide d'un tutoriel, mettre en évidence le transit d'une exoplanète.

Enfin du cœur de l'Afrique, à Ouagadougou, nous parviennent les échos d'une formation destinée aux enseignants du Burkina Faso. Ceux-ci découvrent les valeurs éducatives de l'astronomie en utilisant des documents rédigés par le CLEA.

(1) D'après Arthur Koestler *Les somnambules* ; *Les Belles Lettres* 2010. (p. 221 ; 238 ; 416)

Christian Larcher, pour l'équipe.

À vos agendas

L'assemblée générale du CLEA aura lieu à Paris (Université Diderot) le dimanche 20 novembre 2011

Histoire

La découverte de Neptune

James Lequeux p 2

Article de fond

La vie dans l'Univers : de la chimie à l'astronomie

André Brack p 7

Avec nos élèves

Tutoriel pour observer un transit d'exoplanète

Nicolas Esseiva et ses élèves p 10

Thème : LE ZODIAQUE

p 13

Notions de base

Pierre Causeret p 14

Histoire

Naissance du zodiaque en Mésopotamie

Roland Laffitte p 19

Avec nos élèves

Comprendre le zodiaque, du plan à la 3D

Jean-Luc Fouquet p 23

Réflexion

Comment parler du zodiaque ?

Philippe Zarka, Henri Broch, André Brahic, Jean Ripert p 27

Jeux

Mots croisés p 31

Observations

Événements astro durant l'année 2011-2012

Pierre Causeret p 32

Histoire

Lunette de Galilée, essai d'analyse historique de ses performances

Alain Brémond p 33

Errata

La rédaction p 35

Ciel d'automne

Pierre Causeret p 36

Lecture pour la Marquise

Les planètes, les nôtres et les autres

Christian Larcher p 37

Pas à pas dans l'Univers

Jean Michel Vienney p 38

Vie de l'association

Le CLEA au Burkina Faso

Michèle Gerbaldi p 39

EEA 2011 p 40

Solutions mots croisés p 40

La découverte de Neptune

James Lequeux, Astronome émérite à l'Observatoire de Paris

Dans les derniers Cahier Clairaut (n° 134 été 2011), Pierre Magnien déterminait "au bout de sa plume" à quelle date Neptune terminerait son premier tour dans le système solaire depuis sa découverte. René Cavaroz relatait l'intervention de James Lequeux au lycée Le Verrier de St Lô. Dans l'article qui suit James Lequeux apporte de nombreuses précisions complémentaires sur cette époque.

L'année 2011 est celle du bicentenaire de la naissance d'Urbain Le Verrier, qui en 1846 a découvert Neptune, la huitième et dernière planète du système solaire. Par une curieuse coïncidence c'est aussi l'année où cette planète a accompli une révolution autour du Soleil depuis sa découverte. C'est celle-ci que je vais maintenant commenter.

De l'Antiquité à 1781, on connaissait seulement six planètes dans le système solaire : par ordre d'éloignement du Soleil : Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter et Saturne. Cette année-là, William Herschel (1738-1822) découvrait par hasard une septième planète, Uranus. On réalisa bientôt que cette planète figurait dans différents catalogues stellaires, où on l'avait prise pour une étoile. L'observation la plus ancienne, due à l'anglais John Flamsteed (1646-1719), remonte à 1690.

En 1820, le Bureau des longitudes, qui régit alors toute l'astronomie française, demande à trois astronomes de l'Observatoire de Paris de calculer les éphémérides des planètes. Celles de Jupiter, Saturne et Uranus échoient à Alexis Bouvard (1767-1843 ; figure 1). Ayant dûment tenu compte des perturbations gravitationnelles que les planètes exercent les unes sur les autres, Bouvard obtient sans problème particulier les éphémérides de Jupiter et de Saturne, mais de grosses difficultés surgissent pour Uranus : Bouvard ne parvient pas à trouver des éléments permettant de représenter le mouvement d'Uranus pendant toute la période où il a été observé. Les écarts entre les positions calculées et les positions observées dépassent la minute de degré, une quantité qui lui paraît bien supérieure aux erreurs d'observations, mêmes anciennes. Finalement, il publie en 1821 des tables qui ne sont basées que sur les observations faites à partir de 1781 ; mais il avoue son impuissance à représenter les observations plus anciennes, et de fait d'autres écarts apparaissent au fur et à mesure que l'on fait de nouvelles observations. Finalement, Bouvard

imagine que les anomalies du mouvement d'Uranus pourraient provenir de l'action gravitationnelle d'une nouvelle "planète troublante" ; d'autres prétendront plus tard qu'ils ont eu les premiers la même idée. Quoi qu'il en soit, elle est dans l'air et se répand rapidement dans le monde scientifique et même dans le grand public, à l'étranger comme en France. Par exemple, le célèbre astronome et mathématicien allemand Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) qui, dès 1830, avait insisté sur l'existence possible de "masses troublantes", en fait le sujet d'une conférence publique en 1840. Il est probable qu'il aurait résolu le premier le problème d'Uranus s'il n'avait pas été malade et si l'élève auquel il en avait confié l'étude n'était mort prématurément.



Fig.1. Alexis Bouvard.

©Bibliothèque de l'Observatoire de Paris.

Bien entendu, les astronomes de divers pays se préoccupent de ce problème irritant : si l'on ne trouve pas la planète troublante, c'en sera fait de la théorie de la gravitation de Newton et l'astronomie, et même toute la physique, sera dans le désarroi. Nous verrons plus loin ce qu'il

en est advenu en Angleterre. En France, François Arago (1786-1853), qui est responsable de l'Observatoire de Paris, souhaite évidemment que le problème d'Uranus y soit traité. Mais Alexis Bouvard est malade et meurt en 1843 ; Arago ne voit personne à l'Observatoire qui soit capable d'aborder un problème aussi difficile. Au cours de l'été 1845, il demande à un jeune astronome extérieur à l'Observatoire, Urbain Le Verrier (1811-1877), de s'y attaquer, car il le croit capable de le résoudre. Le Verrier est alors répétiteur à l'École polytechnique et s'est fait remarquer par des travaux de mécanique céleste sur la stabilité du système solaire, qui témoignent d'une grande maîtrise. Il abandonne les recherches qu'il a en cours pour se consacrer à Uranus. Dès lors, les choses iront très vite, car sa puissance de travail est considérable.



Fig.2. Urbain Le Verrier juste après la découverte de Neptune, portrait par Charles Daverdoing (1813-1895). C'est le seul portrait d'après nature qui existe de Le Verrier. ©Bibliothèque de l'Observatoire de Paris.

Le Verrier examine scrupuleusement toutes les observations disponibles jusqu'en 1845. Il révisé aussi soigneusement les calculs d'Alexis Bouvard. Il découvre que certains termes y ont été négligés à tort, et y trouve plusieurs erreurs : il doit donc les refaire en partie. Mais il doit surtout résoudre un problème nouveau. Jusqu'alors, on avait déterminé la position de chaque planète en tenant compte des perturbations exercées par les autres, dont la position est connue par l'observation. Il s'agit maintenant de déterminer la position d'une planète sur laquelle on ne sait rien à partir des perturbations qu'elle exerce : c'est ce qu'en mathématiques on appelle le problème inverse. Il

est à la fois difficile et complexe, car il y a beaucoup d'inconnues à déterminer.

Aussi Le Verrier doit-il simplifier dès le départ le problème en négligeant l'inclinaison de l'orbite de la planète troublante, et en supposant connue sa distance au Soleil. Pour cette distance, il utilise la loi empirique de Titius-Bode qui reproduit à peu près la suite des distances des planètes au Soleil. Cette loi s'écrit :

$$a = 0,4 + 0,3 \times 2^{n-1}$$

où a est le demi-grand axe de l'orbite exprimé en unités astronomiques (demi-grand axe de l'orbite terrestre, soit $1,496 \cdot 10^8$ km), et n un des nombres entiers consécutifs. Cette loi, dont on ignore toujours si elle a ou non un sens physique, rend assez bien compte des observations, à condition d'utiliser pour $n=4$ les petites planètes qui se trouvent entre les orbites de Mars et de Jupiter. Pour la huitième planète hypothétique, elle prédit $a = 38,8$ unités astronomiques.

Voici déjà deux inconnues de moins. Mais il en reste encore beaucoup : en effet, les éléments de l'orbite d'Uranus sont eux-mêmes mal déterminés puisqu'on ne peut pas trouver de solution rendant compte de toutes les observations. L'hypothèse de la planète troublante ne change rien à cet état de choses. Bien sûr, on peut supposer connue l'orbite d'Uranus, en tenant compte des perturbations par les autres planètes que la planète troublante, et établir les écarts entre les positions calculées et les positions observées pour mettre en évidence les anomalies : un exemple est montré figure 3.

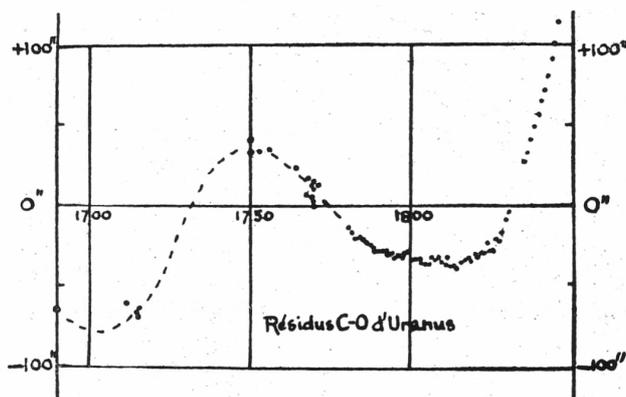


Fig.3. Un exemple d'écart entre les longitudes calculées C et les longitudes observées O d'Uranus de 1690 à 1845. Ici, les longitudes calculées, qui tiennent compte des perturbations par Jupiter et Saturne, sont celles de Bouvard dont la théorie, légèrement corrigée par Le Verrier, n'utilise que des observations de 1781 à 1821. Mais cette solution n'est pas nécessairement la bonne, car on aurait pu aussi bien utiliser les observations antérieures à 1781 pour calculer l'orbite d'Uranus. D'après Danjon, A. (1946) *L'Astronomie*, 59, p. 255-278.

Mais il est impossible d'obtenir ainsi la solution du problème puisque d'autres orbites sont possibles pour Uranus, comme l'avait bien vu Bouvard.

Les calculs de Le Verrier sont contenus dans un impressionnant dossier de près de 20 cm d'épaisseur, rempli de feuilles écrites recto verso d'une écriture fine. Il est conservé à l'Observatoire de Paris. Un an après qu'Arago lui ait soumis le problème, le 1^{er} juin 1846, Le Verrier est en mesure d'annoncer devant l'Académie des sciences qu'il y a bien une planète troublante, mais il ne peut en donner la position qu'à 10 degrés près. Le 31 août, il a raffiné ses calculs au point qu'il peut affirmer devant l'Académie qu'il a obtenu une position bien meilleure qui devrait permettre de trouver la planète. Mais comment le faire ? Le Verrier pense que la planète doit être faible, plus faible que la limite des cartes du ciel dont on dispose à Paris, si bien que n'importe quelle étoile non cataloguée pourrait être la planète. Il écrit donc à plusieurs astronomes étrangers qu'il sait disposer d'instruments puissants et surtout de bonnes cartes du ciel. Ni les uns ni les autres n'existent à l'Observatoire de Paris, où l'on ne découvrira pas la planète malgré les efforts d'Arago. L'un de ces astronomes étrangers est Johann-Gottfried Galle (1812-1910), de l'Observatoire de Berlin. Le Verrier lui écrit le 18 septembre, la lettre arrive le 23 septembre, et, dès la nuit qui suit, Galle découvre la planète troublante. Le 25 septembre, Galle écrit en français à Le Verrier, qui ne connaît pas l'allemand :

"Monsieur,

La planète, dont vous nous avez signalé la position, réellement existe. Le même jour où j'ai reçu votre lettre, je trouvais une étoile de 8^{me} grandeur, qui n'étoit pas inscrite dans l'excellente carte Hora XXI (dessinée par M. le Dr Bremiker) de la collection des cartes célestes publiée par l'Académie de Berlin. L'observation du jour suivant décida que c'était la planète cherchée. Nous l'avons comparée, Mr. Encke et moi, par la grande lunette de Fraunhofer [objectif de 23 cm de diamètre] avec une étoile de 9^{me} grandeur [...]. "

Pourquoi cette mention de l'observation du jour suivant ? Parce que l'astre s'est déplacé, ce qui prouve que c'est bien une planète et non une étoile. Peu après l'annonce de la découverte, la planète est vue à Paris par Le Verrier et à l'étranger par plusieurs astronomes, qui lui écrivent pour le féliciter. Dans son enthousiasme, Le Verrier écrit dans une note du 5 octobre 1846 :

"Ce succès doit nous laisser espérer, qu'après trente ou quarante années d'observations de la nouvelle planète, on pourra l'employer, à son tour, à la découverte de celle qui la suit, dans l'ordre des distances au Soleil. Ainsi de suite : on tombera malheureusement bientôt sur des astres invisibles, à cause de leur immense distance au Soleil, mais dont les orbites finiront, dans la suite des siècles, par être tracées avec une grande exactitude au moyen de la théorie des inégalités séculaires."

Son vœu ne s'est pas exaucé comme il l'avait prévu : on a bien trouvé dans le système solaire d'autres astres plus éloignés que Neptune, comme Pluton, mais ils sont trop loin et trop peu massifs pour exercer une influence appréciable sur l'orbite de cette planète, et ils n'ont été découverts que par des recherches systématiques. Cependant, en 1859, Le Verrier découvre une anomalie dans le mouvement de Mercure qu'il attribue à l'action d'une nouvelle planète située entre le Soleil et Mercure. Pendant plus d'un demi-siècle on cherchera en vain cette planète que l'on avait déjà nommée Vulcain, ou un essaim de petites planètes qui auraient produit le même effet. Ce n'est qu'en 1915 qu'Einstein donnera l'explication : l'avance anormale du périhélie de Mercure est un effet de Relativité générale, dont elle constitue la première preuve observationnelle.

À la suite de la découverte de la planète qui trouble le mouvement d'Uranus, un déluge de félicitations pleut sur Le Verrier. Il devient instantanément célèbre, et les honneurs affluent. On pense même à donner à la nouvelle planète le nom de Le Verrier, mais on se ralliera finalement à la tradition pour l'appeler Neptune. Cependant, on voit aussi apparaître des critiques sérieuses, car on réalise que l'orbite réelle de cette planète diffère de façon importante de celle prédite par Le Verrier (figure 4). Il est vrai que Le Verrier avait donné les éléments de la planète avec une précision trompeuse, alors qu'ils étaient par la force des choses assez incertains. Dans son enthousiasme, il avait fixé à leur valeur des limites exagérément étroites : 35 à 38 unités astronomiques pour le demi-grand axe de l'orbite, par exemple, alors que les observations montrent qu'il ne vaut que 30 unités, et 207 à 233 ans pour la période sidérale qui n'est que 164 ans. Par ailleurs, la découverte dès le 10 octobre 1846 par l'astronome amateur anglais William Lassell (1799-1880), possesseur d'un télescope de 60 cm d'ouverture, d'un satellite de Neptune, Triton, permet d'obtenir la masse de la planète en

appliquant les lois de la gravitation universelle à l'orbite du satellite, à condition de connaître sa distance. Après quelques mois d'observation, Lassell trouve pour Triton une période d'un peu moins de 6 jours et détermine l'orbite de ce satellite, d'où il peut déduire la masse de Neptune : il obtient 20 fois celle de la Terre en utilisant la distance donnée par Le Verrier, alors que ce dernier avait annoncé 36 (elle n'est que 17,2 fois celle de la Terre en prenant la valeur réelle de cette distance).

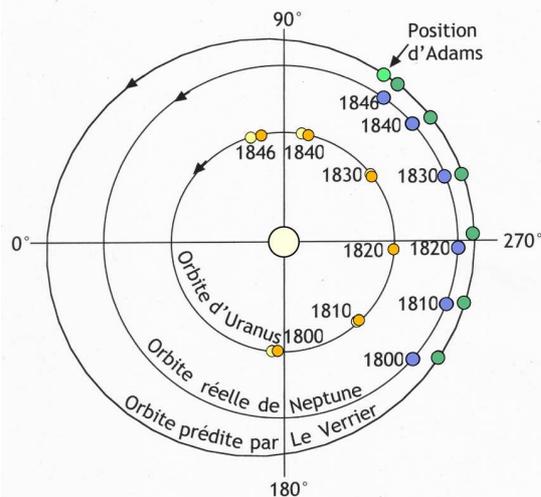


Fig.4. Les orbites d'Uranus et de Neptune. Les axes repèrent les longitudes vues du Soleil. La position d'Uranus sur son orbite est indiquée pour différentes dates de 1800 à 1846 par des disques orangés ; les disques jaunes représentent schématiquement les positions qu'Uranus aurait dû occuper en l'absence de perturbation par Neptune (l'écart avec les positions réelles est très exagéré dans la figure). L'orbite de Neptune est également tracée, avec sa position pour les mêmes dates (disques bleus). Comme Neptune tourne moins vite qu'Uranus, on voit que son attraction a accéléré Uranus avant la conjonction de 1821, et l'a retardé ensuite. L'orbite de Neptune calculée par Le Verrier est indiquée, avec les positions toujours pour les mêmes dates (disques verts). Vue de la Terre, la position calculée pour la date de la découverte (23 septembre 1846) est 1° en arrière de la position réelle. L'orbite de Neptune calculée par Adams est assez voisine de celle de Le Verrier pour la période considérée, mais sa direction pour la date de la découverte (disque vert clair) est plus de 2° en avant de la position réelle.

À dire vrai, la seule quantité qui soit assez bien déterminée par l'étude des perturbations est l'intensité de la force perturbatrice exercée par Neptune sur Uranus à l'époque de la conjonction des deux planètes, c'est-à-dire le moment où elles sont les plus rapprochées l'une de l'autre, soit en 1821 (figure 5). D'après la loi de la gravitation universelle, elle est proportionnelle à la masse de Neptune et inversement proportionnelle au carré de la distance qui la sépare d'Uranus. La figure 4

montre que la distance entre Uranus et Neptune prédite par Le Verrier pour cette époque n'est pas très différente de la distance réelle : elle est seulement un peu trop grande, ce qui est à peu près compensé – pour la force de gravitation – par la masse exagérée qu'il assigne à la planète. Le Verrier ayant prédit un demi-grand axe trop grand, son orbite est exagérément excentrique alors qu'elle est en fait presque circulaire. Finalement, tout va rentrer dans l'ordre lorsqu'on disposera d'assez d'observations pour que l'orbite de Neptune soit bien déterminée, et nul ne contestera plus la découverte de Le Verrier.

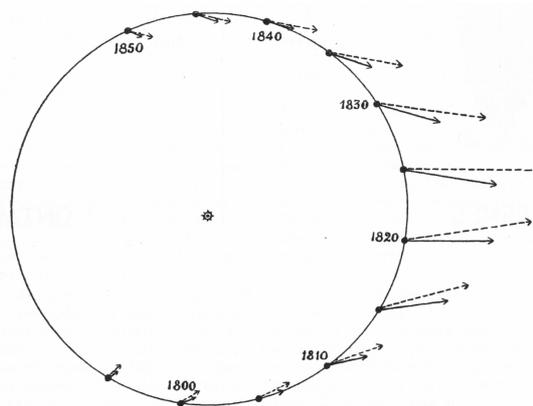


Fig.5. La force perturbatrice exercée sur Uranus par Neptune à différentes époques. Les flèches en traits pleins représentent la force réelle, et celles en traits interrompus la force qui résulte des calculs de Le Verrier. On constate que la force perturbatrice prédite par Le Verrier est sensiblement correcte en direction (encore que la date de la conjonction entre Uranus et Neptune soit trop tardive d'un an et demi), mais est surestimée en intensité. D'après les calculs de Danjon, A. (1946) *Ciel et Terre*, 62, p. 369-383.

Cependant, en Angleterre, un jeune concurrent avait fait le même travail que Le Verrier et avait abouti un an avant lui : John Couch Adams (1819-1892). Mais sa grande timidité ne lui avait pas permis de convaincre le tout puissant Astronome royal, George Biddell Airy (1801-1892), de la validité de ses résultats ; lorsque la recherche a enfin été décidée à Cambridge en apprenant que Le Verrier avait montré que la nouvelle planète devait exister, elle n'a pas été menée avec beaucoup d'intelligence. La concurrence n'a pas empêché Le Verrier et Adams d'établir et de conserver jusqu'à la fin de leur vie une grande estime mutuelle et des relations cordiales. Mais les journalistes se sont emparés de la chose, et il s'en est ensuivi des controverses passionnées sur la priorité de la découverte de Neptune, controverses où le nationalisme a joué un grand rôle. Ce n'est que récemment qu'elles se sont apaisées, et que l'on a reconnu des deux côtés de la

Manche la priorité de Le Verrier, qui est le premier à avoir publié.

La renommée acquise par Le Verrier à la suite de sa découverte en a fait en France l'astronome le plus célèbre et la personnification même de l'Astronomie jusqu'au début du 20^e siècle. André Danjon, qui dirigeait alors l'Observatoire de Paris, en explique en 1946 les raisons sociologiques :

"Cette émotion, dont la tradition écrite et orale nous a transmis le témoignage indiscutable, était-elle justifiée ? Le public, il faut bien le reconnaître, était surtout sensible au caractère mystérieux des voies suivies pour arriver jusqu'à Neptune : [...] opération magique, où l'astronome faisait un peu figure de sorcier. Mais ce même public prêtait volontiers une oreille complaisante aux propos des initiés qui commentaient, à son intention, cette prestigieuse découverte, et qui, à sa grande surprise, lui apprenaient que la mécanique céleste venait de triompher d'une crise grave [...]. Un moment menacée dans son infaillibilité, la mécanique céleste, sortie à son honneur de cette difficulté, se trouvait définitivement assise. Pour dire tout en un mot, la découverte de Neptune était un triomphe du déterminisme scientifique, et, bien qu'on n'en puisse attendre aucune conséquence pratique

immédiate, elle devait être regardée comme une manifestation éclatante du pouvoir que la science donne à l'homme sur la matière. Tous les esprits réfléchis devaient sentir l'importance d'un tel événement : les disciples d'Auguste Comte y trouvaient des arguments en faveur de la philosophie positive, alors dans l'éclat de sa nouveauté, tandis que, de leur côté, les spiritualistes voyaient avec une intime satisfaction se confirmer l'existence d'un ordre suprême dans l'Univers."

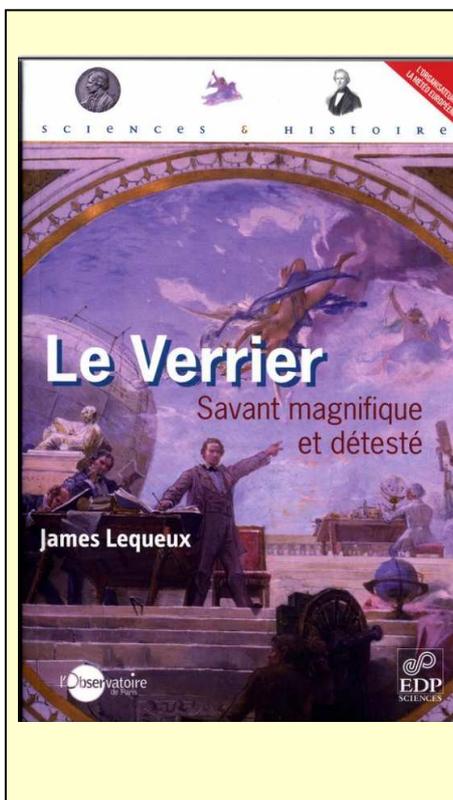
Pour en savoir plus :

Lequeux J. (2009) *Le Verrier, savant magnifique et détesté*, EDP Sciences et Observatoire de Paris.

Voir aussi mon article détaillé et les articles originaux de Le Verrier dans :

<http://www.bibnum.education.fr/physique/astrophysique/la-decouverte-de-neptune-1846>

Les articles de Danjon cités dans les légendes des figures 3 et 5 et d'où est extrait le texte qui termine cet article sont accessibles gratuitement par http://cdsads.u-strasbg.fr/cgi-bin/iarticle_query?journal=LAstr&volume=0059 et par <http://cdsads.u-strasbg.fr/abs/1946C%26T...62..369D> ■



Le Verrier Savant magnifique et détesté, une biographie du célèbre savant par James Lequeux.

Difficile d'imaginer hommes aussi dissemblables. Autant Arago, un vrai romantique, était extraverti et généreux, autant Le Verrier ne pouvait que travailler seul et avait des rapports difficiles avec les autres. Mais c'était un magnifique savant. Il a découvert Neptune par le calcul, "du bout de sa plume", et accompli une œuvre immense dont avaient rêvé bien d'autres sans pouvoir la réaliser : la théorie complète du mouvement des planètes dans le Système solaire. Il a réorganisé l'astronomie française, dans la douleur il est vrai, et mis en place un service météorologique international très efficace, ancêtre de Météo France.

Personnage fascinant, Le Verrier a traversé son époque au milieu des haines et des controverses; cependant, son œuvre a constamment été admirée, même de ses pires ennemis, et en a fait l'astronome le plus célèbre du milieu du XIX^e siècle.

James Lequeux, astronome émérite à l'Observatoire de Paris, fut le directeur de la station de radioastronomie de Nançay puis de l'Observatoire de Marseille; ancien rédacteur en chef de la revue "Astronomy & Astrophysics", il travaille depuis une dizaine d'années sur l'histoire de l'Astronomie; il a également été commissaire de 3 expositions historiques à l'Observatoire de Paris et auteur de deux ouvrages historiques: "L'Univers dévoilé" et "Arago, un savant généreux" chez [EDP Sciences](http://www.edp-sciences.com).

ARTICLE DE FOND

L'Univers : de la chimie à l'astronomie

André Brack

Centre de biophysique moléculaire, CNRS, Orléans, brack@cns-orleans.fr

La chimie se décline dans tous les domaines, elle est à la base de toute matière, elle permet d'expliquer l'émergence de la vie. Après avoir proposé une définition de la vie et comment celle-ci est apparue sur Terre l'auteur passe successivement en revue les vertus exceptionnelles de l'eau et du carbone puis décrit la production de molécules organiques dans la « soupe primordiale » et enfin il se préoccupe de la recherche d'une vie extraterrestre.

De tout temps, l'existence de vie au-delà de la Terre a nourri l'imaginaire humain. Mais comment définir la vie ? Sont considérés comme vivant, *a minima*, des systèmes moléculaires ouverts (recevant donc matière et énergie) capables de s'auto reproduire et d'évoluer, c'est-à-dire capables de produire plus d'eux-mêmes par eux-mêmes et capables de générer des systèmes plus aptes à se reproduire par suite de légères erreurs de copie.

Sur Terre, le passage de la matière à la vie se fit dans l'eau, véritable berceau de la vie, il y a 4 milliards \pm 200 millions d'années avec des molécules organiques construites sur un squelette d'atomes de carbone auxquels sont associés des atomes d'hydrogène, d'oxygène, d'azote, de soufre et de phosphore. La Terre primitive consistait en de petits continents, ressemblant à l'Islande d'aujourd'hui, entourés de bassins d'eau peu profonde mais chaude, de l'ordre de 50 à 80 °C. La tectonique de plaques s'est apparemment mise en place dès le premier 1,5 milliard d'années de la Terre. L'atmosphère de la Terre primitive était dominée par du dioxyde de carbone accompagné, dans une moindre mesure, par de l'azote et de la vapeur d'eau. Elle était dépourvue d'oxygène mais possédait probablement du méthane dont la teneur reste difficile à apprécier et fait toujours débat.

Il est admis que l'eau liquide était présente à la surface de la Terre peu de temps après sa formation, il y a plus de 4 milliards d'années, comme l'attestent les rapports isotopiques de l'oxygène mesurés dans un zircon, petit cristal de silicate de zirconium contenant des traces d'uranium et de thorium permettant de le dater, vieux de 4,4 milliards d'années retrouvé dans des sédiments d'Australie occidentale. Trop petite, comme la Lune et Mercure, la Terre aurait été incapable de retenir une atmosphère nécessaire au maintien de l'eau liquide à sa surface. Trop grosse, comme Saturne et Jupiter, elle

aurait été gazeuse et la présence de l'eau n'y aurait pas été possible. Une planète trop près de son étoile va acquérir une température élevée sous l'effet du rayonnement stellaire. L'eau s'évapore en chargeant l'atmosphère de grandes quantités de vapeur d'eau qui contribuent à l'effet de serre et au réchauffement climatique. Le phénomène rétroactif risque d'entraîner un effet de serre divergent : l'eau de surface est transférée dans la haute atmosphère où elle est photodissociée en hydrogène, qui s'évade dans l'espace, et en oxygène qui se combine aux roches de la croûte planétaire. Une planète loin de son étoile peut abriter de l'eau liquide à sa surface si elle arrive à maintenir un effet de serre permanent. Toutefois, l'eau risque de provoquer sa propre disparition en dissolvant les gaz à effet de serre. Dissous par la pluie, les gaz à effet de serre vont se transformer en roches sédimentaires au fond des océans. L'effet de serre va s'atténuer, la température chuter au point de transformer toute l'eau en glace dans le sol pour former du pergélisol. Sur Terre, par exemple, le volcanisme et la tectonique de plaques recyclent le dioxyde de carbone en décomposant les carbonates enfouis dans le manteau par subduction. La position de la Terre est telle qu'elle n'a probablement jamais connu dans son histoire ni l'effet de serre divergent de Vénus, ni la glaciation divergente de Mars.

Les vertus de l'eau

Compte tenu de sa masse moléculaire, l'eau devrait être un gaz à la surface de la Terre. Son état liquide résulte du réseau dense de liaisons hydrogène liant les atomes d'oxygène aux atomes d'hydrogène. En plus de son aptitude à former des liaisons hydrogène, l'eau possède un important moment dipolaire de 1.85 debye. Cet important moment dipolaire favorise la formation des groupes ionisés, NH_3^+ et COO^- , capables

d'échanger des liaisons hydrogène avec les molécules d'eau, augmentant d'autant leur solubilité.

L'eau organise les molécules organiques qui possèdent deux types de groupes chimiques carbonés, les groupes hydrophobes qui ne contiennent que des atomes de carbone et d'hydrogène et qui, de ce fait, sont incapables de former des liaisons hydrogène et les groupes hydrophiles qui contiennent des atomes d'oxygène, d'azote et de soufre capables d'échanger des liaisons hydrogène avec l'eau. Lorsque ces deux groupes coexistent dans une même molécule, la dualité confère à cette molécule des géométries spécifiques. Lorsque les groupes sont séparés, comme dans les acides gras et les phospholipides, il se forme des micelles, des vésicules ou des liposomes par agrégation des groupes hydrophobes. En proche voisinage, les groupes hydrophiles et hydrophobes confèrent à la molécule des géométries spécifiques qui dépendent étroitement de l'ordonnement de ces groupes (la séquence), comme nous l'avons démontré au laboratoire avec des peptides synthétiques (mini-protéines).

L'eau est également un réactif chimique qui peut conduire certaines réactions chimiques à emprunter des chemins spécifiques. Un mélange constitué des acides aminés protéiques et non protéiques les plus abondants de la météorite de Murchison a été polymérisé dans l'eau, à Orléans. Le mélange isolé en fin de réaction a été enrichi en acides aminés protéiques. Dans cette réaction, l'eau joue un rôle déterminant car c'est elle qui oriente la réaction dans le sens souhaité. Par ailleurs, la synthèse d'un acide aminé se fait habituellement selon la réaction de Strecker qui implique l'acide cyanhydrique, un aldéhyde et l'ammoniac pour former un aminonitrile. Ce dernier ne peut se transformer en acide aminé qu'en présence de deux molécules d'eau.

L'eau produit des argiles par altération des silicates. Dès que l'eau fut présente à la surface de la Terre, de grandes quantités d'argiles furent en suspension dans les océans primitifs. Les argiles offrent une structure très ordonnée, une grande capacité d'adsorption et une protection contre les effets délétères des UV, elles concentrent les composés organiques et servent de matrice de polymérisation.

L'eau est un bon dissipateur de chaleur. Les fluides hydrothermaux grâce à la chaleur fournie en permanence par le magma constituent des réacteurs chimiques potentiels. Des températures élevées sont nécessaires pour mener à bien les synthèses organiques, mais elles présentent en même temps un sérieux danger car la survie des briques du vivant formées est très courte aux températures élevées. On peut cependant évoquer des phénomènes de trempes thermiques de 350 °C à 0 °C puisque la température de l'eau des fonds océaniques est voisine de 0 °C. Des

chercheurs japonais ont réussi à polymériser la glycine, l'un des vingt acides aminés protéiques, en mimant les conditions de trempes thermiques propres aux systèmes hydrothermaux sous marins.

Les vertus du carbone

Toute la vie terrestre repose sur la chimie macromoléculaire. Les polymères de nucléotides forment les acides nucléiques ADN et ARN, des polymères d'hydrates de carbone stockent l'énergie, des chaînes hydrocarbonées forment les lipides des membranes et des polymères d'acides aminés constituent les protéines. Toutes ces macromolécules sont construites sur une ossature d'atomes de carbone et la vie sur Terre serait tout simplement impossible sans cette ossature. Il est difficile d'imaginer un autre élément offrant la même propension à former les édifices de plus en plus complexes nécessaires au développement de la vie.

Le silicium est souvent proposé comme une alternative possible. Il est tétravalent comme le carbone et est donc susceptible de générer les édifices moléculaires de plus en plus sophistiqués permettant l'évolution des systèmes vivants. Situé juste en dessous du carbone dans le tableau périodique des éléments, l'atome de silicium est plus gros. Il s'en forme donc moins dans le cœur des étoiles et, de ce fait, il est moins abondant dans l'Univers. Cependant, de par le mode de formation du Système Solaire, le silicium s'est retrouvé être très abondant dans la croûte terrestre où il représente 27,7 % de celle-ci, contre 0,094 % pour le carbone. À la différence de son cousin le carbone, le silicium n'a donc jamais été une denrée rare sur Terre. Si la chimie macromoléculaire du silicium avait eu les qualités requises pour se développer sur Terre, elle aurait dû donner naissance à une vie fondée sur le silicium, bien plus qu'une vie fondée sur le carbone, beaucoup plus rare. Or il n'en est rien. De par sa taille plus grande, l'atome de silicium forme des liaisons généralement plus faibles avec les autres atomes et génère des polymères plus fragiles, du moins dans les conditions environnementales qui ont prévalu à la surface de la Terre tout au long de son histoire. Placé dans des conditions extrêmes de température et de pression, le silicium peut néanmoins conduire à des polymères relativement stables mais se pose alors un problème de solubilité.

La production des molécules organiques de la "soupe primordiale"

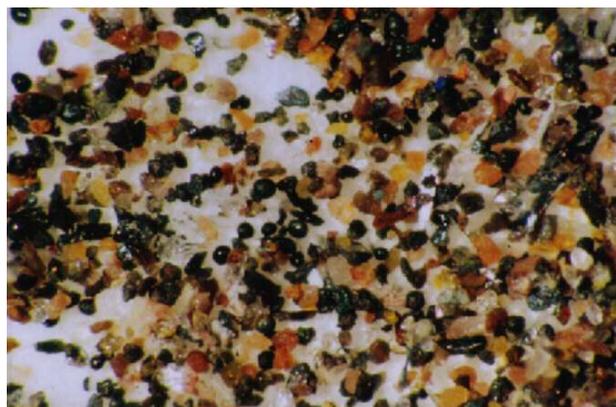
Les formes de carbone les plus simples capables de produire des molécules organiques sont gazeuses : dioxyde de carbone et monoxyde de carbone pour les formes oxydées, méthane pour la forme réduite. Le premier scénario "organique" fut proposé par le

biologiste et géologue anglais Charles Darwin lorsqu'il écrivait en 1871 au botaniste anglais Joseph Hooker : "Mais si (et quel énorme si !) l'on pouvait concevoir dans quelque petite mare chaude toutes sortes de sel d'ammonium et de phosphates, de la lumière, de la chaleur, de l'électricité etc., pour qu'un composé protéique puisse se former par voie chimique...". Le modèle d'une soupe primordiale fut perfectionné par Alexandre Oparin en 1924, puis par John Haldane en 1929, indépendamment du premier. Tous deux suggérèrent que les molécules organiques de la soupe furent synthétisées dans l'atmosphère terrestre. Oparin pensait que l'atmosphère primitive était dominée par le méthane alors que pour Haldane, les molécules organiques se seraient formées à partir de dioxyde de carbone. L'hypothèse d'Oparin se trouva confortée en 1953 par l'expérience de Stanley Miller qui obtint des acides aminés en soumettant un mélange de méthane, d'ammoniac, d'hydrogène et de vapeur d'eau à l'action d'un arc électrique simulant les orages de la Terre primitive. Mais l'atmosphère primitive était formée majoritairement de dioxyde de carbone, d'azote, d'eau avec des quantités mineures d'autres gaz tels que méthane, hydrogène sulfuré, monoxyde de carbone. Lorsque l'on refait l'expérience de Miller en passant progressivement du méthane au dioxyde de carbone, la production d'acides aminés devient de plus en plus faible. Si l'atmosphère primitive était réellement dominée par du dioxyde de carbone, elle ne pouvait probablement pas être la source exclusive de la matière organique nécessaire à l'émergence de la vie terrestre. Aujourd'hui, on estime que d'autres filières ont dû contribuer à la production de molécules organiques.

Les événements hydrothermaux présentent un environnement réducteur favorable à la synthèse des molécules organiques car les gaz qui s'en échappent sont riches en hydrogène, azote, oxyde de carbone, dioxyde de carbone, méthane, anhydride sulfureux, hydrogène sulfuré et l'énergie thermique est fournie en continu au système par le magma. Par exemple, les gaz qui s'échappent du système hydrothermal Rainbow sur la dorsale océanique au large des Açores renferment hydrogène, monoxyde et dioxyde de carbone, une situation favorable à la réaction de Fischer-Tropsch, une réaction connue pour produire des hydrocarbures à partir d'hydrogène et de monoxyde de carbone en présence de fer et à des températures de l'ordre de 150-300 °C. Des hydrocarbures comprenant entre 16 et 29 atomes de carbone ont effectivement été détectés dans ces fluides. À ce jour, aucun acide aminé n'a pu être détecté dans les fluides hydrothermaux.

La source extraterrestre représente la troisième filière possible. Les météorites carbonées représentées

typiquement par les météorites d'Orgueil et de Murchison, renferment des composés organiques comme des hydrocarbures aliphatiques. Des hydrocarbures aromatiques polycycliques, kérogènes et fullerènes sont également présents. Des composés plus proches des composés biologiques ont été identifiés : acides carboxyliques, acides aminés, hétérocycles azotés, amines, amides, alcools, etc. La météorite carbonée de Murchison renferme plus de 70 acides aminés différents. Au nombre de ceux-ci on trouve 8 acides aminés protéiques. Dans plusieurs météorites carbonées, il existe un excès de la forme gauche (la forme biologique) des acides aminés pouvant atteindre 9 %. La découverte d'un rayonnement infrarouge polarisé circulairement dans le nuage moléculaire OMC1 de la nébuleuse d'Orion suggère que l'excès de forme gauche ayant conduit à la rupture de symétrie biologique pourrait avoir une origine extraterrestre. Des collectes de poussières interplanétaires dans les glaces du Groenland et de l'Antarctique par l'équipe de Michel Maurette permettent d'évaluer à environ 5×10^{24} g la quantité de micrométéorites accrétées par la Terre pendant les 200 millions d'années du bombardement intense. Considérant que 20 % en poids de ces micrométéorites ne fondent pas pendant la traversée atmosphérique et qu'elles contiennent en moyenne 2,5 % de carbone organique, la masse totale de kérogène livrée à la Terre fut de l'ordre de $2,5 \times 10^{22}$ g, représentant une couche de 40 m d'épaisseur de "marée noire" à la surface de la Terre. Pour donner un ordre de grandeur, cette valeur représente 25 000 fois la valeur actuelle du carbone biologique recyclé à la surface de la Terre ($\approx 10^{18}$ g). Un acide aminé, l'acide α -amino isobutyrique a été détecté dans une de ces micrométéorites. ■



Micrométéorites (50- 100 μ m) collectées dans la glace de l'Antarctique (crédit Michel Maurette).

NDLR : La suite de l'article sera publiée dans le prochain numéro des Cahiers Clairaut.

Tutoriel pour observer un transit d'exoplanète

Nicolas Esseiva et ses élèves Emmanuelle Gabry, Charline Pichot et Franck Plazanet

Dans le cadre d'un atelier scientifique et avec du matériel mis à disposition par Science à l'École, Nicolas Esseiva et ses élèves ont mis en évidence le transit de l'exoplanète waps 37b.

Comme l'article paraissait technique et long, nous avons choisi de présenter ci-dessous un résumé. Vous trouverez l'ensemble du texte sur le site du CLEA. Celui-ci donne un grand nombre de détails fort intéressants pour tenter l'aventure.

***SuperWASP** (Wide Angle Search for Planets, c.-à-d. "recherche à angle large de planètes") est un projet de recherche d'exoplanètes par la méthode du transit astronomique. Il vise à couvrir le ciel en entier jusqu'à environ la 15^e magnitude.*

Introduction

Le matériel "Astro à l'École" permet de mettre en évidence la présence d'exoplanètes par la méthode du transit : on mesure la quantité de lumière fournie par l'étoile et l'on constate une légère baisse de luminosité interprétée comme le passage de la planète devant l'étoile.

L'importance de la baisse de luminosité de l'étoile renseigne sur le rapport de surface entre planète et étoile. La durée du transit renseigne sur la distance (et la masse) de la planète vis à vis de son étoile.

C'est cette aventure qui a été tentée et réussie durant les vacances de Pâques 2011 avec les élèves de l'atelier du lycée Xavier Marmier de Pontarlier. L'équipe a pu mettre en évidence le transit d'une exoplanète d'une taille comparable à Jupiter distante de plus de 1 000 années lumière de la Terre. C'est toujours étonnant lorsque l'on sait que cela a été réalisé avec du modeste matériel (télescope Célestron 8 de 20 cm de diamètre).

Le but de cet article est de permettre à quiconque de réussir une telle observation avec la classe. Il est utile, en effet, de préciser que nous avons dû préparer la soirée pendant une année de façon à être certains de ne pas déplacer les élèves inutilement. Le tutoriel vous permettra à coup sûr d'obtenir rapidement de bons résultats. Les tâtonnements des uns doivent pouvoir profiter au plus grand nombre.

Présentation générale de la démarche

Pour capter une baisse sensible de luminosité d'une étoile, il faut recourir à l'informatique et à une caméra CCD (ou appareil photo numérique). On doit prendre le maximum d'images de cette étoile avant, pendant et après le transit. Chaque image nécessite plusieurs dizaines de secondes de pose donc un système d'autoguidage doit être en place ; ce système utilise une seconde caméra qui a pour mission de commander le télescope de façon à garder une étoile cible au même endroit. Sans autoguidage, les mesures sont plus aléatoires sauf sur une étoile très lumineuse (voir plus loin "choisir sa cible" dans la préparation de l'observation). Nous avons utilisé une caméra CCD mais un APN (appareil photo numérique) est suffisant.

Plan :

- 1 Préparation du son matériel.
- 2 Préparation de la nuit d'observation.
- 3 Réalisation des acquisitions.
- 4 Prétraitement des images.
- 5 Réduction des images.
- 6 Publication des résultats.

Préparer son matériel :

Le collecteur : Le Célestron 8 (C8) dont nous disposons est un bon collecteur de photons mais il souffre de quelques défauts que nous devons corriger :

- il est peu lumineux ($F/D = 10$). Il faut donc poser longtemps pour obtenir un signal intéressant ou utiliser un réducteur de focale ($F/D = 6,3$).
- il dispose d'une lame de fermeture qui est un piège à buée. Or, même si l'on ne voit pas forcément sur les images cette buée, elle diminue le flux de lumière de façon parfois importante et non uniforme.

La monture HEQ5: Cette monture de gamme moyenne est très bien adaptée au C8 sous certaines conditions.



Fig.1. : Les élèves à 5 heures du matin lorsque le matériel est rangé. Le fil orange est la fameuse résistance chauffante de terrarium pour éviter la formation de buée.

L'informatique

Je ne vais pas faire un long discours là-dessus, mais pensez à protéger l'ordinateur de l'humidité, du froid ; pour ma part, en dessous de 5 °C, le PC ne fonctionne plus correctement. Pour éviter cela, je bouche l'entrée d'air des ventilateurs avec une couverture.



Fig.2. Mise en place du capteur.

Le capteur

Sur certaines exoplanètes, on peut déceler le transit avec une caméra type webcam. Pour beaucoup, un APN conviendra.

Préparer sa nuit d'observation

Choisir sa cible

Il suffit de consulter "l'Exoplanet Transit Database" à l'adresse suivante : <http://var2.astro.cz/ETD/predictions.php>

Il faut savoir qu'avec un APN et le C8 + réducteur, une magnitude 15 est envisageable..... donc 11,6 est très très facile à capter.

D'autre part, avec le C8, pour l'instant, j'ai réussi à mettre en évidence une variation de magnitude de 0,0090 (avec une caméra CCD cependant).

Carte de la cible

Sur le site EDT (Exoplanet Transit Database) on trouve une copie écran du champ dans lequel se trouve l'étoile cible. Mais la monture étant plus ou moins précise, il faut préparer une carte de champ.



Fig.3. Étape importante : la mise en station.

Repérer des étoiles de référence

- Pour l'initialisation de la monture, on prendra soin de repérer 2 étoiles encadrant la cible. Avec cette précaution, on tombe systématiquement très près de la cible.
- Pour préparer l'étape de réduction des images, on prend soin de repérer des étoiles dont les caractéristiques (indices de couleur et magnitude) sont proches de celles de la cible.

Réaliser les acquisitions

C'est finalement la partie la plus simple puisque dès la cible trouvée, on lance les acquisitions.

La mise au point

Elle doit être réalisée avec le plus grand soin. Cependant en cas d'étoile trop lumineuse, on pourra défocaliser légèrement.

Dans le cas de l'utilisation d'un APN, on gagne en qualité si les étoiles sont légèrement défocalisées de façon à répartir le flux sur les différents pixels de la matrice de Bayer.

Le choix du temps de pose

B. Garry préconise d'utiliser systématiquement un temps d'exposition de 60 s sauf cas particulier. En effet, pour des temps supérieurs, un défaut sur l'image (avion, satellite, bougé...) annule toute l'image et fait donc perdre du temps inutilement.

Il est préférable de faire 4×1 minute puis de les additionner ensuite, plutôt que 1×4 minutes.

Autoguidage

Il est indispensable d'autoguider. Pour ma part, selon la configuration :

- avec l'APN, j'ai une lunette récupérée de 700 mm de focale avec une caméra dédiée en parallèle du C8. C'est une configuration qui charge au maximum la monture, mais ça marche.

- avec la CCD : j'ai un double capteur ce qui gagne du poids et du temps.

Prétraiter les images

Je ne m'étendrai pas sur le sujet sauf si on me le demande.

Traitement (réduction) des images

C'est certainement sur ce point que l'atelier astro du lycée doit s'améliorer. Après avoir contacté l'EDT (Exoplanet Transit Database) j'utilise le logiciel Muniwin (gratuit) qui est très très simple d'emploi. Une aide est disponible sous forme d'une animation. Je ne détaillerai donc pas cette partie.

Publication des résultats

Sur le site EDT, un menu "model fit your data" est disponible.

On indique le fichier texte préalablement sauvegardé, puis l'exoplanète.

On lui demande ensuite de "computer" les données.

On obtient alors très vite un graphique et sa version corrigée beaucoup plus flatteuse. Le renseignement DQ (ici DQ = 2) indique la qualité obtenue (1 = The best et 5 the worst).

Ensuite, on lui demande d'envoyer les informations à la base.

La fenêtre de renseignement demande diverses informations (localisation, matériel...) ainsi que l'image préalablement sauvegardée du champ stellaire de référence.

On clique enfin sur "send to EDT" et un message de confirmation apparaît.

Et voilà !

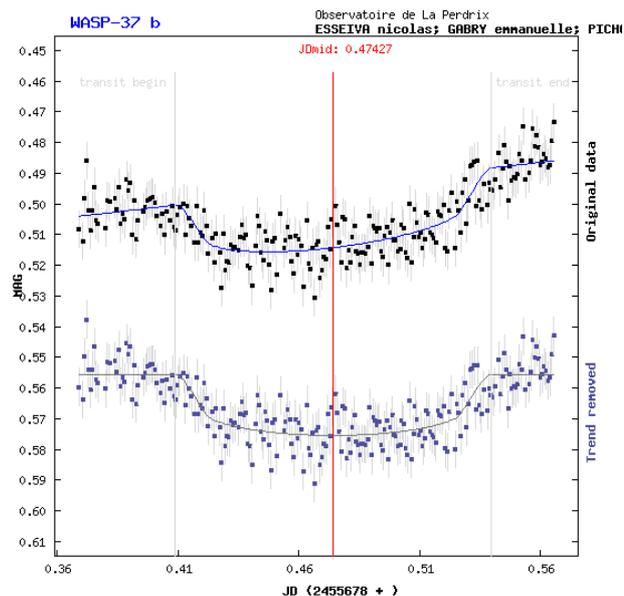


Fig.4. La courbe brute puis corrigée du transit de l'exoplanète Wasp 37b.

Conclusion : le bilan de cette aventure

En dehors des essais techniques que je réalisais chez moi tout au long de l'année, l'atelier se réunissait lors des séances hebdomadaires pour acquérir les différents points cités plus haut : comment utiliser les banques de données, qu'est-ce que la magnitude etc.

Pour des raisons techniques évidentes, il m'a paru plus simple d'organiser la nuit pendant les vacances de façon à ne pas perturber le rythme scolaire des élèves. La phase de traitement des données et publication a eu lieu à la rentrée avec une certaine fébrilité du groupe (pour ma part, je n'ai pas résisté et j'ai traité le lendemain même afin d'être rassuré sur la qualité des résultats !!)

Le petit rapport lors de la publication a été réalisé par les élèves. Puis, au bout de 3 jours, les résultats ont été incorporés dans la base... les élèves étaient alors ravis de voir leurs noms s'afficher dans la liste des observateurs.

Ndlr : La totalité du texte se trouve à l'adresse :

<http://www.ac-nice.fr/clea/SommCC135.html>

THÈME : LE ZODIAQUE



Crédit photo : les constellations du zodiaque "les étoiles et les curiosités du ciel" Camille Flammarion 1882 ; à gauche, Jupiter dans la constellation du Scorpion (août 2007) ph. P. Causeret, à droite Jupiter dans celle du Bélier (Gap, août 2011) ph. D.Bardin

Le zodiaque, notions de base

Pierre Causeret, pierre.causeret@wanadoo.fr

Les observations

Quand on observe le ciel nocturne à l'œil nu, on remarque rapidement que la plupart des points lumineux (les étoiles) gardent les mêmes positions les uns par rapport aux autres, ce qui a permis de fabriquer des constellations. Mais quelques-uns se déplacent parmi elles. On les a appelés astres errants et ils sont au nombre de cinq. Ce sont les planètes Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne. Une observation un peu plus attentive montre que ces planètes restent toujours dans une zone bien précise du ciel (figure 1).

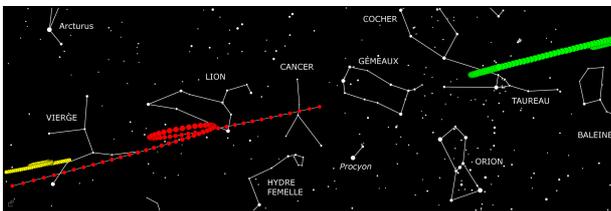


Fig.1. Positions de Mars (en rouge), Jupiter (en vert) et Saturne (en jaune) du 22 septembre 2011 jusqu'à fin 2012. Les planètes sont représentées tous les 5 jours.

Il est un peu plus difficile de connaître la position du Soleil devant les étoiles mais c'est néanmoins possible à partir des constellations visibles la nuit. On s'aperçoit alors qu'il se déplace sur une ligne bien précise qu'on appelle l'écliptique, situé au milieu de la zone des planètes (fig. 2).

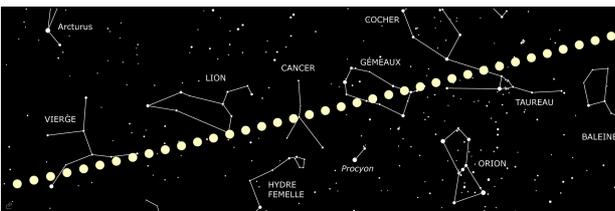


Fig.2. Le Soleil de fin avril (à droite) à fin octobre (à gauche) avec une position tous les 5 jours. L'écliptique est la trajectoire apparente du Soleil sur la voûte céleste.

Quant à la Lune, elle aussi reste dans cette zone particulière entourant l'écliptique. Il est donc tout à fait normal que toutes les civilisations aient attaché une importance particulière à cette région du ciel que l'on appelle zodiaque.

Explications

L'écliptique est l'intersection du plan de l'orbite de la Terre et de la sphère céleste. Depuis la Terre, on voit donc toujours le Soleil sur l'écliptique. Si les

planètes tournaient autour du Soleil dans le même plan, on les verrait elles aussi sur l'écliptique (figure 3).

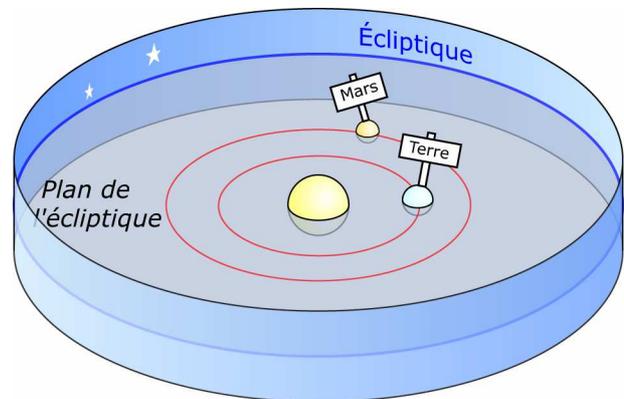


Fig.3. Écliptique et plan de l'écliptique.

Ce n'est pas tout à fait le cas comme le montrait la figure 1 ; en effet, les plans des orbites des planètes ne sont pas confondus avec le plan de l'écliptique même s'ils en sont proches.

Par exemple, la planète Mars a une orbite inclinée d'un peu moins de 2° . Quand elle est à l'opposition et au périhélie, on peut la voir à 7° de l'écliptique (figure 4).

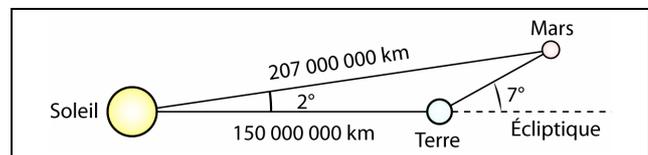


Fig.4. La planète Mars a une orbite inclinée de 2° seulement mais, vue depuis la Terre, elle peut s'écarter de 7° de l'écliptique.

Pour Jupiter et Saturne, plus lointaines, l'écart à l'écliptique ne dépasse pas respectivement 2° et 3° . Quand Vénus est au plus près de la Terre (conjonction inférieure), elle peut être à près de 9° de l'écliptique mais elle n'est pas visible à ce moment-là. Pour Mercure, plus éloignée de nous, l'écart à l'écliptique ne dépasse pas 6° . Les planètes sont donc visibles dans une zone d'environ 8° entourant l'écliptique, le zodiaque.

Quelques définitions

Plan de l'écliptique : plan de l'orbite terrestre (ou, plus précisément, plan dans lequel se déplace le centre de masse du système Terre-Lune).

Écliptique : intersection du plan de l'écliptique et de la sphère céleste (on utilise aussi le mot écliptique pour désigner le plan de l'écliptique).

Coordonnées écliptiques : longitude et latitude écliptiques définies par rapport au plan de l'écliptique (figure 5). La longitude est comptée de 0 à 360° dans le sens direct vu du nord. L'origine des longitudes est le point vernal, direction du Soleil à l'équinoxe de printemps (à l'intersection de l'écliptique et de l'équateur). La latitude écliptique est comptée de -90° à +90°. Les coordonnées écliptiques peuvent être géocentriques (la Terre est alors l'origine du repère) ou héliocentriques (Soleil au centre). Elles sont surtout utilisées pour les objets du système solaire. La latitude écliptique géocentrique des planètes ne dépasse pas 9°.

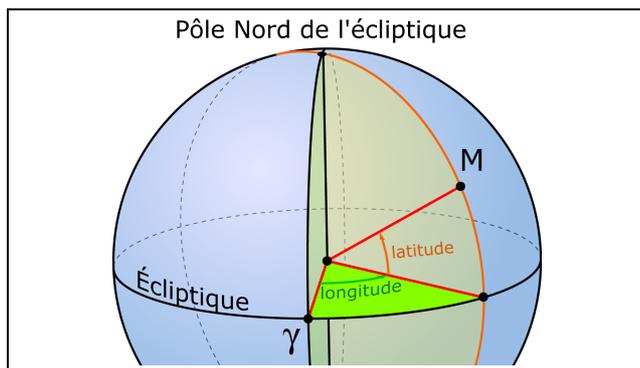


Fig.5. Coordonnées écliptiques. γ est le point vernal.

Constellation du zodiaque : constellation traversée par l'écliptique. Elles sont au nombre de 13 (voir paragraphe suivant). Rappelons que les étoiles d'une même constellation n'ont aucun lien physique et peuvent être à des distances très différentes de nous.

Zodiaque : région de la sphère céleste qui s'étend sur 8° environ de chaque côté de l'écliptique. En plus des 13 constellations du zodiaque, elle traverse plus d'une dizaine d'autres constellations comme Orion, la Baleine... Ce qui fait qu'une planète peut se trouver dans une autre constellation qu'une constellation du zodiaque. Vénus par exemple, passera dans Orion en août 2012, dans la Baleine en mars 2013, dans l'Écu de Sobieski fin janvier 2014...

Signes du zodiaque : on peut partager le zodiaque en 12 signes mesurant 30° de longitude chacun à partir du point vernal. On a donné à ces signes le nom de la constellation la plus proche il y a 2000 ans. Dire qu'une planète est dans le signe du Bélier revient à dire que sa longitude écliptique est comprise entre 0 et 30°. Les astronomes ont longtemps utilisé les signes du zodiaque à la place des longitudes écliptiques. Actuellement, ils ne les utilisent plus du tout. Seuls, les astrologues parlent encore de signes du zodiaque.

Précession des équinoxes : les saisons proviennent de l'inclinaison de l'axe de la Terre. Celui-ci ayant un mouvement de toupie (avec une période de

26 000 ans), les saisons se sont décalées par rapport aux étoiles. Notre calendrier aussi, puisqu'il est calé sur les saisons. Le point vernal, qui est la direction du Soleil à l'équinoxe de printemps, était dans la constellation du Bélier il y a 2 500 ans, il se trouve maintenant dans la constellation des Poissons. Il passera dans le Verseau en 2597.

Conséquence sur notre zodiaque : les signes du zodiaque qui sont liés aux saisons et au point vernal se sont donc décalés d'une trentaine de degrés par rapport aux constellations qui sont liées aux étoiles. La constellation des Gémeaux par exemple, qui va de 90 à 118° de longitude écliptique, correspond au signe du Cancer.

Le Soleil est dans le signe du Cancer du 22 juin au 23 juillet. Ceux qui sont né pendant cette période sont dits par les astrologues natifs du Cancer. Mais à ce moment là, le Soleil est dans la constellation des Gémeaux. Les signes n'ont donc plus aucun rapport avec les constellations du même nom.

	Constellations	Signes	
0			21/3
10			1/4
20	Poissons	Bélier	11/4
30			21/4
40	Bélier	Taureau	1/5
50			11/5
60			21/5
70	Taureau	Gémeaux	1/6
80			11/6
90			21/6
100	Gémeaux	Cancer	1/7
110			11/7
120			21/7
130	Cancer	Lion	1/8
140			11/8
150	Lion	Vierge	21/8
160			1/9
170			11/9
180			21/9
190	Vierge	Balance	1/10
200			11/10
210			21/10
220	Balance	Scorpion	1/11
230			11/11
240	Scorpion	Sagittaire	21/11
250			1/12
260	Ophiucus	Sagittaire	11/12
270			21/12
280	Sagittaire	Capricorne	1/1
290			11/1
300			21/1
310	Capricorne	Verseau	1/2
320			11/2
330			21/2
340	Verseau	Poissons	1/3
350			11/3
360	Poissons		21/3

Fig.6. Correspondance constellations et signes.

À gauche sont indiquées les longitudes écliptiques et à droite les dates correspondant à la position du Soleil.

Les 13 constellations du zodiaque

Sur les figures qui suivent, on a choisi de représenter la région comprise entre -20° et $+20^\circ$ de latitude écliptique. La zone plus claire correspond au zodiaque qui peut abriter les planètes (8° de chaque côté de l'écliptique). Les traits de couleur bleu ciel indiquent les limites des constellations.

Le dessin de la constellation est indiqué par des traits blancs reliant les étoiles. Ces traits sont totalement arbitraires et vous trouverez suivant les ouvrages différentes figures.

Chaque constellation correspond souvent à plusieurs légendes plus ou moins anciennes. Une seule d'entre elles est résumée ici.

Les Poissons (figure 7)

Cette constellation ne contient pas d'étoile lumineuse mais abrite maintenant le point vernal γ (depuis le 1^{er} siècle avant notre ère et jusqu'en 2600). Ces deux poissons sont Aphrodite et Éros, transformés en poissons pour échapper à Typhon.

Le Bélier (figure 7)

Il représente le bélier dans la légende de Jason et la Toison d'or. Seules trois étoiles sont plus lumineuses que la magnitude 4.

Le Taureau (figure 7)

Sa forme en V évoque la tête d'un Taureau avec ses cornes. C'est une constellation très ancienne qu'on assimile à Zeus transformé en taureau pour enlever Europe. Son étoile principale Aldébaran est une géante rouge. Cette constellation abrite deux objets célèbres, les Pléiades (à observer aux jumelles) et M1, la nébuleuse du Crabe, reste de la supernova de 1054 (à observer avec un bon télescope).

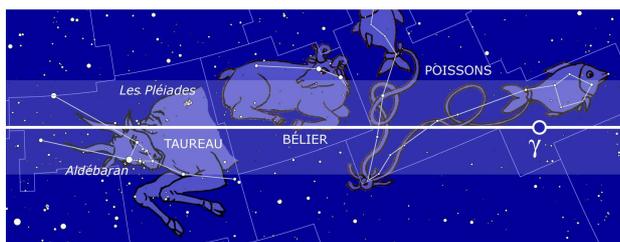


Fig.7. Poissons, Bélier, Taureau.

Les Gémeaux (figure 8)

Dans la mythologie grecque, il s'agit de deux jumeaux nés d'une même mère Léda mais de deux pères différents (Tyndare et Zeus). Ils ont donné leur nom aux deux étoiles les plus brillantes de la constellation, Castor au nord et Pollux au sud.

Le Cancer (figure 8)

Cette constellation ne contient pas d'étoile lumineuse mais abrite l'amas ouvert Praesepe

appelé aussi la Crèche, la Ruche ou M44, et visible à l'œil nu. Le Cancer représente le crabe envoyé par Héra contre Hercule.

Le Lion (figure 8)

Situé sous la Grande Ourse, le Lion est reconnaissable à sa crinière en forme de point d'interrogation inversé. Son étoile principale Régulus (le petit roi) est située quasiment sur l'écliptique. Il s'agit du lion de Némée tué par Hercule dans un de ses travaux.

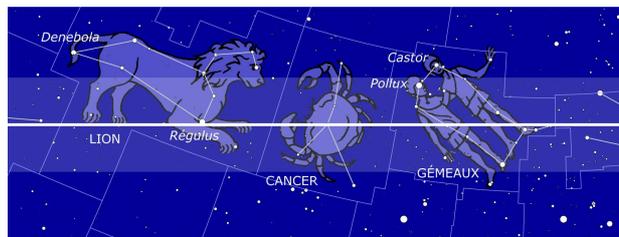


Fig.8. Gémeaux, Cancer et Lion.

La Vierge (figure 9)

Elle peut représenter Déméter tenant dans une main un épi. L'étoile principale Spica (l'Épi), est bleue. Très proche de l'écliptique, elle fait partie des étoiles brillantes qui peuvent être occultées par la Lune.

La Balance (figure 9)

Il s'agissait auparavant des pinces du Scorpion. Cette constellation peu visible a sans doute été introduite par les Romains.

Le Scorpion (figure 9)

Cette constellation est une des rares à ressembler dans le ciel à ce qu'elle représente, un scorpion, envoyé pour combattre Orion. L'étoile la plus brillante Antares (de anti Arès, rivale de Mars) est une supergéante rouge reconnaissable à sa couleur.

Ophiucus (figure 9)

De son nom latin Ophiuchus, certains l'écrivent Ophiucus (sans h) en français. On l'appelle aussi le Serpentaire. Cette constellation ancienne représente le médecin Asclepios (Esculape) portant un serpent. Elle n'est pas reprise dans les signes du zodiaque. Le Soleil y passe pourtant plus de temps que dans le Scorpion mais les limites des constellations n'ont été fixées qu'en 1930.

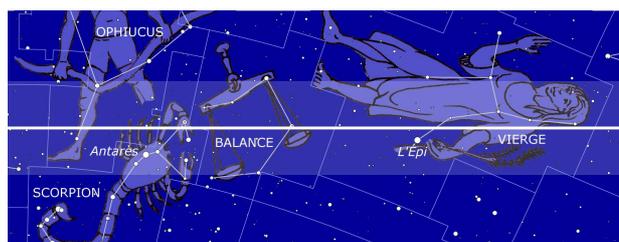


Fig.9. Vierge, Balance, Scorpion, Ophiucus.

Le Sagittaire (figure 10)

On y reconnaît plus facilement une théière (les Anglais l'appellent the Teapot) qu'un Centaure (moitié cheval, moitié homme). Le Sagittaire est traversé par la Voie Lactée et abrite le centre de notre Galaxie. C'est une région dense en nébuleuses.

Le Capricorne (figure 10)

On peut reconnaître cette constellation grâce à deux couples d'étoiles proches, α et β à l'ouest, γ et δ à l'est. On la représente habituellement comme une chèvre à queue de poisson mais certains l'appellent le sourire du ciel, d'autres la petite culotte...

Le Verseau (figure 10)

Représentant un porteur d'eau, sa forme n'est pas facile à reconnaître dans le ciel et l'on trouve de nombreux tracés différents.

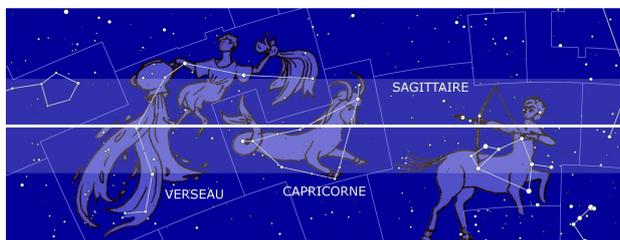


Fig.10. Sagittaire, Capricorne et Verseau.

Beaucoup de ces constellations représentent des animaux (Poissons, Bélier, Taureau...) mais on a aussi un objet (Balance) et des personnages (Verseau...). Le nom de zodiaque vient du grec

zôon, être vivant, animal. On l'appelle TierKreis en allemand (cercle des animaux).

Visibilité

À une latitude donnée, l'étoile Polaire est toujours située à la même hauteur dans le ciel ainsi que l'équateur céleste. L'écliptique est inclinée de $23,4^\circ$ sur l'équateur. Une moitié est située au-dessus (au nord) de l'équateur, dans l'hémisphère céleste nord, et une autre dans l'hémisphère céleste sud (voir la figure 12).

Les constellations du zodiaque situées au nord de l'équateur apparaissent donc plus hautes dans le ciel. Il s'agit des 6 premières constellations de la liste ci-dessus. Le tableau de la figure 11 donne la hauteur au-dessus de l'équateur du point de l'écliptique situé au centre de la constellation. Quand une planète se trouve dans la constellation des Gémeaux, elle sera haute dans le ciel et facile à observer. Si, par contre, elle se trouve dans le Sagittaire, elle sera basse et plus difficile à photographier car plus soumise à la turbulence. Ceci est vrai pour les habitants de l'hémisphère nord et c'est l'inverse dans l'hémisphère sud. Saturne par exemple est actuellement dans la constellation de la Vierge et on a pu l'observer correctement. Dans les années à venir, elle va passer dans la Balance, puis le Scorpion et Ophiucus et sera donc de plus en plus basse pour les habitants de l'hémisphère nord.

Nom français	Nom latin	Abréviation	Longitude écliptique ($^\circ$)	Dates de passage du Soleil (1)	Hauteur sur l'équateur (2)	À observer à partir de (3)
Poissons	Pisces	PSC	de 351,5 à 389	du 12/03 au 19/04	4°	octobre
Bélier	Aries	ARI	de 29 à 53,3	du 19/04 au 14/05	15°	novembre
Taureau	Taurus	TAU	de 53,3 à 90,3	du 14/05 au 21/06	22°	décembre
Gémeaux	Gemini	GEM	de 90,3 à 118,2	du 21/06 au 21/07	23°	janvier
Cancer	Cancer	CNC	de 118,2 à 138,1	du 21/07 au 10/08	18°	janvier
Lion	Leo	LEO	de 138,1 à 174,1	du 10/08 au 17/09	9°	février
Vierge	Virgo	VIR	de 174,1 à 217,7	du 17/09 au 31/10	-6°	avril
Balance	Libra	LIB	de 217,7 à 241	du 31/10 au 23/11	-18°	mai
Scorpion	Scorpius	SCO	de 241 à 247,9	du 23/11 au 30/11	-21°	mai
Ophiucus ou Serpenteaire	Ophiuchus	OPH	de 247,9 à 266,5	du 30/11 au 18/12	-23°	juin
Sagittaire	Sagittarius	SGR	de 266,5 à 299,6	du 18/12 au 20/01	-23°	juillet
Capricorne	Capricornus	CAP	de 299,6 à 327,8	du 20/01 au 16/02	-17°	août
Verseau	Aquarius	AQR	de 327,8 à 351,5	du 16/02 au 12/03	-8°	septembre

Fig.11. Quelques caractéristiques des constellations du zodiaque.

(1) Les dates de passage du Soleil dans la constellation sont données pour 2010-2011 (elles peuvent varier d'une journée suivant les années).

(2) La hauteur sur l'équateur correspond à la déclinaison du point central du segment de l'écliptique contenu dans la constellation.

(3) Le mois de la dernière colonne indique quand le Soleil est à l'opposé. C'est ce jour-là que la constellation se lève quand le Soleil se couche. C'est le début de la période pour observer la constellation en soirée.

Les représentations du zodiaque

Les cartes en 3D

Ce type de carte montre bien la disposition des constellations sur la sphère céleste autour de l'observateur (ou du Soleil). Mais les constellations au premier plan sont vues à l'envers.

On peut dessiner le zodiaque soit sur la sphère céleste (figure 12) ou, comme on le voit plus souvent, sur un cylindre (figure 13).

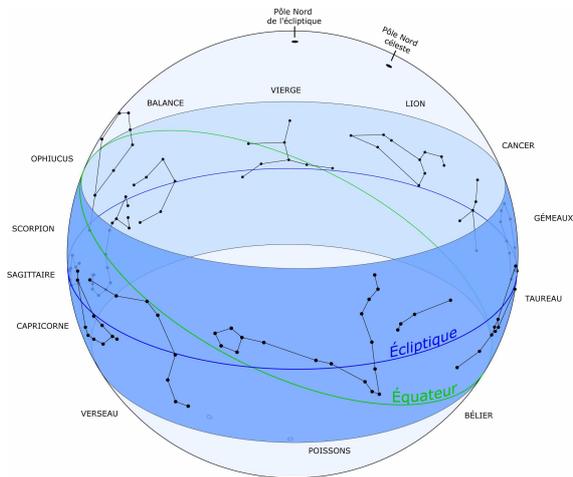


Fig.12. Le Zodiaque et la sphère céleste.

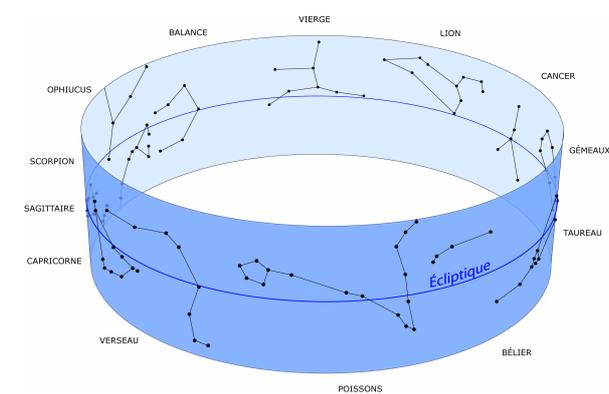


Fig.13. Le zodiaque sur un cylindre.

Les cartes en bande

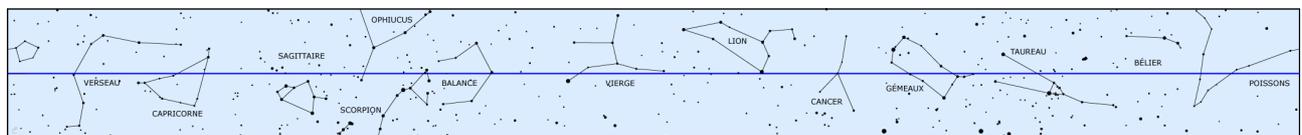


Fig.14. La bande du zodiaque autour de l'écliptique.

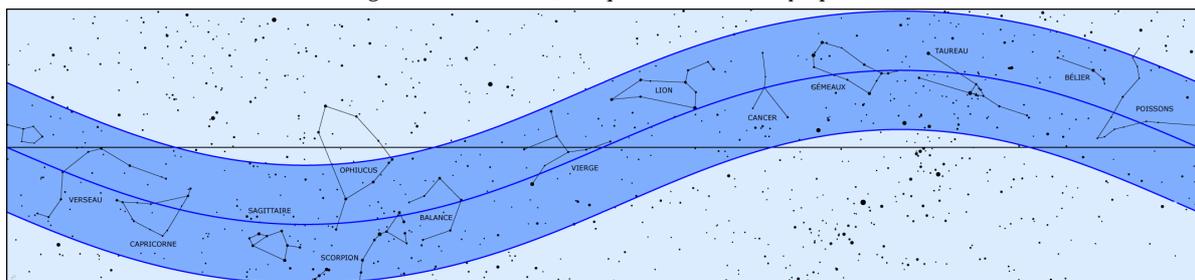


Fig.15. Carte du zodiaque centrée sur l'équateur.

Si on déroule le cylindre de la figure 13, on obtient les 13 constellations se succédant sur une longue bande de papier comme sur la figure 14.

On peut aussi placer le cylindre avec son axe suivant l'axe des pôles. La ligne centrale devient alors l'équateur. En déroulant le cylindre, l'équateur est un segment et l'écliptique devient sinusoïdal (figure 15).

Les cartes circulaires

C'est une manière classique de représenter le ciel en projetant une partie de sphère sur un disque. Si on se place au pôle Sud de l'écliptique de la figure 12 et que l'on regarde vers le pôle nord, le zodiaque occupe une couronne circulaire (figure 16). On a utilisé ici une projection qu'on appelle stéréographique qui a l'avantage de conserver les angles et donc de ne pas déformer les constellations.

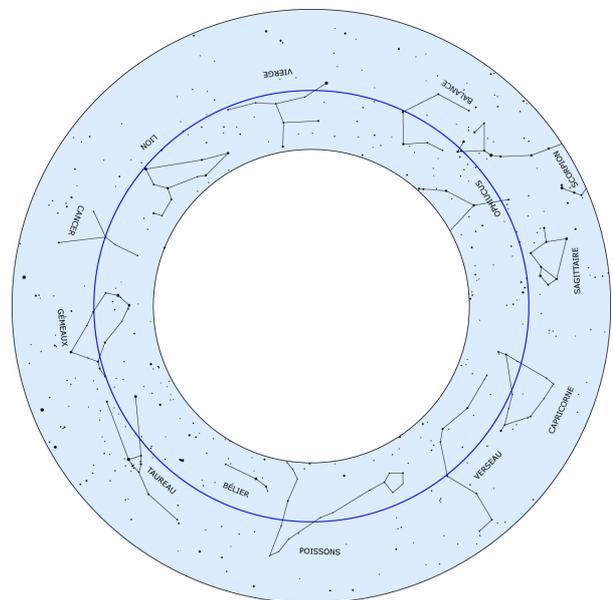


Fig.16. Couronne du zodiaque.

Naissance du zodiaque en Mésopotamie

Roland LAFFITTE ¹

secrétaire de la Société d'Études Lexicographiques & Étymologiques Françaises & Arabes

L'auteur nous propose ici de découvrir l'origine du zodiaque dans le croissant fertile, des observations aux premières conceptualisations, à la frontière de la cosmologie et de la mythologie.

Le *zodiaque* est un objet culturel très ancien, chargé d'une symbolique extrêmement riche. Mais il ne faut pas se fier aux apparences. Tel qu'il est né en Mésopotamie vers le milieu du V^e siècle avant J.-C., il a peu de chose à voir avec ce à quoi nous le réduisons communément aujourd'hui, à savoir un emblème de l'astrologie. Il est en effet né comme comput astronomique servant à mesurer la progression des astres. On devine l'intérêt qu'il a pu avoir pour l'horoscopie du fait que celle-ci est fondée sur l'interprétation de la position des planètes au moment de tel ou tel événement.

Commençons par le définir. Il s'agit d'une zone céleste traversée en son milieu par l'*écliptique*, c'est-à-dire le cercle dessiné sur la sphère céleste par la trajectoire du *Soleil* vue de la Terre. Cette bande céleste est divisée en douze sections égales qui ne sont autres que des positions particulières du *Soleil* sur l'*écliptique*. Elles ont été nommées *signes zodiacaux*, appellation dont l'ambiguïté était déjà relevée par Géminos qui les désignait également sous le terme de *duodécamories*, littéralement "douzièmes".

Ces sections n'ont au vrai rien à voir avec les *constellations* dont elles tirent leur nom et qui désignent des regroupements stables d'étoiles associés à des figures célestes. Elles constituent des réalités tout à fait différentes. Les *signes zodiacaux* occupent tous, sur l'*écliptique*, un segment long de 30° d'arc, alors que les *constellations*, dont les projections des limites extrêmes se chevauchent sur l'*écliptique*, sont parfaitement inégales : celle des Poissons s'étale ainsi, dans les limites établies par

l'UAI (Union Astronomique Internationale), sur un espace de près de 50° tandis que sa voisine, celle du Bélier, s'étend sur moins de 30°. Et ce qui est vrai en longitude l'est également en latitude. On prête aussi à confusion en parlant de *constellations zodiacales* pour celles que parcourt l'*écliptique*. Elles sont d'ailleurs, soit dit en passant, au nombre de treize puisque ce cercle céleste traverse sur 20° l'espace d'une *constellation* qui n'a pas donné son nom à un *signe du zodiaque*, celle d'Ophiucus... Il vaudrait mieux les nommer tout simplement *constellations de l'écliptique*. Cela éviterait bien des malentendus.

Mais revenons au *zodiaque*. Un grand historien des sciences comme Otto Neugebauer l'a qualifié d'"idéalisation mathématique". Afin de comprendre la justesse de cette remarque, il nous faut voir pourquoi et comment il a été découvert.

Au départ, les Mésopotamiens conçoivent le monde comme une sorte de sphéroïde. Sa partie supérieure est formée par le monde d'En-haut, composé lui-même de trois ciels dont le plus bas forme la voûte céleste, et sa partie inférieure par le monde d'En-bas, ou la Terre, composée de son côté de plusieurs parties, dont la terre ferme qui se présente comme un disque posé sur l'Océan. Les hommes ont d'abord essayé de comprendre, dans ce cadre, le mouvement des astres sur la voûte céleste à partir du plan de l'horizon déterminé par celui du disque terrestre.



Fig.1. Du plan de l'horizon au plan de l'équateur.

¹ Roland Laffitte est auteur de travaux sur l'astronomie antique, et il anime le site www.uranos.fr. On trouvera sur ce site les références concernant l'astronomie mésopotamienne utilisées dans cet article : on peut y accéder notamment par la page http://www.uranos.fr/ETUDES_00_FR.htm

Une première révolution s'opère avant le milieu du II^e millénaire avant notre ère quand sont tracés sur la voûte céleste trois chemins parcourus par les astres et tout naturellement affectés aux trois grands dieux. Le chemin d'Enlil, le dieu des Airs, est le chemin des étoiles dont le lever héliaque² s'opère dans la zone boréale au solstice d'été ; le chemin d'Anu, le dieu du Ciel, est celui des étoiles qui se lèvent à l'Orient dans la zone intersolsticiale³ ; enfin le chemin d'Éa, le dieu des Eaux, est le chemin des étoiles dont le lever s'effectue dans la zone australe au solstice d'hiver.

Ainsi naissent des tables appelées *Chacun Trois étoiles*, du fait qu'à chacun des douze mois de l'année sont affectées trois astres, un sur chaque chemin céleste.

Les observations empiriques sont désormais classées dans un cadre conceptuel nouveau, toutefois à peine ébauché, celui du plan de l'équateur. Une bonne partie des astres tenus comme significatifs sont en effet des étoiles dont le lever héliaque se situe dans le mois dont elles sont emblématiques. Mais on trouve aussi, dans ces tables, des étoiles qui ne répondent pas à ce critère et des planètes. Cela laisse supposer que le choix de ces astres peut être dû à des raisons symboliques et mythologiques et rend leur manie- ment problématique pour le comput.

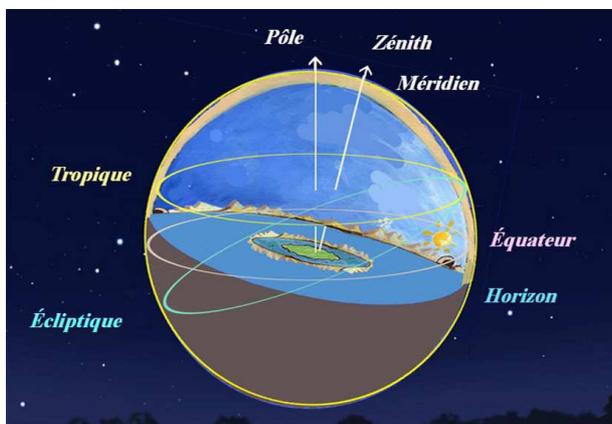


Fig.2. La sphère mésopotamienne.

Une nouvelle révolution s'opère au début du I^{er} millénaire avant notre ère. Le témoignage le plus fameux en est un lot de tablettes de la bibliothèque d'Assurbanipal, donc datées au plus tard de 627 av. J.-C., connu sous le nom de *Série MULAPIN*. Il s'agit d'une véritable somme astronomique, la plus ancienne que

² Le lever héliaque d'une étoile correspond à son apparition au-dessus de l'horizon oriental juste avant l'aurore, de sorte que cette étoile s'évanouit très vite dans l'éclat des rayons du Soleil levant.

³ Il s'agit de l'arc délimité sur l'horizon oriental par la position du Soleil entre les deux solstices.

nous connaissons à ce jour. Outre une liste des 71 étoiles qui se trouvent sur les trois "chemins célestes" déjà considérés, elle contient une table des levers héliaques de 34 étoiles, celle des levers héliaques et des couchers héliaques simultanés de 30 étoiles, celle des distances célestes entre 15 étoiles remarquables, et surtout deux autres tables d'importance capitale. La première, énumère "les dieux qui se trouvent sur le chemin de la Lune", livre le tracé de l'écliptique grâce à 18 étoiles, chacune étant désignée par son dieu tutélaire, et servant de stations à la Lune. Comme le plan orbital de celle-ci par rapport à celui du Soleil n'est incliné que de 5 degrés, est ainsi déterminée une zone contenant plus ou moins toutes les planètes. La seconde table, dite "des étoiles culminantes qui se trouvent sur le chemin d'Enlil", énumère une quinzaine d'étoiles dont le nombre sera porté à 27 grâce à des tables contemporaines de la *Série MULAPIN*, et fournit le tracé d'une figure géométrique précisément désignée comme "cercle". Et comme ce dernier possède en commun avec "le chemin de la Lune" l'amas Praesepe (M44), il est tangent à l'écliptique et n'est autre que le tropique du Cancer. Cela signifie qu'en faisant tenir les parois du sphéroïde cosmique dans le volume circonscrit par ces deux cercles tangents, nous obtenons une sphère parfaite. Il est vrai qu'à la différence de la notion de *cercle*, celle de *sphère* n'est pas formalisée dans un concept expressément verbalisé, mais nous avons là une manifestation indéniable de l'un des premiers pas accomplis vers la géométrisation de l'astronomie, jusqu'ici regardée comme l'apanage de l'astronomie grecque.

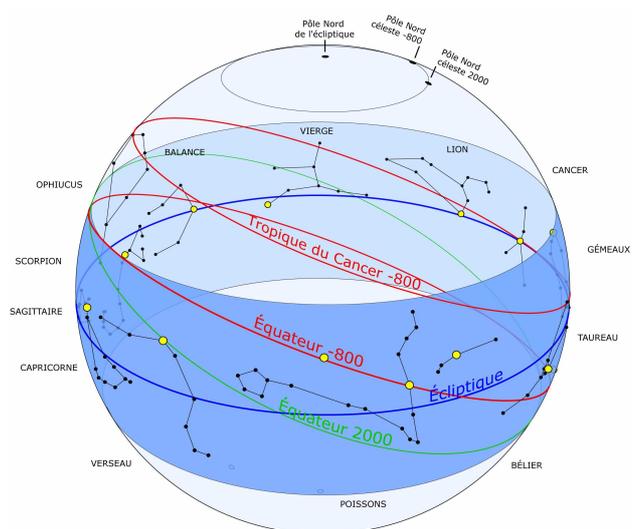


Fig.3. La sphère céleste en -800.

À cette époque, la région de l'écliptique la plus au nord de l'équateur était située dans le Cancer alors qu'aujourd'hui, elle s'est déplacée pour cause de précession des équinoxes et se trouve à la frontière des Gémeaux et du Taureau. On a représenté en jaune les étoiles du chemin de la Lune.

Pourtant ce n'est pas en précisant la voie marquée par les stations du "chemin de la *Lune*" que les Mésopotamiens sont parvenus au *zodiaque*. Cette invention est advenue sur celle de la détermination de la position du *Soleil*, de la *Lune* et des cinq planètes connues à l'époque par rapport à des étoiles situées sur l'écliptique, littéralement nommées "étoiles de comput", et dont le nombre s'est peu à peu stabilisé à 32. On peut lire dans ces documents des informations du genre : "dans la nuit du 5^e jour de tel mois, telle planète est à telle distance au-dessus de telle étoile".

Et voilà qu'un jour, dans un journal daté de 463 av. J.-C., on découvre ceci : "À cette époque, *Vénus* et *Mercur*e étaient dans le *Lion* ; *Mars* dans le *Scorpion*". Cette notation qui paraît toute banale révèle en fait un changement radical.

Cela s'est passé presque subrepticement mais il s'agit d'une véritable révolution. Nous avons une règle graduée par des "étoiles fixes" de l'écliptique en tant que points de repères pour localiser les "astres errants", grâce à l'indication d'une orientation – "au-dessus", "au-dessous", "en face de" – et d'une distance – "coudée", "main" (empan) et "doigt" (pouce). Nous avons à présent une règle différente, graduée quant à elle par 12 sections qui correspondent aux 12 de mois de l'année. De plus, chacune d'entre elles est subdivisée en unités d'arc dont chacune vaut un de nos degrés et correspond au progrès accompli par le *Soleil* en un jour de l'année idéale de 360 jours, connue en Mésopotamie depuis Sumer. Le nom de ces stations est désormais stable, à la seule exception de la seconde d'entre elles qui portera de façon hésitante le nom de l'un de ces astérisques de l'espace parcouru, GU = le "Taureau", dévolu aux *Hyades* ou MUL, "l'Astre", consacré aux *Pléiades*. Le *zodiaque* est né. Nous avons là le témoignage le plus flagrant du pas de géant effectué par l'astronomie mésopotamienne, celui de la mathématisation de l'astronomie.

La puissance de suggestion de cette "idéalisation mathématique" est immense et son succès foudroyant. Le *zodiaque* est rapidement diffusé, dans le vaste espace constitué par l'Empire perse, vers l'Est jusqu'en Inde septentrionale et, vers l'Ouest, jusqu'en l'Égypte et en Grèce d'Asie. À partir de l'Inde avec la propagation du bouddhisme, l'aire de civilisation chinoise l'acclimatera en changeant ses figures et en le limitant à son aspect astrologique. En Grèce, c'est la perfection de l'objet mathématique qui convainc de prime abord puisqu'il est utilisé par Eudoxe de Cnide avant d'orner la sphère d'Euclide et celle d'Autolykos de

Pitane. Il faudra attendre les effets des conquêtes d'Alexandre et l'introduction de l'astrologie mésopotamienne par le prêtre babylonien Bérose pour qu'il serve également pour l'horoscopie de naissance.



Fig.4. La fontaine de Davioud, place de l'Observatoire, Paris.

La fonction de comput du *zodiaque* restera néanmoins active jusqu'au Moyen Âge du fait que la position des planètes est le langage universel le plus sûr pour consigner la date d'un événement. Songeons que c'est grâce aux journaux astronomiques mésopotamiens dont il a été parlé plus haut que l'on a pu établir avec certitude, à la fin du XX^e siècle, la date de la traversée de l'Euphrate par Alexandre et, par déduction, celle de sa victoire sur Darius...

Et puis, cette merveille culturelle assume toujours une fonction métaphorique comme symbole de la marche du temps et des saisons dans le cosmos. Il figure à ce titre sur le globe céleste ou la sphère armillaire, comme c'est le cas de la statue érigée par l'architecte Gabriel Davioud et Jean-Baptiste Carpeaux, place de l'Observatoire dans le Paris du baron Haussmann. Et sa valeur esthétique reste intacte lorsque, plus près de nous, ses 12 figures ornent les 12 pommettes de la croix du Languedoc sur la place du Capitole de Toulouse...

D'où viennent les noms des figures mésopotamiennes ?

À chaque dieu sont associés dans la cosmologie mésopotamienne un ou plusieurs astres comme demeures célestes alors que les temples sont leurs demeures terrestres. Il est difficile de savoir le critère qui préside à l'établissement du lien entre telle étoile à telle divinité, mais cette association nous permet d'expliquer leurs noms.

Dès les premières listes, soit à la fin du III^e millénaire av. J.-C., nous voyons apparaître deux étoiles sur l'espace du *Scorpion* actuel déterminé par l'UAI : l'une, identifiée à α Sco, grâce aux tables *Chacun Trois étoiles*, est nommée [l'étoile du] *Scorpion* ; l'autre, l'*Étoile du dieu Pabilsag*, identifiée à λ Sco.

C'est à la fin du second millénaire que nous voyons apparaître sur des stèles de donation foncières, les dieux associés à leurs images astrales. C'est ainsi que sur l'une d'elles, nous pouvons voir l'image de Pabilsag, qui est une des manifestations de Ninurta, dieu de la Guerre, reconnaissable comme le devancier de notre *Sagittaire*. Nous apprenons, sous l'image d'un scorpion figurant sur une autre stèle, que cet animal est Ishkhara, l'emblème d'une des manifestations de Ishtar dans sa fonction de déesse de l'Amour. Projeter ces images sur la voûte céleste est une opération mentale compréhensible.

Peuvent alors prendre corps sur la voûte céleste des figures dans lesquelles vont prendre place des étoiles qui, au bout d'un certain temps, recevront un nom indiquant leur localisation plus ou moins stable dans ladite figure. Le processus est accompli dès la première moitié du I^{er} millénaire avant notre ère, quand nous lisons par exemple dans des documents de l'époque : la *Corne du Scorpion* pour β Lib, la *Tête* pour β et δ Sco, la *Poitrine* pour α Sco, la *Base de la Verticale* pour μ^1 Sco et l'*Aiguillon* pour θ Sco. Nous pouvons constater que les étoiles λ et ν Sco ne font pas encore partie de la constellation du *Scorpion*, mais appartiennent à l'univers de Pabilsag, dont la *Pointe de la Flèche* est située sur θ Oph. Il faudra attendre quelques siècles pour que les Grecs donnent au *Scorpion* sa configuration actuelle. Voilà qui illustre le propos d'un érudit syriaque du VII^e siècle de notre ère, Sévère Sébokht : selon lui, il n'est dans le ciel d'autre scorpion que celui que notre esprit y projette, ainsi qu'il l'explique dans l'avant-propos à sa traduction des *Phénomènes* d'Aratos, intitulé de façon significative *Traité des figures que l'on croit voir dans le ciel*. Chaque peuple voit d'ailleurs à cet endroit des figures différentes dont les limites sont fixées de façon variable : certains Arabes de l'Antiquité voyaient sur toute l'étendue de notre *Scorpion* actuel des *Chameaux qui barquent*, et d'autres des *Gazelles* sur les anneaux et sa queue ; quant aux Touaregs, ils imaginent un *Palmier* sur la partie orientale de la figure actuelle.

Pour compléter notre parcours de l'écliptique avec les figures sur lesquelles nous pouvons donner des précisions sûres, le *Bélier* est le symbole du berger Dumuzi, l'amant que Ishtar envoya en Enfer à sa place ; le *Taureau* est l'animal céleste d'Anu, envoyé à la demande de Ishtar pour détruire Uruk afin de punir son roi, Gilgamesh, d'avoir repoussé ses avances ; les *Gémeaux* correspondent aux dieux Maslamtaéa et Lugalirra, les portiers du Monde des Trépassés, deux manifestations du maître de ce dernier, Nergal ; l'*Épi*, qui deviendra par la suite la *Vierge* en Syrie, est l'emblème de Shala, une divinité de la fécondité ; tandis que le *Poisson* occidental est *Anunûnitu*, une autre manifestation de Ishtar comme déesse de l'Amour.

La *Balance* mérite une attention particulière. Elle est l'emblème de Kittu et Mishâru, les ministres de Shamash, le *Soleil*, dieu de la Justice. Une première remarque est que ce couple, qui signifie littéralement "Droit et Équité", résulte de la personnification / divinisation d'une expression signifiant "justice" dans le Code de Hammourabi, soit 1.750 avant notre ère, ce qui montre que la balance utilisée comme métaphore de la justice est ancienne. Une seconde remarque est que si les Mésopotamiens voyaient deux figures concurrentes sur l'espace de la *Balance* actuelle, à savoir la *Balance* et les *Cornes du Scorpion*, ils ont choisi dès le début le nom de la *Balance* pour le signe zodiacal. De leur côté, les Grecs ont d'abord appelé ce signe *Pinces*, du nom de la figure du grand *Scorpion* qu'ils avaient déjà hérité de Babylone et que nous connaissons par Eudoxe, tandis que le nom de la *Balance* n'a été introduit que plus tard, à partir de *Geminos*, et n'a connu de succès véritable qu'avec les Romains.

AVEC NOS ÉLÈVES

Comprendre le zodiaque... du plan à la 3D

Jean-Luc Fouquet

Certains de nos lecteurs ont déjà vu cette maquette du zodiaque que Jean-Luc Fouquet a plusieurs fois présentée lors des écoles d'été du CLEA. Il nous détaille ici sa réalisation, son fonctionnement et son utilisation avec des élèves.

Le Muséum d'Histoire Naturelle de la Rochelle s'est doté depuis un peu plus d'un an d'un nouveau planétarium acheté en Espagne, piloté par un ordinateur relié à un vidéoprojecteur (le LSS-voir CC 132). C'est un outil qui a beaucoup de succès, et les séances sont devenues très nombreuses. En collège et surtout au lycée, chaque fois que le projet rend la solution possible, la classe est partagée en deux groupes. Pendant que l'un travaille dans le planétarium, le second prépare la séance ou reprend les problèmes de coordonnées et de mouvements des astres à partir de différentes maquettes. Parmi tous les dispositifs en carton présentés, celui qui permet le mieux de faire le lien entre la présentation dans le planétarium et le travail sur des planétaires de poche simplifiés, est une matérialisation du zodiaque à l'aide de bandes de carton disposées en un cercle de plus de deux mètres de diamètre. Les dimensions importantes de la maquette permettent aux élèves de se placer "à l'intérieur", gardant ainsi le même point de vue que pendant la séance de projection. Au centre, les boules jaune et bleue représentant respectivement le Soleil et la Terre, ont des axes en bois pouvant être prolongés, virtuellement ou vraiment par des fils fins, jusqu'au plafond où l'on collera des gommettes représentant la Polaire et le pôle de l'écliptique⁴.



Fig.1. La maquette installée lors d'une école d'été du CLEA.

Ainsi cette grande maquette se révèle être à trois dimensions, et la taille permet de vérifier le dépla-

cement en translation de l'axe des pôles de la Terre, et facilite aussi les discussions sur le phénomène des saisons, voire sur la précession des équinoxes.

Présentation de la maquette

Les treize constellations du zodiaque sont matérialisées par des bandes de carton contrecollé, un matériau qui peut être légèrement déformé et arrondi. Les durées de passage du Soleil parmi ces constellations étant très inégales, la bande la plus courte (le Scorpion) ne mesure que 13 centimètres de long alors que la plus grande (la Vierge) a une longueur de 78 centimètres. Chaque constellation, graduée en dates et en longitude écliptique, est disposée verticalement et tenue à ses voisines avec des pinces. Devant ce zodiaque ainsi disposé en cercle, sont placées des bandes plus étroites et d'égales longueurs (54 centimètres) matérialisant les signes du zodiaque (visibles sur la figure 5). Si pour chaque signe, le carton a la même couleur que la constellation correspondante, le décalage d'un mois entre astrologie et ciel réel est immédiatement visible et permet d'amorcer éventuellement une discussion sur le sujet.

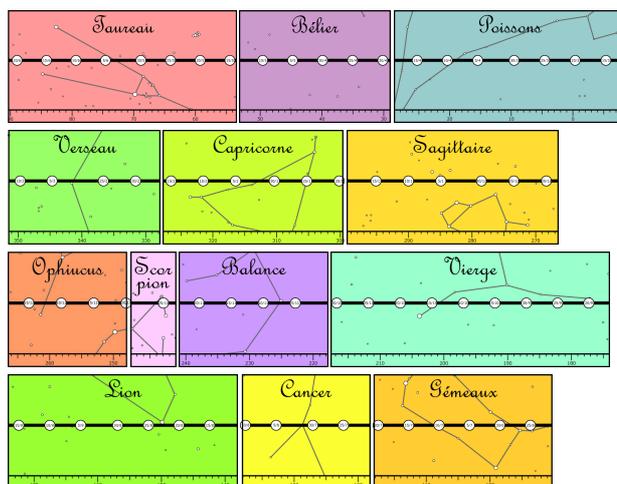


Fig.2. Un zodiaque à découper (les séparations verticales entre les différentes bandes ne sont pas les limites des constellations ; vous les trouverez sur la figure 7).

⁴ L'axe de la boule –soleil n'est pas l'axe de rotation du Soleil, mais une perpendiculaire à l'écliptique.

Au centre de la maquette, Soleil et Terre sont deux boules colorées transpercées suivant leur diamètre par des axes en bois fixés au centre de disques gradués en dates qui servent de support (axe perpendiculaire au sol pour le Soleil et avec un angle de 67° pour la Terre).

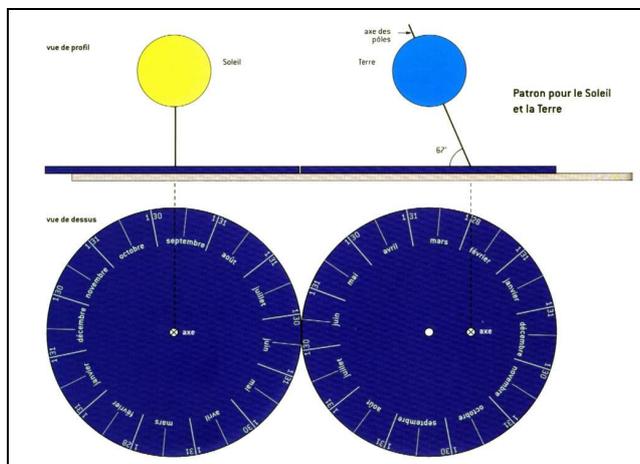


Fig.3. Soleil et Terre et leurs supports.

Utilisation de la maquette

Mise en place

Sur une surface carrée de plus de 4 m de côté (tables juxtaposées ou sol propre et lisse), placer au centre le Soleil puis la Terre. Leurs supports sont gradués en dates, et pour mettre la maquette à l'équinoxe de printemps par exemple, les traits "20 mars" sur chacun des deux supports doivent être alignés. Cette méthode permet de conserver l'axe de la Terre parallèle à lui-même dans le mouvement de révolution de celle-ci autour du Soleil. Disposer alors la bande "Poissons" (celle qui contient la date du 20 mars) dans le prolongement de la ligne Terre – Soleil, à plus de 2 mètres. Ainsi, depuis la Terre, un observateur peut voir alignés le Soleil et le point vernal⁵.

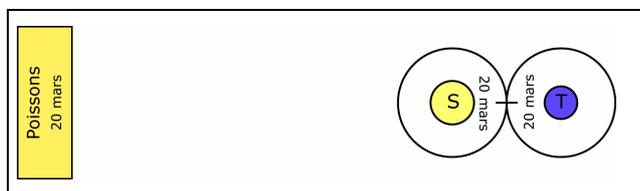


Fig.4. Mise en place de la maquette.

Placer alors les autres constellations, reliées entre elles par des pinces, en respectant les dates portées par chacune d'entre elles. Fermer le zodiaque, puis à

⁵ Point de la sphère céleste indiquant la position du Soleil à l'équinoxe de printemps.

2 ou 3 cm à l'intérieur, disposer en un deuxième cercle les signes astrologiques.

Notions pouvant être abordées

La position du Soleil

Pour une date donnée, un rapide coup d'œil au dessus de la boule Terre permet de situer le Soleil parmi les constellations du zodiaque. Ce même alignement coupe un signe astrologique pour ce jour-là.

Les constellations visibles la nuit

Pour cette même date, la constellation diamétralement opposée au Soleil est visible plein Sud à minuit. Un petit carré de carton, portant les 4 points cardinaux, peut être utilement fixé avec une épingle sur la boule bleue représentant la Terre, au lieu choisi pour l'observation. On pourra évoquer alors les constellations visibles d'est en ouest par rapport à cet horizon ainsi matérialisé. On pourra même constater que le zodiaque est proche de l'horizon l'été, et bien plus haut l'hiver.



Fig.5. L'horizon local.

La Lune et les planètes

Des boules colorées, sur des supports similaires à ceux de la Terre et du Soleil, peuvent les matérialiser. Chaque astre est placé dans la maquette avec l'indication de sa longitude écliptique relevée dans les éphémérides⁶.

⁶ Par exemple sur le site de l'IMCCE (imcce.fr) en demandant des coordonnées écliptiques héliocentriques.

En observant l'angle entre le Soleil et la planète vus depuis la Terre, on peut discuter de la visibilité de celle-ci en fonction de la date.



Fig.6. Mars dans les Gémeaux.

La précession des équinoxes

Deux gommettes peuvent être collées au plafond, dans le prolongement des axes de la Terre et du Soleil, pour indiquer ainsi les positions respectives de l'étoile Polaire et du pôle de l'écliptique. Éventuellement, un fil tendu peut relier la Polaire et la boule bleue. On peut suggérer alors la rotation de l'axe des pôles dans le sens direct, retrouver la position du pôle céleste dans la queue du Dragon au temps de l'Égypte ancienne. La matérialisation du phénomène est un peu grossière mais visible par beaucoup, l'aventure est parfois périlleuse (il faut coller les gommettes!) mais une discussion peut s'engager facilement.

Des maquettes planes pour conclure

Une maquette similaire, mais simplifiée et rapidement réalisable peut être mise en place par le groupe classe, voire construite par chaque élève.



Fig.7. Le zodiaque en 4 parties.

(figures téléchargeables

<http://www.ac-nice.fr/clea/SommCC135.html>)

Il suffit de découper 4 bandes de bristol représentant chacune un quart du zodiaque, de les relier en cercle avec des trombones, et de placer au centre des billes de couleur.

Mais il est important pour chacun de construire d'autres maquettes afin d'étudier le phénomène avec d'autres points de vue. Le cadran du zodiaque est constitué de deux disques pouvant tourner l'un par rapport à l'autre, le premier portant le zodiaque et les signes astrologiques, le second portant la Terre en rotation autour du Soleil. Les mêmes études sur la position du Soleil, sur la visibilité des constellations et des planètes et sur l'astrologie peuvent être reconduites.

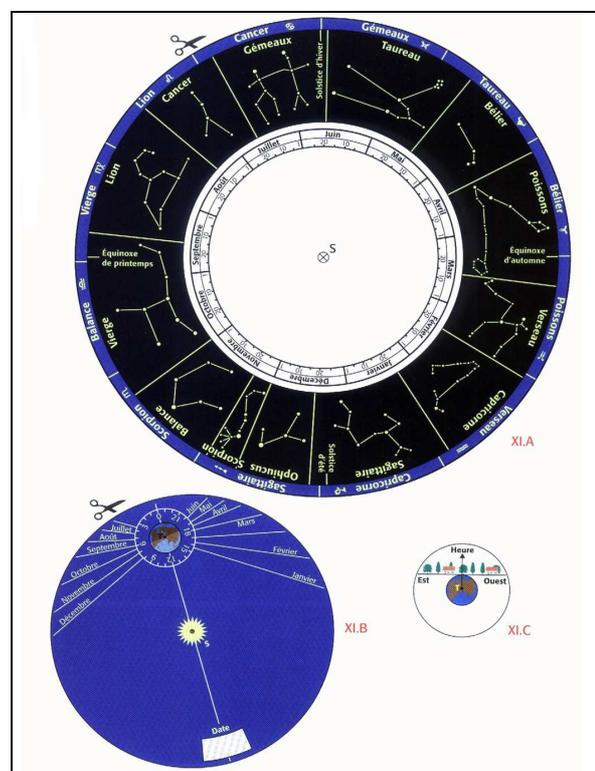


Fig.8. Cadran du zodiaque.

La carte du ciel permet de replacer le zodiaque parmi toutes les étoiles et de le relier aux coordonnées locales. On pourra retrouver les positions du Soleil en fonction de la date, de la Lune en fonction de son âge, des planètes en fonction de leurs coordonnées écliptiques. On pourra discuter de la hauteur du zodiaque suivant la saison, et donc de la hauteur de la pleine Lune par rapport à celle du Soleil.

Le planétarium est un outil très souple, avec une présentation très esthétique. Chaque constellation

peut y apparaître sous forme d'astérisme ou de dessin, des petits films permettent de répondre à de multiples questions, et chaque objet du ciel peut être visité avec un zoom vertigineux. Mais dans une séance d'une heure, les sujets abordés sont nombreux et rapidement évoqués. Le travail sur les maquettes fixe les notions et permet de mieux maîtriser une démarche didactique.

Et enfin, quelle meilleure synthèse qu'une réelle observation du ciel, la nuit venue !

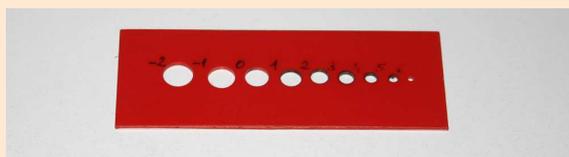
Les planches 2 et 6 sont extraites de l'ouvrage "Le ciel à portée de main" édité par Belin – Pour la science.

Il y a quelques années, j'ai fait construire à des élèves une maquette ressemblant un peu à celle de Jean-Luc Fouquet, dans le cadre d'un itinéraire de découverte en classe de 5^e. Les élèves travaillaient par deux et devaient dessiner une des constellations du zodiaque à partir des coordonnées des étoiles (plus précisément une région de l'écliptique comprise entre deux longitudes données, avec parfois des étoiles de plusieurs constellations).

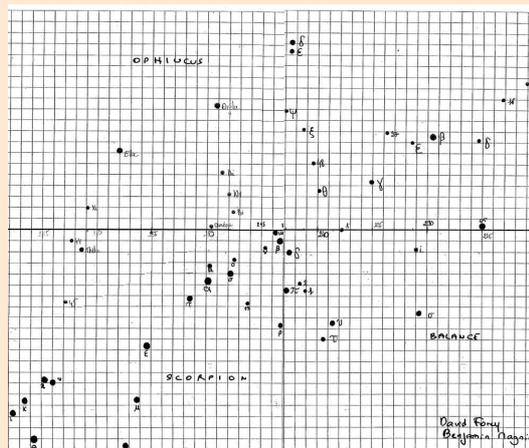
Il a fallu commencer par une courte initiation aux notions de coordonnées, de magnitude et à l'alphabet grec. J'ai utilisé des coordonnées écliptiques, ce qui passe assez bien, les termes de longitude et latitude étant normalement connus pour la Terre. Pour les magnitudes, j'ai simplement expliqué que l'échelle était inversée, les étoiles les moins brillantes ayant la magnitude la plus élevée.

Pour faciliter la réalisation, j'avais décidé de fixer leurs dessins sur un cylindre de 360 cm de circonférence. L'échelle était donc de 1° de longitude pour 1 cm. Nous avons pris aussi 1 cm pour 1° de latitude.

Chaque groupe avait une liste des étoiles de la constellation choisie avec, pour chaque étoile, sa magnitude ainsi que sa longitude et sa latitude écliptiques (en degrés décimaux) qui correspondaient pour eux à une abscisse et une ordonnée (en cm). Il suffisait donc de placer les étoiles une par une sur une feuille A3 quadrillée en cm. Pour la magnitude, j'avais fabriqué des gabarits en plastique, percés chacun de 9 trous de 10 à 2 mm de diamètre pour des magnitudes allant de -2 à 6.



Le gabarit des magnitudes.



Le Scorpion, Ophiucus et la Balance.

Une fois les constellations dessinées, nous les avons assemblées, d'abord provisoirement avec des pinces à linge pour vérifier que tout allait bien avant de les coller définitivement sur le cylindre. On peut ensuite réaliser les mêmes expériences qu'avec la maquette précédente.

Si jamais vous êtes intéressé pour réaliser une telle maquette, je peux fournir les listes d'étoiles avec leurs coordonnées écliptiques.



La maquette finale en cours de montage. On a placé à l'intérieur une lampe Soleil, la Terre et Mars.

Pierre Causeret

Zodiaque, signes ou constellations ?

Philippe Zarka, Henri Broch, André Brahic, Jean Ripert

Chaque fois que l'on parle constellations du zodiaque avec des élèves ou du public, on est confronté à des questions sur les signes et l'astrologie. Comment répondre dans ces cas-là ? Les pratiques des enseignants, animateurs de planétarium ou astronomes sont diverses. Nous avons demandé leur témoignage à plusieurs personnes travaillant dans le milieu de l'astronomie. Voici les réponses de quatre d'entre elles, dans l'ordre où nous les avons reçues ; elles sont courtes pour la plupart, nous leur avons demandé de se limiter à une demi-page (mais certains ont dépassé...).

Philippe Zarka

L'astrologie postule que les positions du Soleil, de la Lune et des planètes autres que la Terre par rapport à l'arrière-plan du ciel influencent événements terrestres, psychologie et destinée humaines.

Les positions de ces astres sont repérées en particulier dans le zodiaque tropique (défini par Hipparque) : 12 "signes" divisant en secteurs de 30° la bande de constellations sur laquelle les déplacements du Soleil et des planètes se projettent durant l'année, avec une origine arbitraire à l'équinoxe de printemps (point vernal).

Les astronomes opposent souvent à l'astrologie des arguments portant sur son utilisation du zodiaque, dont :

- la structure tridimensionnelle des constellations d'après lesquelles les signes sont nommés ; les figures formées par leurs étoiles en projection sur le plan du ciel ne sont que des illusions ;
- l'étendue très diverse des constellations zodiacales le long de l'écliptique, tandis que les signes ont tous une largeur de 30° ;
- l'existence de 13 constellations et non 12 intersectant la bande zodiacale ($\pm 8.5^\circ$ autour de l'écliptique) : les 12 connues + Ophiuchus ;
- la lente précession des équinoxes provoquant le décalage constant entre signes et constellations ; le point vernal, origine du signe du Bélier, correspondait au bord de la constellation du Bélier aux origines de l'astrologie, tandis qu'il est aujourd'hui dans la constellation des Poissons (et entrera bientôt dans celle du Verseau).

Les astrologues répondent que le zodiaque tropique n'est qu'un repère le long de l'écliptique (divisé en

12 secteurs de 30° de longitude). C'est dans ce repère, jadis utilisé par les astronomes eux-mêmes, que les saisons reviennent aux mêmes positions. En revanche, la mention par les astrologues de "l'Ère du Verseau" se réfère explicitement au déplacement du point vernal à travers les constellations : c'est une incohérence majeure avec la pratique astrologique qui ne donne aucune signification particulière au point vernal (sauf comme référence géométrique) ou au zodiaque des constellations. L'astrologie orientale (p.ex. indienne), qui se réfère au zodiaque des constellations, évite cette incohérence.

Il existe de bien meilleurs arguments pour contrer l'astrologie.

*Philippe Zarka est astronome à l'observatoire de Paris Meudon et auteur avec Daniel Kunth du *Que sais-je "L'astrologie"* (2005).*

Vous trouverez en particulier sur Internet un diaporama (www.grandpublic.obspm.fr/pdf/Livres/AstrologieZarka.pdf) et ses réflexions sur le sujet (www.lesia.obspm.fr/perso/philippe-zarka/GlobsPZpro/reflexions.html).

Henri Broch

Question après une conférence de démystification de l'astrologie : *"Et avec tout cela, pensez-vous que si l'on prend en compte l'état réel du ciel on puisse faire des prédictions enfin correctes ?"*

Bouche bée, figé, vous êtes alors saisi d'un profond vertige et vous battez votre coulpe une fois de plus en constatant que la substantifique moelle de votre exposé n'était peut-être pas assez claire. Des explications et de l'argumentation à revoir, encore et encore... Les temps sont durs pour les conférenciers scientifiques...

Mais à qui la faute ?

Quand, il y a une quinzaine d'années, les dirigeants de la BERD⁷ utilisent l'argent des citoyens pour se payer les services d'un astrologue (Robert Krausz) pour élaborer *un programme astrologique de prévisions boursières*, on pourrait comprendre peut-être pourquoi les choses vont maintenant si mal...

Quand, par deux fois dans un discours devant un parterre d'astronomes et astrophysiciens, un Président de la République Française (François Mitterrand) se trompe et utilise le vocable "*astrologie*" en lieu et place de... "*astronomie*", on peut se dire que, après tout, c'est ce président fasciné⁸ par psychokinèse, tables tournantes et autres poltergeist qui avait pour sibylle favorite la célèbre (dés)astrologue Elizabeth Teissier. Lors de ce discours, les scientifiques présents ont donc été obligés de jeter - mentalement - de l'eau bénite sur le Président de la République des Lumières. Vade retro...

Il ne serait donc pas juste de reprocher au seul grand public - non dirigeant de la BERD et non Président de la République - de faire de tristes confusions.

Moralité : **il faut commencer par "éduquer" sur l'état réel du ciel le milieu dit éduqué** car, contrairement à ce que l'on présuppose, un degré d'instruction élevé ne garantit en rien un faible niveau de croyance dans les pseudo-sciences⁹.

Et ce milieu dit éduqué qu'il faut ensemer est également celui des médias distillant à longueur de journée des croyances moyenâgeuses et portant la parole newâgeuse de dirigeants qui s'occupent manifestement plus de réflexologie plantaire que de popularisation de la science.

Et que faire devant l'affirmation "*Il est indéniable que l'astrologie fonctionne puisque mon horoscope m'a prédit des choses qui se sont effectivement produites*" ?

Dire : Oui, l'horoscope "fonctionne"... mais "validité" de l'horoscope n'est pas validité de l'astrologie.

Des personnes sont en effet convaincues de la validité de l'astrologie *parce que* l'horoscope "fonctionne"; elles pensent que cela atteste de la validité de la "Science des Signes". En fait, elles ne se rendent pas compte que le descriptif de l'horoscope n'a de sens que *par* elles et non *pour* elles.

Et comme il est difficile de faire intégrer ce type de réflexion et d'aller à l'encontre de "l'expérience

personnelle" et de la finalité sous-jacente à ce simple vocable "pour"¹⁰, il faut faire une expérience *concrète*.

Par exemple, avoir à votre disposition 3 horoscopes de la semaine passée (pour les "12 signes") :

- un horoscope "vrai" (i.e. fait par un astrologue professionnel vanté par les médias),
- le même horoscope mais avec le texte de chaque signe replacé au hasard sous un autre signe,
- et un fait par vous-même¹¹.

Vous faites ensuite choisir à quelques personnes de votre public l'horoscope qui, parmi les 3, correspond le mieux à ce qui leur est effectivement arrivé la semaine précédente.

La répartition que l'on obtient alors se passe de tout commentaire et il est inutile de faire appel à des statistiques... Et rien ne vous empêche de finir votre démonstration par : "*Votre horoscope me dit que vous allez vous abonner aux Cahiers Clairaut*".

Si nous sommes bien d'accord que les astres n'ont aucune influence sur les destins particuliers, nous savons aussi que l'horoscope, lui, par contre, peut avoir sur de nombreuses personnes un véritable... ascendant !

C'est pourquoi, même si la démystification de l'astrologie nous fait penser à la "lutte" contre un canard de bain qui frôle l'insubmersibilité, nous devons toujours tenter de faire quelque chose.

Henri Broch est professeur à l'Université de Nice-Sophia Antipolis et directeur du Laboratoire de Zététique. Il est l'auteur de plusieurs ouvrages dont "Au cœur de l'extraordinaire" (éditions book e book) et de nombreux articles dont une critique détaillée de la thèse d'Elizabeth Teissier :

http://webs.unice.fr/site/broch/articles/HB_These_Teissier.html

André Brahic

NOTRE SIGNE EST POSITIF !

Qu'est ce que l'astrologie, sinon le fait de croire que la position des astres sur la sphère céleste le jour de notre naissance a quelque influence sur notre vie, notre caractère et notre futur. Cette croyance était

¹⁰ L'horoscope "fonctionne" parce que nous sommes une civilisation de *nombrilophiles*. La science ne peut faire que des prévisions globales ou collectives alors que de très nombreuses personnes ne s'intéressent en fait qu'à leur destin personnel. Entre les scientifiques lointains qui leur parlent de généralités et l'astrologue proche qui leur parle exclusivement d'eux-mêmes, le choix sera vite fait...

¹¹ Attention : pas *écrit* par vous-même mais fait à partir de phrases creuses typiques (effet Puits) tirées aléatoirement de manière à ce que l'on ne puisse pas, si cet horoscope est choisi, dire que vous êtes... en fait un astrologue ou un voyant génial qui s'ignore !

⁷ Banque Européenne pour la Reconstruction et le Développement.

⁸ cf. "*Au Cœur de l'Extra-Ordinaire*", éd. Book-e-Book 2010, p. 333-335.

⁹ Les enquêtes sociologiques menées montrent même le contraire, malheureusement !

compréhensible dans les temps reculés où les hommes avaient imaginé un ciel rempli d'êtres surnaturels, mais elle est totalement ridicule de nos jours à une époque où une information scientifique sérieuse est aisément accessible. Pourtant nous connaissons tous des personnes qui évoquent leur "signe" ou avouent lire leur horoscope. Il est hors de question de se moquer d'eux et de les traiter d'imbéciles. Toute forme d'agressivité est en général contre productive. J'en ai fait l'expérience il y a une quarantaine d'années. Invité à participer à plusieurs émissions de radio et de télévision, j'utilisais des termes très violents à l'encontre d'astrologues. Je rappelais qu'une loi promulguée sous Charles X punissait cette activité de 8 jours d'emprisonnement et d'un mois en cas de récidive. Cela réjouissait mes collègues de l'Observatoire de Paris et les présentateurs de ces émissions fort polémiques, mais n'avait aucun pouvoir de conviction sur le grand public. Face à une astrologue que j'avais appelé Élisabeth Fessier et qui me demandait mon signe, j'avais précisé que mon signe était positif et j'avais rajouté que je pouvais lui dire dans quelle constellation se trouvait le Soleil le jour de ma naissance : il s'agit d'Ophiucus qui n'est pas dans le zodiaque. C'est un signe !

Alors comment répondre poliment à quelqu'un qui prend au sérieux ces anciennes superstitions ? Mon expérience est qu'il est très difficile de mettre en pièces toute croyance. Au mieux, cela permet au "croyant" d'évoluer, mais le rend souvent très malheureux. Au pire, il est renforcé dans ses convictions et il devient très agressif. Je me souviens de ma réaction violente, puis de mon abattement quand des camarades de l'école maternelle m'ont appris que le Père Noël n'existait pas. Il me semble que faire preuve d'humour et poser quelques questions embarrassantes sur le plan de la logique est l'attitude la plus efficace.

On pourrait dire : " Après tout, cela ne fait de mal à personne et laissons les croire à ces fadaïses ". Mais aucun enseignant ne peut faire preuve d'une telle indifférence. De plus, de nos jours, des décisions importantes de nature médicale, professionnelle ou personnelle sont prises à la suite d'avis reçus de la part d'astrologues ou de publications astrologiques. On a découvert qu'à la fin du 20^e siècle, l'entourage de certains dictateurs ou des cabinets de recrutement avaient fait appel à des astrologues. Plus généralement, alors que la lutte pour le développement de la culture scientifique est encore bien embryonnaire, l'astrologie concourt à l'obscurantisme et à l'entreprise de décervelage de ceux qui exploitent la crédulité de leurs semblables. Il faut bien distinguer le simple citoyen naïf qui accorde un

certain crédit à l'astrologie des escrocs qui en font commerce. Les seconds doivent évidemment être combattus. Je vous propose ci-dessous quelques questions à poser aux premiers et je vous laisse le soin de développer les réponses selon vos goûts et votre pédagogie.

Quelques questions :

- *Si les astrologues sont aussi bons qu'ils le prétendent, pourquoi ne sont-ils pas beaucoup plus riches ?* Certains disent qu'ils ne prédisent pas des faits précis, mais des tendances. Mais si leur approche marchait, ils devraient faire fortune à la Bourse en ayant simplement une approche statistique.

- *Pourquoi choisir le moment de la naissance et non celui de la conception ?* La naissance n'est plus considérée de nos jours comme un moment magique de création de la Vie, mais nous savons maintenant que la personnalité d'un enfant commence à être forgée bien avant sa naissance.

- *Si les ventres des mamans protègent des influences célestes, qu'en est-il de quelques dizaines d'escalopes ?* Le ventre maternel étant un fin bouclier de muscles, de chair et de peau, est-il possible d'entourer un bébé à sa naissance d'escalopes ou de steaks si l'horoscope n'est pas favorable et de le libérer quand les signes sont plus favorables ?

- *Les horoscopes antérieurs à la découverte des planètes externes du système solaire sont-ils incorrects ?* Les astrologues prétendent que leurs prédictions sont excellentes depuis des siècles, mais pourquoi ne tiennent-ils pas compte de tous les corps découverts récemment dans le système solaire ?

- *L'astrologie est-elle raciste ?* Il est à juste titre interdit de juger ou de donner un poste à quelqu'un en fonction de son sexe, de sa couleur de peau ou de son origine. Est-il acceptable d'évaluer quelqu'un sur un hasard de sa naissance, à savoir la position des astres ce jour-là ?

- *Pourquoi y a-t-il dans le monde de l'astrologie tellement de chapelles en complet désaccord les unes envers les autres ?* Si l'astrologie était une science, ceux qui la pratiquent convergeraient vers un consensus après discussions comme cela se passe dans le monde scientifique. Les systèmes fondés sur des superstitions ou des croyances personnelles ont tendance à diverger quand ils sont pratiqués par des personnes éloignées les unes des autres et en recherche de profit ou de célébrité.

- *Est-il vraisemblable que plus de 500 millions de personnes aient chaque jour exactement le même devenir ?* Chaque jour, dans des milliers de journaux sur Terre (hélas !), l'horoscope est divisé en 12 paragraphes. Une simple division montre que plus

d'un demi-milliard d'êtres humains auraient exactement le même sort.

- *Si les influences astrologiques se propagent par l'intermédiaire d'une des forces connues, pourquoi privilégier les planètes ?* Qu'il s'agisse de la gravité, des forces de marées, des forces électromagnétiques, des interactions fortes et faibles, etc., toutes les forces connues dépendent de la distance. Par exemple, la sage femme qui met au monde le bébé exerce une force gravitationnelle 5 à 6 fois supérieure à celle de Mars et une force de marée des milliers de milliards de fois supérieure à celle de Vénus ou de la Lune.

- *Si les influences astrologiques se propagent par l'intermédiaire d'une force inconnue, est-elle indépendante de la distance ?* L'importance de Mars dans l'horoscope est la même que la planète soit du même côté du Soleil que la Terre ou bien de l'autre côté, c'est-à-dire jusqu'à sept fois plus loin. Cela serait une fantastique révolution de trouver une force indépendante de la distance.

- *Si les influences astrologiques se propagent par l'intermédiaire d'une force inconnue indépendante de la distance, pourquoi ne pas tenir compte des étoiles et des galaxies ?* Pourquoi se limiter au système solaire alors que des milliards de milliards d'astres ont été découverts depuis l'antique Babylone ?

Finalemment cela ne marche pas : la Nature n'est pas surnaturelle ! Après tout, il n'est pas nécessaire de savoir comment quelque chose marche si cela marche vraiment ! Il suffit pour cela de faire quelques tests et quelques études statistiques. Depuis une cinquantaine d'années, cela a été fait pour des échantillons de milliers de couples mariés et de couples divorcés, d'hommes politiques, de sportifs et de scientifiques. Aucune tendance ne se dégage quant à la répartition des dates de naissance. L'analyse de plusieurs milliers de prédictions d'astrologues montre qu'en général une sur dix se révèle correcte. On obtient d'aussi bons résultats par tirage au sort. En mélangeant les signes d'un horoscope ou en remplaçant les phrases par leur contraire et en comparant la "satisfaction" de lecteurs qui ont eu les phrases correctes à celle des lecteurs qui ont le texte modifié, on ne trouve aucune différence entre les deux groupes.

Il me semble qu'il est du devoir des enseignants d'apprendre aux jeunes générations la nature de la démarche scientifique qui repose sur les deux piliers de la théorie (ou l'interprétation) et de l'observation (ou l'expérience). Il est essentiel de lutter contre l'obscurantisme quelle qu'en soit la nature (numérologie, soucoupes volantes, astrologie, "intelligent

design", refus de l'évolution, etc.). Au-delà du programme officiel, communiquer enthousiasme et passion pour les découvertes scientifiques tout en mettant en garde contre les "faussaires" me paraît une priorité pour chaque enseignant. À chacun de le faire avec sa pédagogie et sa personnalité !

André Brahic (Université Paris Diderot et C.E.A. Saclay³⁰), intarissable vulgarisateur de la science, est spécialiste des anneaux des planètes et auteur de nombreux ouvrages. Son dernier "De feu et de glace" s'intéresse aux planètes géantes et à leur environnement.

Jean Ripert

J'ai lu les articles précédents, cela m'évite de répéter les différents points de vue mentionnés et que je partage.

Oui, il faut en parler, oui il faut éduquer, oui il faut combattre, mais

Tout au long de ma vie d'enseignant et chaque fois que je l'ai pu j'ai parlé d'astrologie avec mes élèves, monté des horoscopes pour les démonter et tenté de graver l'esprit critique dans leurs jeunes têtes.

Lors de soirée d'observation le sujet est peu abordé par le public (parfois, je l'aborde moi-même), mais lors de séance de planétarium on n'y coupe pas. Dès qu'est citée une constellation du zodiaque, on entend "je suis balance" "et moi taureau" surtout avec les jeunes et ce dès l'école primaire (André Brahic n'a jamais dû assister à une de mes séances car je n'ai jamais entendu dire "je suis d'Ophiucus"). Les adultes osent moins et avancent parfois "tiens c'est comme dans l'horoscope". Dans les deux cas je dis nous en parlerons tout à l'heure et en fin de séance j'ai un couplet sur l'astrologie. Je ne les braque pas d'entrée, surtout les adultes, mais je leur fais remarquer la présence dans le zodiaque de la constellation d'Ophiucus qui n'a pas son signe ; que si leur horoscope leur annonce une belle journée d'amour parce que Vénus est dans le Bélier, ils peuvent vérifier le soir venu que la planète n'est justement pas dans la constellation du Bélier ; que des tests ont été faits avec des horoscopes fictifs et des personnes y ont reconnus des événements ; que ... (voir les arguments des articles précédents) et de conclure que l'astrologie n'est pas une science.

Je reviens sur mon "mais" précédent.

En fait nous ne parlons pas du tout de la même chose : dans un cas on parle de science dans l'autre de croyance. Une collègue enseignante qui croyait ferme en l'astrologie n'était pas du tout gênée par la précession des équinoxes ou la constellation

d'Ophiucus, elle m'expliquait que l'astrologie était basée sur un système spatio-temporel fixé il y a plusieurs millénaires et qui n'avait rien à voir avec les constellations. Nos arguments scientifiques n'ont aucune prise sur une croyance.

Que voulez-vous que je réponde à une voisine (elle ne lira pas l'article, son horoscope ne lui a pas dit de s'abonner aux Cahiers Clairaut !) qui me disait que pour se ressourcer, elle appuyait son dos contre le tronc d'un arbre et qu'elle en absorbait les forces positives (on est loin des quatre forces d'André Brahic) ?

Comme moi, vous devez avoir dans votre entourage des personnes qui ont fait des études scientifiques et qui lisent leur horoscopes sans y croire disent-elles ou qui vous parlent d'énergie positive pour entrer en

communication cosmique, ou ... la liste est trop longue (et ne mérite pas d'intérêt).

Malheureusement, je crois que les horoscopes et les astrologues (pour ne parler que d'eux) ont de beaux jours devant eux en cette période où beaucoup sont prêts à croire en n'importe quoi et où la science n'a pas bonne presse dans la société.

Pour autant, jeunes collègues ne désespérez pas, vous êtes les seuls ou presque à pouvoir en parler aux élèves et surtout leur inculquer l'esprit critique.

Jean Ripert, trésorier du CLEA et membre du comité de rédaction, a une longue expérience de la diffusion de l'astronomie auprès des jeunes dans le cadre de son (ancien) métier d'enseignant, du CLEA ou du CCSTI du Lot.



Mots croisés du zodiaque

Cette grille contient les 13 constellations du zodiaque (soit en français, soit en latin, soit en abrégé).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1											
2						■					
3								■			
4		■			■				■		
5				■							■
6		■				■		■			
7							■			■	
8			■		■				■		
9						■					■
10					■				■		

Horizontalement

1. Constellation du zodiaque.
2. Constellation du zodiaque. Constellation qui n'est pas du zodiaque.
3. Constellation du zodiaque. Vie perturbée.
4. Aux deux extrémités de l'écliptique. Constellation du zodiaque. Fin de journée.
5. Constellation du zodiaque. Constellation du zodiaque.
6. Comme Céphée. Constellation du zodiaque.
7. Un des premiers à dessiner les constellations du zodiaque au X^e siècle. Exclamation.
8. Jacques dans la famille Cassini. Constellation du zodiaque. Lycée pro.
9. Son comte observa les nébuleuses spirales. Cœur de souris.
10. Greffe. Constellation du zodiaque. Tête de Bélier.

Verticalement

1. Constellation du zodiaque.
2. Longue période. Constellation du zodiaque.
3. Mauvais poètes. Comme Cyrille.
4. Celle d'Orion abrite M42, mais dans un grand désordre. Constellation qui n'est pas du zodiaque (ni l'une ni l'autre).
5. Agence de lointains voyages. Il n'est pas prévu pour nettoyer son miroir de télescope.
6. Autour de 350 nm. En Côte d'Or.
7. Poison. Il aurait pu faire partie du zodiaque gaulois.
8. Permet de voyager dans les deux sens. Au fond du parc. On pourrait s'y croire sur Vénus.
9. César-François dans la famille Cassini. Une des plus lumineuses dans le zodiaque.
10. Il y en a plusieurs sur une planète actuellement dans la constellation du Cancer. Constellation du zodiaque.
11. Vient de Vénus. Constellation du zodiaque.

Solutions p. 40

Les principaux événements astronomiques de l'année 2011-2012

Pierre Causeret

Vous cherchez quelle activité astro mener avec vos élèves ? Voici les événements les plus importants de l'année scolaire pour vous aider à faire votre choix.

Passage de Vénus devant le Soleil le 6 juin 2012 au lever du Soleil

Vous avez peut-être observé le passage du 8 juin 2004. Vénus remet ça le 6 juin 2012 mais dans des conditions d'observation moins favorables pour nous. Horaires à quelques minutes près (les horaires précis dépendent du lieu d'observation)

Premier contact : le 5 juin à 22 h 10 min TU (invisible en France métropolitaine).

Maximum : le 6 juin à 1 h 30 min TU (invisible en France métropolitaine).

Dernier contact : 4 h 50 min TU (visible en France métropolitaine).

Ce passage est entièrement visible depuis l'est de l'Asie et de l'Australie.

Aux Antilles et au Québec, le début sera visible au coucher du Soleil.

Dans l'Océan Indien, on pourra observer une bonne partie de la fin du passage au lever du Soleil.

En France métropolitaine, les régions de l'Est et du Nord-Est seront les plus favorisées puisqu'elles auront plus d'une heure d'observation du passage contre quelques minutes pour le sud-ouest.

Le 8 juin 2004, nous avons calculé la distance du Soleil à partir d'observations réalisées à l'île de la Réunion et en métropole. Le 6 juin prochain, nous pouvons renouveler l'opération à condition de trouver des partenaires éloignés. Contactez le CLEA si vous êtes intéressé !

Passage suivant de Vénus devant le Soleil le 11 décembre 2117.

Éclipses

25 novembre 2011 : Éclipse partielle de Soleil visible depuis l'Antarctique et l'Afrique du Sud.

10 décembre 2011 : Éclipse totale de Lune. Seule la fin de l'éclipse (sortie de l'ombre) sera visible le soir au lever de la Lune en France métropolitaine. De belles photos seront à faire. Là encore, les habitants du Nord et de l'Est seront favorisés. L'éclipse sera visible en totalité depuis l'Asie et l'Australie.

Fin de la totalité à 14 h 57 TU et fin de l'éclipse à 16 h 18 TU.

20 mai 2012 : Éclipse annulaire de Soleil visible en Chine, au Japon, dans le Pacifique et aux États-Unis.

4 juin 2012 : Éclipse partielle de Lune visible depuis le Pacifique.

Prochaine éclipse de Soleil visible en France le 20 mars 2015 (plus de 80% du disque solaire éclipsé à Paris).

Visibilité des planètes

Mercury pourra être observée le matin fin décembre début janvier (élongation maximale le 23/12) ou le soir fin février début mars 2012 (élongation maximale le 5 mars).

Vénus est à observer le soir pendant l'hiver et le printemps. Élongation maximale le 27 mars (visible en quartier dans un instrument), éclat maximal fin avril (visible en croissant).

Mars passe à l'opposition le 3 mars, à 101 millions de km. La fin de l'hiver sera donc la meilleure période pour l'observer dans le Lion (rétrogradation du 24 janvier au 14 avril).

Jupiter est à observer pendant l'automne et l'hiver. Opposition le 29 octobre dans le Bélier.

Saturne passe à l'opposition le 15 avril dans la Vierge. À observer pendant tout le printemps et l'été.

Uranus est dans les Poissons, Neptune dans le Verseau (à la limite du Capricorne). À l'opposition le 26 septembre 2011 pour la première et le 22 août 2011 pour la seconde, elles sont observables dans de bonnes conditions pendant tout l'automne.

Comètes

À signaler la comète Elenin qui sera observable en octobre. Elle pourrait être visible à l'œil nu.

Étoiles filantes

8 octobre : Les Draconides pourraient être particulièrement actives cette année, la comète Giacobini Zinner qui en est à l'origine passant au périhélie en février 2012. On espère plusieurs centaines de météores à l'heure dans la nuit du 8 au 9 octobre (un maximum est annoncé autour de 20 h TU). Malheureusement, la Lune sera gibbeuse.

16-17 novembre : Les Léonides pourraient elles aussi avoir un sursaut d'activité dans la nuit du 16 au 17 novembre, le maximum habituel étant prévu la nuit suivante.

Conjonctions

Quelques jolies conjonctions planétaires sont prévues cette année. En voici quelques-unes :

28 octobre 2011 (soir) : Lune (de 2 jours), Mercure, Vénus.

13 janvier 2012 (soir) : Vénus Neptune (1°).

9 février 2012 (soir) : Vénus Uranus (0,5°).

26 mars 2012 (soir) : Lune Vénus (2,5°).

22 avril 2012 (soir) : Lune Jupiter (2°).

17 juin 2012 (matin) : Lune Jupiter (2°)

15 juillet 2012 (matin) : Occultation de Jupiter par la Lune visible en France. ■

La lunette de Galilée : Essai d'analyse historique de ses performances

Alain Brémond, Société Astronomique de Lyon. Observatoire de Lyon.

L'introduction par Galilée de la lunette astronomique pour observer le ciel constitue une étape majeure pour la connaissance du cosmos et pour la démarche scientifique. L'article décrit les méthodes utilisées par le florentin et reconstitue, à l'aide d'un logiciel, ce que Galilée pouvait réellement voir.

Galilée ne divulgue que peu d'informations sur les lunettes qu'il a successivement utilisées pour ses observations astronomiques. Le *Sidereus Nuncius* (1) nous apprend qu'après avoir fabriqué une lunette qui "rapproche trois fois et grossit neuf fois", il obtient un instrument qui grossit "de plus de soixante fois". Peu après il réalise, dit-il, une lunette qui grossit "de plus de mille fois" et rapproche de trente fois les objets. Précisons qu'il s'agit de grossissements exprimés en rapport de surface et qu'il décrit une méthode simple pour mesurer ce grossissement. Le montage est constitué d'une lentille objectif plan convexe et d'un oculaire plan concave.

Une lettre (3) à Antoine de Médicis du 7 janvier 1610 et une autre au Père Clavius de décembre 1610 nous apprennent que Galilée ajoute des diaphragmes en carton pour corriger empiriquement le chromatisme des lentilles, propriété qu'il tient des dessinateurs qui utilisent la *camera oscura*.

C'est dans l'étude des étoiles, décrite dans le même *Sidereus Nuncius*, que Galilée aborde la question des magnitudes limites, repoussées par sa lunette.

Galilée nous dit implicitement qu'il voit jusqu'à la magnitude 5, car il déclare ne voir à l'œil nu que six des étoiles des Pléiades. En effet, six ont une magnitude inférieure à 4,5 alors que la septième, Pleione, a une magnitude visuelle qui varie de 4,76 à 5,5. Il annonce ensuite que sa lunette rajoute six autres catégories de grandeur et donc qu'elle permettrait d'observer des étoiles de magnitude 11. Est-ce vrai ?

Pour le vérifier nous ne disposons pas de la lunette que Galilée a utilisé pour ces observations d'étoiles mais en revanche, les descriptions précises et les

dessins permettent une approche de la magnitude limite permise par la lunette employée pour l'étude des étoiles.

Moyens d'étude

Étude des dessins des groupements d'étoiles

Pour les Pléiades, Galilée propose un dessin dans lequel il place les étoiles visibles à l'œil nu, auxquelles il rajoute celles que permet de voir la lunette. Elles sont, dit-il, au nombre de quarante, mais il n'en dessine que trente-six (y compris les six visibles à l'œil nu). Galilée précise que ce nombre est calculé dans un périmètre allant jusqu'à un demi degré au-delà des étoiles visibles à l'œil nu (figure 1).

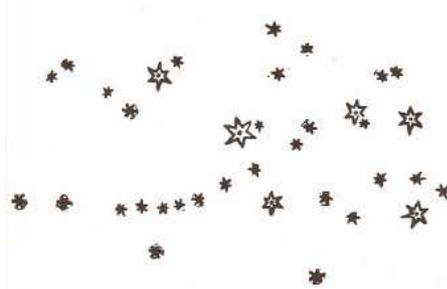


Fig.1. Les pléiades vues à la lunette de Galilée.

À l'aide d'un logiciel qui dessine la carte des Pléiades en fonction de la magnitude limite, il est possible de la déterminer en la faisant varier, jusqu'à ce que le nombre d'étoiles affiché soit d'environ quarante, dans la limite de la surface décrite par Galilée. Cette configuration est obtenue lorsque la magnitude limite atteint neuf. Nous

n'avons pas compté les étoiles trop proches les unes des autres, sachant que le pouvoir séparateur de la lunette de Galilée n'était pas excellent. On obtient, avec cette magnitude limite, une carte très proche du dessin de Galilée (figure 2).



Fig.2. La carte de l'amas des Pléiades à la magnitude limite de neuf.

La nébuleuse Praesepe (la Crèche) ne comporte que des étoiles de magnitude supérieure à six. Galilée la décrit comme un objet nébuleux, mais sa lunette lui montre qu'il est composé de "quarante petites étoiles". Avec la même méthode que précédemment, on arrive à la magnitude limite de 9,7.

Ainsi, cette méthode montre que la lunette de Galilée pousse la magnitude limite de cinq à neuf et demi, loin des affirmations de Galilée déclarant que sa lunette rajoute six catégories de grandeur, ce qui conduirait à la magnitude limite de onze.

Calculs de la magnitude limite en fonction du diamètre de la lunette

La magnitude limite dépend de la surface collectrice. Une formule¹² permet de calculer la magnitude limite d'un instrument comparée à celle de l'œil :

$$m_{\text{lim inst}} = m_{\text{lim œil}} - 5 \log \varnothing \text{ pupille} + 5 \log \varnothing \text{ instrument}$$

Le diamètre pupillaire nocturne est d'environ 8 mm, et la magnitude limite oculaire de Galilée de cinq. Il faut aussi tenir compte d'une transmission incomplète de la lumière due à la qualité des lentilles ; nous la fixerons à 60%. A l'aide d'un tableur, il est alors possible de comparer le diamètre utile de la lunette (diaphragmée) et la magnitude limite obtenue (tableau 1).

Sachant que la lentille conservée au musée de Florence (et qui est brisée) mesure 58 mm de

diamètre, avant montage, et que, en outre, elle était diaphragmée, on peut estimer le diamètre utile entre 40 et 55 cm. Avec ces valeurs la magnitude limite se situe entre 9 et 9,6, compatible avec les observations décrites par Galilée.

Dans le tableau ci-dessous, D = diamètre utile (diaphragme) et M = magnitude limite corrigée de la transmission.

D (mm)	M	D (mm)	M
41	9	49	9,4
42	9,1	50	9,4
43	9,1	51	9,5
44	9,2	52	9,5
45	9,2	53	9,6
46	9,2	54	9,6
47	9,3	55	9,6
48	9,3		

Magnitude limite théorique en fonction du diamètre d'un instrument. Sachant que le diamètre ne dépassait probablement pas cinq cm et que le diaphragme était un à deux centimètres, la magnitude limite atteinte devait se situer autour de la valeur de neuf.

Ainsi les deux méthodes que nous venons de décrire, apportent des informations concordantes : la lunette de Galilée apportait environ quatre degrés supplémentaires de magnitude à sa vision oculaire et non les six annoncés dans le *Sidereus Nuncius*.

Discussion

Sa lunette n'a pas tout à fait les qualités que lui prête Galilée mais elle était excellente, comme le montrent les travaux réalisés sur les lentilles disponibles au musée de Florence (2). Il est difficile de spéculer sur les raisons de la différence des magnitudes limites annoncées et probables. Plusieurs éléments concourent à cette discordance. D'abord, il est vrai que Galilée a souvent tendance à exagérer son propos (1), comme par exemple sur les dessins des cratères de la Lune, et ici les qualités de son instrument. Mais il faut aussi tenir compte de la méconnaissance de l'optique du temps de Galilée, ainsi que celle de la relation logarithmique entre l'éclat et la magnitude. Néanmoins, Galilée précise la notion de magnitude limite qu'il ne confond pas avec la notion de grossissement. Il s'interroge même sur les différences de grossissement qu'il observe entre les étoiles d'une part et les objets terrestres ou la Lune d'autre part, en évoquant le problème du scintillement.

¹² Détail des calculs en annexe.

Références

- 1- Galilée (1609-2009). Observations astronomiques. Alain Brémond Dir. SEPEC, Peronnas, 2008.
- 2- Galileo's telescope. The instrument that changed the world. Giorgio Strano Ed. Florence, Giunti, 2008.
- 3 - *Opere di Galileo Galilei. Edizione Nazionale.* Antonio Favaro (dir.) Firenze. Tipografia di G. Barbara. 1892.

Annexe

(Tiré de : *Astronomie – Astrophysique. Formation de base.* CNED. Tome 3. pp 463-465.

L'énergie reçue par l'œil dépend de l'éclat **E** de l'objet et du diamètre **d** de la pupille :

$$E \pi (d/2)^2 \quad (1)$$

À travers un télescope, la même énergie correspondra à une étoile dont l'éclat **E_t** sera plus faible.

Mais comme la surface collectrice **D** est plus grande on a l'égalité :

$$E_t \pi (D/2)^2 = E \pi (d/2)^2, \text{ d'où } E_t = (d/D)^2 E \quad (2)$$

La formule de Pogson fait correspondre éclats et magnitudes :

$$m_t - m = -2,5 \log (E_t/E) \quad (3) ;$$

avec m_t la magnitude limite instrumentale

$$m_t - m = -2,5 \log (d/D)^2$$

$$m_t - m = -5 \log (d/D)$$

Correction liée à une transmission incomplète de la lumière :

L'énergie transmise correspond à 60% de l'éclat soit :

$$60 / 100 [E_t \pi (D/2)^2]$$

Correction qu'il faut appliquer à la formule (2) et aux suivantes qui en dépendent.

ERRATA

Je dois présenter à Danielle Briot, toutes mes excuses de mettre en pages. Comme souvent nous travaillons dans l'urgence et malgré des relectures, des coquilles passent inaperçues. Et toujours dans l'urgence, nous ne lui avons pas transmis la dernière version, ce qui est regrettable.

À la page 31 du CC 133, vous avez pu remarquer une phrase ayant peu de sens : "*La Terre tourne sur elle-même en 24 heures (durée du jour) sont mesurées par rapport à la ligne Terre-Soleil et autour du Soleil en 365,242 jours. (année tropique ou année des saisons).*"

Dans son texte initial, Danielle Briot avait noté : "*La Terre tourne sur elle-même en 24 heures et autour du Soleil en 365,242 jours.*"

Nous avons voulu préciser le repère en notant : "*La Terre tourne sur elle-même en 24 heures (durée du jour) et autour du Soleil en 365,242 jours (année tropique ou année des saisons).*" Et en note mettre "*ces grandeurs sont mesurées par rapport à la ligne Terre-Soleil.*"

Des glissements lors de la mise en pages ont rendu le texte incompréhensible.

Le texte numérisé, en ligne sur IFÉ (ancien INRP) a été corrigé.

Jean Ripert

Dans le précédent numéro (CC 134), nous avons laissé passer une erreur à la page 39 dans la partie "événements de l'été".

Vous avez pu lire : *04/07 : le Soleil à l'aphélie (au plus près de la Terre) à 152 102 200 km*

Une seule lectrice nous l'a signalé (merci à elle), mais évidemment vous aviez tous corrigé. Le Soleil aurait du mal pour se placer à son propre aphélie.

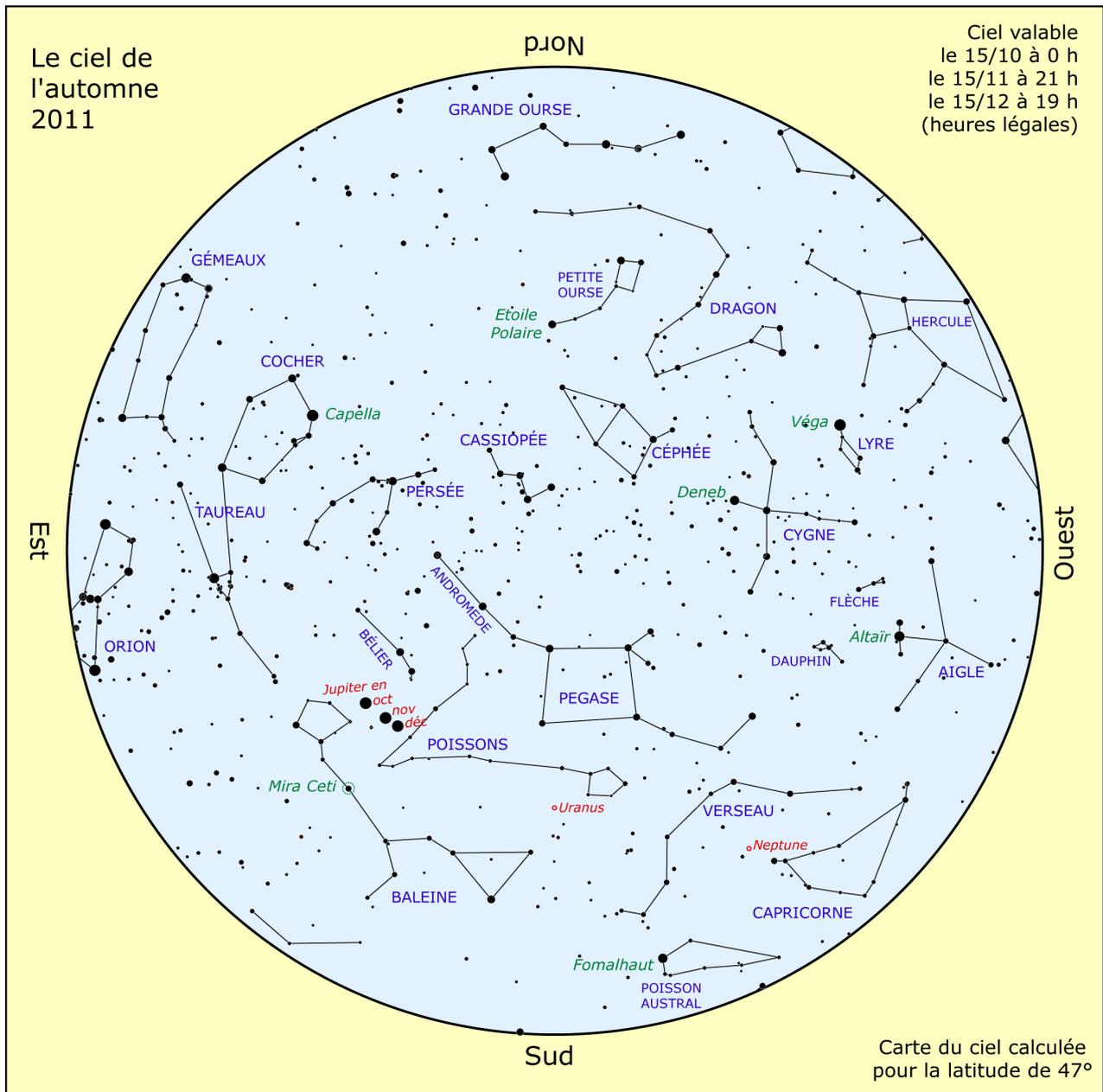
Il fallait donc lire : "*le Soleil à l'apogée (au plus loin de la Terre)*" ou bien "*la Terre à l'aphélie (au plus loin du Soleil) à 152 102 200 km.*"

Voilà ce qui se passe quand on veut rester dans un système géocentrique !

La rédaction

L'astrologie dans les Cahiers Clairaut : n° 2 p. 13 "Une expérience d'astrologie" J. Chappelet ; n° 62 p.37 "Cinq réponses à un amateur d'astrologie" J.-C. Pecker ; n° 63 p. 38 "Astrologie et recrutement" ; n° 65 p.14 "Les petits mensonges du thème astral" P. Lerich ; n° 68 hiver 94-95 p. 22 "Querelle de chiffres" P. Lerich ; n° 75 p. 2 "Astrologie et astronomie" Bernard Carmelin ; n° 100 p. 33 Ptolémée astronome" Pierre Lerich.

Le ciel de l'automne 2011



Visibilité des planètes

Mercure pourra être recherchée le soir les derniers jours d'octobre et jusqu'à la mi novembre juste après le coucher du Soleil mais très basse sur l'horizon sud-ouest. On la retrouve le matin à partir du 10 décembre.

Vénus est bien visible le soir à partir de la mi novembre.

Mars est encore une planète du matin, dans le Cancer puis le Lion.

Jupiter est la planète de l'automne, visible toute la nuit, très lumineuse dans la constellation du Bélier avec une petite incursion dans les Poissons en décembre.

Saturne passe derrière le Soleil en octobre. On la retrouve le matin dès novembre, dans la Vierge.

Quelques événements (heures légales)

23/09 : équinoxe d'automne à 11 h 04.

29/09 : grandes marées de coefficient 115 (nouvelle Lune le 27 et périgée le 28).

8/10 : maximum des Draconides (étoiles filantes).

16/10 : la comète Elenin au plus près de la Terre.

16-18/11 : maximum des Léonides (étoiles filantes)

22/12 : solstice d'hiver à 6 h 30.

(voir aussi la page 32 pour les événements de l'année)

Lune

Nouvelle Lune : 27/09, 26/10, 25/11.

Pleine Lune : 12/10, 10/11, 10/12.

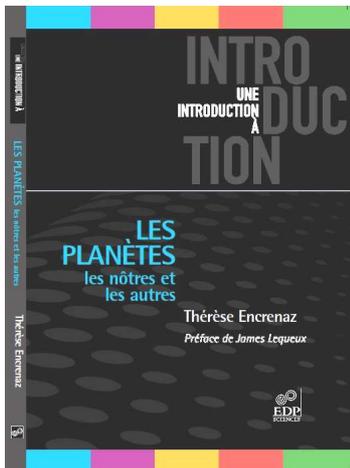
LECTURE POUR LA MARQUISE

Christian Larcher, Jean-Michel Vienney

Les planètes : les nôtres et les autres

L'un des quatre livres publiés par les Editions EDP Sciences dans la collection « Introduction à... » concerne l'astronomie. Il est écrit par Thérèse Encrenaz, Directrice de Recherche au CNRS au Laboratoire d'Étude Spatiales et Instrumentales en Astrophysique (LESIA).

L'objectif de cette collection est de mettre à la disposition du plus grand nombre des ouvrages scientifiques écrits dans un langage clair et concis. Il est indéniable que ce livre répond à la demande. Nous ferons ressortir ici les points qui nous ont semblé les plus intéressants.



Le livre est divisé en sept chapitres : comment explorer les planètes, comment se forment les étoiles, la découverte de la Terre, les planètes voisines de la Terre, les planètes géantes, les nouvelles planètes, la recherche de mondes habitables. Dès le début de l'ouvrage, la toute nouvelle définition

des planètes, décidée par l'Union Astronomique Internationale (UAI) en 2006, est indiquée.

1. Comment explorer les planètes ?

Les études proposées s'effectuent à partir de la Terre ou dans l'espace à l'aide du télescope spatial ou de sondes. Les exemples choisis concernent les planètes du système solaire et se terminent avec les exoplanètes.

Le principe de la détermination des exoplanètes par la méthode de la "vélocimétrie", est indiqué.

On rappelle que la présence d'une exoplanète à proximité d'une "étoile hôte" se manifeste par de très légères perturbations que l'on peut mesurer depuis la Terre. Par effet Doppler, on arrive à étudier les petites variations de vitesses de l'étoile selon la ligne de visée de l'observateur. Les spectromètres les plus récents permettent de mesurer depuis la Terre des vitesses de l'ordre du mètre par seconde. Bel exploit pour des étoiles situées à des années de lumière de la Terre.

2. Comment se forment les étoiles ?

L'auteur ne se contente pas de parler d'accrétion par interaction gravitationnelle mais précise les différentes étapes. La première concerne la formation de petits agglomérats formés de particules en interaction électrostatique ; les particules qui se percutent avec une faible vitesse relative se collent pour former des grains de matière de l'ordre de quelques centimètres. Les scientifiques supposent que cette coagulation s'effectue selon une structure fractale en quelques milliers d'années, ce qui est faible en regard des autres valeurs astronomiques. On obtient actuellement de bonnes simulations numériques. Ces embryons centimétriques formeront ensuite des "planétésimaux" de taille kilométrique dont on connaît moins bien le mécanisme de formation.

3. La découverte de la planète Terre

Ce chapitre est évidemment bien documenté. L'auteur nous explique comment on peut déterminer la hauteur maximale du relief sur une planète tellurique. Cette hauteur dépend du champ de gravité de la planète et de la densité relative des croûtes et du manteau. Cette hauteur est définie selon le principe d'isostasie. Par exemple, pour la Terre ce principe indique que la croûte est en équilibre dynamique. La Terre flotte sur le manteau lithosphérique. Si l'altitude topographique devient trop importante la surcharge de poids a pour effet d'enfoncer la croûte jusqu'au point d'équilibre entre le poids et la poussée d'Archimède. Cette altitude est de l'ordre de 10 000 m sur Terre alors que sur Mars l'Olympus Mons culmine à 25 000 m

Une autre partie du chapitre concerne l'histoire de l'atmosphère et du climat terrestre.

Le chapitre se termine avec l'étude de la magnétosphère dont la fonction protectrice est importante. Le champ magnétique terrestre est engendré par un effet dynamo provenant des déplacements d'une partie du noyau liquide à l'intérieur de la Terre. Un champ magnétique élevé nécessite une rotation rapide de la planète sur elle-même et la présence d'une atmosphère dense. Ces conditions se retrouvent également avec Jupiter.

4. Les planètes voisines de la Terre

L'auteur compare les périodes des planètes voisines de la Terre. Dans plusieurs cas on observe des phénomènes de résonance qui contribuent à des configurations dynamiquement stables. Par exemple la période de rotation de Mercure sur elle-même est de

59 jours alors que sa période de révolution autour du Soleil est de 88 jours. La planète effectue 3 rotations sur elle-même pendant qu'elle fait presque exactement 2 tours autour du Soleil. On dit que la période de rotation de Mercure est en résonance 2 : 3 avec sa période de révolution.

Mais le phénomène de résonance peut aussi avoir lieu entre deux planètes. C'est le cas entre la planète Neptune et la "planète naine" Pluton. La période orbitale de Neptune est d'environ 165 ans (elle a terminé son premier tour depuis sa découverte le 12 juillet 2011 cf Cahiers Clairaut n° 134 page 8), la période orbitale de Pluton est de 248 ans. Pluton est en résonance 3/2 avec Neptune. Pluton effectue 2 révolutions autour du Soleil pendant que Neptune en fait 3. Ce rapport correspond à une configuration dynamiquement du système.

5. Les planètes géantes

Le chapitre 5 leur est dédié. Par l'étude de ces planètes on a découvert récemment que certaines des grosses planètes sont capables d'effectuer des migrations. C'est ainsi que Jupiter se serait formé à environ 6 UA du Soleil avant de venir migrer à sa position actuelle à 5,2 UA.

6. Les nouvelles planètes

Avec le chapitre 6 on aborde les **nouvelles planètes**, les autres pas les nôtres, c'est à dire celles qui gravitent autour d'une autre étoile que le Soleil.

Dans ce chapitre on revient sur les méthodes de détection.

Outre la méthode par "vélocimétrie" déjà décrite il existe une méthode "astrométrique" qui consiste à observer le petit mouvement elliptique de l'étoile provoqué par la présence d'une ou plusieurs exoplanètes. Ce mouvement est repéré, selon la ligne de visée de l'observateur, sur le fond du ciel dont les étoiles sont tellement éloignées que l'on peut les considérer comme fixes. À titre d'exemple l'auteur indique que la présence de Jupiter dans le système solaire "induit sur le Soleil une modulation de vitesse de 12,5 m/s". Quant à notre planète elle induit une variation de vitesse de l'ordre de 10 cm/s totalement hors de portée de nos instruments.

La méthode particulièrement intéressante des transits est également présentée : si le passage d'une exoplanète devant son étoile est visible depuis la Terre, ce passage entraîne une légère diminution de l'éclat lumineux que l'on peut mesurer. D'autres méthodes plus exotiques sont citées.

7. La recherche de mondes habitables

L'auteur présente ce qu'on sait actuellement sur les différentes hypothèses qui ont été sur le devant de la scène à un moment ou à un autre sur la base de données recueillies et pouvant servir d'indices. Ces

hypothèses rencontrent toujours l'intérêt des terriens pour d'autres habitants du monde.

Je recommande ce livre passionnant et facile à lire à tous ceux qui cherchent des informations claires, simples (il n'y a aucune formule mathématique) et récentes sur les planètes. ■

Pas à Pas dans L'UNIVERS

L'association Planète Sciences est heureuse et fière d'annoncer la parution de *Pas à pas dans l'Univers*, premier ouvrage publié par son secteur "astronomie". Ce livre, qui a mobilisé une quinzaine de rédacteurs du réseau Planète Sciences, est préfacé par Sylvie Vauclair, astrophysicienne, et postfacé par Christiane Parent, IA IPR de sciences physiques de l'académie de Paris.



"Pas à pas dans l'Univers" présente les projets d'observation réalisés dans le cadre d'"Arpenter l'Univers", une opération d'initiation à la démarche de projet visant les jeunes de 10 à 17 ans. Mais l'ouvrage s'adresse à tous ceux qui sont curieux d'obtenir les réponses par la pratique à de nombreuses questions liées au ciel.

De présentation agréable et claire, présentant les expériences par ordre de complexité croissante, il se révèle un excellent manuel d'observation raisonnée, permettant de mettre en œuvre, chacun à son niveau, un vrai projet partant d'une question et suivant des étapes d'observation pour aboutir à une réponse construite. À chaque pas, on indique clairement le niveau technique, la durée de mise en place de l'observation comme de celle de son exploitation.

Par ce livre, Planète Science diffuse et met à la portée de tous ce qui fait sa particularité et sa force : apprendre en agissant, selon une méthode inspirée de la démarche scientifique, mais qui sait conserver un aspect ludique et qui laisse sa part au sens du beau, si important en astronomie.

"Pas à Pas dans l'UNIVERS" a sa place dans tous les CDI, bibliothèques de clubs d'astronomie et même les étagères des particuliers. Il peut être commandé chez Vuibert. Pour cela il suffit d'ouvrir le lien suivant :

<http://www.vuibert.com/livre32891.html> ■

VIE ASSOCIATIVE

Le CLEA au Burkina Faso

Michèle Gerbaldi, Institut d'Astrophysique de Paris

En décembre 2010, s'est tenu à Ouagadougou (Burkina Faso) un atelier d'astronomie destiné aux professeurs de lycée.

Cet atelier fut organisé en marge d'un Symposium d'astrophysique de l'UAI (Union Astronomique Internationale) intitulé : "Tracing the Ancestry of Galaxies". L'initiateur de ce symposium, Claude Carignan, (Université de Montréal) est professeur associé à l'université de Ouagadougou (Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement (LPCE) où il développe un enseignement de l'astronomie.



Pour participer à cet atelier de deux journées, 50 enseignants de lycée furent sélectionnés par le Ministère de l'Éducation : un enseignant par région soit 45 professeurs plus cinq enseignants de Ouagadougou.

Le thème principal retenu fut celui des

planètes extra-solaires.

C'est à partir d'exemples pris dans ce domaine de recherche que nous avons illustré les valeurs éducatives de l'astronomie.

Ce thème scientifique a permis d'aborder des problèmes d'histoire, d'évolution et même d'environnement. La question de l'existence d'autres planètes – habitées ou non – dans l'univers est probablement l'une des questions les plus anciennes posées aux astronomes, dès que l'analogie fut

faite entre le Soleil et les autres étoiles. Ce n'est que récemment que cette recherche a abouti grâce aux développements instrumentaux réalisés dans les années 90 conduisant en 1995 à la découverte de la première planète extra-solaire en orbite autour de



l'étoile 51 Peg, étoile analogue au Soleil. Actuellement plus de 500 exoplanètes ont été détectées.

Ce thème a permis de réaliser des (petites) maquettes utilisables ultérieurement avec les élèves afin d'aider à leur faire acquérir une méthodologie et un mode de raisonnement scientifique tout en aidant efficacement à la compréhension d'un phénomène.



Des exercices pratiques, ont été présentés ou faits par

les participants dans la limite du temps disponible, ces exercices pouvant être réinvestis par les participants de l'atelier dans le cadre de leur enseignement en classe de lycée ou de collège.

Les documents écrits ont été privilégiés, l'accès à Internet pouvant n'être que très sporadique dans les zones éloignées d'un centre urbain.

Les questions fusèrent de l'audience durant ces deux journées qui nous parurent à la fois si



longues et si courtes. C'est grâce à la contribution financière de l'UAI, pour les voyages et séjours à Ouagadougou, qu'un tel atelier put être organisé ; les participants reçurent également chacun un Galiléoscope, qui fut monté lors de ces journées.

La majorité des documents utilisés sont ceux qui furent donnés par le CLEA ainsi que ceux développés par Rosa Ros.

Les intervenants furent : Jean-Pierre De Greve, Michèle Gerbaldi, Ed Guinan, Katrien Kolenberg et Rosa Ros, avec la participation d'étudiants de l'université de Ouagadougou.

Remerciements chaleureux de la part des participants pour les documents CLEA qui leur furent donnés et utilisés.

École d'Été d'Astronomie Gap août 2011



Comme chaque année, l'École d'Été d'Astronomie du CLEA s'est déroulée dans d'excellentes conditions et un cadre toujours agréable.

Conférences, ateliers, discussions, observations (toutes les nuits ont été claires !) se sont succédés dans la bonne humeur et avec des échanges fructueux. Les conférences nous ont permis de faire le point sur les dernières recherches. Des stagiaires nous ont fait découvrir des produits de leur terroir, merci à eux.

Un projet a été lancé, espérons que quatre mois de gestation seront suffisants. C'est une surprise que vous découvrirez lors de l'AG.

Solutions des mots croisés p. 31

Horizontalement

1. Serpente. 2. Aries (le Bélier). Orion. 3. Gémeaux. Ixe (vie). 4. EE. Vir (Virgo, la Vierge). EE.
5. Tau (le Taureau). Cancer. 6. Roi (Céphée était roi d'Ethiopie, Cassiopée en étant la reine). Psc (Pisces, les Poissons). 7. Al Sufi (ou al Soufi. On lui doit un superbe traité des étoiles fixes où sont représentées les différentes constellations). Fi. 8. II (Jacques Cassini, fils de Jean Dominique Cassini, surnommé Cassini II, succéda à son père à la tête de l'observatoire de Paris). 9. Rosse (William Parsons, comte de Rosse a décrit les "nébuleuses" spirales qu'il observait avec son télescope de 1,83 m de diamètre à partir de 1845). Ouri. 10. Ente. Aqr (Aquarius, le Verseau). Be.

Verticalement

1. Sagittaire. 2. Ère. Lion. 3. Rimeurs. St (Cyrille est un des rares cratères lunaires à qui l'on ait donné un nom de saint). 4. Peee (épée : l'épée d'Orion, sous le baudrier, abrite la fameuse nébuleuse d'Orion M42). Ourse. 5. ESA (Agence Spatiale Européenne). Cif. 6. UVA (Les Ultra Violets A ont une longueur d'onde comprise entre 315 et 400 nanomètres). Is (sur Tille). 7. Toxine. Coq. 8. AR (aller-retour). rc. Four. 9. III (César-François Cassini de Thury, fils de Jacques Cassini, surnommé Cassini III, était directeur de l'observatoire de Paris). Épi (ou Spica, l'étoile la plus brillante de la Vierge). 10. Rovers. Lib (Libra, la Balance). 11. Énée (fils d'Aphrodite ou Vénus). Cap (le Capricorne).

Écoles d'Été d'Astronomie



Vous souhaitez débiter en astronomie ?

Vous souhaitez vous perfectionner ?

Vous avez le projet d'animer un club ?

Venez participer à une école d'été d'astronomie, au col Bayard, à 1 200 m d'altitude, dans un cadre prestigieux.



Des exposés accessibles à tous



Des ateliers pratiques et des observations

Toutes les activités sont encadrées par des astronomes professionnels et des animateurs chevronnés.

Renseignements sur le site du CLEA

Les productions du CLEA ⁽¹⁾

En plus du bulletin de liaison entre les abonnés que sont les Cahiers Clairaut, le CLEA a réalisé diverses productions.

Fruit d'expérimentations, d'échanges, de mises au point et de réflexions pédagogiques d'astronomes et d'enseignants d'écoles, de collèges, de lycées, ces productions se présentent sous différentes formes :

Fiches pédagogiques

Ce sont des hors série des Cahiers Clairaut conçus par le Groupe de Recherche Pédagogique du CLEA : astronomie à l'école, la Lune, gravitation et lumière, mathématique et astronomie, ...

Fascicules thématiques de la formation des maîtres, en astronomie

Repérage dans l'espace et le temps, le mouvement des astres, la lumière messagère des astres, vie et mort des étoiles, univers extragalactique et cosmologique, ...

Matériel

Filtres colorés et réseaux de diffraction

DVD

Les archives du CLEA de 1978 à 2006 (Cahiers Clairaut et Écoles d'Été d'Astronomie)

Le formulaire de commande est sur le site.

(1) vente aux adhérents uniquement

Planétarium

Il est possible également de louer le planétarium gonflable (starlab) du CLEA. Cette année 2011, il sera en Région Midi-Pyrénées. (uniquement pour le planétarium contact : jean.a.riper@wanadoo.fr)

Le site internet

Une information toujours actualisée

www.clea-astro.eu



LES CAHIERS CLAIRAUT



Publiés quatre fois par an, aux équinoxes et aux solstices, les Cahiers Clairaut offrent des rubriques très variées:

Articles de fond
Réflexions
Reportages
Textes : extraits, citations, analyses
Pédagogie de la maternelle au supérieur
TP et exercices
Curiosités
Histoire de l'astronomie
Réalizations d'instruments et de maquettes
Observations
Informatique
Les Potins de la Voie Lactée

COMMENT NOUS JOINDRE ?

Informations générales :

www.clea-astro.eu

OU

www.ac-nice.fr/clea

Siège Social :

CLEA,
Observatoire de Lyon
69561 ST-Genis Laval CEDEX

École d'Été d'Astronomie :

daniele.imbault@cea.fr

Cahiers Clairaut :

larcher2@wanadoo.fr

Ventes des productions :

www.clea-astro.eu

Site internet :

berthomi@ac-nice.fr
charles-henri.eyraud@ens-lyon.fr

Adhésion / Abonnement :

Adhésion CLEA pour 2011 :	5 €
Abonnement CC pour 2011 :	25 €
Adhésion + abonnement CC :	30 €
Adhésion + abonnement CC + abonnement numérique :	35 €

Chèque à l'ordre du CLEA, à envoyer à :
Jean Ripert
Impasse de Mouyracs
46090 PRADINES

Directrice de la Publication : Cécile Ferrari
Rédacteur de publication : Christian Larcher
Imprimerie France Quercy 46090 MERCUËS

Premier dépôt légal : 1er trimestre 1979
Numéro CPPAP : 0315 G 89368
Prix au numéro : 7 €

Revue trimestrielle : numéro 135, septembre 2011