

Les Cahiers Clairaut

Printemps 2010 n° 129

Éditorial

Avec ce printemps 2010 les Cahiers Clairaut ont 32 ans d'existence, l'âge de la pleine maturité. Le numéro 1 de notre revue est apparu au printemps 1978. Dans le tout premier numéro la Rédaction justifiait le choix du titre par une remarque d'Alexis Clairaut qui recommandait de se mettre à la portée des "*premiers pas des Commença*nts". À l'époque on parlait encore du C.L.A.E mais en raison de sigle déjà utilisé l'association devint C.L.E.A.

Le thème de ce numéro de printemps est consacré à l'étude des saisons.

Nous retrouvons Jean-Luc Fouquet et son analyse des conceptions initiales des enfants à partir de l'étude de leur production picturale tandis que Liliane Sarazin insiste beaucoup sur les "*étapes d'apprentissage*". Pierre Causeret concilie astucieusement astronomie et gastronomie à l'aide d'une plaquette de chocolat.

Georges Paturel nous livre sa recette pour comprendre les saisons. "*Le service final*" nécessite, "*pour le confort*", de coller "*une petite pièce de feutrine verte, du plus bel effet*". Jean Souchay (astronome à l'Observatoire de Paris, département du SYRTE) montre que "*l'harmonie du monde*" a des limites. Il nous parle de saisons de durées inégales, de changement d'excentricité, d'obliquité variable...

Dans les "*Potins de la Voie Lactée*" Roger Meunier nous transmet une série de brèves nouvelles. J'ai retenu la dernière : le satellite Kepler vient de découvrir 5 exoplanètes gazeuses et brûlantes. L'une d'elles, dont la taille est comparable à celle de Jupiter, serait aussi légère que du polystyrène expansé...

Enfin notre nouvelle Présidente, Cécile Ferrari, nous fait part de sa stratégie pour donner au CLEA un nouvel essor.

Christian Larcher
Larcher2@wanadoo.fr

À vos agendas
L'École d'Été d'Astronomie du CLEA
aura lieu du 17 au 24 août 2010 à Gap.

Histoire

Histoire de lunettes et télescopes (2)
Daniel Bardin p 2

Avec nos élèves

Apprendre le ciel et rêver avec Callisto (2)
Monique Saint Georges p 7

Thème : LES SAISONS p 10

Notions de base
Pierre Causeret p 11

Avec nos élèves

Deux maquettes pour visualiser les mouvements du Soleil
Francis Berthomieu p 14

Réflexion

Saisons et conceptions initiales
Jean-Luc Fouquet p 17

Avec nos élèves

Une étude des saisons à l'école primaire
Liliane Sarrazin Vilas p 20

Remue-méninges p 22

Réalisation

Une recette pour comprendre les saisons
Georges Paturel p 23

Article de fond

Les saisons au cours du temps et sur les autres planètes
Jean Souchay p 26

Vie de l'association

Stratégie pour CLEA
Cécile Ferrari p 29

Mots croisés p 30

Ciel de printemps

Pierre Causeret p 31

Potin de la Voie Lactée

Roger Meunier p 32

Solutions mots croisés p 33

Vie de l'association

Compte rendu de l'AG de novembre 2009
Christian Larcher, Cécile Ferrari p 34

Victor Tryoën p 36

Courrier des lecteurs p 38

Solutions remue-méninges p 40

Histoire de lunettes et télescopes (2)

Daniel Bardin, Marseille

Après avoir traité des aberrations optiques dans le précédent numéro des Cahiers Clairaut, cet article nous fait découvrir les différents montages optiques adoptés au cours des siècles, ainsi que les différents types de montures.

Les télescopes

La catoptrique (du grec $\kappa\alpha\tau\omicron\pi\rho\nu$: miroir) est bien antérieure à la dioptrique et pourtant les lunettes d'approche devancèrent les télescopes. La difficulté de réaliser de très bons miroirs et l'usage des bésicles dès le milieu du Moyen-Âge (et, donc, l'expérience des lunetiers) contribuèrent peut-être à l'apparition première des lunettes. Pourtant, on relève des traces de projets de télescopes à l'époque des premières observations de Galilée : le meilleur ami de ce dernier, Sagredo (1571-1620) laissa une description mais ne construisit apparemment pas l'appareil. Un certain Cesare Caravaggi, de Bologne, aurait correctement décrit un montage avec un miroir concave d'acier. Galilée, instruit de ce fait par un de ses correspondants, Cesare Marsili, serait tombé d'accord avec lui pour reconnaître que ce miroir devait, au moins, être associé à un oculaire.

Un autre Bolognais, Bonaventura Cavalieri (1588-1647) aurait écrit : "...il est évident que si nous combinons le miroir concave avec le convexe ou la lentille concave, nous devons avoir l'effet de la lunette". En 1616, le père jésuite Nicolas Zucchi propose un montage oblique (utilisé plus tard par W. Herschel sous l'appellation de "front view") qui rend malheureusement les aberrations plus gênantes, mais qui a l'avantage de n'utiliser qu'une seule réflexion sur le miroir métallique :

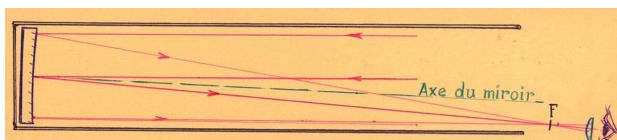


Fig. 13 Comme l'œil est placé près du bord du tube, le miroir doit être incliné pour amenuiser au mieux les aberrations inévitables de cette formule.

Le père Marin Mersenne (1588-1648), ayant dans ses correspondants Blaise Pascal, René Descartes,

Pierre de Fermat et Evangelista Torricelli, dessine en 1636 des combinaisons de miroirs dans son ouvrage "Harmonie Universelle".

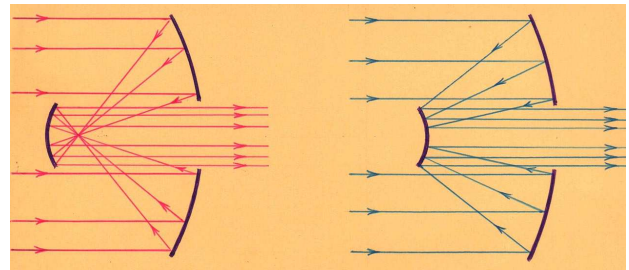


Fig. 14.

Ces schémas figurent des montages destinés à l'acoustique "pour faire l'écho" c'est-à-dire à amplifier des sons, mais le père Mersenne signale aussitôt que des miroirs semblablement agencés pourraient servir "pour faire des lunettes de longue vue". Il s'inspire du traité d'optique de Descartes et propose même de donner aux miroirs une forme de parabolôïde. Mais la précision requise et l'absence de procédé de contrôle ainsi que l'obligation de percer le miroir primaire, d'une part et, d'autre part une certaine opposition de Descartes lui-même, ne permirent pas de faire aboutir ce projet. On retrouve néanmoins ces idées dans des instruments proposés quelques temps après.

Le télescope de Gregory

En 1663, James Gregory (1639-1675) conçoit un plan basé sur deux miroirs concaves suivis d'un oculaire.

Le grandissement dû au petit miroir a pour valeur le rapport OB / OA tandis que le grossissement final est dans le rapport de la focale résultante des deux miroirs à celle de l'oculaire. Les images sont à l'endroit – conformes à l'objet – ce qui valu au

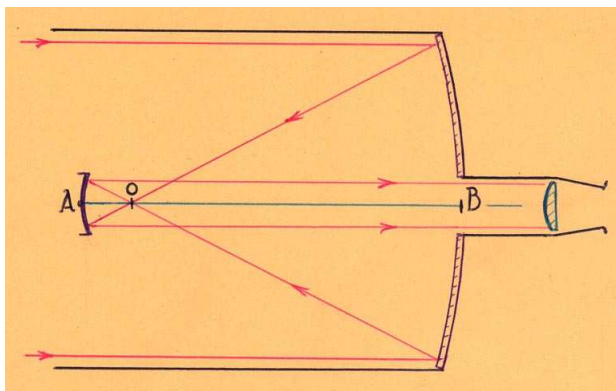


Fig. 15

18e siècle à ce télescope une renommée certaine comme instrument d'observation terrestre jusqu'à la diffusion des longues-vues à objectifs achromatiques, moins encombrantes.

Le télescope de Cassegrain

En 1671, Newton construisait son deuxième télescope à miroir secondaire plan et le présentait en janvier 1672 à la Société Royale où, d'ailleurs Robert Hooke (1635-1703) se moqua de cet appareil si minuscule. Au même moment, un Français, Laurent Cassegrain (1629-1693) proposa un plan d'instrument différent où le miroir secondaire est convexe :

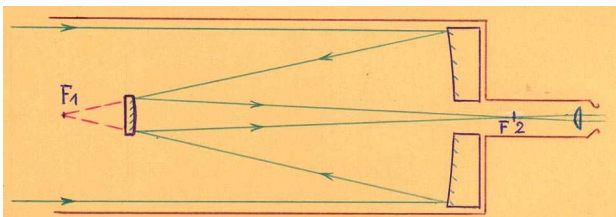


Fig. 16. Le secondaire se place en avant du foyer F_1 du primaire et déplace le foyer en F_2

La focale résultante peut atteindre de grandes dimensions sans pour autant allonger le tube ; c'est d'ailleurs la formule la plus utilisée dans les télescopes à notre époque. Mais la nécessité de polir les miroirs non sphériques et, encore une fois, l'absence de procédé de contrôle des formes obtenues repoussa à plus tard la réalisation de télescopes véritablement corrigés des aberrations et donc utilisables. On peut néanmoins citer Jesse Ramsden (1735-1800) qui fit un "bon Cassegrain" en 1775 bien que les miroirs, à cette époque, soient toujours en métal qui ternissait par oxydation et qu'il fallait repolir fréquemment au risque de modifier sa forme.

Au chapitre des belles réussites, signalons aussi le travail d'un autre membre de la Société Royale, John Hadley (1682-1744) ; il construisit en 1721 un "newtonien" de 15 cm de diamètre et de 1,50 m de focale dont le miroir était proche d'un paraboloïde,

ce qui constituait une première dans l'obtention de bonnes images.

Plus loin dans l'Univers

Le début du 18^e siècle voit l'astronomie élargir ses domaines d'observation : les lunettes modestes des pionniers s'étaient naturellement tournées vers les objets brillants : exploration du système solaire déjà visible à l'œil nu, cartes et premiers catalogues, début de l'astrométrie.

À cette époque charnière et agitée, Charles Messier (1730-1817) quitte en 1751 sa Lorraine natale (partagée entre le Duché de Stanislas et l'empire allemand) pour Paris. Observateur persévérant et précis, il utilise plusieurs instruments qui lui sont prêtés ou qui lui appartiennent : lunettes achromatiques dès 1766, télescopes divers dont un grégorien de 16 cm de diamètre et de 80 cm de focale. Messier dirige ses instruments vers des cibles "classiques" telles les occultations, les éclipses, mais il fouille le ciel en cherchant des comètes (44 sont répertoriées dont une vingtaine qu'il a découvertes) et en vient à dresser son fameux catalogue d'objets célestes non ponctuels. Si bien des précurseurs en avaient signalé avant lui, c'est bien Messier qui regroupa les 103 objets que nous nommons amas ouverts, amas globulaires, nébuleuses et galaxies. Cinquante-trois de ces objets parfois difficiles à détecter furent découverts par Messier lui-même, d'autres, conjointement, par son collègue et ami Pierre Méchain (1744-1804), spécialiste des comètes lui aussi. Il ne faut pas oublier que le ciel urbain n'était pas pollué par les lumières nocturnes du temps de Messier ; les petits télescopes y restaient efficaces.

À la même époque, de nombreux observateurs en France et en Europe se lancent dans cette quête des objets faibles. Les progrès de l'optique astronomique qui ont surtout concerné, jusqu'alors, la lutte contre les aberrations recherchent désormais à augmenter les diamètres et les focales : on va ainsi récolter plus de lumière et augmenter le pouvoir séparateur des télescopes. Un musicien allemand, William Herschel (1738-1822) quitte en 1757 le Hanovre et le royaume de Prusse, où se déroulait la Guerre de Sept Ans, et se réfugie en Angleterre. Tout au long d'une vie consacrée à la musique puis à l'astronomie, il va déployer une infatigable énergie et un esprit scientifique remarquable. Ses domaines d'observation et de découvertes, débouchant sur de solides hypothèses, couvrent de nombreux secteurs : planètes et leurs satellites, comètes, étoiles simples, variables ou multiples (positions,

mouvements propres et distances, d'où ses idées sur l'apex), amas, nébuleuses (en particulier les planétaires dont il suspecta la nature gazeuse), et notre Galaxie. La planète Uranus, qu'Herschel prit d'abord pour une comète, fut découverte par lui le 13 mars 1781.

Herschel fondait et polissait ses miroirs — il en aurait réalisé plus de 200 à partir de 1773 — et construisait les montures. On nommait à l'époque les télescopes par leur longueur, mais l'usage actuel préfère donner le diamètre et la focale. William Herschel utilisa surtout un "20 pieds" de 47 cm de diamètre et de 6 m de focale, mais réalisa en 1789 un géant de 1,20 m de diamètre pour 12 m de focale. Ce monumental instrument soutenu par un savant échafaudage restait difficile à manier mais resta durant 56 ans le plus grand télescope au monde.

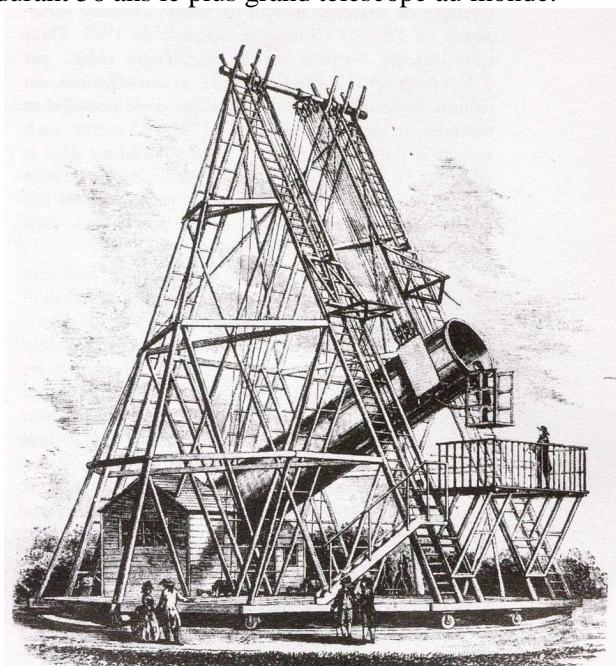


Fig. 17

William, juché près du sommet du tube, dictait ses observations à sa sœur Caroline (1750-1848) ; celle-ci, grâce à la fidèle et fructueuse association avec son frère réalisa, après le décès de William, des travaux personnels en particulier sur des comètes.

C'est un autre William, l'irlandais Parsons, troisième comte de Rosse (1800-1867), qui releva le défi du gigantisme. Après quelques miroirs réussis de 91 cm pour lesquels il met au point une méthode de réchauffage et de refroidissement lent du métal en 1839, ce riche amateur se lance dans la construction du "Léviathan". La réalisation aboutit en 1845 à un appareil de 17 m de longueur qui ne peut viser qu'une zone de 15 degrés autour du plan méridien et dont les pointages restent pénibles et délicats. Le miroir de 3,8 tonnes et de 1,80 m de diamètre est soutenu par un ensemble de triangles mobiles offrant

81 points de contact ; ce système inventé par Thomas Grubb (1800-1878) équilibre au mieux le dos du métal et évite les déformations du disque. À Birr Castle, William Parsons fut ainsi le premier à distinguer et à dessiner des détails structurels et significatifs dans les "nébuleuses", nom que l'on attribuait alors indifféremment aux nébuleuses et aux galaxies.

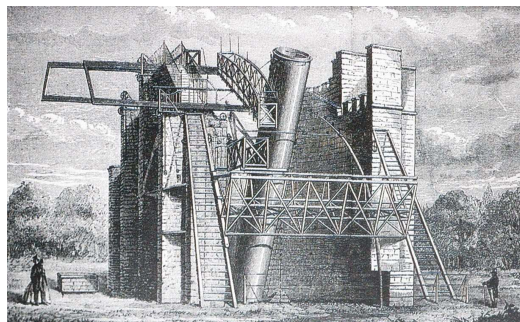


Fig. 18

Léon Foucault

Les miroirs de métal allait laisser la place à une technologie novatrice : le célèbre physicien Léon Foucault (1819-1868) fut un expérimentateur inspiré. Il se proposa de réaliser les miroirs de télescopes en verre sachant, comme Newton l'avait signalé, que le verre donne plus facilement un meilleur poli que le métal. Mais il fallait rendre réfléchissante la face avant du miroir et Foucault utilisa une formule chimique d'argenture à froid brevetée en 1843 par un Anglais : Thomas Drayton. Si les gestes aboutissant à la réalisation d'une surface optique s'apparentaient à un art, Foucault en fit une science expérimentale en mettant au point un test de contrôle rigoureux.

Avant lui, on examinait les images d'objets lointains grâce à un montage temporaire du miroir dans son tube : démontages et remontages longs et fastidieux faisaient alterner des retouches locales et des contrôles visuels. Foucault utilisa un appareil basé sur l'examen du miroir grâce à un couteau rectiligne et une source lumineuse très fine (une fente entre deux lames), le couteau et la source étant placés au plus près du centre de courbure du miroir. Ce procédé ultra sensible par auto-collimation permet de voir les défauts du miroir extrêmement amplifiés et montre où doivent se faire les retouches :

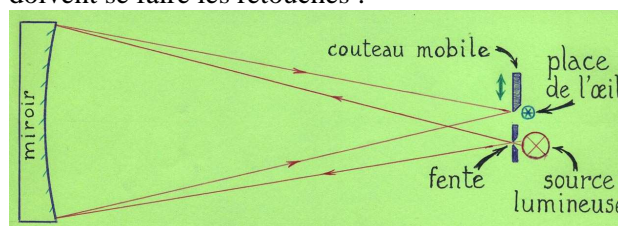


Fig. 19

Pour une description très détaillée de l'appareil, de la procédure et de l'analyse des résultats, se reporter à l'excellent ouvrage de Jean Texereau : "La construction du télescope d'amateur" réédité en 2004 chez Vuibert.

Foucault construisit un télescope de 40 cm qui se trouve à l'observatoire de Paris et réalisa ensuite en 1862, le télescope de 80 cm et de 4,50 m de focale que conserve l'observatoire de Marseille. C'est en effet dans le sud du pays que Le Verrier voulut qu'on installe l'appareil en 1864 :



Fig. 20

Les télescopes actuels bénéficient de techniques novatrices et radicalement modernes dont le seul exposé suffira à écrire ultérieurement un long article mais c'est bien un tournant majeur que Foucault fit faire à l'astronomie instrumentale par ses trouvailles.

Les montures

On appelle monture d'un instrument astronomique l'ensemble des pièces qui supportent le tube optique et qui autorisent la visée du ciel dans toutes les directions ; à notre époque, une monture assure le suivi fidèle du mouvement diurne grâce aux moteurs électriques et aux correcteurs de recentrage.

Première constatation, les étoiles semblent tourner autour de l'axe polaire du ciel qui est confondu avec l'axe polaire de notre planète.

Si on se contente d'une monture mobile autour d'un axe vertical local balayant les azimuts et d'un axe horizontal balayant les hauteurs, on se trouve en présence d'une monture azimutale, parfois appelée, de nos jours, altazimutale.

La figure 23 montre qu'avec cette monture le cadre observé au cours d'une nuit reste parallèle à lui-même (il est bordé par des verticales et des

horizontales locales) alors que le champ des astres tourne avec le canevas des méridiens célestes.

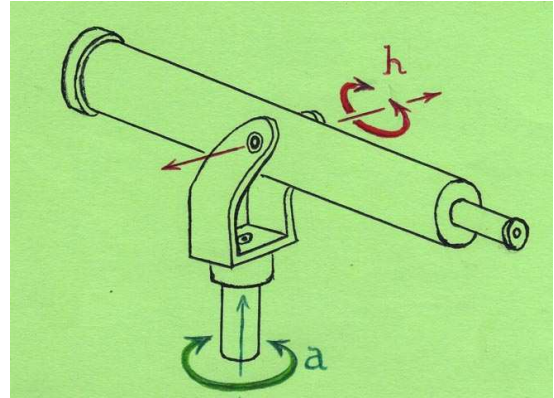


Fig. 21. Monture azimutale (ou altazimutale).

L'observation visuelle ne souffre pas de cette rotation de champ mais une photographie en pose n'est pas possible. La solution : construire des montures avec un axe incliné d'un angle identique à la latitude du lieu d'observation et installé dans le plan du méridien local : cet axe vise alors exactement le pôle nord céleste. Il suffit de donner à cet axe polaire un mouvement de rotation d'un tour par jour sidéral et de sens contraire à celui de la Terre et l'appareil suit le ciel fidèlement ; la monture est dite équatoriale :

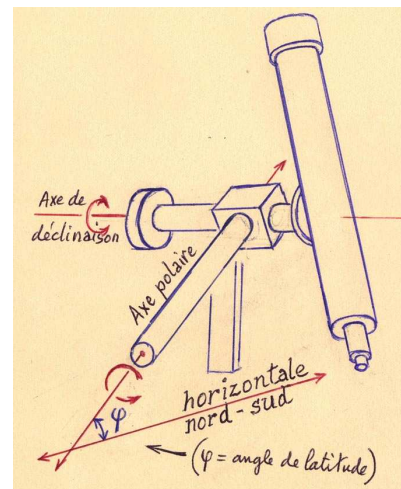


Fig. 22. Monture équatoriale.

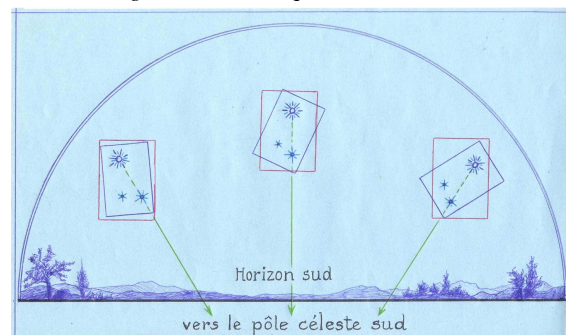


Fig. 23. La rotation de champ

Deux remarques cependant :

- la réfraction atmosphérique et les imprécisions minuscules de l'entraînement rendent obligatoire la fine correction périodique du pointage sur les gros télescopes,
- les très grands et très lourds instruments actuels (depuis le 6 m russe de Zelentchouk en 1976) adoptent cependant un montage azimutal : elle est facile à équilibrer et sans porte-à-faux, et permet d'installer des accessoires et analyseurs encombrants sur des plateformes horizontales de part et d'autre de l'axe horizontal (au foyer Nasmyth) ; néanmoins, un correcteur de rotation de champ contrôlé par informatique est alors obligatoire pour les clichés.

Les images suivantes présentent des maquettes d'instruments sur leurs montures réalisées par des élèves de 3^e d'un collège de Marseille dans le cadre d'un club hebdomadaire en 2001 ; des exemples indiquent des instruments réels correspondants.



Lunette azimutale sur pied colonne : lunette d'initiation.



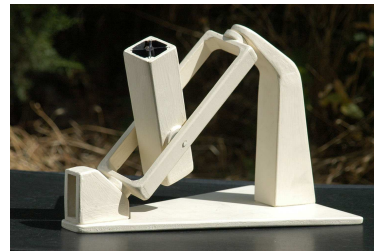
Lunette équatoriale sur monture allemande : les grandes lunettes du 19^e siècle.



Télescope Dobson de construction amateur sur monture azimutale : observation visuelle du ciel profond.



Télescope Schmidt-Cassegrain sur monture équatoriale à fourche : instrument des amateurs éclairés au 20^e siècle.



Télescope Newton sur monture équatoriale à berceau : le 2,50 m du Mont Wilson (1917).



Télescope sur monture équatoriale anglaise : les grands télescopes de l'observatoire de Haute Provence.



Télescope à deux piliers avec fer à cheval au nord autorisant la visée des alentours de la Polaire : le 2 m du Pic du Midi ou le 5,08 m de Palomar.

Pour conclure provisoirement

Cet article se proposait de vous présenter quelques jalons dans l'histoire des instruments astronomiques et dans celle des humains passionnés qui en furent des moteurs. Les développements modernes de cette histoire seront exposés dans un article ultérieur des Cahiers Clairaut. ■

Abonnement : sur l'étiquette portant votre adresse (si vous ne l'avez pas jetée) vous trouverez en haut à gauche, après "ADH" votre numéro d'abonné(e) et après "AB" le nombre indiquant le numéro des derniers Cahiers Clairaut pour lesquels vous êtes abonné(e). **128**, vous ne vous êtes pas réabonné(e) ; **132**, vous recevrez tous les CC de 2010. (ne pas tenir compte de ceci si vous avez envoyé le chèque après le 7 mars).

AVEC NOS ÉLÈVES

Apprendre le ciel et rêver avec Callisto à l'école maternelle (2) Le retour du planétarium

Monique Saint Georges, Limoges

Dans le précédent numéro des Cahiers Clairaut, nous nous étions installés avec les petits de maternelle sous le planétarium et nous les avons accompagnés dans la cour pour observer le Soleil dans un va-et-vient entre légendes et réalité.

Mais que reste-t-il après quelques mois ? Découvrons-le en lisant la suite de l'article.

Dans un précédent article (Cahiers Clairaut n°128 page 7), nous avons décrit un ensemble de séances réalisées en maternelle sur le thème du jour et de la nuit. C'était une première approche des phénomènes astronomiques, associant étroitement l'observation scientifique et l'imaginaire des mythes et des contes. Sous le soleil dans la cour et sous le planétarium dans la classe, les enfants ont observé le déplacement diurne du Soleil, découvert la Grande Ourse, Cassiopée et Orion en suivant leur course nocturne. Nous en étions restés alors sur plusieurs questionnements : que reste-t-il de cet apprentissage quelques mois plus tard ? Est-ce qu'il n'y aurait pas risque d'amalgame entre légendes et phénomènes réels ?

Retour sous le planétarium

Tous sous la "bulle"

Cinq semaines après cette première séquence, le planétarium est de retour dans l'école. Cette fois-ci, un soir de fin de semaine, les enfants inviteront leurs parents à venir le découvrir à leur tour. Pour bien préparer ce moment tant attendu, ils doivent se remémorer ce qu'ils ont appris. Dès qu'ils sont installés sous la voûte de toile, ils nomment la Grande Ourse, Cassiopée. La maîtresse a mis en route la rotation de la lanterne. Les enfants disent : "ça tourne" et l'un d'eux ajoute : "je sais pourquoi ça tourne : à côté de toi, il y a quelque chose qui fait tourner". À la question de la maîtresse : "Est-ce qu'on est dans la vraie nuit ?" ils répondent : "On est dans le planétarium ; on peut voir le Soleil et les étoiles ; mais on peut voir le Soleil aussi

dans le vrai jour". À partir de cet échange, on peut penser que les enfants ont bien conscience que le planétarium ne permet que des observations simulées.

Pour vérifier qu'ils se repèrent bien dans le ciel, la maîtresse demande à certains de guider sa main qui tient le pointeur, pour retrouver les constellations qu'ils ont nommées. Ils retrouvent les tracés avec une étonnante facilité :

Mathilde : "Si on part de la casserole, on va à l'étoile polaire",

Samia : "De l'autre côté, c'est Cassiopée ; ça ressemble à un W",

La maîtresse : "Est-ce que vous vous souvenez de l'histoire de la Grande Ourse ?",

Ianis : "Le dieu, pour la protéger, il l'a lancée dans le ciel, tout près de l'étoile Polaire".

Et Kevin rajoute, soulignant spontanément le caractère circumpolaire de la constellation : "L'ours, il a tourné autour de l'étoile Polaire".

Il est très facile aussi pour eux de repérer Orion et la séance s'achève sur la nécessité de garder une mémoire de tout cet apprentissage.

Chacun devant "son ciel"

Tout s'est déroulé jusqu'à présent à l'oral et collectivement. Mais qu'est-ce que chacun a retenu ? C'est la trace écrite qui va nous donner quelques informations.

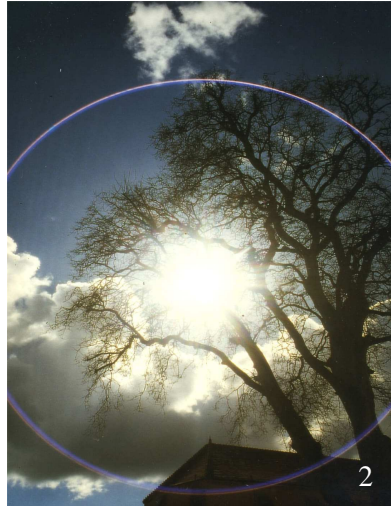
Nous avons choisi, dans le Hors Série n°1 du CLEA "Astronomie à l'école élémentaire", quelques documents extraits du feuillet "Apprenons à reconnaître les constellations". Chaque élève reçoit une carte du ciel (document 1) et un transparent sur lequel sont photocopiées

THÈME : LES SAISONS



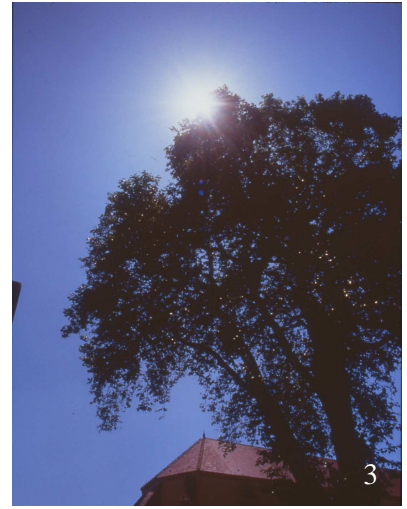
1

SUD



2

SUD



3

SUD



4



5



6



7



8

EST

Photos Pierre Causeret



9

OUEST

Positions du Soleil aux levers, aux couchers et aux passages au sud, les jours d'équinoxes et de solstices

Quelles vues correspondent au solstice de juin ? Et au solstice de décembre ? (photos prises en Côte d'Or)

Photos 1, 4 et 5, solstice de décembre ; 3, 8 et 9, solstice de juin ; 2, 6 et 7, équinoxe de mars (mais ce pourrait être de septembre)

Les saisons. Notions de base

Pierre Causeret, pierre.causeret@wanadoo.fr

Pourquoi y a-t-il des saisons ? Quelle est l'influence de la distance du Soleil ? Comment définir les solstices et équinoxes ? Voici quelques rappels sur les aspects les plus importants des saisons. Les explications sont données pour un observateur situé aux alentours de 45° nord comme en France métropolitaine.

Dans la plupart des livres, on explique les saisons en partant d'un schéma représentant la Terre tournant autour du Soleil. Il est dommage de ne pas partir de l'observation. C'est une des difficultés de l'enseignement de l'astronomie : passer du point de vue géocentrique de l'observateur à un point de vue extérieur.

Le mouvement apparent du Soleil

Si on observe le Soleil depuis un lieu fixe tout au long de l'année, on s'aperçoit rapidement que sa hauteur varie ainsi que la durée de la journée. Fin juin, le Soleil passe au plus haut et les journées sont les plus longues de l'année. Fin décembre, c'est l'inverse, le Soleil est au plus bas et les journées sont les plus courtes (fig.1).

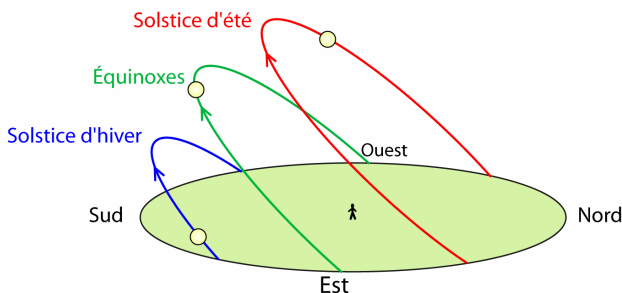


Fig. 1. Mouvement apparent du Soleil pour un observateur situé à 47° de latitude nord.

On peut alors apporter deux arguments pour expliquer pourquoi il fait plus chaud en été :

1. Parce que les journées sont plus longues, le Soleil chauffe plus longtemps.
2. Parce que le Soleil passe plus haut, ses rayons vont davantage chauffer le sol (fig.2).

Certains livres pour enfants ou manuels scolaires ne donnent qu'une des deux explications. Il est intéressant de savoir laquelle des deux joue le rôle principal. Si on calcule la quantité d'énergie reçue par m² de sol horizontal en une journée, on obtient 45 MJ (mégajoules) le 21 juin contre 9 MJ seulement le 21 décembre (pour une latitude de 47° et sans tenir compte de l'absorption atmosphérique). Le rapport est de 1 à 5. Entre le solstice d'hiver et le solstice d'été, la durée de la journée est multipliée

par 2 (de 8 h à 16 h environ). Pour arriver à $\times 5$, on peut considérer que le coefficient est $\times 2,5$ pour la hauteur du Soleil ($\times 2 \times 2,5$ donne bien $\times 5$), donc un peu plus que pour la durée de la journée. Les deux paramètres sont importants même si la hauteur compte un peu plus.

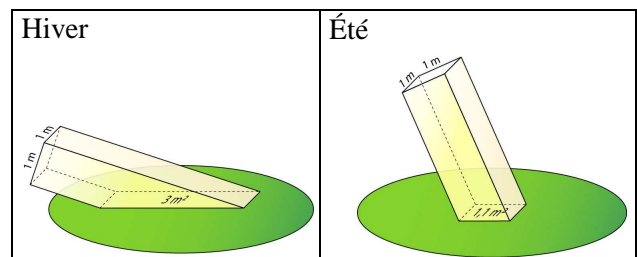


Fig. 2. Un faisceau de lumière de 1 m² de section éclaire une surface au sol qui dépend de la hauteur du Soleil. On trouve 3 m² pour un Soleil à midi au solstice d'hiver et 1,1 m² au solstice d'été. L'énergie reçue par m² est donc plus importante dans le deuxième cas.

La modélisation

Depuis Copernic, on explique le mouvement apparent du Soleil en faisant tourner la Terre autour du Soleil, son axe étant incliné par rapport au plan de son orbite appelé plan de l'écliptique (fig.3).

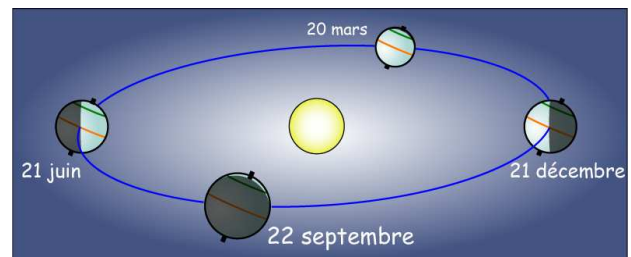


Fig. 3. Révolution de la Terre tourne autour du Soleil

On appelle obliquité l'angle que fait l'axe de la Terre avec la perpendiculaire au plan de l'écliptique. On retrouve le même angle entre le plan de l'équateur et le plan de l'écliptique.

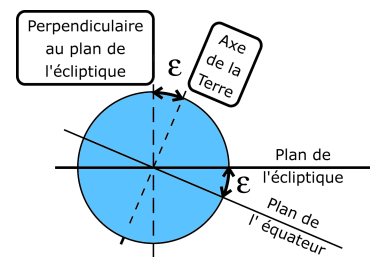


Fig. 4. Obliquité de la Terre ϵ . Elle vaut actuellement 23°26'.

Cet angle est à l'origine des saisons. Il permet d'expliquer les variations de la durée de la journée (fig. 5).

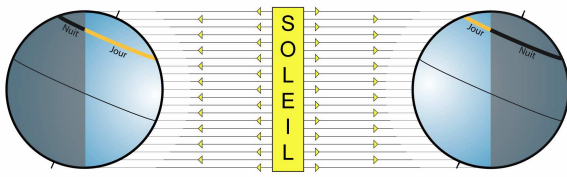


Fig. 5. La journée au solstice d'été (à gauche) est beaucoup plus longue que la journée au solstice d'hiver (à droite)

C'est aussi l'obliquité qui permet d'expliquer les variations de la hauteur du Soleil. On peut le montrer simplement à partir d'un globe sur lequel on aura fixé un gnomon (un bâton vertical) à la latitude de la France. On peut même calculer la hauteur du Soleil à midi aux solstices (fig.6).

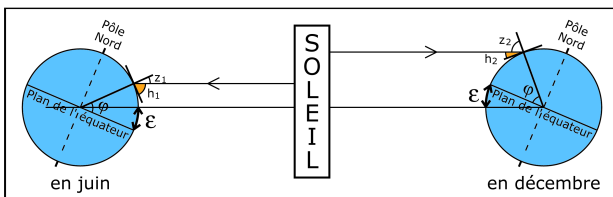


Fig. 6. Calcul de la hauteur h du Soleil à midi aux solstices à une latitude φ :

$$\begin{aligned} \text{Au 21/06 : } z_1 &= \varphi - \varepsilon ; h_1 = 90^\circ - z_1 = 90^\circ - \varphi + \varepsilon \\ \text{Au 21/12 : } z_2 &= \varphi + \varepsilon ; h_2 = 90^\circ - z_2 = 90^\circ - \varphi - \varepsilon \\ \text{À } 47^\circ \text{ de latitude nord, cela donne } &66,5^\circ \text{ et } 19,5^\circ. \end{aligned}$$

Comment mesurer l'obliquité de la Terre ?

1. Mesurez la hauteur du Soleil à midi au solstice d'été.
2. Mesurez la hauteur du Soleil à midi au solstice d'hiver.
3. Calculez la différence de ces hauteurs et divisez par deux. Vous avez l'obliquité.

Explication (voir figure 6)

$h_1 = 90^\circ - \varphi + \varepsilon$ et $h_2 = 90^\circ - \varphi - \varepsilon$ donc $h_1 - h_2 = 2\varepsilon$
On peut aussi déduire de ces mesures la latitude du lieu qui est égale au complémentaire de $(h_1 + h_2)/2$.

Les grandes méridiennes comme celle de Saint Sulpice permettent d'effectuer des mesures précises de hauteur du Soleil à midi et d'obtenir la valeur de l'obliquité.

Quelques mesures

Hipparque (2^e siècle avant notre ère) : 23° 51'
Al Battani (9^e-10^e siècle) : 23° 35'
Cassini en 1671 (méridienne de Bologne) : 23° 28' 47"
Le Monnier a mesuré la diminution de l'obliquité avec la méridienne de St Sulpice.
Obliquité vraie de l'écliptique le 1/01/2010 : 23° 26' 20"

On explique donc les saisons dans un système héliocentrique simple en considérant que la Terre décrit une orbite circulaire autour du Soleil. Mais les Grecs expliquaient tout aussi bien ces variations de durée de la journée et de hauteur du Soleil dans leur modèle géocentrique (fig.7).

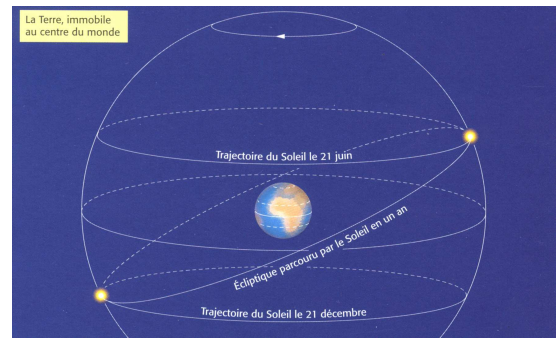


Schéma extrait du livre "Les saisons et les mouvements de la Terre" Belin

Fig. 7. Dans le système de Ptolémée, la sphère céleste tourne autour de la Terre en un jour. Le Soleil se déplace d'environ 1° par jour sur l'écliptique, grand cercle incliné de 24° par rapport à l'équateur.

Solstices et équinoxes

En France métropolitaine, on peut définir le solstice d'été comme étant le jour où le Soleil monte le plus haut dans le ciel et où la journée est la plus longue. C'est aussi le jour où le Soleil se lève et se couche le plus au nord. Il existe d'ailleurs des alignements de mégalithes comme à Stonehenge qui permettaient d'observer la direction du lever ou du coucher du Soleil pour se repérer dans le cours des saisons. À l'inverse, au solstice d'hiver, la journée est la plus courte, le Soleil est au plus bas et les levers et couchers de Soleil sont le plus au sud.

L'étymologie du mot "équinoxe" indique que, ce jour-là, la durée de la nuit est égale à la durée de la journée. Cette définition pose problème car la réfraction atmosphérique permet de voir le Soleil alors qu'il est encore géométriquement sous l'horizon. De ce fait, la durée de la journée à l'équinoxe est toujours légèrement supérieure (d'environ 7 minutes) à la durée de la nuit. On peut définir l'équinoxe comme le jour où le Soleil se lève à l'est et se couche à l'ouest, ce qui est, là encore, approximatif.

En fait, solstices et équinoxes sont maintenant définis non pas au jour près mais à la seconde près grâce à la position du Soleil par rapport au plan de l'équateur.

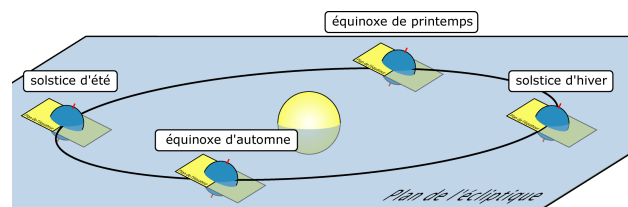


Fig. 8. Solstices et équinoxes. Le plan de l'équateur est en jaune et le plan de l'écliptique en bleu.

L'équinoxe est le moment où le centre du Soleil est dans le plan de l'équateur.

Au solstice d'été, le Soleil est le plus au nord du plan de l'équateur (sa déclinaison est maximale), au

solstice d'hiver, le Soleil est le plus au sud du plan de l'équateur (déclinaison minimale).

On trouve les instants des solstices et équinoxes sur le site de l'Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides (www.imcce.fr) en cliquant sur "Les saisons". Par exemple, le solstice d'été 2010 aura lieu le 21 juin 2010 à 11 h 29 min UT.

Les dates des solstices et équinoxes sont en moyenne pour les années à venir le 20 mars, le 21 juin, le 22 septembre et le 21 décembre.

Équinoxe de printemps	19 mars (4 fois)
	20 mars (46 fois)
Solstice d'été	20 juin (17 fois)
	21 juin (33 fois)
Équinoxe d'automne	22 septembre (32 fois)
	23 septembre (18 fois)
Solstice d'hiver	21 décembre (41 fois)
	22 décembre (9 fois)

Date des solstices et équinoxes de 2010 à 2059.

La distance du Soleil

Les saisons s'expliquent très bien avec une distance Terre Soleil fixe. Mais la Terre suit une orbite elliptique. Elle passe au plus près du Soleil (au périhélie) début janvier et au plus loin (à l'aphélie) début juillet. De ce fait, les saisons de l'hémisphère nord sont moins contrastées qu'elles ne le seraient avec une orbite circulaire puisque nous sommes au plus près du Soleil en hiver.

Compléments

Toutes les saisons n'ont pas la même durée. Comme la Terre va plus vite au périhélie, l'hiver est la saison la plus courte (89 jours) alors que l'été dure presque 94 jours.

Le sol reçoit le maximum de chaleur du Soleil le jour du solstice d'été. Et pourtant la saison chaude a lieu en juillet août. Il faut en effet à la terre un certain temps pour se réchauffer.

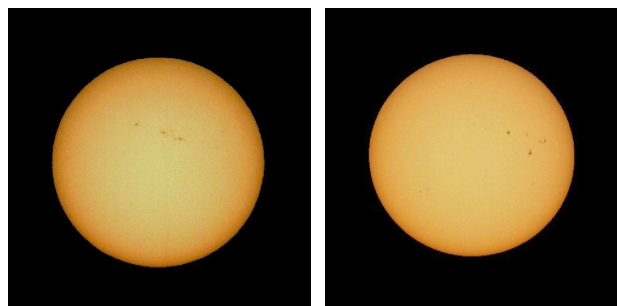
Ce sont les saisons dans l'hémisphère nord, aux alentours de 45° de latitude, qui ont été évoquées ici. Autour de l'équateur, la situation est totalement différente puisque la durée de la journée comme la quantité de chaleur reçue au sol varient peu. Dans l'hémisphère sud, les dates des saisons sont inversées : la saison froide est en juillet et la saison chaude en janvier.

Des outils pour parler des saisons

Des photos du Soleil

Quand on demande à des enfants pourquoi il fait plus chaud en été, on entend très souvent : "parce qu'on est plus près du Soleil". Plutôt que de dire "c'est faux", on peut leur demander de chercher comment savoir si un objet est proche ou lointain

sans en mesurer la distance. Ils trouvent en général assez vite qu'un objet proche apparaît plus gros qu'un objet lointain. On peut alors leur proposer ces photos et y mesurer l'image du Soleil. Nous ne sommes pas plus près du Soleil en juin...



13 janvier 2001

22 juin 2001

Fig. 9. Ces deux photos ont été réalisées avec le même télescope et développées de la même manière (4 photos sont disponibles sur le site du CLEA).

Une méridienne

Pour amener les élèves à observer les variations de hauteur du Soleil, on peut réaliser une méridienne constituée d'une planchette, d'un bâton vertical et d'une ligne nord sud.



Fig. 10. Méridienne horizontale réalisée sur une année par Didier Guigue, IUFM de Dijon.

On note régulièrement la longueur de l'ombre lorsque le Soleil passe au sud, situé à droite sur la photo. Une ombre courte signifie un Soleil haut, une ombre longue un soleil bas.

Un appareil à chocolat

Comment la hauteur du Soleil joue-t-elle sur la température au sol ? Plutôt qu'un long discours, cette petite expérience est très parlante.

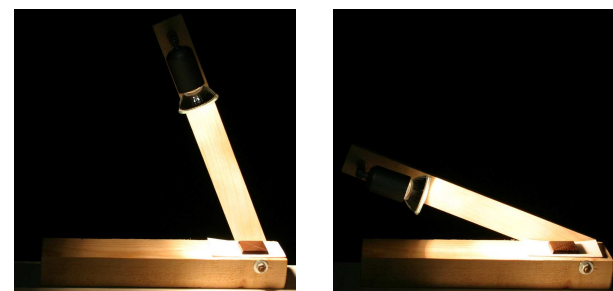


Fig. 11. L'expérience du chocolat. Les deux lampes sont situées à la même distance des deux carrés de chocolat mais inclinées différemment. Elles sont allumées en même temps. Après environ deux minutes, seul le chocolat situé sous la lampe "été" à gauche a fondu.

De nombreuses autres expériences sont possibles. Quelques-unes sont décrites dans les pages qui suivent. (voir aussi l'encadré p 16). ■

AVEC NOS ÉLÈVES

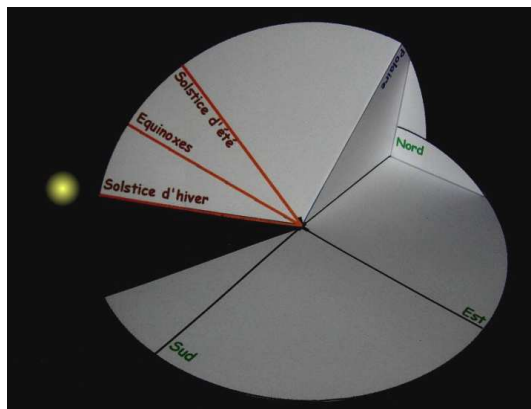
Deux maquettes pour visualiser les mouvements du Soleil.

Francis Berthomieu, Montfort sur Argens

Si tout le monde est prêt à affirmer que les mouvements du Soleil dans le ciel sont "apparents", puisqu'il ne fait aucun doute que "le Soleil est immobile et que c'est la Terre qui bouge", on entend tout aussi souvent dire que le Soleil se lève à l'Est et se couche à l'Ouest, ou qu'il passe au Zénith à midi... prouvant ainsi un certain manque d'esprit d'observation. Les deux maquettes que vous allez construire ont été conçues pour donner des modèles simples et en trois dimensions du mouvement diurne du Soleil tel qu'on peut l'observer selon l'époque de l'année. Elles devraient aussi fournir à chacun quelques pistes de réflexion...

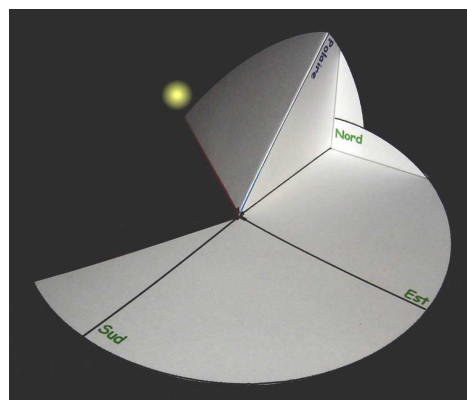
Maquette 1

Découpez, pliez, et collez la maquette que vous trouverez à la fin de cet article (ou sur le site du CLEA). Cette première maquette doit avoir alors l'aspect de la photo ci-dessous. L'observateur se situe au point central de la maquette. Le plan horizontal représente son horizon, avec les points cardinaux. Vers le Nord, un axe incliné est dirigé vers la Polaire : il fait avec le plan horizontal un angle égal à la latitude du point d'observation, 45° dans le cas de cette maquette, conçue pour la France métropolitaine, mais adaptable pour toute autre latitude...

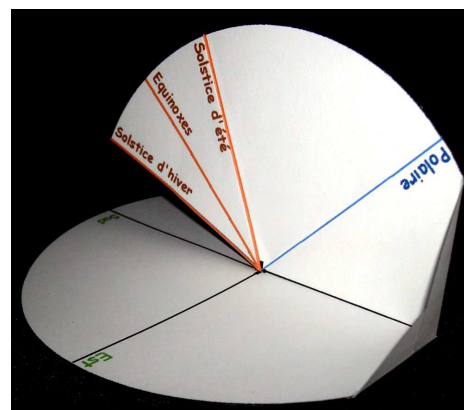


Cette droite sert d'axe de rotation à la pièce mobile de la maquette sur laquelle sont indiquées trois directions : elles pointent vers le Soleil aux instants caractéristiques que sont les solstices et équinoxes. En faisant tourner cette pièce autour de l'axe polaire, en allant de l'Est vers l'Ouest, on simule le mouvement diurne du Soleil. Sur la photo, on a disposé la maquette au solstice de décembre, lorsque le Soleil se couche : on pourra remarquer que ce n'est pas à l'Ouest, mais sensiblement plus au Sud...

Voici, après un simple pliage, la matérialisation de la direction du coucher de Soleil au solstice de juin : on y verra tout aussi clairement que le Soleil se couche presque au Nord-Ouest...



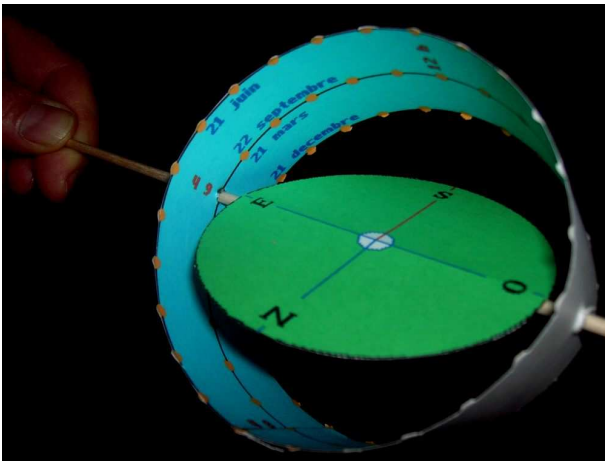
On peut également interroger la maquette sur la position du Soleil à midi, aux dates des solstices et des équinoxes : jamais de passage au zénith en France métropolitaine. La partie mobile de la maquette est alors verticale et matérialise le plan méridien et, dans ce plan, les directions dans lesquelles on trouve le Soleil à « midi solaire ».



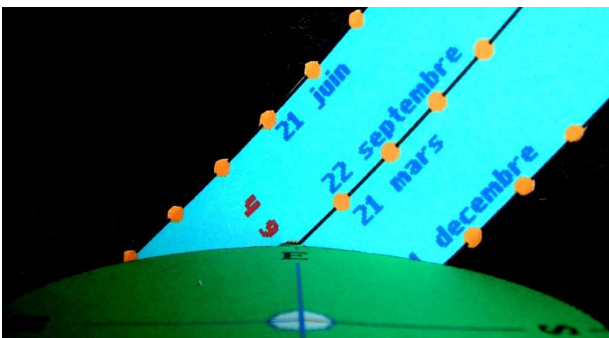
Maquette 2

Après découpage des deux éléments de cette deuxième maquette, on réalise d'abord un cylindre bleu ciel qui comporte 3 séries de 24 points jaunes : les positions successives du Soleil dans le ciel, heure par heure, aux dates des équinoxes et des solstices. Une pique à brochette doit traverser diamétralement ce cylindre, passant par les deux points noirs (6h et 18h). Le disque vert doit être positionné et collé sur la pique en mettant en coïncidence les points « **Est** » et « **6h** » d'une part, « **Ouest** » et « **18h** » d'autre part. L'observateur se situe au centre du disque vert, qui matérialise son horizon, avec les points cardinaux. Il faut enfin incliner l'axe du cylindre par rapport au plan vert supposé horizontal, d'un angle égal à la latitude du lieu d'observation.

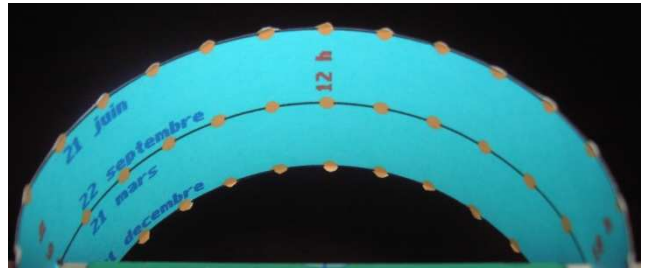
Sur la photo qui suit, l'inclinaison correspond à la latitude de nos régions.



Si l'on imagine que l'on est placé au centre du disque vert, voici la vue que l'on a en regardant vers l'Est : on visualise le déplacement du Soleil à son lever sur l'horizon au cours des saisons et l'on peut constater que l'astre du jour se lève beaucoup plus tôt en été qu'au printemps et plus tard en hiver.

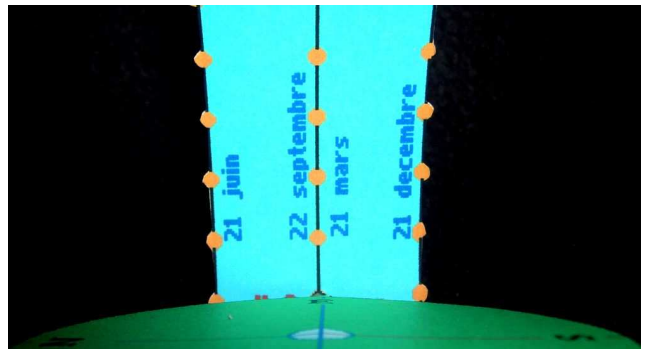


Si l'on regarde vers le Sud, voici ce que l'on verra :

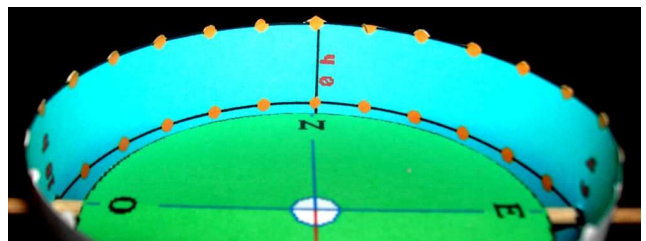


Déplaçons maintenant notre lieu d'observation : d'abord à l'équateur (latitude 0°).

Voici la vue de l'horizon Est :



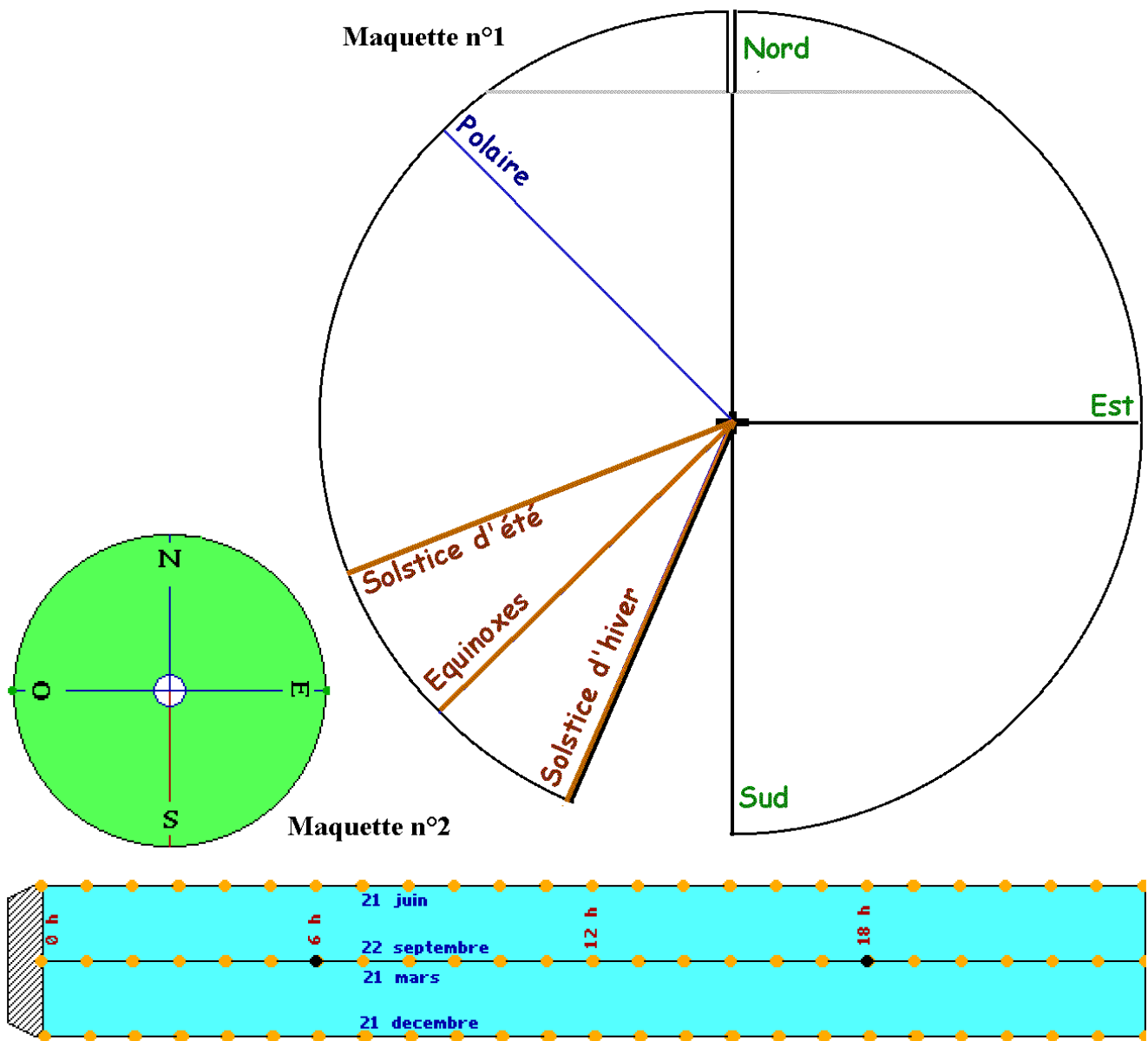
Si nous nous plaçons au pôle Nord (latitude 90°), en regardant vers le Nord, on peut assister au spectacle du « Soleil de Minuit » et voir que le Soleil restera en dessous de l'horizon pendant six longs mois !



Question : Les photos de cet assemblage ont été prises le 14 juillet 2002, entre 20h et minuit... Sauriez-vous situer approximativement la position géographique de ce lac ? (réponse p 16).



Gageons que vos élèves sauront poser une foule d'autres questions et que ces maquettes sauront leur apporter les réponses appropriées...



Le CLEA a déjà beaucoup parlé des saisons en particulier dans les Cahiers Clairaut, les hors-série et sur son site. On peut signaler :

- CC 03 Hipparque aujourd'hui (à propos d'année tropique de l'inégalité des saisons).
- CC 24-25-26 L'astronomie dans le calendrier des PTT (année tropique, excentricité, durée du jour).
- CC 56 Effet de l'angle d'incidence des rayons solaires sur le réchauffement du sol.
- CC 63 Un jardin astronomique (saisons et mouvement apparent du Soleil).
- CC 77 Pourquoi fait-il plus chaud en été qu'en hiver? (calcul de l'énergie reçue au sol en une journée).
- CC 81 Un globe spécial saisons (construction et utilisation).
- CC 93 Variations de la durée du jour et de température (une activité en CM).
- CC 96-97 L'obliquité de l'écliptique et sa mesure (calcul à partir de deux photos, solution dans le n° 97).
- CC 109 Comment mesurer la hauteur du Soleil ? (plusieurs méthodes exposées).
- CC 119 Comment représenter le mouvement apparent du Soleil.
- CC 119 Orbite de la Terre et durée des saisons (à partir de formules et de calculs).
- HS 1 "École élémentaire". Fiche Le jour, la nuit, les saisons.
- HS 4 "Astronomie en quatrième". Fiche mesure de la hauteur du Soleil.
- HS 9 "Maths et astronomie". Toute une fiche de calcul autour des saisons.

Sur Lunap (sur le site du CLEA), voir à révolution et à saisons.

(CC = Cahiers Clairaut ; HS = Hors série)

Il s'agit du lac d'Inari, en Laponie finlandaise... latitude : 69° Nord !

RÉFLEXION

Saisons et conceptions initiales

Jean-Luc Fouquet

Jean Luc Fouquet a mené plusieurs enquêtes sur les conceptions initiales des élèves en astronomie. Il nous livre ici le résultat de l'analyse de quelques milliers de réponses sur les saisons.

L'enquête proposée ici sur les saisons termine un grand travail d'analyse sur les conceptions initiales ayant pour thème l'astronomie. Les tests proposés, de l'école à l'université, consistent en des dessins, moins formels et moins abstraits que l'écrit, permettant un suivi des modèles suivant l'âge et laissant la possibilité d'une autocorrection en groupes. Le grand nombre de dessins recueillis depuis une quinzaine d'années permet de dégager quelques caractéristiques et des classements.

Sur le thème des saisons, plus de 3 000 dessins ont été analysés. Le sujet proposé était ainsi libellé : "Généralement, il fait plus chaud en été qu'en hiver : c'est le phénomène des saisons. À l'aide d'un crayon de papier et de crayons de couleur, sans écrire un mot, faire un dessin, ou plusieurs, qui explique(nt) ce phénomène." (durée maximale de l'épreuve : 30 minutes).

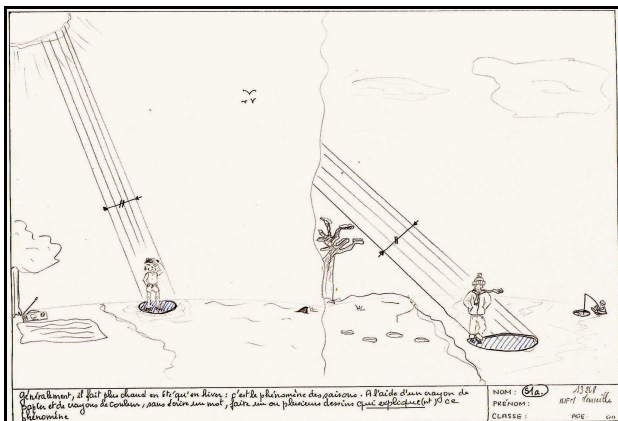


Fig. 1. Un bon modèle

Ce dessin est conforme aux représentations attendues, traduisant une notion de densité de lumière, avec inclinaison des rayons du Soleil par rapport au sol. Un autre procédé serait de montrer la durée de l'ensoleillement au cours de la journée, plus long l'été, avec un Soleil plus haut à midi. Des points de

vue locaux et géocentriques du phénomène seraient tout à fait satisfaisants.

Mais dans les livres de cours en géographie ou en sciences ou dans les ouvrages de vulgarisation scientifique, le schéma le plus souvent utilisé pour expliciter les saisons est une course de la Terre tournant autour du Soleil vue en perspective cavalière, avec notre planète représentée dans les positions particulières des solstices et des équinoxes.

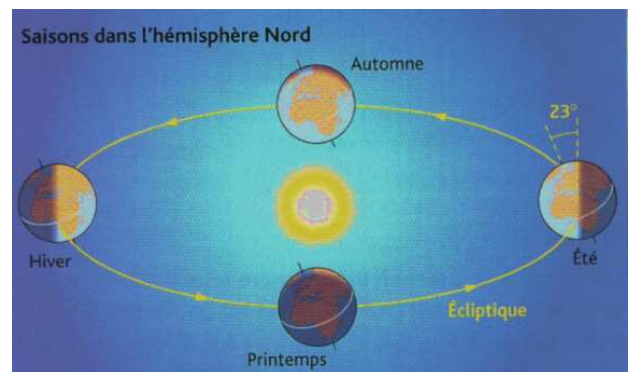


Fig. 2. Exemple de représentation ambiguë de la révolution de la Terre

Ce dessin semble trop souvent mal compris par bon nombre d'enfants ou d'adolescents. Au mieux, la perspective est bien perçue, mais la trajectoire est vue comme elliptique de façon exagérée (alors qu'elle pourrait pratiquement être un cercle à cette échelle), ce qui induit l'idée d'une distance Terre – Soleil plus petite en été. Au pire, la course de la Terre est supposée tracée dans le plan de la feuille, l'axe des pôles pointant vers le Soleil sur certains points de la trajectoire !

On retrouve l'explication des saisons par la variation de la distance de la Terre au Soleil dans de nombreux dessins (Fig. 3, 4 et 5).

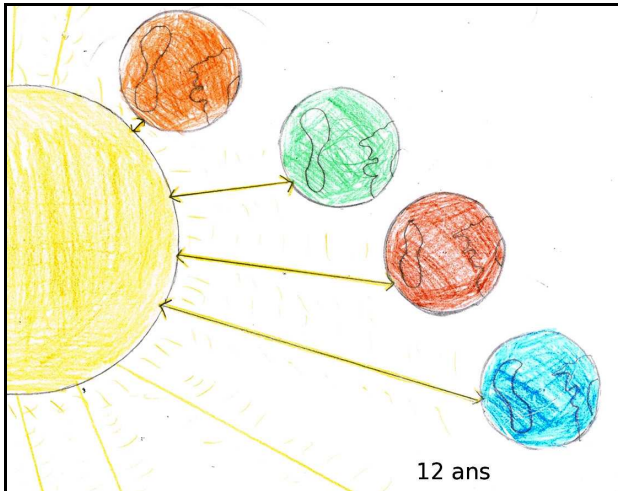
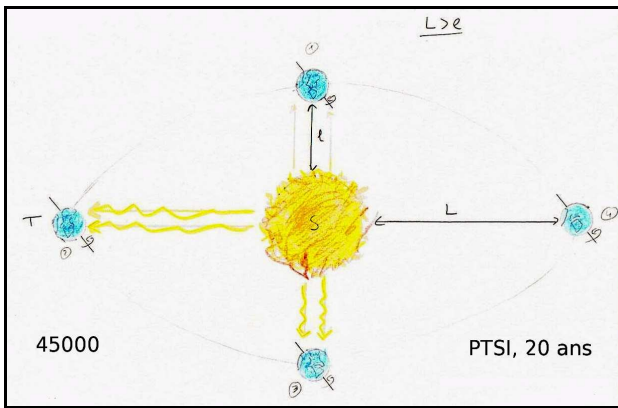


Fig. 3 et 4. Distance au Soleil plus courte en été

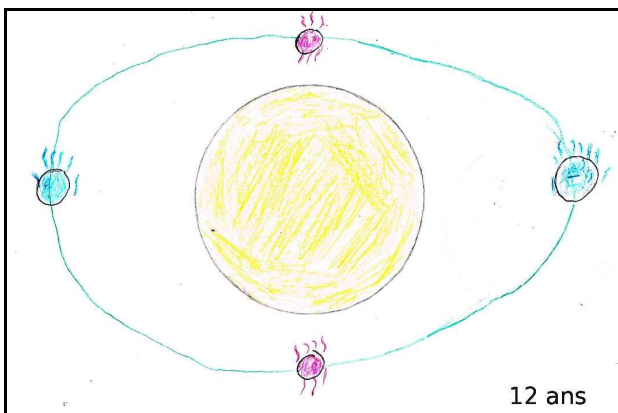


Fig. 5. On a représenté ici deux saisons chaudes en rouge et deux saisons froides en bleu.

D'autres modèles présentés semblent élaborés à partir de bribes d'informations recueillies lors d'une lecture ou d'un cours. Ils suggèrent bien des mouvements de rotation, mais de manière incomplète ou inverse.

La Terre occupe parfois la place centrale et le Soleil lui tourne autour. Quel que soit le sujet posé (jour et nuit ou saisons), plus souvent qu'on ne le croit, on découvre cette conception géocentrique des phénomènes dans les modèles proposés.

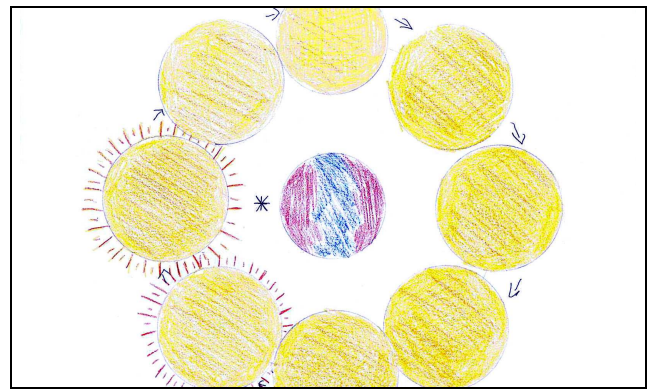


Fig. 6. Soleil à éclat variable effectuant une révolution autour de la Terre

Bon nombre d'épreuves présentent toutefois un modèle très éloigné de la réponse attendue. Ils répondent avec logique à la question posée, comme pour sauver les apparences dans le temps de l'exécution du dessin, mais sans référence à aucun schéma ni explication présentés à l'école ou au collège, introduisant d'étonnantes confusions entre jour et année, entre nuit et hiver, ou proposant pour explication des saisons froides un Soleil d'énergie variable ...

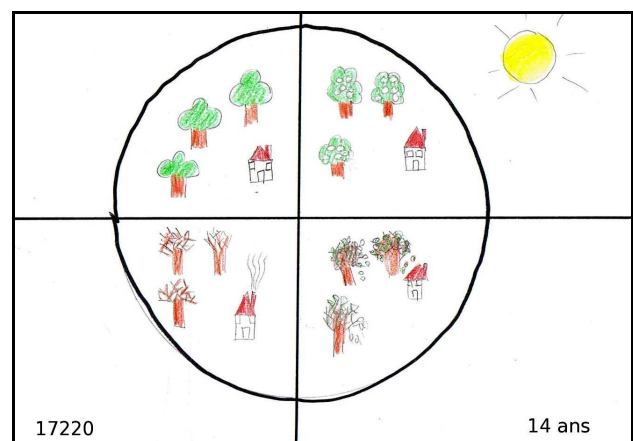
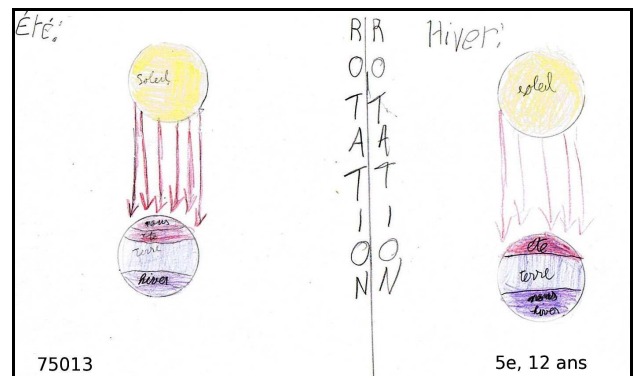


Fig. 7 et 8. Confusion entre jour et année

On peut aussi trouver le Soleil caché par des nuages en hiver (fig. 9) ou, plus étrange, une Lune qui amène le froid par son rayonnement (fig. 10).

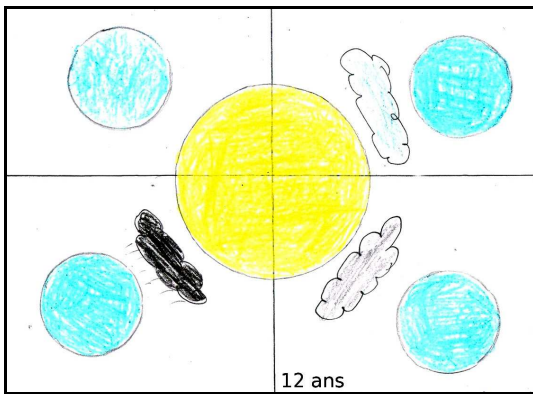


Fig. 9. Obstacle entre Terre et Soleil

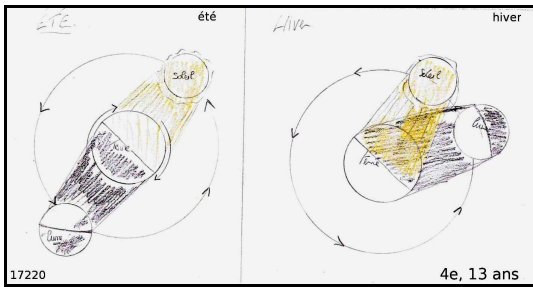


Fig. 10. Lumière noire et froide de la Lune

Enfin, une fois sur dix et quel que soit l'âge, le dessin n'est pas explicatif mais seulement descriptif. Les saisons sont alors symbolisées par des paysages où figurent Soleil ou nuages, arbres nus ou feuillus... Dans la plupart des cas, cela correspond à une méconnaissance de la réponse au sujet proposé.



Fig. 11. Paysage, Soleil caché en hiver

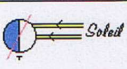

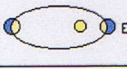
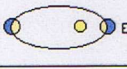
En guise de conclusion...

Pour les 600 premiers dessins analysés, les principales erreurs de conception ont été classées dans ce tableau, en partant du modèle le plus probable, vers les solutions les plus imprécises ou les plus éloignées des réponses attendues.



On y a ajouté les numéros des figures de cet article.

SAISONS


1. Rotation et révolution de la Terre

	CE2-CM1	CM2-6°	5°-4°	3°-2°	1°-TER M	Prépa SC	Licence-IUFM	Total
1.a  Fig.1		8	7	3	8	23	49	
1.b  Fig.2		2	3	4	21	9	21	60
1.c Trajectoire et axe dans le même plan  Fig.3		1	5	6	2	1	3	18
1.d  Fig.5		9	48	25	17	18	8	125
1.e Axes et plans non précisés			4	1			1	6



2. Un seul mouvement de la Terre

	CE2-CM1	CM2-6°	5°-4°	3°-2°	1°-TER M	Prépa SC	Licence-IUFM	Total
2.a Révolution sans rotation (hiver=nuit)	1		13	8	7		3	32
2.b Rotation sans révolution (hiver=nuit)  Fig.7  Fig.8		4	16	2	3	1		26


3. Terre immobile

	CE2-CM1	CM2-6°	5°-4°	3°-2°	1°-TER M	Prépa SC	Licence-IUFM	Total
3.a Le soleil tourne autour de la Terre	1	3	10	3	2			19
3.b Le soleil tourne et son éclat varie  Fig.6	1	5	14	1	2	1		24


4. Terre et soleil immobiles

	CE2-CM1	CM2-6°	5°-4°	3°-2°	1°-TER M	Prépa SC	Licence-IUFM	Total
4.a Obstacle entre la Terre et le soleil... (nuage, lune, zone noire)  Fig.9	2	7	1	1				11
4.b  Fig.10	5		12				4	21
4.c 2 paysages, soleil caché en hiver	13	6	33	13	2			67
4.d Un dessin pour chaque Saison	1	7	8	3	5			24

5. Mouvements non précisés

	CE2-CM1	CM2-6°	5°-4°	3°-2°	1°-TER M	Prépa SC	Licence-IUFM	Total
5.a Distance Terre-Soleil petite en été  Fig.4	5	9	28	10	6	2	1	61

6. Inclassables

	CE2-CM1	CM2-6°	5°-4°	3°-2°	1°-TER M	Prépa SC	Licence-IUFM	Total
6.a Hors-classement ou non explicite...  Fig.10	4	4	16	7	5		1	37
6.b Blanc	1	1	9		1			12

Total	34	58	228	91	76	40	65	592
-------------	----	----	-----	----	----	----	----	-----

AVEC NOS ÉLÈVES

Une étude des saisons à l'école primaire

Liliane Sarrazin Vilas, Talence

L'observation du temps qu'il fait et du temps passé est souvent abordée à l'école maternelle grâce à l'élaboration d'un calendrier météorologique. À partir du CP, différentes observations plus complexes peuvent démarrer pour aborder le problème des saisons.

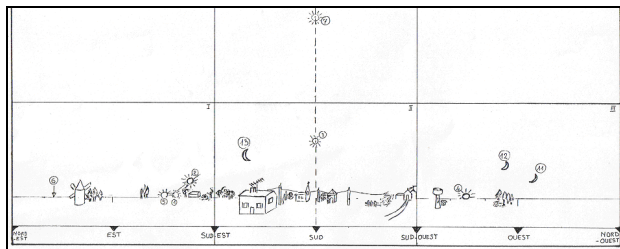
La trajectoire du Soleil au cours de l'année

Observation

Plusieurs méthodes sont possibles, on peut citer entre autres l'élaboration d'une frise et l'observation de l'ombre d'un bâton.

La frise

On observe la trajectoire du Soleil au cours de plusieurs journées dans l'année. Très rapidement se pose le problème du repérage du Soleil. On peut proposer de dessiner le paysage sur une grande frise. Les enfants indiquent la position du Soleil par rapport au paysage, à des heures très précises, une fois par mois pendant plusieurs mois.



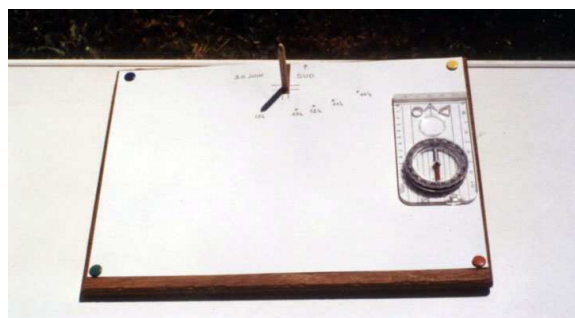
Exemple de frise comportant quelques observations du Soleil
(dessin JLF)

L'ombre d'un bâton

Au niveau du C.M. un repérage plus précis du Soleil grâce à l'ombre d'un bâton peut être réalisé.

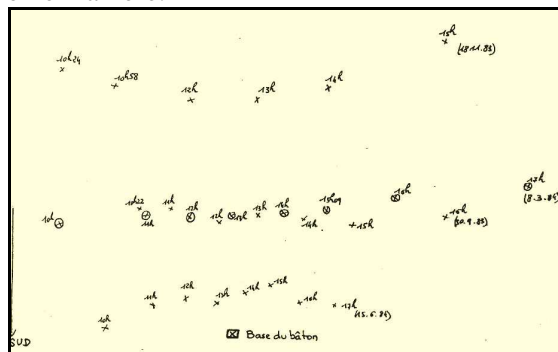
Matériel par groupe de 2 ou 3 élèves :

- Une planche en contreplaqué (25 cm × 30 cm)
- Un bâton vertical ou une vis
- Boussole
- Une feuille de papier fixée sur la planchette



Réalisation

On place la planchette horizontalement, on repère son orientation et on note toutes les heures l'emplacement de l'extrémité de l'ombre de la vis. Pour réaliser les autres relevés, les mois suivants, il faut veiller à ce que la planchette soit orientée de la même manière.



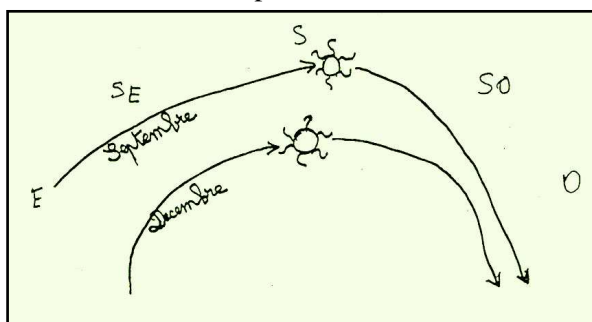
Exemple de relevé d'ombres

Simulations des mouvements du Soleil : le modèle géocentrique

L'exploitation des relevés d'ombre est très riche. Les élèves miment dans l'obscurité, avec une lampe de poche la course du Soleil dans le ciel tout en prenant soin que l'extrémité de l'ombre du bâton se retrouve chaque fois en face des repères tracés.

Ainsi les élèves réalisent que, pour une heure donnée, le Soleil est plus haut en été qu'en hiver et

qu'il n'est pas dans la même direction sauf à midi solaire où il indique toujours le Sud.
Leurs schémas complètent ces conclusions.



L'exploitation des observations et des schémas reflètent un point de vue géocentrique : le Soleil tourne autour de la Terre qui est le centre de l'univers.

Souvenirs

Certains enseignants étaient choqués lorsque j'insistais beaucoup sur ces étapes d'apprentissage me disant que ce modèle était faux et que cette méthode ne pouvait que confirmer la conception géocentrique qu'il valait mieux gommer.

Les discussions étaient vives... Qu'en pensez-vous ?

Continuons les observations afin d'élaborer notre représentation des saisons.

Le mouvement des étoiles au cours de l'année

Observations

Plusieurs observations sont indispensables.

Il est vrai qu'il est difficile matériellement de faire revenir les élèves en début de soirée mais le résultat provoque de grandes joies !

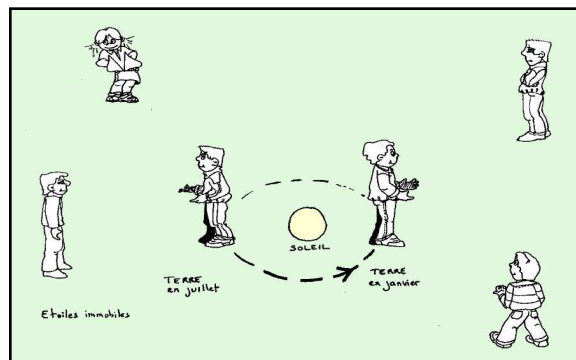
La première observation permet de localiser, par rapport au paysage, l'étoile Polaire, 2 ou 3 constellations circumpolaires et quelques constellations ou étoiles caractéristiques ("Les 3 belles de l'été" par exemple).

Lors de la 2e observation, quelques mois plus tard, on se place au même endroit et c'est là que l'enseignant s'amuse.

En effet, les élèves sont persuadés de retrouver le même ciel. Les remarques surprises fusent de toute part : "On ne retrouve pas les 3 belles de l'été !".

(Ce "choc pédagogique" m'a toujours extrêmement amusé et j'ai souvent induit des situations pour le créer. Qui dit "choc", dit aussi "remise en question brutale des représentations de modèle intellectuel" et cela est très bénéfique pour assimiler des notions plus élaborées).

Bref, cette 2e observation permet d'affirmer que, par rapport au paysage, toutes les étoiles ont tourné dans le même sens autour de l'étoile Polaire qui est restée fixe. Une 3e observation conforte les enfants dans cette représentation.



Modélisation de ces représentations

Le passage vers le modèle héliocentrique

Une discussion, un échange de points de vue s'imposent : "on sait que ce n'est pas le Soleil qui tourne autour de nous". On peut leur proposer de faire une ronde.

La ronde

On place le Soleil au centre (Un ballon par exemple), un enfant "Terre" tourne autour de lui.

Disposons sur un cercle plus grand que la trajectoire de la "Terre" une ronde immobile qui représente les étoiles. L'enfant "Terre" se rend compte qu'il ne voit pas les mêmes enfants "étoiles" lorsqu'il fait un tour autour du Soleil.

Cette ronde plaît beaucoup aux enfants qui comprennent enfin pourquoi on ne voit pas le même ciel étoilé en été et en automne.

On perfectionne le modèle avec la "ronde du globe".

Avec le globe

(Matériel : le globe, une forte lampe)

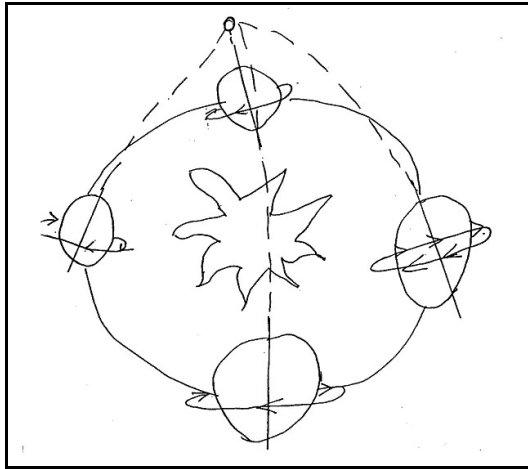
Pour représenter le mouvement de la Terre autour du Soleil, un élève tourne le globe autour de la lampe.

On a rappelé les notions de géographie utiles telles que : il fait toujours jour en été au pôle nord et la journée est plus longue en été sous notre latitude nord.

Un enfant place le globe en position "été". Le globe a alors son axe nord dirigé en biais vers le Soleil. On lui demande ensuite de se déplacer d'un quart de tour autour de la lampe et de placer le globe en position "automne". On rappelle alors que les journées ont la même longueur que les nuits en tout point de la Terre. En général, l'enfant qui tient le globe redresse l'axe et le place verticalement.

On lui demande alors de placer le globe en position "hiver" après avoir effectué un quart de tour. En général, l'enfant change la direction du globe et incline à nouveau son axe en biais. Lorsqu'on a effectué un tour, tout le monde est très satisfait.

On fait un beau schéma pour immortaliser tout ça

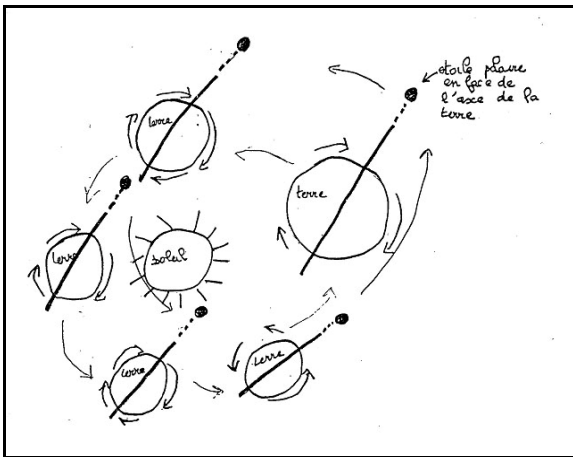


Et, deuxième choc, "où est l'étoile Polaire dans tout ça ?"

On l'avait oubliée !

À la recherche de l'étoile Polaire

Rappelons les observations, les interprétations précédentes l'axe de la Terre est toujours dirigé vers l'étoile Polaire : il doit donc rester parallèle à lui-même.

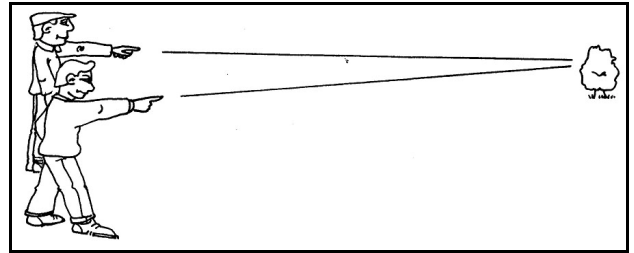


On reprend le globe et on le déplace correctement. "Ouf !" On est content, on va juste leur demander un petit schéma et on "ferme la boutique".

Patatras ! Certes l'étoile polaire reste dans le prolongement de l'axe de la Terre mais elle suit la Terre dans son mouvement autour du Soleil ! (Franchement c'est pas pour dire, la Terre est quand même le centre de quelque chose, une étoile la suit...). On n'y avait pas pensé mais c'est évident : les élèves n'ont pas la notion des grandes distances entre la Terre et les étoiles.

La fixité de l'étoile polaire.

On peut proposer aux élèves le jeu suivant :



Deux enfants côte à côte, distants de 1 mètre montrent avec un bras un objet situé à 2 mètres ; tout le monde constate que le prolongement leur bras respectif rejoint l'objet. On leur demande de montrer un objet lointain (à plus de 10 mètres) : on voit alors leurs bras devenir parallèles.

Il faut maintenant faire comprendre que l'axe de la Terre reste parallèle à lui-même au cours de sa révolution autour du Soleil tout en restant en direction de l'étoile Polaire qui est très éloignée du système Terre - Soleil.

Conclusion

On peut maintenant s'amuser, afin que ces modèles géocentrique et héliocentrique soient bien intégrés, à décrire les trajectoires des étoiles et du Soleil au pôle nord, à l'équateur, dans l'hémisphère sud... Cette série de séquences m'a toujours passionnée, quel que soit l'âge des participants, j'espère qu'il en est de même pour vous. N'hésitez pas à faire part de vos points de vue et remarques. ■

Remue méninges : les saisons, source d'erreurs

Parmi ces phrases relatives aux saisons, une seule est juste. Laquelle ?

1. Il y a des saisons parce que l'axe de la Terre n'est pas vertical.
2. La Terre tourne autour du Soleil dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.
3. L'été est la saison où les journées sont les plus longues.
4. Le jour de l'équinoxe, la journée et la nuit durent chacune 12 heures.
5. La Lune influe sur le moment de l'équinoxe.

Réponse page 40

RÉALISATION

Une recette pour comprendre les saisons

Georges Paturel, Observatoire de Lyon

Une erreur fréquente est de croire qu'il fait plus chaud l'été parce que la Terre serait plus près du Soleil. Nous verrons que cette croyance est doublement fausse. Pour s'en convaincre et convaincre les élèves, nous donnons la description d'une petite réalisation très simple, qui permet de comprendre les saisons et bien d'autres choses encore, pour quelques euros seulement.

Les ingrédients

On trouve le matériel dans les grands magasins au rayonnage des loisirs créatifs. Les trois pièces les plus importantes sont : la sphère en plastique transparent, la petite sphère en polystyrène et la boîte en carton. Je vous conseille de trouver la boîte et ensuite d'acheter une sphère ayant pour rayon environ la hauteur de la boîte. Le reste est du petit matériel qu'on peut trouver facilement chez soi.



Le matériel nécessaire : Une sphère transparente, un morceau de tige filetée avec écrous et rondelles, une petite tôle d'aluminium, deux cales en bois, de la feutrine, une petite boule en polystyrène, une boîte en carton.

Préparation

On commence par découper un disque sur le dessus de la boîte en carton. Le diamètre du disque sera celui de la sphère transparente. C'est très facile, on trace le cercle avec l'une des demi sphères, puis on découpe avec l'aide d'un cutter bien affûté. Attention les doigts !

Ensuite on dessine à main levée les continents sur la petite sphère en polystyrène. Ce n'est pas le plus facile, mais il n'est pas besoin d'une grande précision. Il suffit de reconnaître les continents.

Marquez la position de Kourou en Guyane française. Vous verrez pourquoi au chapitre de l'utilisation.



On trace...



On découpe...



On dessine les continents...

Il s'agit maintenant de percer un trou au pôle nord de la sphère céleste et de tracer l'écliptique. Pour que le trou soit correctement centré on dessine un cercle, de même diamètre que celui de la sphère, sur une plaque, on règle la perceuse à colonne pour qu'elle pointe bien vers le centre du cercle, et on insère la demi sphère pour un perçage parfait. Si on est habile, on peut aussi le faire à main levée.

Le tracé de l'écliptique est plus délicat. On utilise le disque de chute de la découpe de la boîte en carton, et on le positionne pour servir de guide au tracé. Attention, il faut que le disque coupe l'équateur en deux points diamétralement opposés. Vous avez intérêt à marquer ces points sur les deux demi sphères. L'angle entre l'équateur et ce plan devra être environ 23 degrés (angle entre le plan de l'équateur et le plan de l'écliptique).



Le tracé de l'écliptique...

Commencez par un trait léger. Quand les deux demi sphères sont terminées et que le plan est satisfaisant, repassez sur votre trait en épaississant le tracé. Notez qu'en cas d'erreur vous pouvez effacer avec un tampon imbibé d'alcool.



On peut corriger avec de l'alcool. Pour un tracé par l'extérieur, on peut aussi utiliser un élastique matérialisant la position de l'écliptique.



On coupe l'anse de suspension de la sphère, pour qu'elle ne gêne pas la rotation....

Il nous reste à découper une bande d'aluminium (ou de tôle mince, voire même de carton fort) d'environ 20 cm de longueur pour 4 cm de largeur. On y perce des trous régulièrement espacés (2 cm). Enfin on colle la Terre en polystyrène sur son axe après avoir percé un avant trou d'un centimètre de profondeur. Le collage se fait à la colle thermo fusible (quand on est pressé).



On prépare la Terre...

Le service final

On colle les cales en bois, l'une au fond (pour que la hauteur effective de la boîte soit égale au rayon de la sphère), à la verticale du centre de la découpe circulaire. Pour le confort on y colle une petite pièce de feutrine verte, du plus bel effet ! L'autre sera collée sur le côté au nord, cette dernière cale servira à visser le ruban métallique à travers le carton.



On colle les cales... admirez la feutrine verte !



On visse la bande d'aluminium sur la cale.



On fixe l'axe de la Terre sur la sphère céleste en intercalant des rondelles et en immobilisant les écrous par une goutte de colle (cyanoacrylate par exemple).

Enfin on monte le tout dans la boîte et on inscrit au feutre les quatre points cardinaux.



On monte le tout dans la boîte...



On termine en collant sur l'écliptique une gomme, qui sera le Soleil, et on sert chaud !

Un plat réchauffé

Parler des saisons peut paraître dépassé. Faut-il encore revenir sur le sujet ? Une anecdote récente montre qu'il n'est pas inutile d'y revenir. Une jeune collègue présentait la sphère céleste, grand modèle, à des journalistes. Elle leur dit qu'elle pouvait leur expliquer les saisons, mais l'un d'eux affirma en souriant, que ce ne serait pas la peine, car ils savaient bien que la trajectoire de la Terre était une ellipse et que parfois la Terre était plus près du Soleil. Stupeur, quand le quidam apprit que c'était en hiver que la Terre était la plus proche du Soleil, et que, par conséquent, son explication était fautive.

Comment procéder pour utiliser notre petite sphère céleste ? La première chose à faire découvrir aux enfants, me semble-t-il, est le sens de rotation de la Terre. En identifiant les continents, comment doit tourner la Terre pour que le Soleil se lève du côté de l'est ? Autre question subsidiaire. Pourquoi les français lancent-ils leurs fusées depuis la Guyane ? Trois raisons doivent être invoquées : 1) la fusée doit partir au-dessus d'une mer pour qu'elle ne tombe pas sur des habitations en cas de panne. 2) Elle doit partir dans le sens de rotation de la Terre pour bénéficier d'une vitesse initiale gratuite (celle de la Terre en rotation). 3) Elle doit partir d'un point le plus proche possible de l'équateur pour bénéficier d'une vitesse plus grande.

Vous voyez, rien qu'avec la petite sphère centrale, on a déjà beaucoup à dire. Passons à la sphère céleste. Première question : Dans quel sens doit-on faire tourner la sphère céleste ?

Avec notre petit bricolage on fait tourner la Terre (elle peut tourner indépendamment de la sphère). Mais comme nous, observateurs liés à la Terre, nous ne sentons pas notre rotation, nous voyons tourner le ciel en sens contraire. La sphère tourne d'est en ouest, via le sud.



Levers de Soleil : à gauche l'hiver, à droite, l'été...



Points culminants du Soleil : à gauche l'hiver, à droite, l'été...

Ensuite, sachant que, en une année, la Terre tourne autour du Soleil en restant dans le plan de l'écliptique et que cette rotation se fait dans le sens contraire des aiguilles d'une montre (le nord étant au-dessus), comment va-t-on percevoir ce mouvement depuis la Terre ? On comprendra que le Soleil semble se déplacer aussi sur l'écliptique, en tournant, lui aussi, dans le sens contraire des aiguilles d'une montre, l'orientation étant la même. Le Soleil se lève-t-il toujours à l'est et se couche-t-il toujours à l'ouest ? La réponse est non. Il suffit de placer le Soleil à différentes positions sur l'écliptique pour constater que le Soleil se lève au nord-est et se couche au nord-ouest en été (et réciproquement, sud-est et sud-ouest en hiver). On constate qu'en hiver le Soleil reste peu de temps dans le ciel et qu'il ne monte pas très haut dans le ciel. Il chauffe donc peu, pour ces deux raisons. En été, c'est le contraire...

On peut se placer près de l'équateur. Le Soleil se couche en descendant bien verticalement sur l'horizon. La nuit tombe vite. Près des pôles en revanche la nuit tombe tout doucement, voire pas du tout certains mois, le Soleil ne faisant que raser l'horizon. À vous de jouer. ■

Les saisons au cours du temps et sur les autres planètes

Jean Souchay, astronome à l'Observatoire de Paris, département du SYRTE*
 (* SYstème de Référence Temps-Espace)

La Terre n'a pas toujours connu les mêmes saisons qu'à l'heure actuelle à cause des modifications de son orbite et de la variation de son obliquité. Et sur les autres planètes, le phénomène des saisons n'existe pas toujours.

Paramètres orbitaux de la Terre

Comme pour toutes les autres planètes, le mouvement de la Terre autour du Soleil est assimilable à tout moment à une trajectoire elliptique décrite par les fameuses trois lois de Kepler : mouvement elliptique, loi des aires, proportionnalité entre le cube des demi grands axes et le carré des temps de révolution. Néanmoins, à cause des perturbations occasionnées par les autres planètes (en particulier les plus grosses Jupiter et Saturne), les caractéristiques de l'ellipse terrestre sont amenées à changer de manière significative. Ainsi en va-t-il par exemple de l'excentricité de cette ellipse, qui donne directement les variations de distance de la Terre au Soleil pendant l'année (fig.1).

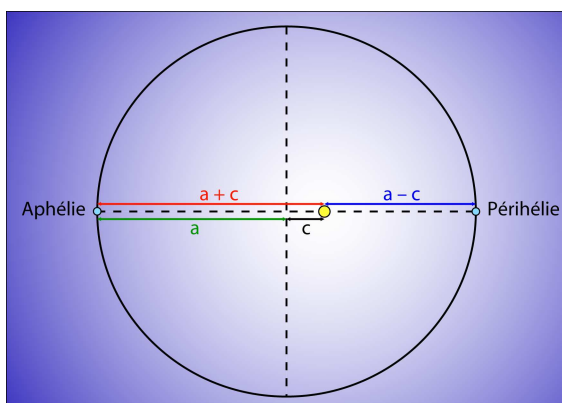


Fig.1. Excentricité d'une orbite planétaire. Le demi grand axe de l'ellipse est noté a et la distance du centre de l'ellipse au Soleil est c . L'excentricité de l'orbite est la quantité c/a . La distance du Soleil à la planète varie de $a - c$ au périhélie à $a + c$ à l'aphélie. La figure est faite pour une excentricité de 0,2 nettement supérieure à l'excentricité de l'orbite terrestre et même à celle de Mars.

Actuellement, l'excentricité de l'orbite terrestre est de 0,0167 : cela signifie que les variations de cette

distance sont de $1,67\% \times 2$ soit $3,34\%$ entre le périhélie (instant où la Terre est la plus proche du Soleil, au début de janvier) et l'aphélie (instant où la Terre est la plus éloignée du Soleil, au début de juillet). Comme le flux solaire est inversement proportionnel au carré de la distance, cela signifie que le flux reçu par la Terre au cours de l'année varie d'environ 7% ($1,0334^2 = 1,068$), ce qui est loin d'être négligeable. Or au moment du périhélie, on est actuellement en plein hiver dans l'hémisphère nord, en plein été dans l'hémisphère sud, et réciproquement au moment de l'aphélie. D'où un contraste a priori plus grand des saisons dans l'hémisphère sud que dans le nord. En fait, des calculs plus poussés montrent que cet effet est en partie contrebalancé par les durées des saisons elles-mêmes. On comprend cependant bien pourquoi l'excentricité peut jouer un rôle important sur l'accentuation plus ou moins grande des effets saisonniers entre les deux hémisphères. Or dans son histoire la Terre a connu de larges variations de son excentricité. Grâce à des calculs appropriés et précis s'étalant sur des millions d'années, les astronomes ont pu montrer que l'excentricité terrestre subit des oscillations entre les valeurs extrêmes de 0 et 0,07, ces oscillations ayant une période caractéristique de l'ordre de 100 000 ans.

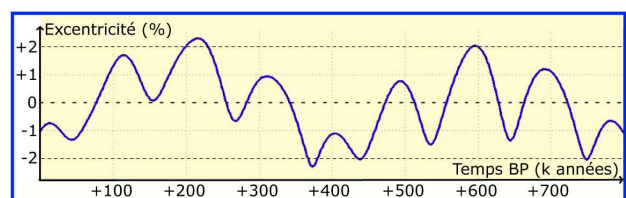


Fig.2. Variations de l'excentricité de l'orbite terrestre. Le temps est noté en kiloannées à partir d'aujourd'hui (Before Present). Le 0 correspond à une excentricité moyenne de 2,7% calculée sur les 800 derniers milliers d'années (schéma Florence Trouillet/INRP).

Un autre paramètre orbital joue lui aussi un rôle sur les variations saisonnières. Il s'agit de la *longitude du périhélie*, autrement dit de l'angle qui permet de localiser le périhélie sur l'orbite et qui en conséquence permet de donner la date de ce périhélie. Or cette date évolue dans le temps. Si elle est du 5 janvier actuellement, elle évoluera progressivement sur une grande échelle de temps, et viendra un jour où elle se situera l'été, transformant ainsi quelque peu les déséquilibres saisonniers entre hémisphères.

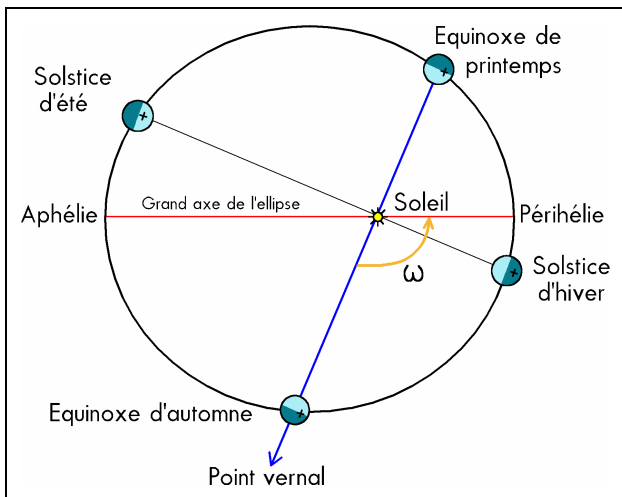


Fig.3. Longitude écliptique du périhélie. L'angle ω passe de 0 à 360° sur une période d'environ 21 500 ans. Il s'agit de la précession climatique, due au déplacement du point vernal d'une part (précession des équinoxes avec une période de 25 800 ans) et au déplacement du périhélie d'autre part.

Variation de l'obliquité

Le paramètre le plus important qui vient à l'esprit lorsqu'on évoque les saisons est évidemment l'*obliquité*, autrement dit l'angle entre l'axe de rotation et l'axe orbital (voir figure page 14). Plus cet angle est grand plus les saisons sont contrastées (plus grandes variations de la durée du jour, de l'insolation... au cours de l'année). Inversement une obliquité de 0° correspondrait à une situation permanente d'équinoxe tout au long de l'année, autrement dit d'égalité des jours et des nuits, donc un contraste saisonnier quasi nul. On peut aussi montrer qu'une obliquité relativement faible provoque les conditions pour entraîner des glaciations, d'où l'effet important sur le climat. Or l'obliquité elle aussi n'est pas destinée à rester figée : elle subit des variations dues aux effets gravitationnels combinés des planètes, de la Lune et du Soleil sur le bourrelet équatorial de la Terre. Des calculs effectués par les astronomes montrent que l'obliquité terrestre varie entre les valeurs extrêmes de 22,1° et 24,5° sur une période de 42 000 ans et qu'actuellement elle est en train de décroître.

Si à l'échelle d'une vie humaine ces variations n'agis-

sent ni sur les modifications caractéristiques des saisons ni sur les modifications climatiques (et on ne peut par conséquent pas leur attribuer le réchauffement climatique actuel), on comprend bien qu'à l'échelle de plusieurs siècles elles commencent à jouer un rôle.

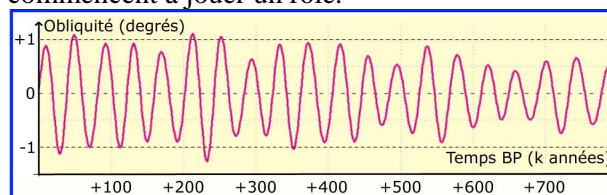


Fig.4. Variations de l'obliquité de la Terre sur les 800 derniers milliers d'années. Le 0 correspond à la valeur moyenne de 23,34° (schéma Florence Trouillet/INRP).

À noter cependant que les variations ci-dessus qui ne dépassent pas 2,5° "pic à pic" sont largement inférieures à celles de Mars, dont l'obliquité varie entre 15° et 35° selon un cycle de l'ordre de 100 000 ans. Certains spécialistes attribuent la relative constance de la valeur de l'obliquité terrestre à l'action stabilisatrice de la Lune. Par sa présence au voisinage de la Terre et sa force gravitationnelle importante, elle empêcherait une trop grande dérive de l'axe de rotation vers des valeurs d'obliquité trop faibles ou élevées.

Les saisons ailleurs

Comme on vient de le voir, les saisons sur la Terre sont essentiellement dues à son obliquité, de l'ordre de 23°, ainsi que pour une raison moindre à son excentricité, directement associée aux variations relatives de distance au Soleil. A juste titre on peut donc se poser la question de l'existence et du contraste des saisons sur les autres planètes. Tout d'abord en ce qui concerne les trois autres planètes telluriques que la nôtre, Mercure, Vénus, Mars, seule cette dernière est caractérisée par des saisons suffisamment marquées.


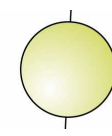
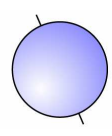
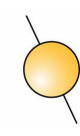
	Mercure	Vénus	Terre	Mars
				
Obliquité	0°	-2,7° ou 177,3°	23,4°	25,2°
Excentricité	0,206	0,007	0,017	0,093

Fig. 5. Obliquité et excentricité des planètes telluriques

En effet *Mercury* a une obliquité quasiment nulle, ce qui signifie qu'elle se trouve en situation d'équinoxe en permanence (égalité des jours et des nuits). Seule sa grande excentricité (0,206) agit, entraînant il est vrai de grandes variations de chauffage solaire. *Vénus* possède une obliquité très

faible, inférieure à 3° , et son orbite est presque circulaire. De plus son atmosphère très dense (la pression au sol est 100 fois supérieure à celle sur Terre), joue comme un régulateur très puissant entre la partie jour et la partie nuit, de telle sorte qu'au bout du compte les variations saisonnières sont pratiquement inexistantes. Mars par contre présente une obliquité de 25° , soit légèrement supérieure à celle de la Terre, et son excentricité est de 0,09, ce qui signifie que sa distance au Soleil peut varier de 18 % entre le périhélie et l'aphélie. En conséquence les saisons sont bien marquées. Notons que leur durée est à peu de choses près de six mois, puisque l'année martienne dure un peu moins de deux ans (687 jours).

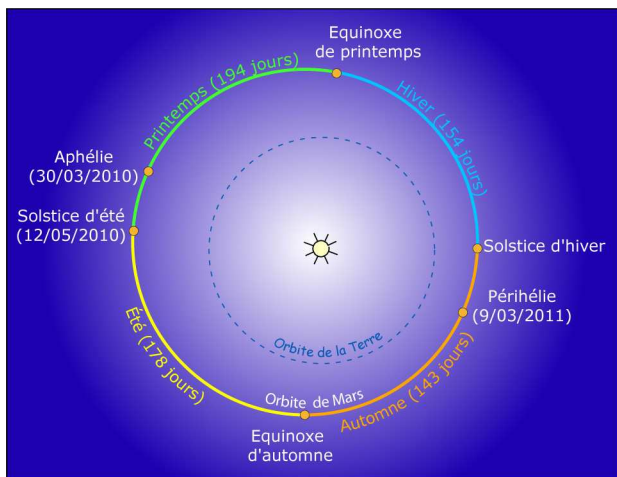


Fig.5. Les saisons sur Mars. Elles sont données ici pour l'hémisphère nord.

Des phénomènes saisonniers apparaissent comme des signes manifestes, à l'image des variations de l'étendue des calottes glaciaires ou les périodes de grandes tempêtes martiennes liées aux mouvements saisonniers des masses atmosphériques.



Fig.7. La calotte polaire nord de Mars à différentes saisons photographiée par le télescope spatial Hubble.

[Copyright : Phil James (Univ. Toledo), Todd Clancy (Space Science Inst., Boulder, CO), Steve Lee (Univ. Colorado), et la NASA]

Chaque image est un montage réalisé à partir de plusieurs photos puisque, depuis la Terre, on ne peut pas voir ainsi la calotte polaire nord. Il n'y a pas d'image faite pendant l'hiver puisque, à ce moment là, elle est dans la nuit totale. La première photo (octobre 1996) correspond au début du printemps. Une partie de l'image devrait être dans la nuit mais le montage permet d'avoir toute la calotte éclairée. Sur la deuxième photo (janvier 1997), c'est le milieu du printemps martien et sur la troisième (mars 1997), le début de l'été.

La notion de saison sur les grosses planètes Jupiter, Saturne et Neptune, si elle est encore valable, doit être relativisée même si leur obliquité ne peut être négligée (respectivement 3° , 27° et 29°).

	Obliquité	Excentricité
Jupiter	$3,1^\circ$	0,048
Saturne	$26,7^\circ$	0,056
Uranus	$-82,1^\circ$ (ou $97,9^\circ$)	0,047
Neptune	$29,6^\circ$	0,009

Fig. 8. Obliquité et excentricité des planètes géantes

En effet à cause de leur éloignement au Soleil (entre 750 millions de km pour Jupiter et 4 milliards 500 millions de km pour Neptune soit respectivement 5 fois et 30 fois la distance de la Terre au Soleil) la température y est toujours très basse (de l'ordre de -150°C voire -200°C) et peu variable. La grosse planète gazeuse Uranus constitue un cas de figure à part. En effet, son axe de rotation est pratiquement couché sur le plan de son orbite : autrement dit son obliquité est voisine de 90° , 98° exactement (comme cette valeur dépasse 90° cela signifie que la rotation de la planète sur elle-même est rétrograde, soit inverse du sens de rotation de la Terre). Il en résulte que les points de la planète situés au voisinage des pôles sont exposés vers le Soleil pendant à peu près une demi révolution, soit un peu plus de 40 ans, et se trouvent côté nuit pendant l'autre demi révolution ! Les variations d'insolation saisonnières sont ainsi pour Uranus entièrement rattachées à la notion de jour et de nuit.

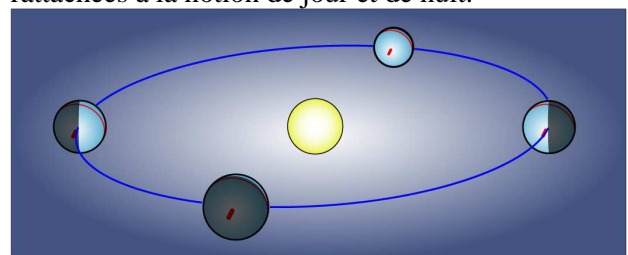


Fig. 7. Révolution d'Uranus. Un de ses pôles et son équateur sont représentés en rouge.

LA VIE ASSOCIATIVE

Chers adhérents du CLEA, chers amis,

Notre association fête cette année ses trente-quatre ans. Solide sur ses bases, elle a grossi et embelli grâce à l'enthousiasme de chacun à promouvoir toujours l'enseignement de l'Astronomie, de la maternelle à l'Université. L'action du CLEA s'est appuyée sur la production de documents pédagogiques, sur une école d'été pour la formation continue de nos collègues et sur le travail de fond de chacun au sein de son académie. Leur qualité est unanimement reconnue.

Le paysage de la formation continue a beaucoup évolué depuis avec la naissance d'autres initiatives à caractère institutionnel le plus souvent. L'assistance professionnelle a pris son essor avec la Toile et l'apparition de ressources en ligne. La formation continue en astronomie accessible par le PAF a dû laisser plus de place à d'autres nécessités de formation, faute de moyens suffisants affectés à la formation continue des enseignants. La place de l'enseignement de l'astronomie, comme une science et comme une culture, n'est pas acquise même s'il reste présent dans les programmes. Dans ce contexte changeant, le CLEA a choisi de soutenir les enseignants dans leur formation continue en astronomie en perpétuant l'École d'Été malgré le manque de soutien institutionnel, en tâchant de minimiser les frais pour les stagiaires. Il a saisi l'opportunité des technologies numériques pour numériser son fonds de documents pédagogiques et la bibliothèque que constituent les Cahiers Clairaut. Malgré tout, le CLEA a perdu en visibilité auprès des enseignants, a perdu l'habitude de publier régulièrement des documents pédagogiques. Enfin, plus que trentenaires, les membres fondateurs attendent la relève !

Le CLEA doit très vite retrouver une activité de production pédagogique intense pour répondre à la demande pressante des enseignants, pour les assister dans la mise en place des nouveaux programmes, tels ceux de la seconde ou de l'école primaire. Il doit s'attacher à toucher les enseignants de toutes les disciplines en rapport à l'astronomie, et à se rendre visible et accessible

sur tout le territoire. Ses adhérents doivent pouvoir assurer plus facilement maintenant, grâce aux nouveaux outils collaboratifs, ses activités de production, de formation et d'échanges tout au long de l'année. À cette fin, j'ai proposé lors de la dernière Assemblée Générale à Paris d'organiser nos actions autour de cinq groupes de travail :

- Le groupe "Vie associative", essentiellement composée des correspondants académiques du CLEA. Jean-Michel Vienney en sera le pilote. En son sein seront partagées toutes les expériences académiques, les idées pour une meilleure visibilité du CLEA dans les académies. Le rôle du correspondant académique sera clarifié à la lumière des expériences passées avec l'espoir d'y intéresser de nouveaux enseignants passionnés d'astronomie. Le groupe sera le lieu de récolte des projets, des actions individuelles dans les académies, il s'en fera l'écho. Il agira comme relais d'information entre le CLEA et les enseignants en général. Il organisera les projets collaboratifs tout au long de l'année. Des binômes "correspondant académique-astronome ou universitaire" pourront être créés afin de faciliter les rencontres au niveau régional entre enseignants et chercheurs des laboratoires ou pour faire intervenir le CLEA très tôt dans la formation initiale des enseignants, en passe d'être transférée à l'Université.

- Le groupe "École d'Été" chargé de l'organisation de l'école, au niveau pédagogique et logistique. J'en assurerai le pilotage cette année en souhaitant qu'un membre éclairé en prenne la suite l'année prochaine.

- Le groupe "Cahiers Clairaut" qui a la responsabilité de la politique éditoriale du bulletin de l'association, de son impression et de sa diffusion, ainsi que celle des autres productions du CLEA. Christian Larcher en sera le pilote.

- Le groupe "Productions Pédagogiques" réfléchira à la production de nouveaux documents pédagogiques pour l'assistance professionnelle des enseignants et les réalisera. Pierre Causeret en sera le pilote. Le souci sera de suivre l'actualité des programmes et de proposer des documents d'actualités (démarche d'investigation, interdisciplinarité, réformes des programmes) ou

ciblés vers les enseignants d'une discipline en particulier. D'ores et déjà, la priorité a été mise sur l'accompagnement des enseignants pour les nouveaux programmes de seconde, l'astronomie à l'école où la demande est forte, la mise à jour du hors-série "Mathématiques et Astronomie". Un hors-série "Constellations" devrait voir le jour l'année prochaine ? Une co-édition avec le CNDP sur la démarche d'investigation est en projet. Une autre tâche importante de ce groupe sera de réfléchir à l'évolution des documents existants, à leur mise au goût du jour. L'introduction des TICE et l'utilisation de logiciels comme nouveaux outils de travail sera une source d'évolution certaine des productions existantes.

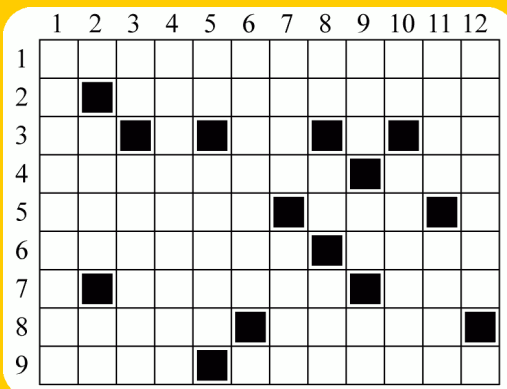
Pour veiller à redonner de la visibilité au CLEA sur le plan national, le groupe "Communications" a été créé. Le pilote est Charles-Henri Eyraud. Il aura le rôle de faire évoluer les multiples sites Internet du CLEA (Listes de discussion Yahoo, Site du CLEA de l'académie de Nice, Site de l'INRP) vers un site unique à terme, site qui combinerait un espace "Vitrine" et un espace "Collaboratif" réservé aux adhérents. Il devrait

être plus à même de faciliter et entretenir les liens entre adhérents et de faciliter la réalisation de leurs actions tout au long de l'année. Le groupe réfléchira aussi aux actions à mener pour une plus grande visibilité du CLEA auprès des institutions et des enseignants.

Certains se sont d'ores et déjà déclarés volontaires pour participer à ces groupes. D'autres souhaitent simplement être informés de ce qu'il s'y passe, pour peut-être interagir un jour. Tous les adhérents peuvent désormais se connecter sur le site collaboratif et se mettre en contact avec le pilote pour participer au groupe de travail. À terme, tous les adhérents pourront suivre l'actualité des groupes. Les rencontres restent une priorité dans ce cadre virtuel et le CLEA investira dans des ateliers de travail tout au long de l'année pour finaliser les productions pédagogiques. Je nous souhaite une activité riche, un enthousiasme communicatif et productif pour cette année 2010.

Cécile Ferrari
Présidente du CLEA

Mots croisés sur les saisons



Horizontalement

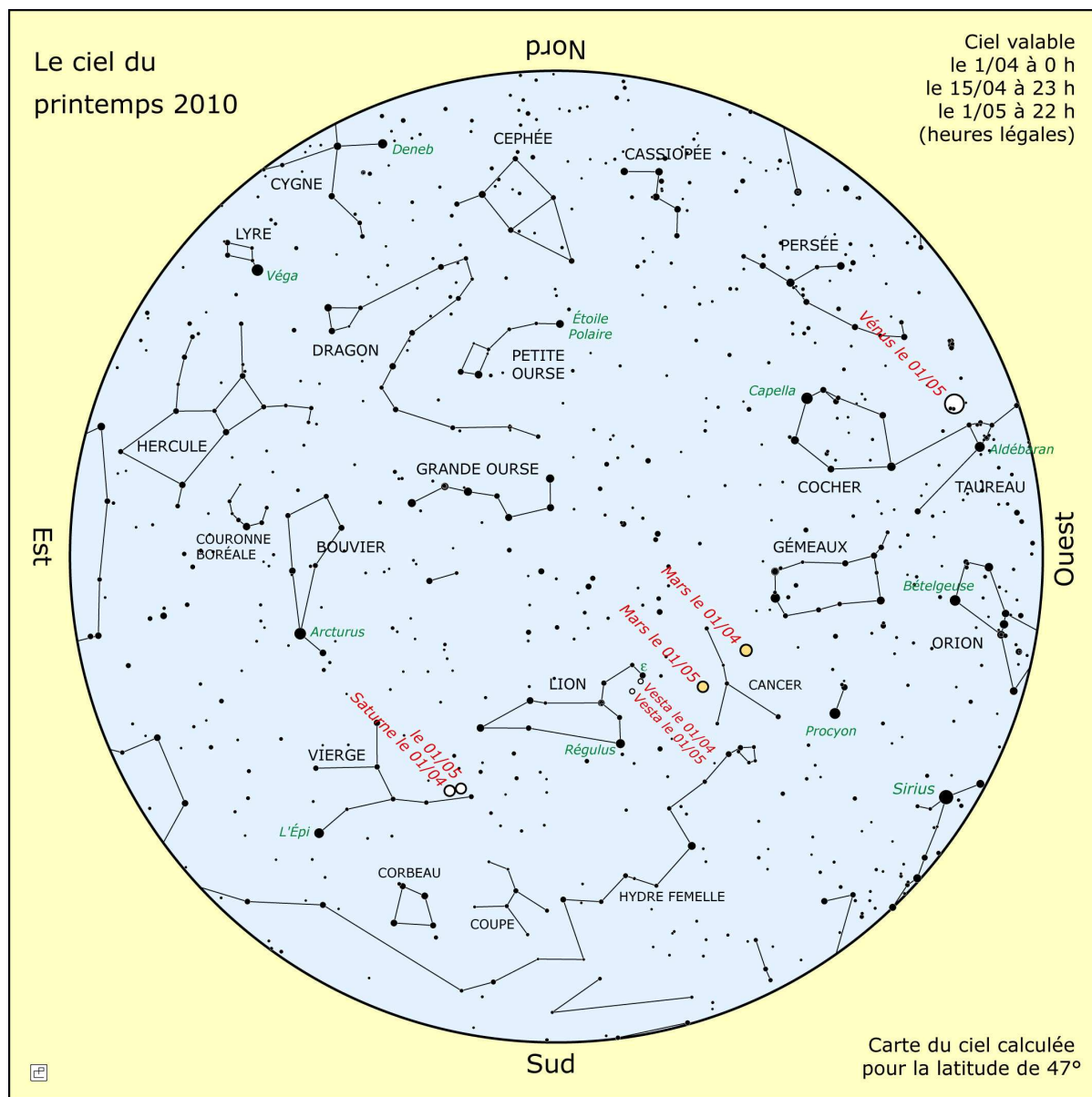
1. Elle modifie les saisons, encore plus sur Mars que sur la Terre.
2. Utile pour repérer l'équinoxe.
3. Possessif. Note. Phase.
4. Il connaît une saison sèche et une saison des pluies. Détesté.
5. D'une certaine saison, souvent la première pour les astronomes. Proche du Soleil au début de l'automne.
6. Saison. Fleurissent au printemps.
7. Rompu. Saison.
8. Surveillée. Orna.
9. Davantage chauffés en été. Seconde.

Verticalement

1. D'une certaine saison.
2. Peut coûter cher. Débite davantage au printemps et à l'automne.
3. Démonstratif. En éventail en été.
4. Débuts de saisons.
5. Se voit sur les plages plus souvent en été qu'en hiver. Pour atteindre le ciel.
6. Enfonçât vers le haut.
7. Tire dans tous les sens. On l'a observé de loin en 1898 et de près en 2000.
8. Numéro 1 des satellites joviens. Apparue. Cachés.
9. Trivial. Vient du cercle. Numéro d'une future Ariane.
10. Numéro d'Europe. Saisons.
11. Frappa. Solide, liquide ou gazeux suivant la température.
12. Orbite planétaire.

Solutions page 34

Le ciel de printemps 2010



Visibilité des planètes

Mercure peut être recherchée le soir à l'ouest de fin mars à mi avril (élongation maximale le 8/04).

Vénus commence à être observable après le coucher du Soleil. Du 1er au 10 avril, Mercure se trouve à la droite de Vénus.

Au début du printemps, Mars est très haute dans le ciel en début de nuit. Mais elle s'éloigne de la Terre, baisse de luminosité et diminue de diamètre apparent, celui-ci passant de 10" le 20/03 à 5" fin juin.

Jupiter réapparaît dans le ciel du matin en avril dans le Verseau puis les Poissons.

Saturne est la planète à observer. Elle est à l'opposé du Soleil le 22/03, et ses anneaux sont encore peu inclinés. A observer toute la nuit, dans la Vierge.

Quelques événements (en heure légale)

L'astéroïde Vesta (mag 6 à 8) est dans le Lion ce printemps, profitez-en pour le chercher (le 27 mars, il passe à moins de 10' d'une étoile située sous ϵ).

20/03 Équinoxe de printemps à 18 h 31.

20/03 Rapprochement Lune Pléiades.

22/03 Opposition de Saturne.

16/04 Conjonction Lune Vénus avec Mercure proche.

25/04 Vénus frôle les Pléiades.

16/05 La Lune frôle Vénus entre 10 h et 12 h.

20/06 Vénus dans l'amas de la Crèche (M44).

21/06 Solstice d'été à 13 h 29.

Lune

Pleine Lune : 30/03, 28/04, 28/05, 26/06.

Nouvelle Lune : 14/04, 14/05, 12/06.

POTINS DE LA VOIE LACTÉE

Roger Meunier, Le Châtelet en Brie

1. Un filament d'au moins 60 millions d'al de long, composé d'au moins 150 galaxies et situé à environ 6,7 milliards d'al de nous vient d'être découvert conjointement par le VLT et le télescope Subaru. Ces structures étaient prédites par la théorie mais c'est la première fois que l'on en découvre une si importante. À l'échelle de l'Univers, ces filaments de matière se connecteraient pour former une sorte de vaste toile d'araignée, un squelette cosmique.

2. La sonde ionique la plus précise au monde a été inaugurée au Centre de Recherche Pétrographique et Géochimique de Nancy. Elle est dédiée aux sciences de la Terre et de l'Univers et permet d'analyser finement la composition isotopique d'une très faible quantité de minéraux. De quoi éclairer la prime enfance du système solaire, dater la formation des astres...

3. L'étoile Éta Carinae est-elle proche d'une prochaine explosion ? Celle-ci a déjà explosé en 1843, éjectant l'équivalent de 2 à 3 masses solaires. Le nuage de gaz éjecté, baptisé l'Homoncule constitue le reliquat de cet événement. Cette étoile (ou plutôt ce couple d'étoiles) semble instable et son éclat augmente depuis 6 mois ($m = 5,1$). Ce regain d'activité annonce-t-il une prochaine explosion de type supernova ?

4. Les chercheurs du Laboratoire d'Astrophysique de Bordeaux ont réussi à mobiliser simultanément 35 radiotélescopes pour mesurer en une seule fois la position de 243 quasars lointains. Le but étant de constituer une grille de référence destinée à mesurer la position et la vitesse de divers objets célestes, que ce soit des étoiles ou des sondes interplanétaires. On peut aussi étudier la rotation précise de la Terre, modéliser l'intérieur du globe terrestre...). Seul bémol à cette observation : les radiotélescopes étant rares dans l'hémisphère sud, il a été impossible de repérer tous les quasars prévus (près de 300) en même temps.

5. Nouveau type de supernova ? SN2002bj appartiendrait à un 3e type de supernova, possédant une courbe de lumière plus courte (4 semaines au lieu de 4 mois) et moins lumineuse

que les supernovae déjà connues. D'après des données spectrométriques, il s'agirait d'un système à 2 naines blanches où l'une pomperait l'hélium de l'autre et exploserait quand elle en aurait accumulé suffisamment.

6. Titan : on pensait ses lacs composés d'éthane. Après des mesures plus précises par le spectromètre GCMS, on pense maintenant qu'ils se composent comme suit : éthane (76-79 %) ; propane (7-8 %) ; méthane (5-10 %) et acétylène (1 %).

7. Centaurus A (NGC5128 à 11 millions d'al) : il y a très longtemps, entre 200 et 700 millions d'années, Centaurus A a fusionné avec une petite galaxie spirale. À l'aide d'une nouvelle technique d'imagerie en infrarouge, on vient d'en savoir plus sur cette collision, grâce au New Technology Telescope de l'ESO.

8. Pourquoi le Soleil est-il pauvre en lithium ? En effet, alors que les étoiles plus chaudes ou plus froides que le Soleil perdent leur lithium pour diverses raisons déjà expliquées, la catégorie d'étoiles ayant une température de surface de 5 600 à 5 900 K conserve souvent son lithium originel. Stéphane Udry, astronome à l'observatoire de Genève, vient de réaliser une étude intéressante : il a analysé les spectres d'un échantillon d'étoiles où le lithium devait subsister (d'après leur température de surface) et il a constaté que celles qui ne conservaient pas leur lithium possédaient des planètes... Voici l'hypothèse proposée : lors de la formation des planètes, de l'énergie cinétique est transférée vers celles-ci (pour le système solaire, 99 % de la masse se trouve dans le Soleil alors que 99 % du moment cinétique est dans les planètes). Lors du ralentissement de l'étoile centrale, il se produit un cisaillement tel entre la couche radiative et la couche convective que la turbulence créée entraîne le lithium et le fait "brûler". Élégant, non ?

9. La cosmologie et le modèle de la ré-ionisation : selon le modèle standard du Big-Bang, l'hydrogène apparaît d'abord sous une forme ionisée ; ensuite, au fur et à mesure que la densité

d'énergie diminue, il devient neutre. Lors de l'allumage de la première génération d'étoiles, leur rayonnement intense ré-ionise l'hydrogène. Pour les cosmologistes, c'est la fin de "l'âge sombre" de l'Univers et inaugure la période de "renaissance cosmique"; la seule certitude actuelle concerne sa fin : on sait que l'hydrogène était complètement ionisé un milliard d'années après le Big-Bang. Mais on ne sait pas quand et comment il a commencé... Pour répondre à ces questions, les chercheurs ont analysé les données concernant 22 galaxies distantes d'environ 13 milliards d'années mais ils ont été déçus, celles-ci semblant insuffisantes à assurer cette ré-ionisation. Cet échec provisoire a en fait relancé tout un questionnement sur cet épisode de la ré-ionisation... en attendant le futur télescope spatial James Webb, plus performant que Hubble.

10. Exoplanètes : une nouvelle petite exoplanète a été détectée à seulement 40 années-lumière de la Terre depuis le sol. Gliese 1214b a un rayon 2,7 fois celui de la Terre avec une masse 6,5 fois supérieure. Sa température de surface serait d'environ 200°C et selon ses découvreurs, l'atmosphère serait composée d'hydrogène et d'hélium tandis que l'intérieur serait composé de silicate, de fer et d'eau sous forme de glace.

11. ALH84001, météorite martienne : nouvelle publication à son sujet ; il s'agit de la célèbre météorite supposée avoir porté des traces de vie. Cela a été démenti par plusieurs équipes mais l'équipe de la Nasa à l'origine de la polémique ressort un article qui ré-analyse finement les magnétites déjà repérées en 2000 et essaie de démontrer que les hypothèses d'une origine abiotique des magnétites ne tiennent pas. Il faut rappeler que l'on a la quasi certitude que de l'eau a coulé sur Mars il y a 3,9 milliards d'années...

12. Quasar allumeur d'étoiles ? Rappelons que les quasars sont des trous noirs supermassifs (jusqu'à

plusieurs dizaines de milliards de masses solaires) au cœur de galaxies elliptiques. On pensait jusqu'ici que leur rayonnement radio intense chassait le gaz à partir duquel se forment les étoiles hors de la galaxie... Une nouvelle hypothèse dit le contraire en affirmant que le jet radio provoque l'effondrement du nuage de gaz sur lui-même et provoque l'allumage d'étoiles... Il faudra attendre la mise en marche d'ALMA, interféromètre en cours de construction, pour en savoir plus.

13. Sursaut gamma : le dénommé GRB 090423 est le sursaut gamma le plus distant observé : plus de 13 milliards d'années de lumière et un décalage spectral de 8,2 ! On n'est pas sûr que cette émission gamma constitue la fin de vie de la première génération d'étoiles...

14 La Grande Ourse se peuple : une nouvelle étoile vient d'être découverte dans la constellation de la Grande Ourse : il s'agit d'une naine brune en orbite autour d'Alcor et là où les astronomes de l'antiquité ne voyaient que Alcor et Mizar, il y a maintenant le système quadruple de Mizar et le système double Alcor.

15. Un pas vient d'être franchi dans la recherche d'une vie extraterrestre avec l'observation directe du spectre d'une planète autour d'une jeune étoile (HR8799). Cette empreinte chimique permettra d'étudier la composition de ces mondes lointains. Elle a été obtenue en infrarouge grâce au VLT.

16. Encore des exoplanètes ! Le satellite américain Kepler, nouveau chasseur d'exoplanètes, vient de livrer ses premières observations en découvrant cinq géantes gazeuses brûlantes. L'une d'elles, d'une taille similaire à Jupiter, serait aussi légère que le polystyrène expansé. Kepler a également découvert de mystérieux objets trop chauds pour être des planètes, mais trop froids pour être des étoiles. ■

Solutions des mots croisés

Horizontalement

1. Excentricité. 2. Équatorial. 3. Ta. Si. PL (Pleine Lune). 4. Ivoirien. Haï. 5. Vernal (du printemps, de ver qui signifie printemps en latin). Épi (ou Spica, de la constellation de la Vierge). 6. Automne. Ives. 7. Expert. Été. 8. Épiée. Ouvra. 9. Sols. Assiste.

Verticalement

1. Estivales. 2. Aveu. Pô. 3. Ce. Orteil. 4. Équinoxes. 5. Nu. Rampe. 6. Tasilne (enlisât à l'envers). 7. Rtie. Éros (astéroïde découvert en 1898 et photographié par la sonde NEAR Shoemaker en 2000). 8. Io. Né. Tus. 9. Crû. Pi. VI (Louis VI dit le gros). 10. II (Europe, le deuxième satellite de Jupiter, est souvent désigné ainsi). Hivers. 11. Tapa. État. 12. Ellipse.

LA VIE ASSOCIATIVE

Compte-rendu de l'AG 2009

Cécile Ferrari, présidente, Christian Larcher, secrétaire

L'assemblée générale du CLEA 2009 a eu lieu le dimanche 29 novembre à l'Université Paris-Diderot.

Rapport moral

Dans son rapport Georges Paturel refait un bref historique de ses 7 années de présidence à la tête du CLEA. Il indique qu'il a rencontré un certain nombre de difficultés. En particulier lorsqu'il fallut assurer le pilotage des Cahiers Clairaut après le décès de Martine Bobin. Mais également quand il chercha à réaliser une encyclopédie en ligne, une sorte « wiki-clea ». Georges Paturel a salué l'énorme travail réalisé par Francis Berthomieu pour transformer tous les textes anciens en documents "html".

La réalisation du volet LUNAP sur le site du CLEA fut un motif de satisfaction avec cependant le regret de voir une faible participation à l'écriture de textes et à l'impossibilité de mettre en ligne des vidéos comme celle relative à l'expérience de Cavendish. Un autre regret concerne le projet non réalisé d'élaborer un nouveau serveur informatique. Ce serveur devait permettre une édition collaborative en ligne, le développement collaboratif de Lunap, la gestion automatique des abonnements, les paiements sécurisés en ligne pour l'abonnement et les ventes. Tout cela ne fut pas réalisé mais rien n'est encore perdu. La convention signée avec l'INRP dit-il peut nous y aider et plus encore la compétence de Charles-Henri Eyraud.

Rapport Financier

BILAN FINANCIER nov 2008 - Nov 2009

Le rapport financier a été présenté par le trésorier Jean Ripert.

Dépenses. (en €)

Cahiers Clairaut :	12 595,17
Communication :	771,01
A G 2008 :	3 342,80
Assurance :	367,17
Fontionnement :	6 478,37
Dont 4 000 € de virement sur livret	
EEA :	15 619,78
Investissement :	2 517,00
Divers :	1 199,11
TOTAL :	42 890,41 €

Recettes Livret (en €)

Intérêts 2008 :	2 472,00
Virement CCP :	4 000,00
Sous-Total :	6 472,00

Recettes CCP (en €)

Cahiers Clairaut :	13 264,50
Adhésions :	2 675,00
Ventes :	3 468,00
Prestations :	225,00
Centre photocopie :	210,69
Sidereus :	2 340,75
EEA 2009 :	11 235,70
AG 2008 :	1 108,00
Sous-total :	34 527,64
TOTAL :	40 999,64 €

Bilan nov 2008-nov 2009

Dépenses :	42 890,41
Recettes :	40 999,64
Déficit :	1 890,77

Solde nov 2008 : 75371,31

Solde nov 2009 : 75371,31 - 1890,77 = **73 480,54 €**

Celui-ci a répondu aux diverses questions posées, après quoi un vote a donné quitus au trésorier à l'unanimité.

Compte tenu de la bonne santé des finances, à l'unanimité, le montant de l'abonnement annuel normal reste à 30 €, celui avec réduction à 28 € (paiement jusqu'au 31 mars), prix à l'unité 8 €.

La vie du CLEA et AMA 09

De nombreuses activités furent entreprises sous l'égide du CLEA dans les régions suivantes :

- Région Auvergne (collectif d'astronomie d'Auvergne)
- Région Basse-Normandie (René Cavaroz, corresp. rég. Caen)
- Région Bourgogne (Pierre Causeret, corresp. rég. de Dijon)
- Région Haut-Rhin (Lionel Muller), corresp. rég. Alsace)
- Région Midi-Pyrénées (Jean Ripert)
- Région Provence Alpes Côte d'Azur (Pierre Le Fur corresp. PACA, Daniel Joubin, Renelle Takvorian)
- Région Rhône Alpes (Georges Paturel)

Pour plus de détails et pour voir les photos aller sur le site du CLEA :

<http://www.ac-nice.fr/clea/> cliquer sur AMA 09 puis sur compte-rendus et images.

Remerciements

Le Conseil remercie Georges pour le travail accompli pendant 7 ans. Au nom de l'association un cadeau lui est remis.

Conseil et bureau

Ont été élus membres du Conseil : ACKER Agnès, BALIN Dominique, BARDIN Daniel, BERTHOMIEU Francis, BILLARD Francine, BOBIN Michel, BOTTINELLI Lucette, BRAHIC André, BRIOT Danielle, CAUSERET Pierre, CAVAROZ René, CHATY Sylvain, DUVAL Marie-France, EYRAUD Charles Henri, FERRARI Cécile, FOUQUET Jean-Luc, GARREAU Brigitte, GAYRARD Olivier, GOUGUENHEIM Lucienne, HAUGUEL Véronique, IMBAULT Danièle, JEANJACQUOT Philippe, JOSSELIN Èric, JOUBIN Daniel, JOUGUELET Èric, LAHELLEC Marie-Agnès, LARCHER Christian, LECOUTRE Chantal, LECOUTRE Georges, LE FUR Pierre, MAUREL Danièle, MEUNIER Roger, MULLER Lionel, PAUPART Daniel, PECKER Jean-Claude, PEDRON François, PETIT Jean, RIPERT Jean, SERT Josée, VIENNEY Jean-Michel.

Les 29 membres du Conseil présents ou représentés ont élu le Bureau suivant (28 votants, 27 bulletins pour la liste et un bulletin nul) :

Présidente : Ferrari Cécile, **Secrétaire** : Larcher Christian, **Secrétaire adjoint** : Fouquet Jean-Luc, **Trésorier** : Ripert Jean, **Trésorière adjointe** Maurel Danièle.

Mise en place d'un Bureau à géométrie variable

En plus du Bureau habituel, il est prévu un Bureau élargi intégrant les pilotes des 5 groupes dont les tâches spécifiques sont indiquées ci-dessous :

- Vie associative
- Communication
- Cahiers Clairaut et publications
- Productions pédagogiques
- École d'été d'astronomie

Cécile Ferrari, candidate à la présidence du CLEA, présente à l'Assemblée un projet pour le CLEA dont les lignes essentielles seront rapportées dans ce numéro des Cahiers Clairaut.

Mieux faire connaître le CLEA

Cela nécessite de bien indiquer ce qui fait la spécificité de notre association par rapport à d'autres comme "Planète Science" "HOU" ou "LAMAP". Rien n'interdit d'envisager des liens de coopération plutôt qu'une concurrence.

Le CLEA est composé en majorité d'enseignants ; il est donc naturellement concerné par le monde scolaire. Un des objectifs majeurs qui fut à l'origine de la création du CLEA était et est toujours de « promouvoir l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux de l'enseignement ». L'un des thèmes prévus pour le tronc commun de la classe de seconde pourrait être relatif à la place de la Terre dans l'Univers. Il y a donc du grain à moudre pour le CLEA.

Le rôle et les moyens des correspondants académiques.

Ce rôle est à redéfinir d'une manière précise. A quoi sert-il ? Quels sont ses moyens d'action ? De quoi peut-il disposer pour promouvoir le CLEA auprès des jeunes collègues ? Il est suggéré de favoriser localement des couplages entre un correspondant professeur et un correspondant astronome.

Le site du CLEA

Il est piloté par Francis Berthomieu (Académie de Nice) et par Charles-Henri Eyraud (INRP). C'est la vitrine publique du CLEA n'hésitez pas à le visiter, il est particulièrement riche. Le nombre de visiteurs varie chaque mois entre 300 et 800 visiteurs)

Sur le site CLEA (INRP) complémentaire du site du CLEA (Académie de Nice) vous trouverez :

- Le dossier LUNAP avec une navigation facilitée. <http://accés.inrp.fr/clea/lunap>
- Les archives des Cahiers Clairaut. <http://accés.inrp.fr/clea/actualites/cahiers-clairaut/>
- "Avec les élèves" avec des fenêtres interactives (onglets). <http://accés.inrp.fr/clea/activites>
- "Vie du CLEA" avec des fenêtres interactives (onglets) permettant les échanges, les productions au sein du CLEA. <http://accés.inrp.fr/clea/vieclea>

École d'Été d'Astronomie à Gap

La dernière école d'été à GAP a réuni 26 enseignants, 8 astronomes, 6 animateurs d'association. Une des conférences fut faite en anglais. En ce qui concerne les observations elles s'avèrent nettement plus efficaces quand elles sont précédées d'une préparation de jour. La prochaine école d'été d'astronomie se déroulera à Gap du 17 au 24 août 2010. ■

Victor Tryoën

Notre ami Victor est décédé le 6 décembre dernier à l'âge de 87 ans.

Faire mémoire de Victor, c'est d'abord parler d'un ami, avec cette myriade de souvenirs qui reviennent en mémoire ; souvenirs personnels et collectifs qui, rassemblés, dressent le portrait de cet homme fin, sensible et chaleureux, assez timide, mais doué d'un humour auquel il donnait libre cours quand il se sentait en confiance, que nous avons eu le bonheur de connaître.

C'est aussi témoigner de l'empreinte dont il a marqué le CLEA. Autant que Gilbert Walusinski, mais à sa façon, différente, il nous a conduits à appréhender le cœur de la fonction d'enseignant.

Quand nous l'avons connu, au tout début de la vie du CLEA, il enseignait la physique en École Normale à Douai. L'astronomie fut pour lui un incident de parcours, son directeur l'ayant désigné "volontaire d'office" pour animer un club ; elle devint rapidement une passion, parce qu'elle lui donnait abondamment matière à illustrer la méthode de découverte et l'appropriation d'un savoir par l'expérience, la manipulation. Il mettait en pratique sa règle d'or, devenue une sorte de proverbe du CLEA : "la répétition fixe la notion", en imaginant de multiples protocoles expérimentaux, diverses activités autour d'une même notion ou d'un même phénomène, activités dont il sériait soigneusement les étapes. Il n'avait pas son pareil pour imaginer des maquettes et les réaliser avec les moyens du bord, avec toujours en tête cette autre règle d'or : chaque élève doit pouvoir la manipuler.

Des élèves, nous n'en avons pas sous la main – le CLEA n'a pas d'école d'application ! – mais les enfants, aujourd'hui adultes, qui accompagnaient leurs parents stagiaires d'écoles d'été se souviennent encore de séances mémorables.

Le passage par la maquette pour accéder à la vision spatiale lui tenait particulièrement à cœur et lui fit répondre un jour à un inspecteur qui prônait davantage d'abstraction : "moi, je travaille pour les imbéciles".

Animer un club d'astronomie à Douai posait les problèmes des conditions d'observation que l'on peut imaginer ; alors Victor découvrit – et nous fit ensuite découvrir – les "documents de substitution". Le CLEA en a produit beaucoup, dont il fut souvent auteur ou co-auteur.

Je crois qu'il a aussi marqué de son empreinte la méthode, elle-même expérimentale, qui a procédé à la mise sur le marché de nos documents : chacun repartait à la fin de l'école d'été avec les maquettes ou les instruments qu'il avait construits ou le détail du protocole d'une observation. Ceux qui revenaient l'année suivante exposaient les réussites et les échecs de la reprise avec leurs élèves, et l'on remettait l'ouvrage sur le métier.

La méthode d'apprentissage des constellations de Victor, avec ses grandes planches peintes en bleu nuit et les clous dorés figurant les étoiles qu'il fallait relier avec des élastiques est certainement le souvenir de lui que beaucoup d'entre nous ont conservé. A moi, l'astronome pour qui les constellations étaient sensée n'avoir (peut-être ?) pas de secret, il posa timidement cette question, le premier soir de la première école d'été : "Connaissez-vous le dauphin ? Voulez-vous que je vous le montre ?" Et nous avons alors arpenté ensemble la constellation du Cygne ; chaque fois que je la regarde, elle me parle de Victor.

Lucienne Gougenheim



Victor Tryoën était un ami et je l'admirais : son aisance devant un auditoire, la maîtrise des sujets qu'il présentait et sa facilité à utiliser des démarches pédagogiques variées et toujours adaptées me donnaient du bonheur. Impossible d'oublier son air malicieux au cours d'un exposé : on pressentait aussitôt, le connaissant, qu'il allait faire preuve de cet humour qui nous réjouissait tant à chaque fois. Un souvenir, parmi tant d'autres, le dernier soir à Sophia Antipolis: comme de coutume, Victor avait rédigé un texte pour clore cette semaine de stage. Il a lentement descendu l'escalier du hall entre deux haies de collègues enjouées puis il a détaillé précisément ce qui aurait dû, à son avis, constituer le déroulement idéal de l'école d'été : en doublant les cours et en supprimant tous les "temps morts" (repas, interclasses diverses et même temps de sommeil...!), il arrivait à une activité du groupe qui remplissait les 24 heures de chaque journée !

Que d'occasions nous ont tous ravis en travaillant avec Victor ; les souvenirs seraient si nombreux à évoquer. Il nous a marqués de sa personnalité et de sa démarche d'enseignement et reste pour moi un modèle inoubliable.

Daniel Bardin.

Il y a une phrase de Victor que je n'hésite pas à répéter souvent : "la répétition fixe la notion". Plus je la redis et plus j'en comprends le sens.

Georges Paturol

Les constellations ont perdu leur maître, dorénavant nous le verrons parmi elles.

Jean Ripert

Après ta si jolie phrase je laisse simplement mes souvenirs courir de stages en stages.

Les images jaillissent où la gentillesse de Victor illumine encore ces nuits de repérage.

Le ciel est clair ce soir, je vais aller voir le grand G de l'hiver et penser...

Jacky Dupré

Victor ou la pédagogie incarnée. Il était sensé nous apprendre à reconnaître les constellations et en fait, il nous a, par sa pratique, enseigné la pédagogie.

a. Partir des choses simples pour aller vers les choses plus complexes,

b. Réutiliser ce que l'on vient d'apprendre pour aller plus loin,

c. Veiller à ce que les "élèves" soient actifs en classe,

d. Ne pas hésiter à les envoyer au tableau pour qu'ils apprennent à s'exprimer clairement devant un groupe,

e. Apporter régulièrement des informations complémentaires ou des anecdotes pour fixer aussi la notion nouvelle à un autre domaine de connaissances,

f. Faire juste ce qu'il faut (peut-être quelquefois un peu de trop !) de théâtre parce que le professeur est aussi un acteur de théâtre.

Et tout ça avec en toile de fond une culture prodigieuse.

Victor : un maître ! Par la maîtrise de son enseignement et par le chemin qu'il nous montrait.

Les animateurs et les stagiaires des stages d'astronomie de l'Académie de Rennes lui doivent beaucoup.

Frédéric Dahringer

Ce lumineux matin du 3 juillet 1979, au milieu des oliviers et des lauriers roses, au Mas du Calme à Grasse, un vieux monsieur (à l'époque, toute personne au delà de 50 ans l'était pour moi) s'affairait avec des planches en bois cloutées, des élastiques, appareils de projection de diapos et autres caisses.

C'était Victor !

Dans l'atelier de 16 à 18 h (qui a débordé jusqu'à 19h30), notre groupe s'est installé dans une pièce obscure et Victor a balayé les cieux d'hiver, d'été avec les bleues, les rouges, des rotations, des dieux, des héros et une pauvre Andromède...

Le rythme était soutenu, on n'avait pas intérêt à flâner parmi les étoiles, les élastiques étaient tendus entre les clous et les constellations apparaissaient et disparaissaient. Chacun notre tour, on "planchait" pour les retrouver, la tête pleine d'étincelles, après le repas, on est allé voir la voûte étoilée (éclairée à l'horizon sud par la lueur de Cannes) Victor a continué.

Inlassable, passionné, pédagogue et tenace, Victor nous communiquait sa passion des étoiles.

Merci Victor, peut-être es-tu allé les retrouver ?

Liliane Vilas-Sarrazin

Victor est avec d'autres amis rencontrés aux Universités d'été, un accompagnateur essentiel de toute ma carrière d'enseignante. Tant de choses devraient être rappelées pour dire la richesse de ces rencontres. Pourtant j'en resterai au début : avec poésie, solide connaissance des mythologies, malice et bonne humeur il nous a appris à reconnaître les constellations du ciel. Plus tard sans qu'il soit là, mais la main dans la main avec Victor, j'ai transmis ce plaisir aux élèves, aux enfants de la famille et des amis... Il m'accompagne aussi quand je lève la tête vers le ciel nocturne et que je m'y sens en "familiarité". Quelle chance d'avoir rencontré Victor pour cela et pour bien d'autres choses encore !

Catherine Vignon

Lors d'interventions dans des écoles primaires, il logeait chez nous, son arrivée, son séjour avaient marqué nos enfants auxquels il avait "raconté le ciel, la Lune" mais aussi fait des tours de magie, ils s'en souviennent encore ...

Dans une classe primaire il venait de rentrer, un élève a dit bien fort : "Oh mais Madame c'est un Savant ..." Tout est dit !

Lucette Mayer



Victor à l'Île de Ré
Jean-Luc Fouquet

J'ai connu Victor à Formiguères lors de ma première Université d'Été d'Astronomie en 1987 et j'ai suivi cet été-là, son atelier d'"Apprentissage des Constellations".

Je suis contente d'avoir pu lui dire combien je lui étais reconnaissante de cette formation.

Son enthousiasme, son humour et son érudition dans le domaine le rendaient passionnant et il nous a sans doute communiqué ses qualités de "conteur".

Danièle Maurel

Victor encourageait, aidait à surmonter les raisonnements les plus ardues, sans jamais les éluder. Il savait faire passer la difficulté sans souffrance, faire preuve du plus grand sérieux, de la plus grande rigueur scientifique, sans lasser. Il savait simplifier sans vulgariser, être clair pour le plus grand nombre sans pour autant lâcher du lest sur la précision. Il accompagnait avec humour toutes nos universités d'été, toujours à l'écoute des autres, toujours modeste et toujours prêt à se remettre en question selon les suggestions et commentaires variés, qu'il ne manquait jamais de compiler de façon nouvelle pour en faire le sel, le nouveau de la conférence suivante. C'était un plaisir de voir ce modèle d'enseignement sans cesse renouvelé et toujours de haute valeur.

La dernière fois que je l'ai vu, il y a quelques années à Pâques, il y avait, le soir, les Gémeaux scintillant vers le clocher de Flayosc, assez haut vers l'Ouest. Je les lui

ai montrés en évoquant la bonne vieille époque où il nous montrait le ciel. Il y a eu une ombre dans son regard et j'ai compris que ses souvenirs de constellations s'estompaient. Alors je me suis tournée vers le Nord pour ne pas le gêner et ai dit deux ou trois banalités sur les circumpolaires pour revenir en terrain plus facile. Quand alors il m'a demandé comment je savais que c'était le Nord, la gorge nouée, je lui ai doucement réexpliqué les choses. Il était admiratif comme nous l'étions tous face à lui autrefois.

J'ai compris alors que son esprit nous quittait déjà. Mais ce qu'il a laissé comme connaissances astronomiques aux générations de stagiaires, collègues, voisins, collégiens, est immense, par la façon unique qu'il avait d'allier érudition, logique, rigueur, précision, poésie, humour et humanité.

Cécile Decaux

COURRIER DES LECTEURS

Déviations vers l'est

Dans le n°126 des Cahiers Clairaut, Pierre Causeret écrivait à la page 23 qu'une pomme tombant du haut d'une tour ne tombe pas exactement au pied de la tour mais légèrement à l'est car le haut de la tour a une vitesse linéaire plus grande que le bas. C'est d'ailleurs ce que pensait Newton. Georges Paturel a fait remarquer fort justement qu'il fallait aussi tenir compte de la conservation du moment angulaire (ou de la force de Coriolis). Cette question a suscité un certain nombre de discussions au sein de la rédaction et nous y reviendrons dans un prochain numéro.

Masse de la Lune et de la Terre.

Dans le Cahiers Clairaut numéro 127, Georges Paturel a voulu montrer que l'on pouvait déterminer simplement les masses de la Terre et de la Lune à partir de la troisième loi de Kepler et de l'accélération de la pesanteur (valeur déterminée expérimentalement à Lyon). Évidemment, il supposait une Terre parfaitement sphérique avec une répartition de masse à symétrie sphérique, se déplaçant autour du Soleil sur une ellipse bien définie.

Une de nos lectrices, Béatrice Sandré, nous fait remarquer que si on tient compte de la non sphéricité de la Terre, il existe des incertitudes sur la valeur du demi grand axe de l'ellipse et sur la valeur de g et que ces incertitudes ne permettent plus de déterminer la masse de la Lune. En effet, la valeur de l'incertitude est de l'ordre de grandeur de la masse de la Lune.

Vous trouverez ci-dessous les grandes lignes de ses calculs. Merci à elle pour ces précisions.

La troisième loi de Kepler appliquée au système Terre-Lune

$$M + m = \frac{4\pi^2 a^3}{G P^2}$$

suppose que ce système est isolé et que les deux objets sont à symétrie sphérique. Le demi-grand axe a de l'ellipse relative devrait alors être constant dans le temps ainsi que la période P de ce mouvement.

Or, d'après le site de l'observatoire de Paris - Meudon, la période P est de 27,32 jours et la valeur moyenne de a est de 384 400 km mais avec des variations d'amplitude 3 400 km. Cette variation est expliquée par la non sphéricité de la Terre et par la présence du Soleil. La troisième loi de Kepler n'est pas rigoureusement applicable au système Terre - Lune. Pour évaluer l'ordre de grandeur de l'erreur commise en l'appliquant pour déterminer $M + m$ on peut écrire que la valeur de a est connue avec une incertitude absolue de 3 400 km, soit une incertitude relative 0,9 %.

Compte tenu de ces valeurs :

$$M+m = \frac{4\pi^2}{6,67 \times 10^{-11}} \times \frac{(384,4 \times 10^6)^3}{(27,3215 \times 24 \times 60 \times 60)^2} = 6,03 \times 10^{24} \text{ kg}$$

$$\text{et } \frac{\Delta(M+m)}{(M+m)} = 3 \frac{\Delta a}{a} = 2,7\%$$

d'où $\Delta(M + m) = 16 \times 10^{22} \text{ kg}$.

$$M + m = (6,03 \pm 0,16) \times 10^{24} \text{ kg}$$

L'expression du champ de gravitation à la surface de la Terre $g = G \frac{M}{R^2}$ suppose que la Terre est sphérique et que la distribution de masse est à symétrie sphérique. Or la Terre a la forme d'un ellipsoïde dont le "rayon" est compris entre 6 357 km au pôle et 6 378 km à l'équateur.

La formule $M = \frac{g}{G} R^2$ n'est donc pas rigoureusement applicable. Pour évaluer l'ordre de grandeur de l'erreur commise en l'appliquant, on peut écrire que $R = (6368 \pm 10) \text{ km}$. compte tenu de ces valeurs :

$$M = \frac{9,81}{6,67 \times 10^{-11}} \times (6368 \times 10^3)^2 = 5,96 \times 10^{24} \text{ kg}$$

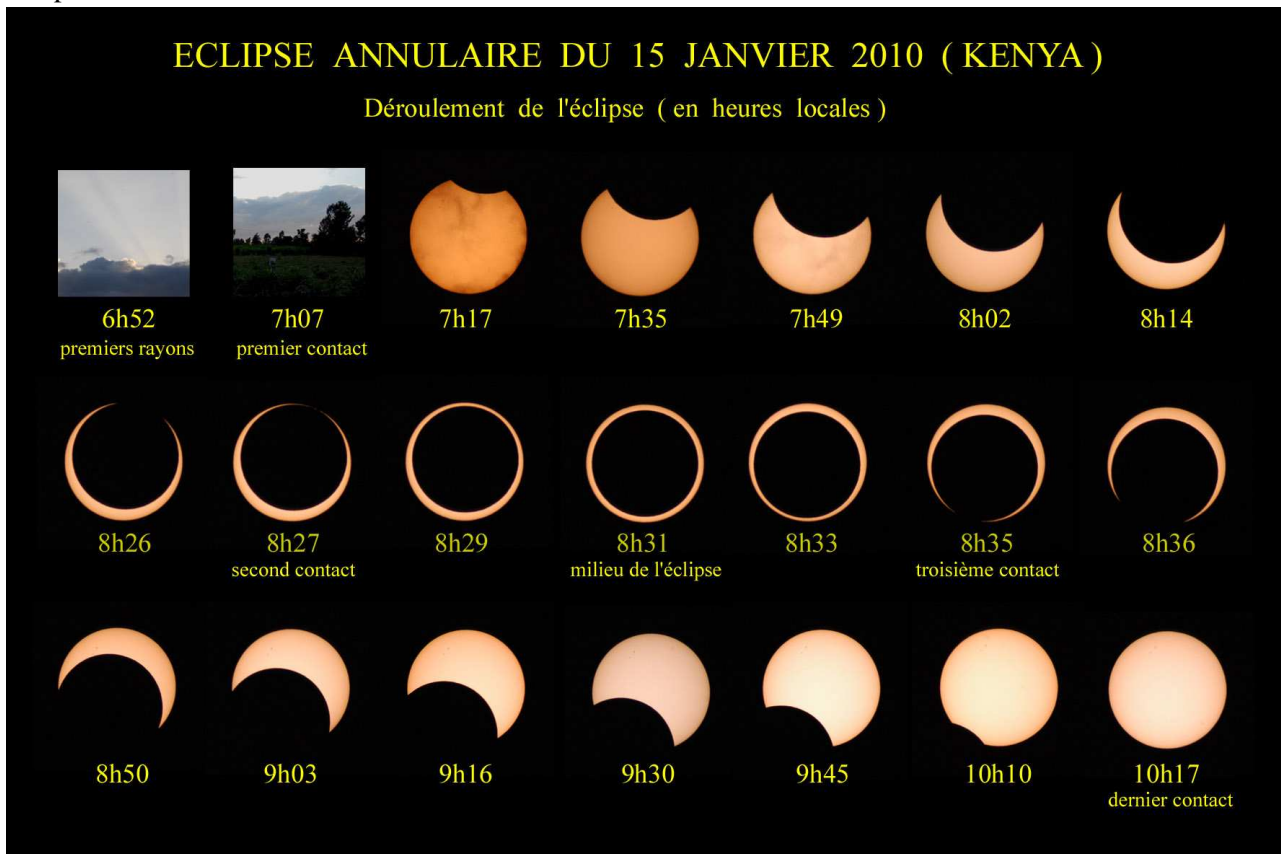
$$\frac{\Delta M}{M} = 2 \frac{\Delta R}{R} = \frac{20}{6368} = 0,32\% \text{ d'où } \Delta M = 0,02 \times 10^{24} \text{ kg}$$

$$M = (5,96 \pm 0,02) \times 10^{24} \text{ kg}$$

L'incertitude sur $M + m$ étant supérieure à m , on ne pourra pas calculer la masse de la Lune par différence entre $M + m$ et M .

Éclipse de Soleil

Michel Vignand, de La Réunion, nous a fait parvenir cette composition d'images de la dernière éclipse annulaire du Soleil. Merci à lui de nous faire partager ces belles images.



Grossissement résolvant.

Roger Marical a fait une lecture attentive de l'article de Daniel Bardin sur les lunettes. À la page 13 du CC 128, l'auteur affirme que le grossissement résolvant vaut D (diamètre de l'objectif) en millimètres. Roger Marical cite Danjon et Couderc qui dans "Lunettes et télescopes" donnent $D/2$.

Dans la littérature, en fonction des auteurs, on trouve les deux valeurs.

Et Daniel Bardin nous transmet : "Danjon et Couderc indiquent en effet que le pouvoir résolvant est défini par rapport à la tradition: on décide qu'on veut voir dans la lunette deux astres ou deux détails apparemment séparés d'une minute (ce qui correspond à la valeur du pouvoir séparateur de l'œil nu). Pour cela, (et Danjon parle bien de "signification conventionnelle"), il démontre par le calcul (page 29, dans la réédition de 1979), qu'on aboutit bien à $G = 1/2 D$, soit le

rayon de l'objectif. Il signale aussi que ce grossissement donne un cercle oculaire de 2 mm et qu'il vaut 3 fois le grossissement équipupillaire.

Roger a donc bien raison de rappeler ce point. Cependant, Danjon prend la précaution d'indiquer qu'il s'agit d'une limite inférieure et qu'un observateur avisé, doté d'un instrument correct et dans des conditions d'observation aussi bonnes que possible, devra bien souvent adopter un grossissement plus élevé pour profiter de la détection réelle de la minute d'arc au travers de l'instrument.

Éclipses de Lune

Roger Marical a également été surpris que les éclipses de Lune soient décalées en moyenne, d'une année sur l'autre, de 20 jours et non de 11 jours. En effet ceci est une moyenne. . Il est vrai que l'année lunaire se décale de 11 jours chaque année (12 lunaisons = 354 jours), mais dans le cas des éclipses il faut également tenir compte de la dérive de la ligne des noeuds.

La "saison" des éclipses est de 173 jours, c'est le temps écoulé entre deux passages de la ligne des

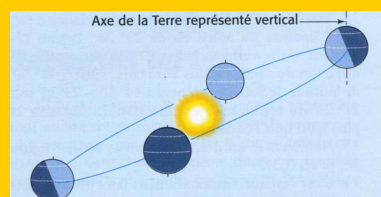
noeuds par le Soleil. 2×173 jours = 346 jours, ce qui donne bien une avance de presque 20 jours en moyenne chaque année. Mais pour qu'il y ait une éclipse de Lune, il faut que ce soit la pleine Lune et d'une année à l'autre, les pleines Lunes avancent de 11 jours.

Pour arriver à une moyenne de 20 jours, les éclipses doivent se décaler chaque année soit de 11 jours soit de 40 jours (11 jours + 1 lunaison). Nous avons eu une éclipse de Lune le 31 décembre 2009, nous en aurons une le 21/12/2010 (décalage de 10 jours), le 10/12/2011 (11 jours), le 28/11/2012 (12 jours), le 18/10/2013 (41 jours), le 8/10/2014 (10 jours)... ■

**N'oubliez pas de renouveler
votre abonnement.**

Solution du remue méninges

1. Faux. Par définition, une verticale passe par le centre de la Terre (c'est du moins une des définitions possibles). L'axe de la Terre passe évidemment par son centre, c'est donc une verticale. Cette phrase très ambiguë veut dire en réalité : "dans une représentation du système solaire où le plan de l'écliptique est horizontal, l'axe de la Terre n'est pas vertical".



Elle comporte deux non-dits : on confond l'axe et sa représentation et on suppose ensuite que le plan de l'écliptique est horizontal, ce qui n'est qu'une habitude. On peut très bien représenter un axe de la Terre vertical et un plan de l'écliptique incliné comme sur ce schéma.

(Extrait du livre "Les saisons et les mouvements de la Terre" éd. Belin)

2. Faux. Si vous arrivez dans le système solaire en venant de la région de Fomalhaut, vous pourrez voir la Terre tourner dans le sens des aiguilles d'une montre car vous l'observerez depuis le sud. La phrase serait vraie si on précisait "vue du nord". Ce n'est qu'une habitude de représenter le nord au-dessus.

3. Encore faux. C'est le jour du solstice d'été que la journée est la plus longue. Il y a donc deux saisons où les jours sont les plus longs, le printemps et l'été, avant et après le solstice.

4. Faux, la journée est un peu plus longue que la nuit aux équinoxes. Ce serait vrai s'il n'y avait pas d'atmosphère. Mais la réfraction fait que l'on voit le Soleil se lever alors qu'il est encore sous l'horizon géométrique et on le voit se coucher alors qu'il est déjà sous l'horizon.

Le 20 mars, le Soleil se lève à Paris à 5 h 55 min 25 s TU et se couche à 18 h 01 min 49 s TU (c'est le centre du Soleil qui est pris en compte). Cela donne, pour la durée de la journée, 12 h 6 min 14 s. On obtient 12 h 2 min 47 s pour le 19 mars et 11 h 59 min 10 s pour le 18.

Le mot équinoxe vient pourtant de *équi* pour égal et *nox* pour nuit. À mes élèves, je dis en général que la durée de la journée est égale à la durée de la nuit aux équinoxes. Mais si par hasard, ils vérifient, il faut savoir répondre.

5. Vrai. C'est le centre de masse du système Terre Lune qui se déplace en suivant assez précisément les deux premières lois de Kepler. En fonction de la position de la Lune, la Terre peut prendre de l'avance ou du retard. L'équinoxe peut ainsi être avancé ou retardé (de moins de 3 minutes).