

LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 126 - Juin 2009 8 €

Bulletin du Comité de Liaison Enseignants et Astronomes



Numéro 126 - été 2009



ISSN 0758-234X

Comité de Liaison Enseignants Astronomes

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

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

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

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

Bureau du CLEA pour 2009

Présidents d'honneurs :

Lucienne Gouguenheim,
Jean-Claude Pecker
Évry Schatzman

Président : Georges Paturel

Vice-président : Éric Josselin

Trésorier : Jean Ripert

Trésorier Adjoint : Cécile Ferrari

Rédacteur des Cahiers : Christian Larcher

Secrétaire : Christian Larcher

Secrétaire Adjoint : Pierre Causeret

Responsables des sites web :

Francis Berthomieu

Charles-Henri Eyraud

Ces Cahiers Clairaut sont réalisés avec pour chef d'orchestre Christian Larcher. Pierre Causeret est responsable de la partie thématique et Jean Ripert de la mise en page.

Mais ce travail relationnel et parfois technique, ne serait pas possible sans la participation d'un grand nombre d'entre vous. Nous avons omis, dans le dernier numéro, de remercier ceux qui avaient participé à sa réalisation. Nous rétablissons cette erreur.

Ont participé à la rédaction et à la confection du CC 125

Auteurs : Francis Berthomieu, Pierre Causeret, Cécile Ferrari, Jean-Luc Fouquet, Pierre Le Fur, Lucienne Gouguenheim, Christian Larcher, Danièle Maurel, Georges Paturel, Jean Ripert.

Relecteurs : Dominique Balin, Francine Billard, Michel Bobin, Marilyne Facq-Lopez, Béatrice Sandré.

Ont participé à la rédaction et à la confection du CC 126

Auteurs : Michel Bobin, Étienne Bourguignon, Danielle Briot, Pierre Causeret, Jean-Pierre Devalance, Pierre Le Fur, Jean-Luc Fouquet, Christian Larcher, Catherine Lecoq, René Moreau, Jean Ripert, Jean-Michel Vienney.

Relecteurs : Francine Billard, Gilles Bouteville, Bernard Colomb, Frédéric Dahringer, Gilbert Gretillat, Georges Lecoutre, Liliane Sarrazin-Vilas, Josée Sert.

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

Photo de couverture : la Terre prise par Apollo 17. Crédit NASA/Goddard Space Flight Center

Les Cahiers Clairaut

Été 2009 n° 126

Éditorial

Vous avez entre les mains le deuxième numéro des Cahiers Clairaut sous sa forme nouvelle. Comme le précédent il est le fruit de la collaboration de différents auteurs qui nous proposent des articles de qualité et de re-lecteurs qui veillent à peaufiner le résultat final. Que les uns et les autres soient très vivement remerciés.

Dans ce nouveau numéro nous traitons du thème de la Terre notre planète. Après des notions de base et des repères historiques, nous décrivons des activités destinées aux professeurs des écoles et des collèges. Catherine Lecoq nous propose, pour les CM2, une utilisation raisonnée du dispositif dit du "saladier" tandis que Jean-Luc Fouquet, à partir de dessins "explicatifs" d'élèves, nous incite à prendre en compte les conceptions initiales dans l'apprentissage de l'astronomie. Pierre le Fur nous convie à un fabuleux voyage d'été au pays des amas globulaires avec la réalisation d'une impressionnante maquette en 3 D du halo galactique. Danielle Briot, à partir du poème de Verlaine : "Le ciel est par-dessus le toit", nous fait percevoir que "les étoiles brillent pour tous".

N'hésitez pas à nous transmettre vos remarques pour rendre notre publication encore plus vivante.

Nous vous souhaitons une bonne lecture.

Christian Larcher : larcher2@wanadoo.fr

Comment savoir si j'ai renouvelé mon abonnement ?

Il suffit de regarder l'étiquette de votre adresse accompagnant le Cahiers Clairaut.

Sur la première ligne, il y a votre n° d'abonné et un nombre.

"128" vous êtes abonné jusqu'au n° 128.

"124", vous n'êtes pas réabonné.

URGENT !

Il reste encore quelques places pour l'École d'Été d'Astronomie à Col Bayard, du 20 au 27 août. Si vous êtes intéressé, prenez rapidement contact avec Georges Paturel.
patu@obs.univ-lyon1.fr

Article de fond - réalisation

Voyage d'été au pays des amas globulaires
Pierre Le Fur p 2

Thème : LA TERRE p 9

Notions de base et repères historiques
Pierre Causeret p 10

Réflexion

Le jour et la nuit dans les conceptions initiales
Jean-Luc Fouquet p 14

Avec nos élèves

Le saladier, un modèle ?
Catherine Lecoq p 17

Réalisation

Dispositifs pour "sentir" que la Terre peut tourner sur elle-même
Pierre Causeret p 23

Avec nos élèves

Le jour et la nuit
Jean Ripert p 24

Article de fond

La Terre tourne-t-elle rond ?
Christian Larcher p 26

Témoignage

"Le ciel est par-dessus le toit"
Astronomie dans les prisons
Danielle Briot p 30

Ciel de l'été
Pierre Causeret p 33

Jeux

La navette de l'espace lettres
Michel Bobin, p 34

Lecture pour la Marquise
René Moreau p 36

Solutions p 37

Vie de l'association
Conférence de J.P. Verdet, résumé
de Jean-Pierre Devalance et Jean-Michel
Vienney p 38

ARTICLE DE FOND - RÉALISATION

VOYAGE D'ÉTÉ AU PAYS DES AMAS GLOBULAIRES

Pierre Le Fur, MPSI, ISEN Toulon,
formateur en astronomie, académie de Nice

Résumé : Comment réaliser une maquette du halo galactique avec un peu de carton, des pics à brochettes et des boules de polystyrène. On se fera aider par Messier et Shapley.

1. Par une nuit sans Lune de juillet

Après la dernière lueur du couchant.

Un petit nuage clair entouré de deux compagnons stellaires se devine dans la lunette-chercheur du télescope. Il se détache sur le fond d'un ciel provençal mais citadin. Je manœuvre la "raquette" d'ascension droite et la mollette de déclinaison de mon vieux Célestron 8. Le petit objet diffus vient se centrer délicatement sur le réticule trop visible car éclairé par cette obscure clarté qui semble venir du ciel mais qui n'a d'autre origine que la forte pollution lumineuse de l'agglomération toulonnaise.

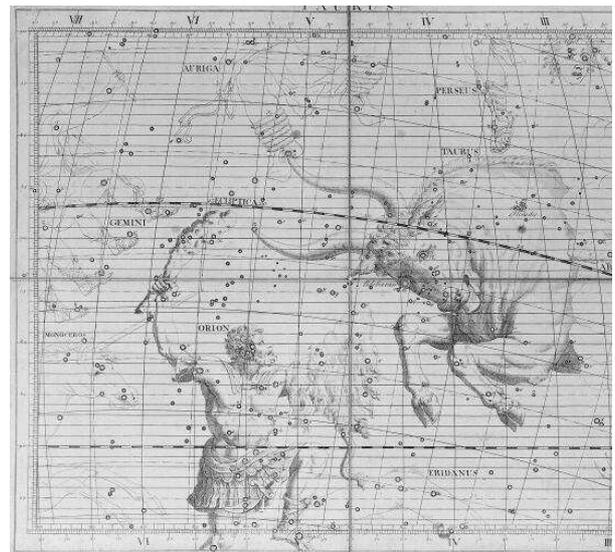
Mais l'objet "Messier 13" apparaît malgré tout en plein champ de l'oculaire du télescope ; et la vision de ce subtil nuage d'étoiles perdu entre deux compagnons stellaires du géant Hercule reste admirable.

Je recueille une image qui diffère totalement de ces clichés colorés et spectaculaires obtenus aux télescopes géants. Ici tout est finesse et fluidité : cet amas globulaire se détache timidement du fond presque noir des espaces infinis. L'œil balaye le champ de vision, s'aguerrit minute après minute, jusqu'à détecter distinctement et individuellement une première étoile, une deuxième, puis dix, puis vingt. Enfin la splendeur délicate de ce groupe de milliers d'astres agglutinés en cet endroit du ciel apparaît et s'impose à la rétine comme un paquet de photons vieux de 25 000 ans. À cet instant seulement, on peut ressentir la fabuleuse distance qui nous sépare de ces soleils géants. Seule cette expérience de vie donne un fragile aperçu des colossales distances astronomiques.

Ces longues minutes de paix et de communion avec l'univers sont celles de Flammarion ou de Messier. Aucun clic sur Internet ne pourra apporter une aussi forte impression de contact "réel" avec le ciel.

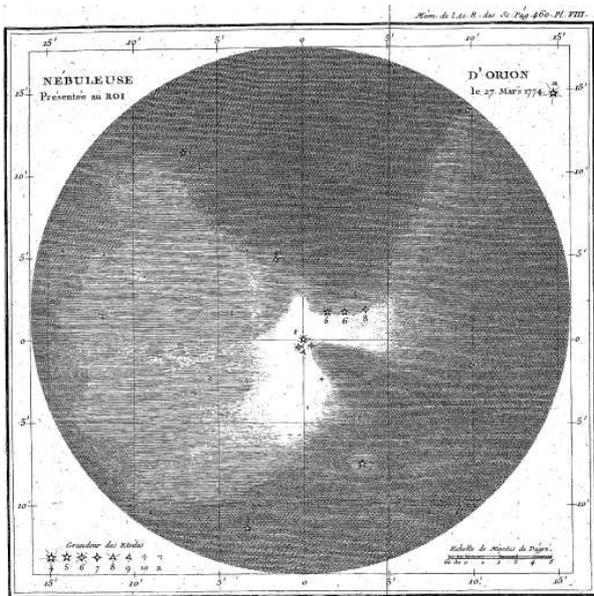
Une merveilleuse carte aux trésors.

Mais qui nous a conduit ici, dans ce voyage à travers la constellation d'Hercule ? Ce sont les John Flamsteed, Charles Messier et leurs successeurs moins connus comme Antonin Beckvar. Ces savants ont réalisé des cartes précises devenus nos guides de cabotages célestes au gré des étoiles doubles, variables et autres amas globulaires.



Carte de Flamsteed
<http://www.gallica.bnf.fr>

Ces cartes aux trésors ne sont pas que des repères, des chemins tracés dans le ciel. Elles constituent elles mêmes des oeuvres d'art comme celles de Flamsteed et de Messier qui y traçaient la route des astres chevelus (voir ci-dessus). Elles sont aussi le lieu des rêves éveillés des astronomes amateurs qui consultent encore celle plus récente de Beckvar ("Atlas of the Heavens" - 1950 académie tchécoslovaque des sciences), pour préparer leurs observations comme ces chasseurs de comète modernes (Don Machholz a ainsi découvert la comète "1986 e").



Carte de la nébuleuse d'Orion "présentée au roi"
Louis XV par Messier (Gallica)

2. Messier, guide du voyage

Un peu d'histoire

Retrouvons dans les mémoires de l'Académie des Sciences les pages écrites par Messier, le "furet" des comètes [1] qui oeuvra au milieu du XVIII^e siècle pour établir "un catalogue des nébuleuses et des amas d'étoiles que l'on découvre parmi les étoiles fixes au-dessus de Paris". Ce texte daté du 16 février 1771 nous est accessible grâce à la téléconsultation et le téléchargement, mis en ligne par la merveilleuse grande bibliothèque de France (site: <http://www.gallica.bnf.fr>).

En voici l'extrait concernant la "nébuleuse" M 2 du Verseau, deuxième de son catalogue:

Le 11 Septembre 1760, je découvris dans la tête du Verseau une belle nébuleuse qui ne contient aucune étoile; je l'examinai avec un bon télescope Grégorien de 30 pouces de foyer, qui grossissoit cent quatre fois; le centre en est brillant, & la nébulosité qui l'environne est ronde; elle ressemble assez à la belle nébuleuse qui se trouve entre la tête & l'arc du Sagittaire: elle peut avoir 4 minutes de diamètre d'un grand cercle; on la voyoit très-bien avec une lunette ordinaire de 2 pieds: je comparai son passage au

Bien qu'observant pour le compte de l'observatoire de la Marine, l'instrument qu'il emploie reste modeste, puisque c'est un télescope à miroir métallique, d'environ 75 cm de focale, dont l'ouverture ne doit guère dépasser 10 à 15 cm.

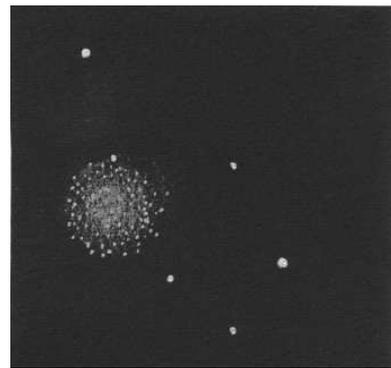
Il apparaît donc clairement, qu'un amateur d'astronomie très modestement équipé pourra sans difficulté comparer ses observations à celles de Messier et se projeter 250 ans en arrière.

Comparaison avec les observations d'amateur :

Intéressons nous à deux amas globulaires typiques : le deuxième du catalogue de Messier "M 2" du Verseau et M 22 du Sagittaire. Les deux dessins obtenus à l'oculaire d'un télescope d'amateur de 10 cm de diamètre, en banlieue d'une ville de moyenne importance, montre les deux aspects classiques : celui d'un amas globulaire non résolu en étoiles et le fourmillement de têtes d'épingles lumineuses d'un globulaire résolu. Comparons aux



Observations de l'auteur au télescope de 100 mm :
(grossissement 45, 09/1972)
M2 non résolu en étoiles



M22 est résolu en étoiles.
(grossissements 72 et 112, 07/1972)

observations de Messier notées dans son catalogue :

TABLE des Nébuleuses, ainsi que des amas d'Étoiles, que l'on découvre parmi les Étoiles fixes sur l'horizon de Paris; observées à l'Observatoire de la Marine.

ANNÉES & JOURS.	ASCENSION droite.	DÉCLINAISON.	DIAM.	INDICATION DES NÉBULEUSES & amas d'Étoiles.
	D. M. S.	D. M. S.	D. M.	
1758. Sept. 12	80. 0. 33	21. 45. 27. B.	...	nébuleuse placée au-dessus de la corne méridionale du Taureau.
1760. Sept. 11	320. 17. 0	1. 47. 0. A.	0. 4	nébuleuse sans étoile, dans la tête du Verseau.

M 2 : deuxième ligne du catalogue de Messier : on peut lire "sans étoile".

Il apparaît clairement que l'amateur d'aujourd'hui dispose d'instrument de haute qualité optique, par rapport à ceux de Messier : les étoiles de M 22 sont visibles pour l'amateur et non pour Messier.

5	275. 28. 39	24. 6. 11. A.	0. 6	nébuleuse sans étoile, entre l'arc & la tête du Sagittaire.
20	265. 42. 50	18. 45. 55. A.	0. 15	amas d'étoiles entre l'extrémité de l'arc du Sagittaire & le pied droit d'Ophiucus, très-près de l'étoile 65 ^e d'Ophiucus, suivant le catalogue de Flamsteed.
20	270. 26. 0	18. 26. 0. A.	1. 30	amas d'étoiles qui contient beaucoup de nébulosité près de l'extrémité de l'arc du Sagittaire, sur le parallèle de l'amas précédent.
20	274. 25. 0	19. 5. 0. A.	0. 10	amas de petites étoiles dans le voisinage des deux précédents, entre la tête & l'extrémité de l'arc du Sagittaire: cet amas ne contient aucune nébulosité.

M 22 : première ligne de cet extrait du catalogue, à la date du 5 juin 1764, on peut encore lire : "sans étoile, entre l'arc et la tête du Sagittaire".
M 22 n'est pas résolu en étoiles.

Messier pouvait-il différencier un amas globulaire d'une nébuleuse ? Il donne lui-même la réponse en décrivant ses observations de l'amas d'Hercule ("M" 13^e du catalogue) le plus spectaculaire et sans doute l'un des plus faciles à identifier comme agglomération stellaire :

La nuit du 1^{er} au 2 Juin 1764, j'ai découvert une nébuleuse dans la ceinture d'Hercule, je me suis assuré qu'elle ne contient aucune étoile; l'ayant examinée avec un télescope Newtonien de quatre pieds & demi, qui grossiffoit soixante fois, elle est ronde, belle & brillante, le centre plus clair que les bords: on l'aperçoit avec une lunette ordinaire d'un pied, elle peut avoir de diamètre trois minutes de degré: elle est accompagnée de deux étoiles, l'une & l'autre de la neuvième grandeur, placées, l'une au-dessus, l'autre au-dessous de la nébuleuse, & peu éloignées. J'ai déter-

Cette nuit de juin 1764, aucune résolution en étoiles n'aura été possible. Mais s'y intéressait-il vraiment, puisque son catalogue n'avait pour but que d'éviter les confusions "nébuleuses"/comète lors des longues traques à l'astre chevelu ? N'a-t-il pas découvert treize comètes ?

Notre guide nous aura indiqué les emplacements de ces amas parmi les étoiles. Et ces "nébuleuses" n'ont de globulaire que leur aspect sphérique, au-delà de toute idée de leur nature physique.

Nous voilà avec une carte à deux dimensions riches d'objets mystérieux, prêts à les explorer ; comme l'ont fait avant nous les meilleurs observateurs amateurs [2].

3. De Messier à Shapley

La troisième dimension

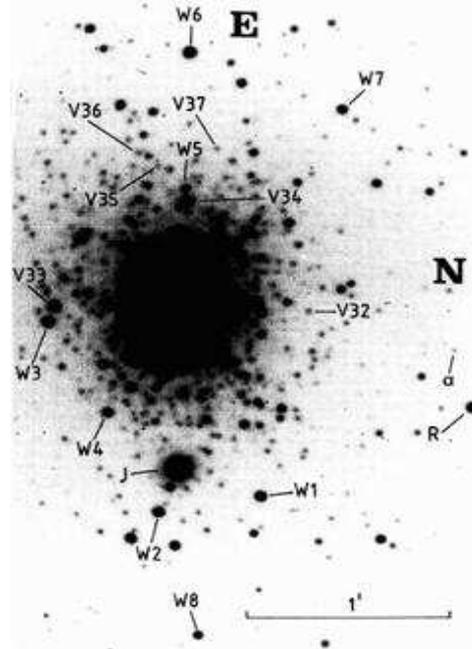
Mais au-delà de l'observation naturaliste voire poétique de ces objets du ciel "profond", une grande inconnue occulte notre compréhension des images télescopiques, voire notre ressenti : quelles tailles réelles ont ces groupements stellaires serrés ?

Pour répondre à cette question, connaître leurs distances au système solaire paraît impératif.

Comment accéder à cette troisième dimension ?

Si au XIX^e siècle, les Herschel (William, Caroline et John) construisirent des instruments suffisamment puissants pour résoudre nombre de ces amas globulaires, il fallut attendre le début du XX^e siècle pour estimer leur distance [3].

La méthode des RR Lyrae.



Quelques RR Lyrae dans un amas

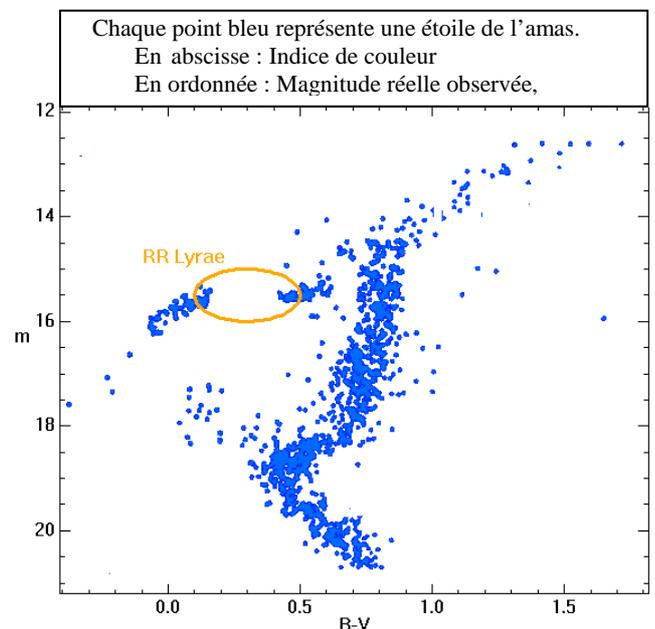
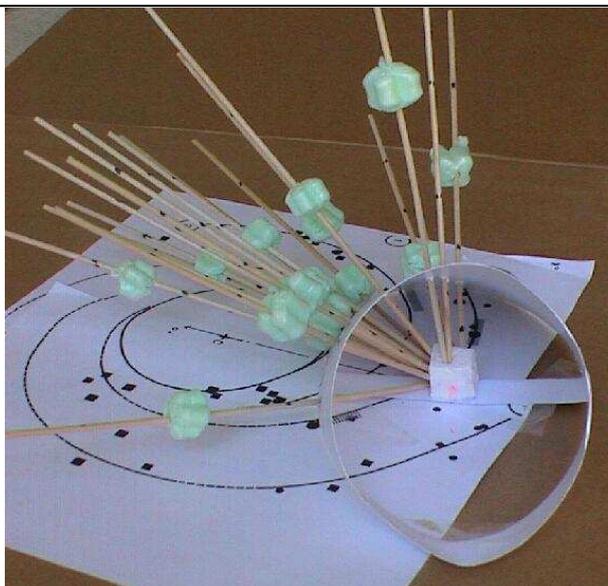


Diagramme de Hertzsprung Russel d'un amas globulaire : il met en évidence le "trou" des RR Lyrae. Dans cet exemple, leur magnitude observée est donc de 15 environ, or leur magnitude absolue est statistiquement constante et vaut 0,6.

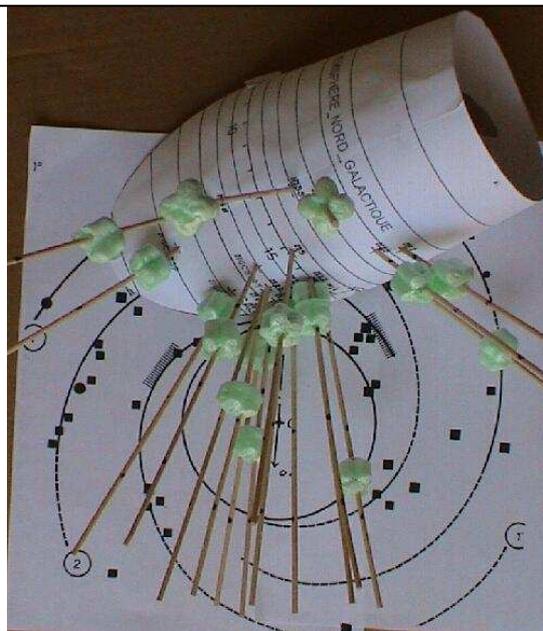
la distance en parsec –hors absorption– [4] est alors : $d=10^{(1+(15-0,6)/5)}=6\ 920\ \text{parsecs}=22\ 500\ \text{a.l.}$

C'est dans l'étonnante variabilité de certaines étoiles que réside le secret ; découverte par Miss Leavitt en 1912, la relation période-luminosité des étoiles "céphéïdes", permet de calibrer la luminosité intrinsèque de ces astres (magnitude absolue), et par comparaison avec leur éclat réel (magnitude observée), d'en déduire leur distance [4]. Malheureusement celles-ci sont peu présentes dans les amas globulaires et ce sont leurs proches "cousines", les variables d'amas RR Lyrae, qui ont

été utilisées. Les travaux de Shapley (1915-20), au Mont Wilson [5], ont permis de connaître ainsi la situation spatiale des amas globulaires par rapport à notre galaxie, donc de déterminer leur distance. Cette question est abordée d'une manière interactive et ludique sur le site de l'observatoire de Paris pour son Diplôme Universitaire "Fenêtre Sur l'Univers" accessible à tous, y compris les non inscrits aux cours [6].



Maquette du halo galactique, vue du pôle céleste Nord : chaque boule verte représente un amas globulaire. Les pics sont centrés sur la position du Soleil (cube de polystyrène blanc) [10]. On distingue la schématisation des bras spiraux de la Voie Lactée. Le bras du Sagittaire "frôle" à gauche le cube-soleil. Le bras externe de Persée est visible au premier plan.



Maquette du halo galactique, vue du pôle galactique Nord : le cylindre de carton centré sur le Soleil, guide les pics. Le bras n°2 de la Galaxie est le bras intermédiaire Écu-Croix. Celui du Sagittaire dont le départ est visible au-dessus du précédent à gauche est, ici, en grande partie caché par le cylindre de carton.

4. Une maquette 3D du halo galactique

Le principe.

Nous voilà prêts à réaliser une maquette en trois dimensions qui synthétise les positions relevées par Messier ou Herschel et les données de distance, plus récentes, obtenues par Shapley.

Le principe est simple : on matérialise la direction du Soleil vers les amas globulaires par une tige de bois. On place sur celle-ci une boule de polystyrène à une position convenable dépendant d'une échelle de distance préalablement définie.

On peut y adjoindre le schéma des bras spiraux de notre Voie Lactée [7].

Pour des raisons de commodité on ne représente que la moitié de l'espace. La Voie Lactée découpe le ciel en deux parties [10], les deux hémisphères galactiques. On ne retient que la moitié du ciel où

se trouve le pôle nord céleste (la Polaire), c'est-à-dire l'hémisphère galactique nord.

La réalisation.

Les pics à brochettes sont gradués en utilisant l'échelle : $5\text{cm} \triangleq 10\,000$ années de lumière. Les distances Soleil/amas proviennent d'une base de données sur l'internet [9] ou de l'ouvrage [2].

Le cylindre de carton découpé en biais a un diamètre d'environ 12,5 cm et 25 cm dans sa plus grande longueur. Voir le "patron" page 7 (figure 1) qui doit être agrandi puis replié sur lui-même. Ensuite on le découpe suivant la sinusoïde figurant le plan de la Voie Lactée. Cette carte du ciel en projection "aphylactique centrale" ou gnomonique [8] est graduée en déclinaison de -70° à $+70^\circ$ et en ascension droite de 0 à 24 h. On y a placé les positions des amas globulaires découverts par Messier, en ne retenant que ceux situés dans

l'hémisphère galactique nord. Malheureusement Messier ne pouvait pas observer les "nébuleuses" situées trop près de l'horizon ; en particulier les amas globulaires de l'hémisphère céleste sud (et galactique nord). Quatre amas brillants ont donc été rajoutés à la liste historique : NGC 5897 (W. Herschell), 6356 (W. Herschell), 5986 (Dunlop) et 5139 (Halley). Messier aurait pu les observer sous une latitude plus faible que celle de Paris. Seule la vingtaine d'objets observables avec les moyens de Messier ont été retenus, sur les presque 75 amas globulaires galactiques nord actuellement répertoriés [9].

La direction du centre galactique est indiquée, pour orienter le cylindre par rapport à la carte de la Voie Lactée.

La carte de la Voie Lactée (figure 2) est agrandie pour que la distance Soleil/centre galactique soit de 15 cm (soit 30 000 années de lumière environ, à l'échelle des "brochettes").

On assemble le tout avec de la colle, des ciseaux et de la patience.

4c. L'exploitation

Au premier coup d'œil on constate que le nuage d'amas tourne le dos à la constellation d'Orion et s'étire vers le centre de la Galaxie, dans la direction du Sagittaire. Ces amas sont fortement liés à notre univers-île, par la force de gravitation. Nous comprenons ainsi pourquoi c'est par un soir d'été et non d'hiver qu'il nous fallait explorer ce halo d'amas globulaires : le Sagittaire culmine dans le ciel d'été en début de soirée, alors qu' Orion domine le ciel d'hiver.

Les plus éloignés, comme M 53, approchent le pôle galactique, au contraire des plus proches comme M 10 qui sont presque dans le plan de la Voie Lactée : l'absorption par les poussières interstellaires se fait sentir dans les directions proches du plan galactique.

D'autre part, on comprend pourquoi l'éclat de M13 reste remarquable : la distance au Soleil est moyenne (25 000 a.l.) mais sa lumière subit peu l'absorption de par sa haute latitude galactique. Quant au proche "Omega" du Centaure (NGC 5139 : 18 500 a.l.), on l'observe dans une direction à angle droit de celle du centre galactique, l'absorption intervient peu, son éclat en est accru. Enfin, les amas de Messier ne constituent qu'une partie de la sphère constituant le halo galactique. Pour explorer l'ensemble du halo, il devient nécessaire de monter en magnitude et donc d'utiliser des

moyens beaucoup plus puissants (recherches au Mont Palomar après 1950).

5. Le doux parfum des temps anciens.

Cette maquette en carton nous permet d'appréhender le réel, de matérialiser nos idées sur la répartition spatiale de ces astres magnifiques. Certes elle n'a pas la poésie des cartes anciennes dans son aspect peu soigné ou ce matériau peu "noble" qu'est le carton. Mais nous l'avons vu, elle contient le résultat de siècles de recherches astronomiques et aura été un bon prétexte pour découvrir les travaux de Messier ou Shapley. Alors, par un beau soir d'été, en observant ces étoiles groupées en sphères de lumière et en désignant sur notre maquette le lieu de notre curiosité, un doux parfum des temps anciens monte à notre esprit. On imagine Shapley fixer une plaque photographique sur une platine d'un des télescopes du Mont Wilson en cet été 1915. On devine, en ce beau mois de juin 1764, Messier lire à la lueur d'une lanterne les coordonnées d'une "nébuleuse" sur la monture de bronze, finement graduée, de son télescope grégorien. Nous ressentons cet extraordinaire héritage scientifique, artistique et humain que nous devons transmettre à la génération montante. L'envie de partager ces instants subtils de contact visuel avec les étoiles s'impose à nous.

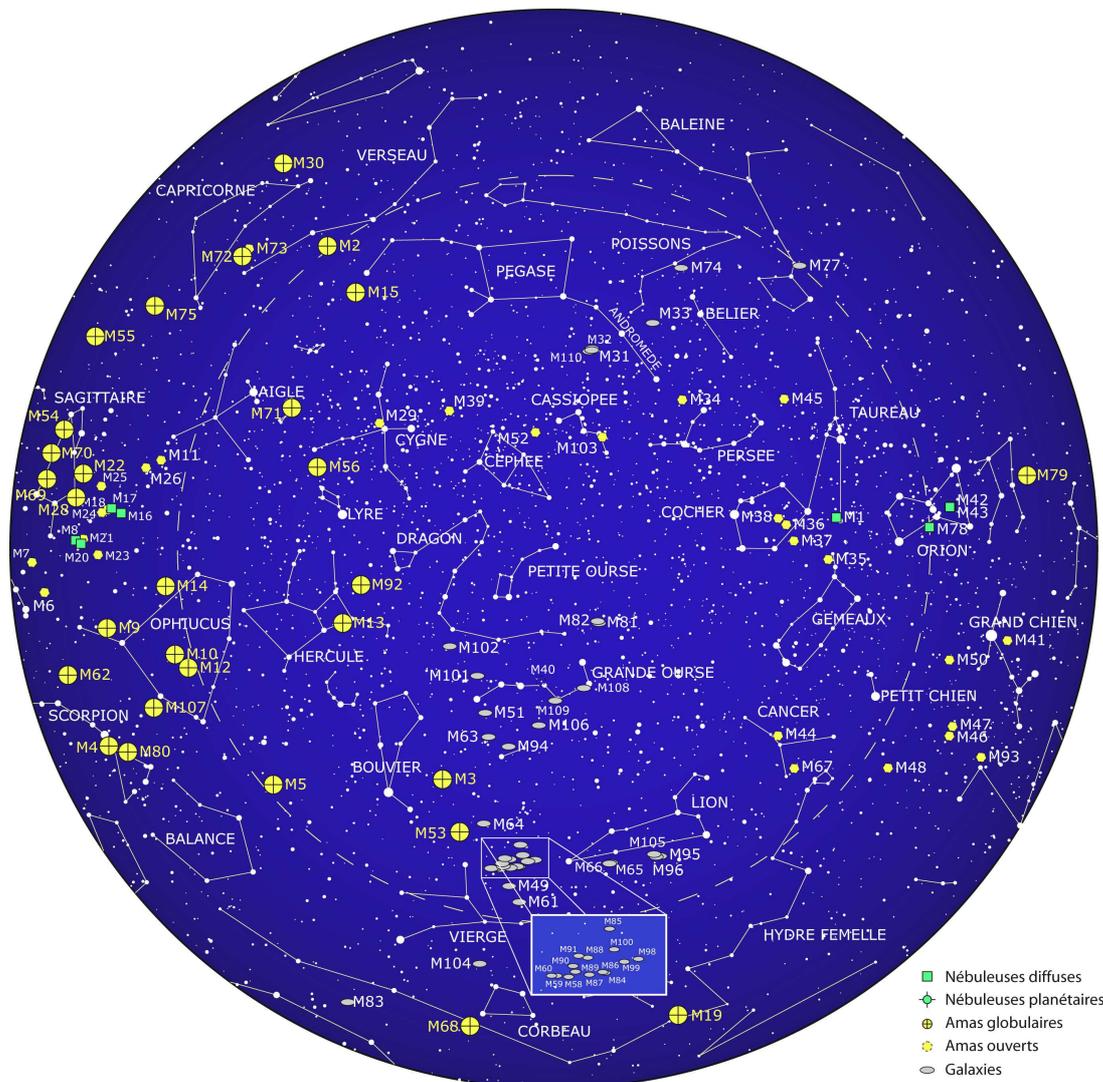
Enfin, ces photons captés par nos yeux nous ramènent à l'époque reculée d'une préhistoire où le ciel était peuplé de divins mystères.

Bibliographie :

- [1] "Les comètes : mythes et réalités", p 146, M. Festou, P. Verron, J.C. Ribes, chez Flammarion 1985.
- [2] "Les objets de Messier", S. O'Meara, chez Broquet, 2002.
- [3] "Les étoiles" A. Secchi, chez Félix Alcan, 1895.
- [4] "Initiation à l'astronomie", p 90, A. Acker, chez Masson, 1982.
- [5] "L'astronomie", p 379, L. Rudaux et G. de Vaucouleurs, chez Larousse, 1950
- [6] <http://media4.obspm.fr/public/FSU/>
- [7] "La galaxie, l'univers extragalactique", p 102, bureau des longitudes, chez Gauthier-Villars, 1980.
- [8] "Référentiels et mouvements de satellites", p 21, Cahiers Clairaut n° 108, hiver 2004-05.
- [9] <http://www.seds.org/~spider/spider/MWGC/mwgc.html>
- [10] <http://www.datasync.com/~rsf1/fun/sm-new.htm>



Un amas globulaire photographié, par l'auteur, sur 103 AO à l'aide d'un Célestron 8.



Cette carte peut être téléchargée sur le site du CLEA

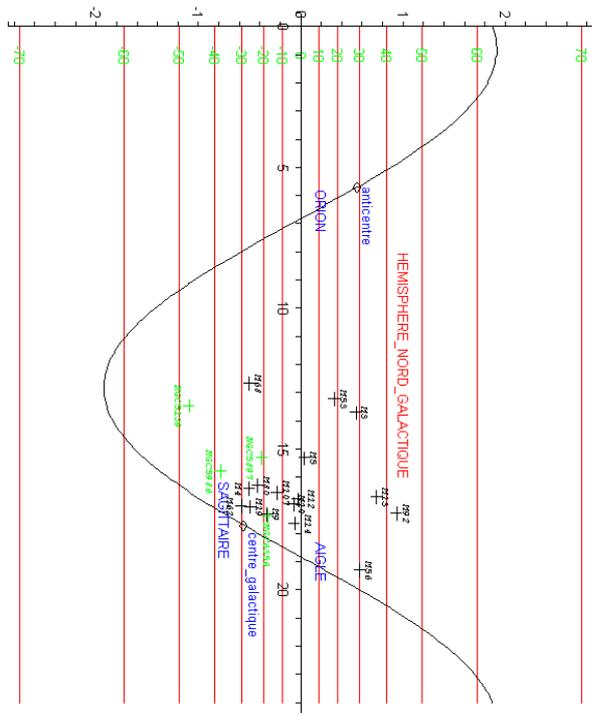


Figure 1- à photocopier et agrandir
(24 h d'ascension droite pour 40 cm environ)

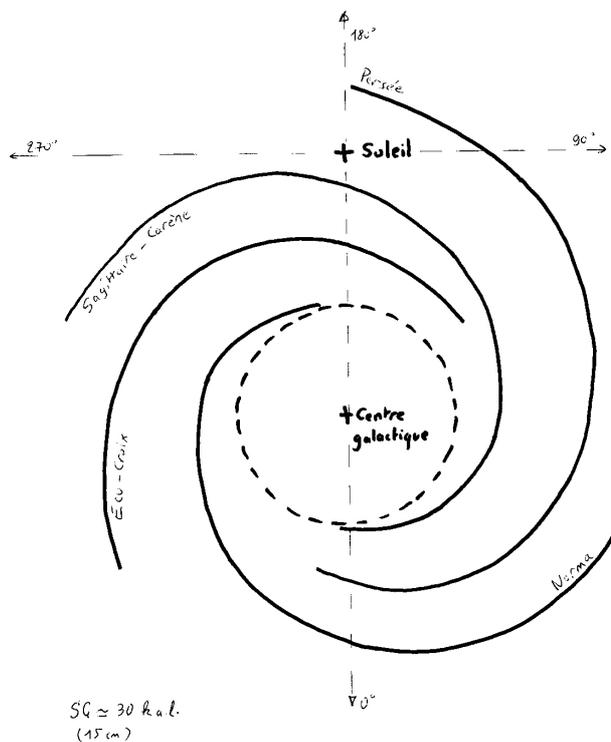


Figure 2- à photocopier et agrandir (Soleil-Centre Galactique~15cm).d'après [6].

Vous trouverez ces deux images à l'échelle 1 sur le site du CLEA

Shapleyet le Soleil n'est plus au centre

Jean Ripert

Au début du XX^e siècle, les distances des galaxies et des amas globulaires étaient inconnues. C'était l'époque du "Grand Débat", controversé sur la structure de l'Univers : les "nébuleuses" (galaxies) faisaient-elles partie de la Voie Lactée ou étaient-elles des "univers-îles" ?

En étudiant les céphéides (étoiles variables, référence δ Céphée ou RR Lyrae, on ne distinguait pas les deux catégories à l'époque), Henrietta Leavitt trouva une relation entre leur période et leur luminosité.

Harlow Shapley (1885-1972) utilisa la parallaxe statistique (due au mouvement du système solaire dans la Galaxie) de certaines de ces variables pour calibrer la relation période-luminosité.

Cette relation eut une grande importance dans l'arpentage de l'Univers. En effet, il est possible de déterminer la période de la variation de l'éclat d'une céphéide et à partir de la relation période-luminosité, d'en déduire sa luminosité intrinsèque. La comparaison de cette luminosité intrinsèque à la luminosité apparente de l'étoile permet d'en déduire sa distance.

Shapley appliqua la relation aux céphéides de près de 70 amas globulaires. Il détermina ainsi leurs distances (sans tenir compte de l'absorption). Les amas étaient bien plus loin que prévu, (la Voie Lactée aussi devenait gigantesque). Connaissant les coordonnées des amas par rapport à la Terre, il établit une carte à trois dimensions (1917). La plupart des amas entouraient la constellation du Sagittaire. L'ensemble des amas avait une répartition sphérique, mais le centre n'était pas le Soleil. Shapley délogeait le Soleil de sa place centrale dans la Voie Lactée où l'avait mis Herschel.

Mais lors de la rencontre publique organisée par Hale en 1920 sur le "Grand Débat", Shapley soutenait que les nébuleuses (galaxies) étaient situées au voisinage de la Voie Lactée, alors que Curtis pensait l'inverse. Plusieurs années plus tard, Hubble apporta la preuve que Curtis avait raison. Ainsi va l'histoire de l'astronomie et des sciences.

Un astéroïde porte le nom de Shapley : le n° 1123 Shapleya.

Voir à l'adresse suivante les différents articles (en bref, compléments, activité) dans lunap (l'univers à portée de main) réalisé par le CLEA : <http://www.ac-nice.fr/clea/lunap/html/Amas/AmasEnBref.html>

THÈME : LA TERRE

Et oui, elle tourne !



Photos : P. Causeret

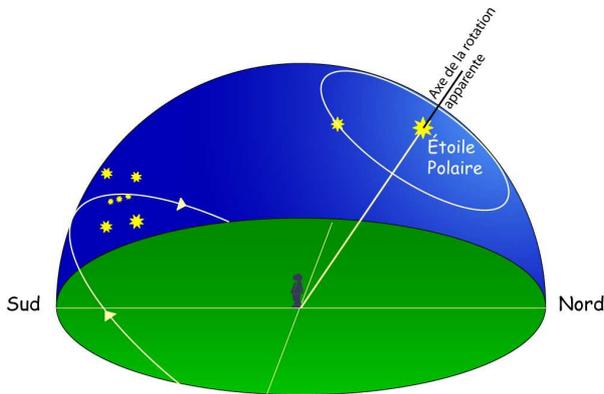
Notions de base et repères historiques

Pierre Causeret, Esbarres

Sur la rotation de la Terre

Le mouvement apparent du ciel

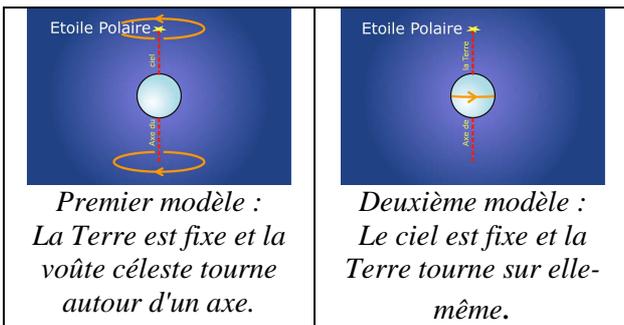
Au cours de la journée, on voit le Soleil se lever et se coucher. Au cours de la nuit, on voit les étoiles se déplacer et l'ensemble de la voûte céleste tourner autour d'un axe passant à proximité de l'étoile Polaire avec une période de 23 h 56 min. C'est ce qu'on appelle le mouvement apparent du ciel.



Le mouvement apparent des étoiles

Modèles explicatifs

A l'époque grecque, on pensait que c'était le ciel qui tournait autour de la Terre. Actuellement, on dit que c'est la Terre qui tourne sur elle-même.



Les deux modèles sont strictement équivalents. Tout dépend du repère choisi. Alors, y a-t-il un bon et un mauvais modèle ?

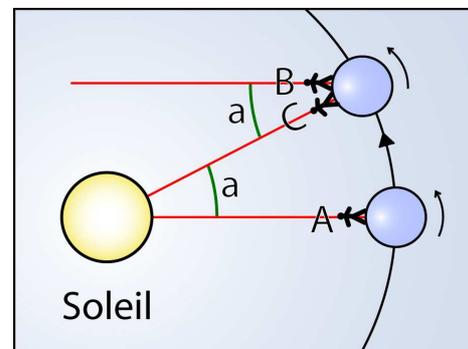
En 1902, Henri Poincaré écrivait dans "la science et l'hypothèse" : L'espace absolu n'a aucune existence objective. Dès lors, cette affirmation : "la Terre tourne" n'a aucun sens (...) ou plutôt ces deux propositions "la Terre tourne" et "il est plus commode de supposer que la Terre tourne" ont un seul et même sens".

Si l'on considère que la Terre est fixe, les étoiles tournent autour de la Terre à des vitesses dépassant la vitesse de la lumière. Il devient alors difficile de faire de la physique. Il est donc plus commode de dire que c'est la Terre qui tourne sur elle-même. Certains repères sont plus pratiques que d'autres si on veut que le monde soit compréhensible. Mais, en toute rigueur, il n'est pas faux de dire que le Soleil tourne autour de la Terre. C'est vrai dans un repère lié à ma maison, mon environnement, mon horizon.

Ce n'est pas un problème simple et il faut être prudent quand on en parle à nos élèves. Mais il me semble important de leur montrer qu'il y a deux modèles et que l'on choisit celui qui est le plus pratique.

Périodes de rotation

La période sidérale de rotation de la Terre (mesurée par rapport aux étoiles) est de 23 h 56 min 4 s. La durée du jour solaire moyen est de 24 h. La différence vient du fait que, pendant que la Terre tourne sur elle-même, elle se déplace aussi autour du Soleil.

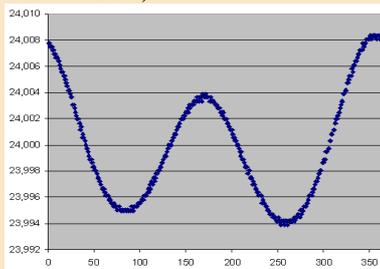


Pour le personnage en A, il est midi au Soleil. Après 23 h 56 min 4 s, la Terre a effectué un tour sur elle-même mais elle a aussi avancé sur son orbite. Le personnage se retrouve en B mais pour lui il n'est encore pas midi. Il faut environ 4 min pour qu'il se retrouve en C, à midi solaire.

La période sidérale est stable, du moins sur une année. Par contre la durée du jour solaire varie au cours de l'année entre 23 h 59 min 39 s et 24 h 0 min 30 s. En effet, l'écart d'environ 4 minutes n'est pas constant, il dépend de la vitesse de la Terre sur son orbite et de la position du plan de l'équateur (voir encadré). Cette variation est à l'origine de ce qu'on appelle l'équation du temps.

La durée du jour solaire

On définit le jour solaire comme l'intervalle de temps compris entre deux midis solaires consécutifs, le midi solaire vrai étant l'instant du passage du centre du Soleil dans le plan du méridien. L'institut de mécanique céleste donne l'heure TU de passage du Soleil au méridien. Par une simple soustraction, on obtient la durée du jour solaire vrai. Pour 2009, on trouve le minimum le 15 septembre (jour solaire de 23 h 59 min 38 s) et le maximum le 25 décembre 2009 (24 h 0 min 30 s).

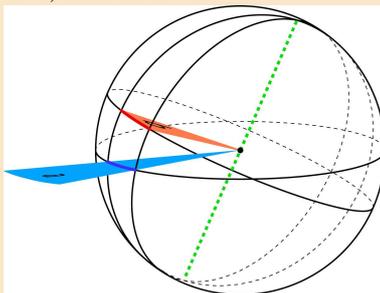


Durée du jour solaire en 2009

D'où viennent ces variations ?

Tout d'abord, l'angle **a** (du dernier schéma de la page précédente) dépend de la vitesse de la Terre sur son orbite. Or celle-ci varie de 29,3 km/s à l'aphélie début juillet à 30,3 km/s au périhélie début janvier. Quand la Terre va plus vite, l'angle **a** est plus grand et il faudra plus de temps pour que le personnage passe de B à C.

Deuxième raison, quand la Terre tourne sur elle-même autour de son axe, l'angle de rotation que l'on notera **b** se mesure dans le plan de l'équateur alors que l'angle **a** est dans le plan de l'écliptique. La figure ci-dessous montre qu'au solstice d'hiver, **b** > **a**. L'angle dont doit tourner la Terre est plus grand que l'angle **a**, ce qui contribue encore à allonger les jours solaires de décembre et janvier. Aux équinoxes, c'est l'inverse, on trouve **a** > **b**.



Au solstice d'hiver, l'angle rouge **b** dont doit tourner la Terre dans le plan de l'équateur est supérieur à l'angle bleu **a** dans le plan de l'écliptique. C'est la même chose au solstice d'été.

Ces deux variations peuvent s'expliquer aussi en utilisant un soleil moyen se déplaçant à vitesse constante sur l'équateur céleste. Cela revient exactement au même.

L'équation du temps est la somme des écarts entre le jour solaire vrai et le jour solaire moyen de 24 h.

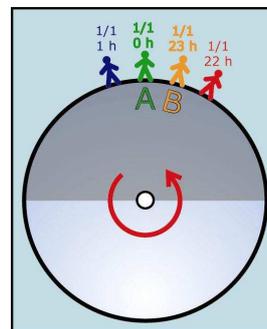
Fuseaux horaires et ligne de changement de date

En 1876, un Canadien (Sir Sandford Fleming) avait proposé de partager la Terre en 24 fuseaux horaires, le méridien de Greenwich servant d'origine et le méridien de changement de date étant situé à l'opposé. Son système finit par être adopté par la plupart des pays avant 1929.

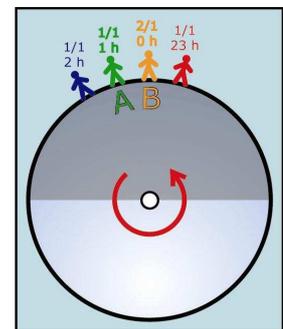
L'heure légale est en général définie comme étant l'heure du fuseau le plus proche (avec parfois une heure d'été et une heure d'hiver). Les pays les plus grands couvrant plusieurs fuseaux, certains comme les États-Unis, la Russie ou l'Australie ont plusieurs heures différentes alors que d'autres comme la Chine ou l'Inde n'ont qu'une seule heure.

La ligne de changement de date n'est pas évidente à concevoir. Pourrait-on s'en passer (en supposant que l'on continue à changer de date à minuit) ?

Imaginons qu'à un moment donné, la date est la même sur toute la Terre, le 1er janvier par exemple. Une heure plus tard, une personne A pour laquelle il était 23 h passe à 0 h et se retrouve donc le lendemain, le 2 janvier. Par contre, une personne B pour laquelle il était 0 h passe à 1 h et reste le 1er janvier.



Ici les quatre personnages sont à la même date, le 1er janvier



Une heure plus tard, seul B a passé minuit et a changé de date

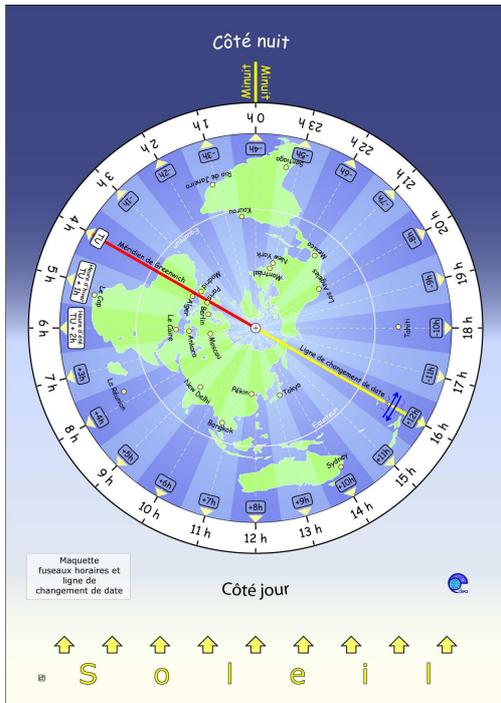
A et B n'ont donc plus la même date. Entre les deux, se trouve donc une ligne de changement de date dont on ne peut se passer. Quand on traverse cette ligne d'est en ouest, on ajoute un jour alors que d'ouest en est, on enlève un jour.

Quelques remarques :

- La ligne de changement de date aurait pu être mise sur n'importe quel méridien. Mais placée ainsi à l'opposé du méridien de Greenwich, elle traverse le Pacifique dans des régions peu habitées ce qui est plus pratique.
- En réalité sur la Terre, il y a une deuxième ligne de changement de date : c'est le méridien minuit, à l'opposé du Soleil. Mais cette ligne est mobile.

- Quand il est 12 h en Temps Universel, il est minuit sur la ligne de changement de date. A ce moment là, tous les habitants de la Terre sont à la même date.
- Les limites des heures légales suivent les frontières et non les méridiens. On peut trouver sur Internet le détail de toutes ces heures (www.theuds.com/fuseau-horaire.php).

Une maquette des fuseaux horaires



Maquette des fuseaux horaires (déjà parue dans le n° de septembre 2008 de la revue Cosinus)

Vous pouvez télécharger et imprimer cette maquette sur le site Internet du CLEA à l'adresse <http://www.ac-nice.fr/clea/SommCC126.html>.

Elle est constituée de deux parties, un disque mobile représentant la Terre du pôle Nord à la latitude de 60° sud et une partie fixe graduée en heure.

Pour l'utiliser, on tourne le disque pour que la flèche choisie (TU, TU+1 pour l'heure d'hiver ou TU+2 pour l'heure d'été) corresponde à l'heure désirée. On peut alors lire l'heure des différents fuseaux. On peut voir aussi de manière très approximative dans quel pays il fait jour et dans quel pays il fait nuit. On pourrait améliorer cette maquette en y ajoutant un transparent sur lequel on aurait tracé les limites jour - nuit à différentes dates.

Repères historiques

Platon (IV^e s av JC) prouve la rotondité de la Terre en avançant deux arguments :

- lors d'une éclipse, la forme de l'ombre de la Terre sur la Lune apparaît toujours comme un disque
 - la hauteur des étoiles au-dessus de l'horizon varie avec la latitude.
- Plus tard, Strabon (I^e s av JC) donne un autre argument : quand un bateau s'éloigne, la coque disparaît avant son mât.

Héraclide du Pont, disciple de Platon, propose une Terre en rotation sur elle-même au centre du monde.

Aristote énumère des arguments contre la rotation de la Terre :

- Ce serait un mouvement forcé qui ne peut être éternel.
- Si la Terre tournait d'ouest en est les objets ne tomberaient pas à la verticale (le sol se déplaçant pendant la chute).
- La rotation de la Terre devrait s'accompagner d'un fort vent d'est...

Eratosthène (III^e s av JC) calcule la circonférence terrestre à partir de la hauteur du Soleil et de la distance entre Syène (Assouan) et Alexandrie.

D'autres mesures du rayon de la Terre sont réalisées, par Posidonius à partir de la hauteur de Canopus (I^e s av JC) et plus tard par les astronomes arabes dans le désert de Syrie.

Copernic propose (comme Héraclide du Pont) de supposer que la Terre tourne sur elle-même.

Galilée démonte les arguments d'Aristote contre la rotation de la Terre. Il explique que la Terre peut tourner sans que l'on s'en rende compte. Il croit trouver dans les marées une preuve de ce mouvement mais son argumentation est fautive. Il explique aussi dans son livre, le Dialogue, que le tir d'un canon vers le nord ou le sud doit être dévié vers la droite deux siècles avant Coriolis mais pense que cette déviation est négligeable.

Son seul argument recevable est finalement celui de la simplicité : "...qui voudrait croire que la nature (tous s'accordent à penser qu'elle ne met pas en œuvre beaucoup de moyens quand elle peut se contenter de peu) ait choisi de mouvoir à une vitesse inconcevable un nombre immense de très grands corps, pour produire un résultat auquel suffirait le mouvement modéré d'un seul corps tournant autour de son propre centre ?"

En 1672, Richer s'aperçoit qu'un pendule battant la seconde doit être plus court à Cayenne qu'à Paris. Ce phénomène montre la plus faible pesanteur à l'équateur ; on l'explique par un plus grand éloignement du centre (aplatissement de la Terre)

pour 1/3 et par l'accélération centrifuge pour les 2/3 et. Les deux phénomènes, accélération centrifuge et aplatissement proviennent de la rotation de la Terre. Mais à l'époque de Richer, l'explication du phénomène fut beaucoup discutée. Pour certains, il s'agit là de la première preuve mécanique de la rotation de la Terre. (*)

Les expéditions au Pérou et en Laponie (1737) montre que, comme l'avait prévu Newton, la Terre est bien aplatie aux pôles à cause de sa rotation, un degré de méridien étant plus court vers l'équateur que vers les pôles (voir CC n° 98). Un certain Clairaut montrera que la valeur de cet aplatissement dépend non seulement de la vitesse de rotation mais aussi de la répartition des masses. La valeur donnée actuellement est de 1/298.

En 1790, le mètre est défini comme la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre (le méridien étant ici un cercle complet).

En 1804, des expériences de chute libre dans un puits de mine en Allemagne montrent la déviation vers l'est. En effet, plus un objet est haut, plus sa vitesse linéaire horizontale est importante (il parcourt un cercle plus grand en un jour). La déviation est de 11 mm pour une hauteur de chute de 85 m.

En 1835, Coriolis publie son article "Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps" décrivant sa fameuse force. En conséquence, toute particule en mouvement dans l'hémisphère nord est déviée vers sa droite (vers sa gauche, dans l'hémisphère sud).

En 1851, le célèbre pendule de Foucault montre visuellement la rotation de la Terre. Rappelons que la période de rotation du plan des oscillations à Paris est de 31 h 47 min. Il n'y a qu'aux pôles que la période est de 23 h 56 min et que le plan des oscillations reste fixe par rapport aux étoiles.

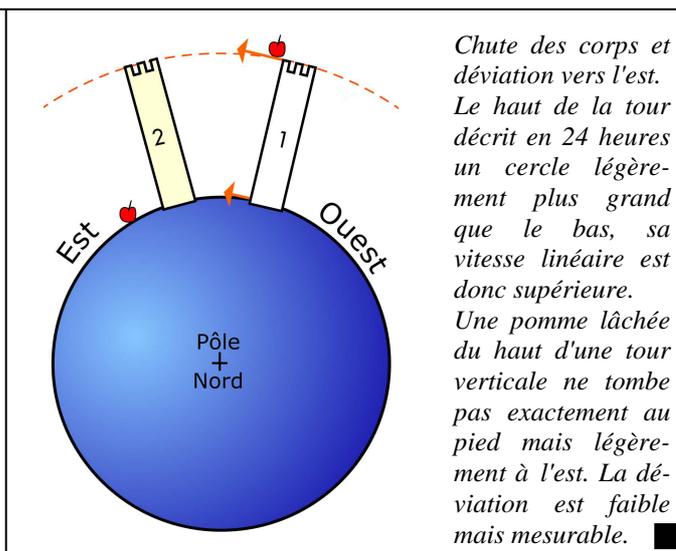
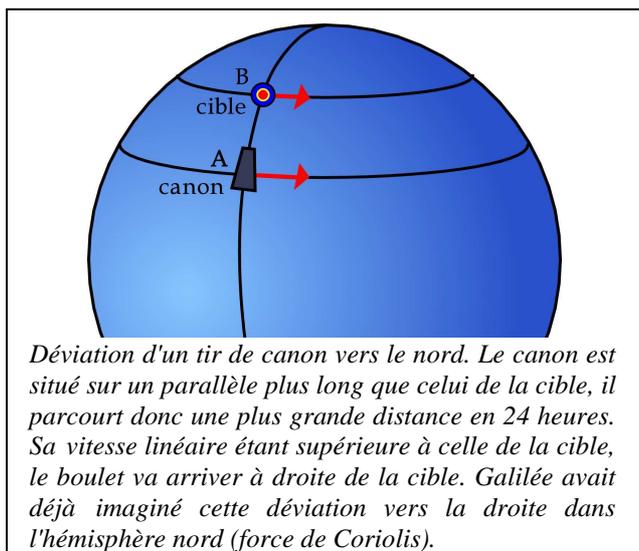
Quelques références :

A lire, l'excellent livre de Jacques Gappaillard "Et pourtant elle tourne, le mouvement de la Terre" au Seuil.

A voir aussi le site de l'ENS de Lyon http://planetterre.ens-lyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/LOM_historique.xml

Voici quelques articles anciens relatifs à la Terre avec leur référence, notée CC pour Cahiers Clairaut suivi du n° de la revue et du n° de la page (comme dans le DVD) et HS pour le hors série suivi du n° et du n° de la fiche.

Articles généraux : CC106-02 (Cours)
 Sur le mouvement apparent du ciel (étoiles ou Soleil) : CC095-II, CC090-13, CC088-32, CC058-07, CC009-29, HS01 (relevés d'ombres...), HS09-1
 Sur les preuves de la rotation de la Terre CC114-25, CC101-17, CC098-18, CC094-32, CC084-10, CC054-02 (Pendule de Foucault), CC088-11 (Lavabos et Coriolis)
 Sur le ralentissement de la Terre : CC020-33
 Sur la mesure du rayon de la Terre : CC107-14, CC107-17, CC007-27, CC098-08, CC102-30.
 (méthode d'Eratosthène ou méthode proche)
 CC011-33 (distance de l'horizon).
 Sur la forme de la Terre : CC113-25



(*) Ce passage a suscité une discussion au sein de la rédaction et il semble qu'il y ait aussi débat chez les spécialistes. Quelle a été la première preuve physique de la rotation de la Terre ? La diminution de la pesanteur à l'équateur ? La déviation de la chute des corps vers l'est ? Le pendule de Foucault ? Nous espérons que nos lecteurs apporteront des éléments pour de prochains Cahiers Clairaut...

RÉFLEXION

Le jour et la nuit : conceptions initiales des élèves

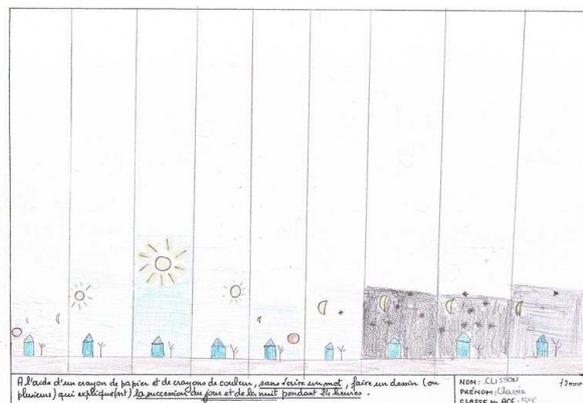
Jean-Luc Fouquet, île de Ré

Résumé : Depuis plusieurs années, Jean-Luc Fouquet a interrogé plusieurs milliers d'élèves sur quelques notions de base en astronomie. Il nous livre ici le résultat de son enquête sur le jour et la nuit.

L'astronomie est affaire d'observation et d'expérimentation. Dans ce domaine, les enfants entrent ensemble à l'école dans un champ nouveau de savoirs, à armes égales. Les forts en math, les cancren en orthographe, tous auront ce riche vécu commun, ce tremplin tout neuf, même les élèves en échec ou socialement défavorisés. Des enfants ayant un peu de bon sens expliquent souvent les phases de la Lune, le jour et la nuit,... à d'autres plus doués pour l'abstraction. Et l'obligation du dessin renforce cette impression. Que ce soit dans un test de représentation initiale sur un concept ou dans un relevé d'observations, l'élève apprend à se repérer, à être plus précis dans sa manière de regarder, à travailler en groupe et à faire participer ses parents et son entourage. Le passage mental d'un horizon local à une planète Terre vue de loin n'est d'ailleurs jamais évident, quel que soit l'âge. Comme professeur "ressource" du Muséum de La Rochelle, j'ai pu depuis plusieurs années rencontrer des enseignants dans les écoles pour les aider à mener à bien des projets ayant pour thème l'astronomie. J'ai souvent proposé au moment des premières rencontres avec des élèves que je ne connaissais pas, de tester leurs savoirs en leur proposant de faire un dessin. Cette démarche a ses limites, mais le grand nombre d'épreuves récoltées (plusieurs milliers) m'a permis de dégager quelques conclusions intéressantes. J'ai poussé par curiosité l'expérience en collège puis en lycée, au cours de l'élaboration de projets avec les professeurs, l'astronomie n'étant pas une matière en soi mais étant perçue comme située à la charnière de plusieurs disciplines. Dans ce contexte, le dessin de l'un est facilement commenté par les autres, les confrontations d'idées sont facilitées ainsi que le suivi des conceptions exprimées suivant l'âge des élèves, de l'école primaire au lycée.

Étudiions plus particulièrement le thème du jour et de la nuit. Le sujet proposé des centaines de fois était ainsi libellé: "A l'aide d'un crayon de papier et de crayons de couleur, sans écrire un mot, faire un dessin (ou plusieurs) qui explique(nt) la succession du jour et de la nuit pendant 24 heures".

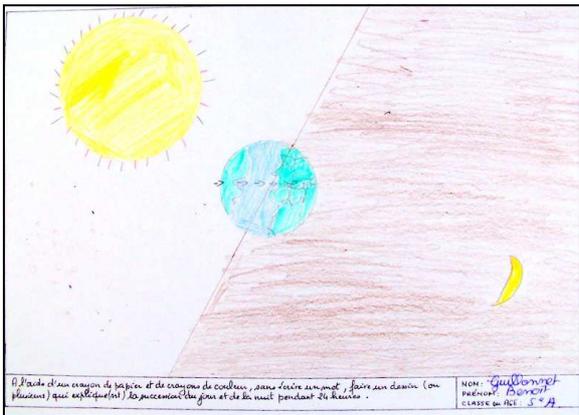
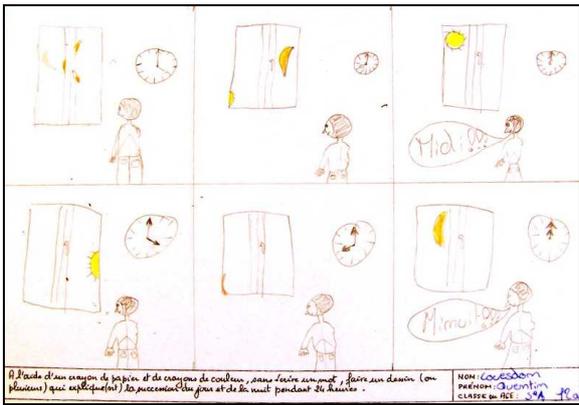
À l'école, la notion de dessin « explicatif » n'est pas toujours bien perçue. Certains enfants proposent une frise avec arbres et maisons, une succession de paysages contenant chacun un soleil à différentes hauteurs, puis des ciels noircis portant Lune et étoiles (5% des épreuves).



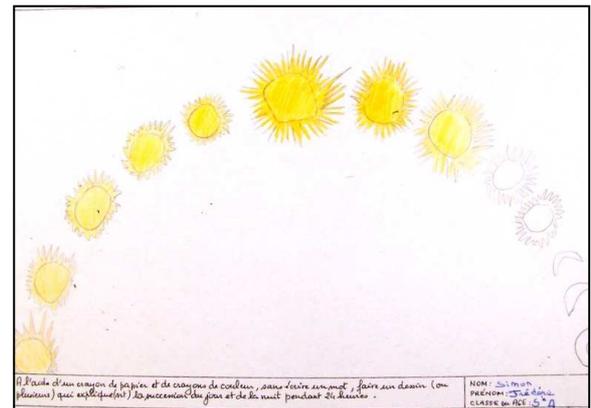
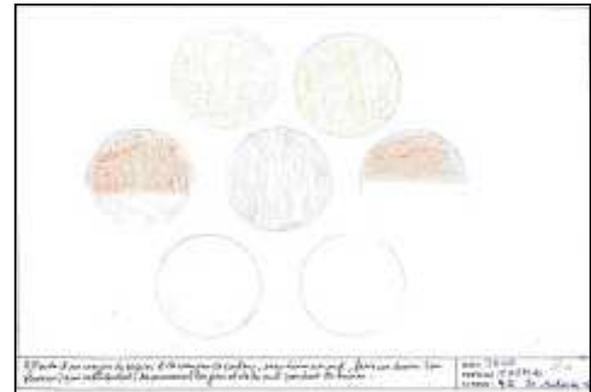
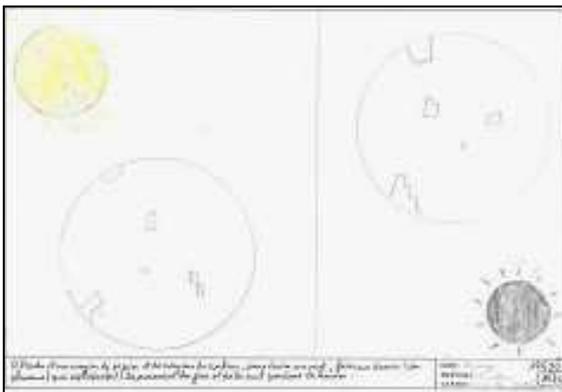
D'ailleurs, les plus petits parfois ont quelques difficultés à imaginer une planète Terre vue de l'espace, et préfèrent représenter le Monde tel qu'ils le voient.

Il arrive même que soit symbolisé le temps qui passe, ou que l'espace soit séparé en deux par une ligne délimitant le monde blanc avec son Soleil symbole du jour et le côté "nuit" noirci avec application et habité par la Lune et quelques étoiles. Ces dessins rejoignent les mythes anciens

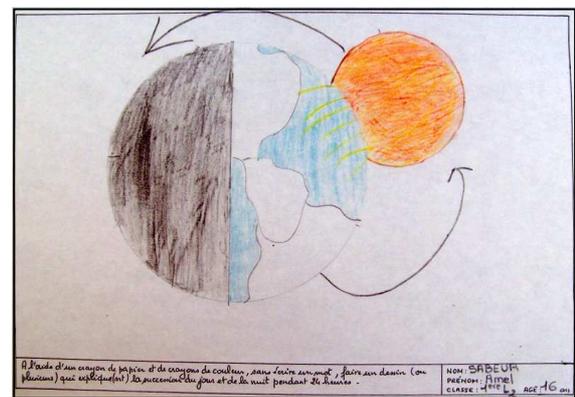
où la nuit était personnifiée par la Lune, soeur de son rival le Soleil, ou encore reine du royaume des morts (8% des épreuves).

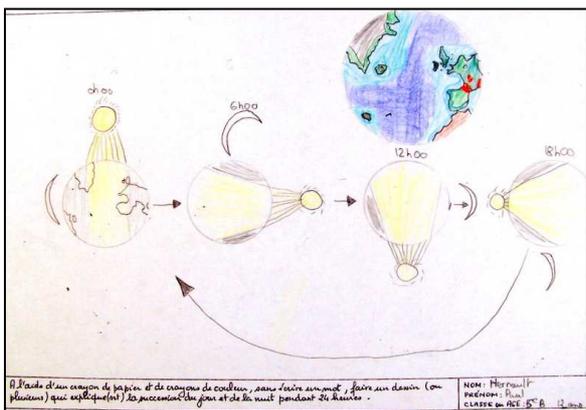


Trop fréquents sont les dessins qui proposent une Terre immobile, au centre des rotations suggérées par des cercles à plat ou en perspective, du Soleil et de la Lune. Ces exemples atteignent parfois un quart des épreuves dans certaines classes, et on peut même les rencontrer dans tous les niveaux du collège. La nuit dans quelques cas (2% des épreuves) devient une absence de lumière provoquée par une défaillance du Soleil qui peut alors s'éteindre, ou traverser une zone de "brouillard", ou pour les plus jeunes parcourir tour à tour des domaines de jour et de nuit comme pouvait le suggérer de très anciennes légendes égyptiennes.



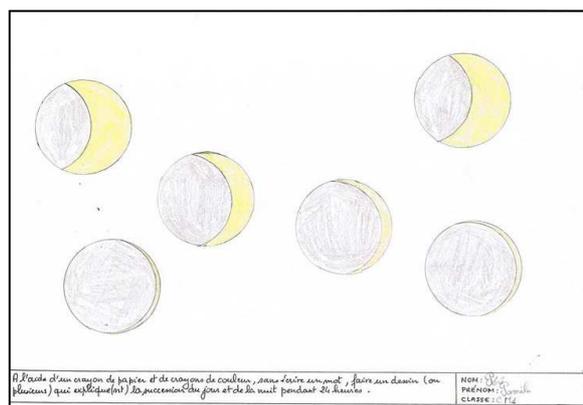
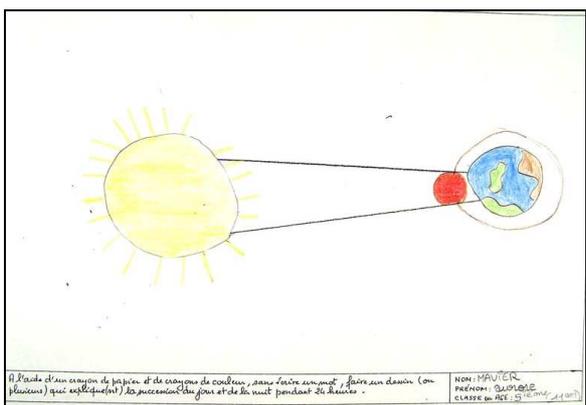
Et quand enfin "une sphère solaire" occupe le centre du dessin avec une "boule Terre" portant un axe de rotation semblant décrire une trajectoire circulaire, quelques enfants et parfois des adolescents du lycée confondent rotation et révolution, et donc jour et année (8% des épreuves).



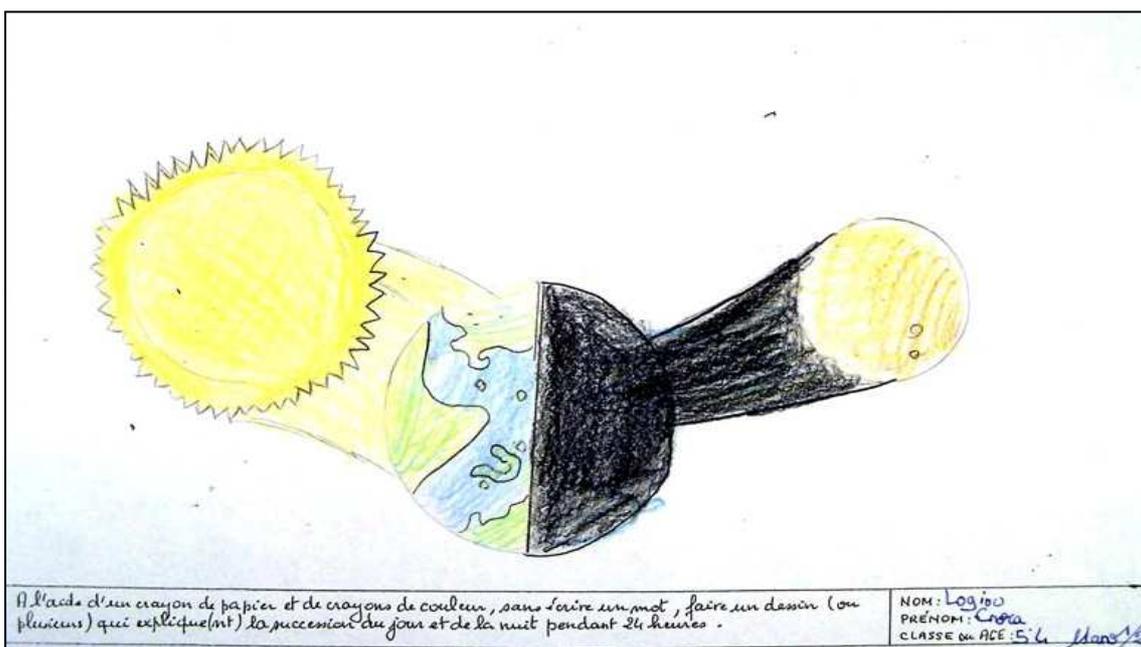


Effectivement, certains élèves plus grands, ayant été parfois confrontés en géographie ou en sciences, à des cours explicatifs sur les mouvements de la Terre, ont pu malgré tout garder en tête un schéma erroné.

D'autres confusions sont possibles, comme nuit et éclipse de Soleil, ou avec les plus petits cette idée que la nuit un objet (boule, nuage, planète, ...) vient s'interposer entre eux et le Soleil.



Une lecture plus précise des dessins les plus caractéristiques a pu se faire au cours de séances de suivi et de remédiation auxquelles il fallait apporter toute l'attention nécessaire. Dans chaque classe, une dizaine de dessins du groupe ont été repris, dans une projection collective, mêlés à une quinzaine d'épreuves les plus représentatives dans les différentes classes d'âge. Cette séance de projection servait de support à une discussion et à un jeu de questions-réponses avec les élèves. Il ne s'agissait pas de corriger ou d'évaluer le travail de chacun, mais d'essayer d'analyser le pourquoi des différentes représentations proposées. Parfois, surtout dans les classes de collège ou de lycée, ce travail a pu donner l'impression d'un temps gaspillé. Il est évidemment nécessaire de concilier activités et programmes, mais le risque de cette démarche "lente" n'est-elle pas pleinement profitable, ne serait-ce que deux ou trois fois sur certains thèmes judicieusement choisis ?



Le saladier, un modèle ?

Le mouvement apparent du Soleil à l'école primaire : de l'observation à la modélisation

Catherine Lecoq, IUFM de Haute Normandie, catherine.lecoq@univ-rouen.fr

Résumé : Le dispositif dit du "saladier" permet une représentation en trois dimensions du mouvement apparent du Soleil. Pourtant son utilisation par des élèves pour enregistrer ce mouvement n'a de sens que si le dispositif a été auparavant construit comme un modèle du réel observé. L'article décrit les étapes d'une démarche de construction de ce modèle, démarche effectivement mise en oeuvre dans une classe de CM2 d'école primaire.

Chaque jour, pour un observateur terrestre (en dehors des zones polaires), le Soleil apparaît le matin au-dessus de l'horizon ("lever"), puis "monte" dans le ciel d'est en ouest jusqu'à sa culmination pour ensuite "redescendre" et enfin disparaître sous l'horizon ("coucher"). Ce mouvement est communément appelé *mouvement "apparent" du Soleil*. Il peut être décrit dans un système de coordonnées horizontales par les mesures de l'azimut et de la hauteur angulaire du Soleil à chaque instant.

L'étude du *"mouvement apparent du Soleil"* figurait aux programmes 2002 et 2007 de l'école primaire. Les compétences visées (2002) étaient de rendre l'élève *"capable de représenter qualitativement la trajectoire du Soleil dans le ciel et son évolution au fil de l'année"*. À ce niveau de la scolarité, la représentation de la trajectoire du Soleil ne peut être que "qualitative". En effet, la notion d'angle est connue des élèves, mais la mesure des angles et l'utilisation du rapporteur n'ont pas été abordées.

Les programmes 2007 fixaient comme compétence non exigible de "savoir relever la trajectoire du Soleil par rapport au sol (horizon)", sans préciser la méthodologie de ce "relevé".

Les documents d'application de ces programmes stipulaient que *"l'objectif est en tout premier lieu d'observer les phénomènes les plus quotidiens et d'engager les élèves dans une démarche de construction d'un modèle scientifique"*.

Or, la méthode bien connue au CLEA sous le nom de "relevé du saladier"¹ et initiée au sein des EEA

depuis les années 1990, répond à ce double aspect de "représentation qualitative de la tra-jectoire du Soleil" et de "modèle" représentatif du réel.



Les commentaires des programmes 2002 précisait encore que *"tout en étant attentif aux dangers de l'observation directe du Soleil, il est toutefois possible de se rendre compte des évolutions du mouvement apparent du Soleil, lequel peut être représenté sur une feuille plane comportant le profil de l'horizon du lieu d'observation"*.

Ce commentaire appelle lui-même un commentaire. En effet, à moins de se situer en un lieu où l'horizon est extrêmement réduit, dessiner sur une feuille plane le profil de l'horizon d'un lieu d'observation n'est pas aussi simple qu'il y paraît. En effet cet exercice nécessite un pivotement de l'observateur sur lui-même s'il veut un angle de vision de plus de 180 degrés.

Pierre Causeret a fort bien explicité dans les CC n°119 d'automne 2007 les problèmes de représentation du mouvement apparent du Soleil. Il y a développé tout l'éventail des projections possibles pour la trajectoire du Soleil, en analysant pour chacune d'elles leurs intérêts et leurs limites. Il a,

¹ Voir les CC n° 119 ou l'ouvrage "Le ciel à portée de main, 50 expériences d'astronomie" CAUSERET, P., FOUQUET J.-L., SARRAZIN-VILAS, L., (2005). Belin. Le saladier a été introduit dans les Écoles d'Été par Roland Szostak de l'université de Munster.

par là même, montré toutes les difficultés de "lecture" et d'interprétations liées à toutes les représentations planes, représentations qui pourtant émaillent la plupart des manuels scolaires. Il termine son article par cette conclusion : "*mis à part le saladier, il n'y a pas de représentation parfaite du mouvement apparent du Soleil*". De plus, comme le souligne Hélène Merle (Merle, 2003), cette représentation en trois dimensions renforce le caractère angulaire du concept de "hauteur d'un astre au dessus de l'horizon".

L'étude de ce mouvement confronte donc les élèves à des difficultés de divers ordres :

- En premier lieu des difficultés d'observation et de repérages : comment repérer la position du Soleil sans observer directement ce dernier ? Comment repérer cette position (en azimut et en hauteur angulaire) quand on ne maîtrise pas la mesure des angles ?
- En second lieu des difficultés de représentation : comment représenter le plus fidèlement possible le phénomène, sachant que toute représentation plane peut inférer des idées fausses ?
- En dernier lieu des difficultés de mémorisation des données : comment garder une trace, comment enregistrer ce mouvement de façon à le décrire et à pouvoir comparer ses variations possibles d'une saison à l'autre ?

Le dispositif dit "du saladier" permet une représentation qualitative et relativement fidèle de ce mouvement. Il constitue une représentation en trois dimensions qui, de ce fait, n'infère pas d'interprétations erronées comme pourrait le faire une représentation plane. De plus, il ne sollicite aucune mesure angulaire et est donc tout à fait adapté à des élèves de cycle 3 d'école primaire.

Pourtant, il n'est pas envisageable, de le proposer directement à des élèves de cet âge. En effet, pour que ce dispositif soit accepté, compris, il est nécessaire de lui donner du sens. Pour cela, on peut engager les élèves dans une démarche de modélisation qui les amène à construire eux-mêmes ce dispositif en tant que "modèle" apte à représenter cette réalité qu'ils cherchent à décrire et à expliquer.

En quoi le dispositif "saladier" peut-il être considéré comme un "modèle" ?

Nous définirons un modèle comme une construction intellectuelle théorique qui représente la réalité (ou une partie de celle-ci) et qui peut se substituer à elle pour réfléchir, expliquer, prévoir.

Pour le préciser, nous emprunterons l'outil proposé par J-M. Rolando (Rolando, 2003) qui consiste à mettre en correspondance respectivement les éléments retenus comme pertinents de la réalité avec les éléments du modèle qui les représentent.

Le modèle "saladier"	La "réalité de l'observateur"² terrestre
Planche horizontale	Le sol horizontal
Le bord circulaire du saladier	L'horizon céleste de l'observateur
Le centre du cercle (bord circulaire du saladier)	La position de l'observateur
La gommette	La position du Soleil sur la voûte céleste de l'observateur
Le saladier hémisphérique	La voûte céleste locale de l'observateur

Quelle démarche pour construire le modèle ?

La démarche de modélisation va consister à faire construire le modèle par les élèves, pas à pas, à partir de leurs observations et en fonction de leurs connaissances antérieures.

Les principales étapes de la construction du modèle seront donc :

- les représentations de l'horizon circulaire et de l'observateur ;
- l'acceptation d'une voûte céleste hémisphérique locale comme surface sur laquelle on représente les objets du ciel ainsi que sa matérialisation ;
- la matérialisation de la position du Soleil par une gommette sur la "voûte-saladier".

Un exemple de démarche effectivement réalisée dans une classe de CM2.

La démarche présentée a été mise en œuvre dans une classe de CM2 d'une école située en zone urbaine classée en Réseau d'Éducation Prioritaire. Elle vise à faire construire le "modèle du saladier" en vue de son utilisation comme dispositif d'enregistrement du mouvement apparent du Soleil à différentes dates de l'année.

En préalable à cette étude, les élèves ont acquis des connaissances qu'ils vont devoir mobiliser. Ils ont découvert les caractéristiques essentielles de la formation d'une ombre : ils savent que la lumière suit un trajet rectiligne dans un milieu homogène et

² Nous utilisons le terme "réalité de l'observateur" puisque la voûte céleste n'est pas un objet réel, mais un objet construit par l'observateur.

que pour qu'un objet soit vu par un observateur, il est nécessaire que la lumière issue de cet objet entre dans l'œil de cet observateur. Ils maîtrisent le repérage des points cardinaux à l'aide d'une boussole et ont construit une "rose des vents" par pliages successifs d'une feuille de papier, leur permettant ainsi de pouvoir repérer quelques points intermédiaires remarquables (nord-est, nord-ouest, sud-est, sud-ouest).

Nous ne relaterons pas dans ce qui suit l'ensemble de la démarche d'investigation. Nous n'évoquerons pas les phases de questionnements et nous nous bornerons à décrire uniquement les étapes du scénario correspondant à la construction du modèle par les élèves.

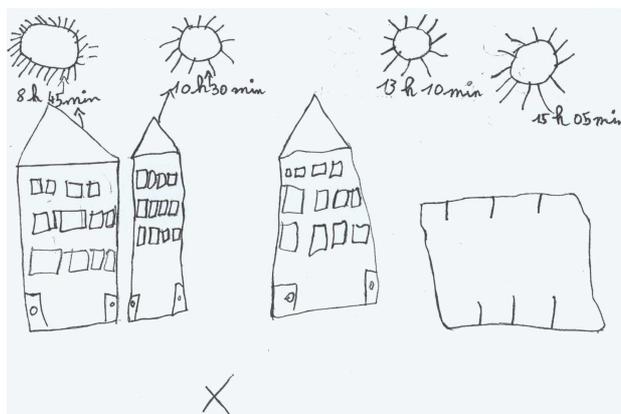
Étape 1 : observation peu guidée du mouvement du Soleil au cours d'une journée

Les élèves sont invités à observer la position approximative du Soleil dans le ciel depuis leur place dans la classe. Pour décrire oralement la position du Soleil, ils prennent des repères terrestres de l'environnement : le Soleil "est au-dessus de l'école maternelle" ou "du côté du parking". Puis, un jour, ils doivent lors des moments d'interclasse "observer et dessiner de la façon qui leur semble la plus précise" cette position depuis la cour de récréation. Afin d'effectuer cette observation sans danger, ils sont entraînés à cacher le Soleil avec un ballon de basket tenu à bout de bras, dont l'ombre portée se forme sur leur tête. La direction de leur bras indique alors la direction du Soleil. Ils s'aperçoivent alors que la position repérée depuis la cour par rapport à des objets de l'environnement proche diffère de celle repérée précédemment depuis la classe. Ce constat les amène à admettre la nécessité de conserver un même lieu d'observation

si l'on cherche à comparer les positions successives du Soleil au cours de la journée.

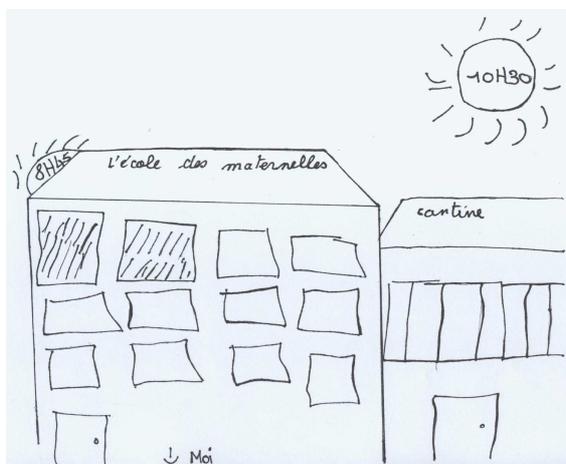
Les représentations dessinées depuis la cour varient. Certaines (comme celle de Flora) s'attachent à figurer fidèlement l'environnement ("l'école maternelle", "la cantine", le "parking", etc.) et à montrer le lieu d'"apparition" du Soleil le matin au niveau du "toit de l'école maternelle". Mais la feuille s'avère trop petite pour représenter les autres positions du Soleil et l'environnement et trois feuilles sont finalement nécessaires à Flora pour poursuivre son dessin.

D'autres élèves, comme Mamadou, relatent principalement le sens de déplacement du Soleil de

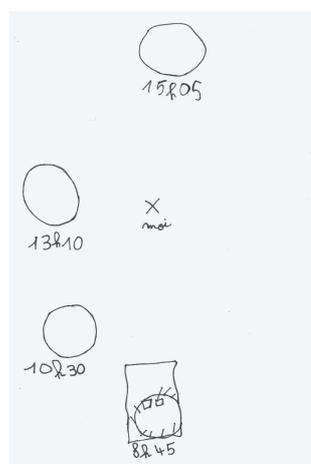


Dessin de Mamadou

la gauche vers la droite de l'observateur s'il est face au Soleil. La variation de la hauteur angulaire du Soleil n'est pas perçue, ce qui semble peu surprenant vu l'absence de repérage possible par rapport à un élément de l'environnement. D'autres encore, comme Colas, proposent des "vues de dessus de la cour", le Soleil tournant autour de l'observateur. Ils veulent peut-être mettre en évidence le changement de direction (en azimut) du Soleil par rapport à l'observateur.



Dessin de Flora



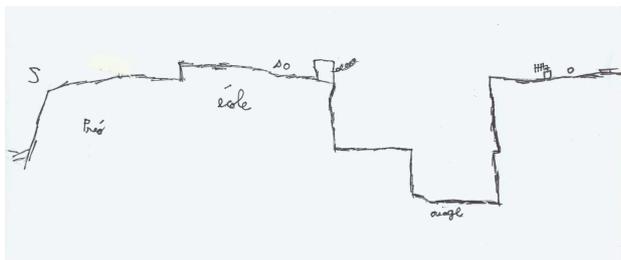
Dessin de Colas

Étape 2 : discussion orale autour des représentations

Suite à la présentation des différents dessins, une discussion s'engage dans la classe sur les observations et sur les représentations proposées. Un point commun s'impose : "quand on est face au Soleil, celui-ci se déplace de la gauche vers la droite". Chacun explique son mode de représentation. Colas a voulu montrer que "le Soleil tourne autour de nous". Les dessins de Flora (trois feuilles accolées) retiennent l'attention de la classe par leur précision, mais certains détails (comme les fenêtres des bâtiments) sont jugés superflus par rapport à l'objectif fixé. La nécessité d'un repérage précis pour pouvoir comparer les positions successives du Soleil fait consensus auprès des élèves. Les éléments de l'environnement pertinents à dessiner avec précision sont sélectionnés. Ainsi, le profil de l'horizon défini comme ligne délimitant le ciel et l'environnement terrestre pour l'observateur, est retenu ainsi que certains repères caractéristiques de la vue comme des cheminées, des arbres, des antennes, etc. Il est décidé aussi d'utiliser la boussole et la "rose des vents" de façon à repérer les points cardinaux de l'observateur sur la ligne l'horizon.

Étape 3 : tracé du profil de l'horizon local (par groupe)

Chaque groupe de 4 élèves s'organise de façon à tracer un profil de l'horizon. Tous décident de partager le travail de façon à ce que chacun prenne en charge le dessin d'un quart d'horizon (ex : du sud-est au sud-ouest ou bien de l'est au sud). Les élèves prennent alors conscience qu'ils doivent pivoter d'un tour complet sur eux-mêmes pour dessiner l'horizon complet.



Dessin d'élève d'une portion de profil d'horizon

Étape 4 : assemblage des profils d'horizon, présentation, discussion, position de l'observateur.

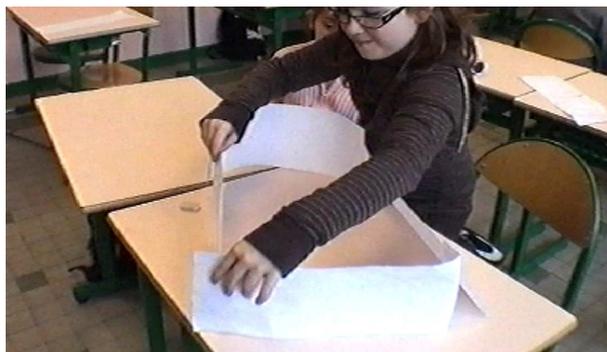
De retour en classe, les morceaux de profils sont assemblés. Tous les groupes proposent une frise plane. Les frises sont affichées au tableau et comparées. Il s'avère que les frises ne se super-

posent pas. Un assemblage est mis en défaut "d'ordre" des points cardinaux, tous les autres sont corrects et respectent bien l'ordre de la boussole (N-E-S-O).



Assemblage des 4 portions du profil d'un même horizon

Mais les frises débutent par des points cardinaux différents. Qui a raison ? Les élèves prennent alors conscience que l'horizon n'a ni "début" ni "fin". La solution qui met d'accord tous les groupes réside dans la réalisation d'une frise circulaire. L'horizon de l'observateur est donc circulaire.



Mise en forme circulaire du profil de l'horizon

La mise en forme circulaire de la frise scinde la classe en deux camps : les uns placent le dessin de la frise à l'intérieur du cylindre ainsi formé, alors que les autres le placent à l'extérieur. Une rapide discussion s'engage. Les uns affirment qu'il faut "tourner pour voir tout l'horizon" et ils montrent du doigt le tour du cylindre. Les autres confirment qu'il faut "tourner, oui mais comme ça", et ils miment le pivotement sur eux-mêmes.

L'enseignante propose alors des petites figurines (santons, pour ne pas citer de marques !) pour représenter les observateurs de la cour. Celles-ci sont placées au centre des frises circulaires (dessin à l'intérieur) et cette position convainc très rapidement ceux qui avaient placé le profil de l'horizon à l'extérieur du cylindre.

Cette étape montre que, pour un élève, se décentrer de la réalité n'est ni spontané, ni évident. La médiation de la petite figurine, pour se représenter soi-même, semble donc tout à fait nécessaire.



Étape 5 : assemblage d'une vue photographique panoramique et modélisation de l'horizon et de l'observateur.

L'enseignante propose ensuite de remplacer les dessins par 4 photos (plus précises que les dessins des profils) qui, assemblées correctement, constituent une vue panoramique depuis un des points d'observation de la cour de récréation.

L'assemblage est réalisé sans problème particulier, les élèves repèrent correctement les raccordements nécessaires. Les points cardinaux repérés précédemment sur l'horizon sont notés. Enfin, ils orientent la frise circulaire à l'aide de la boussole.



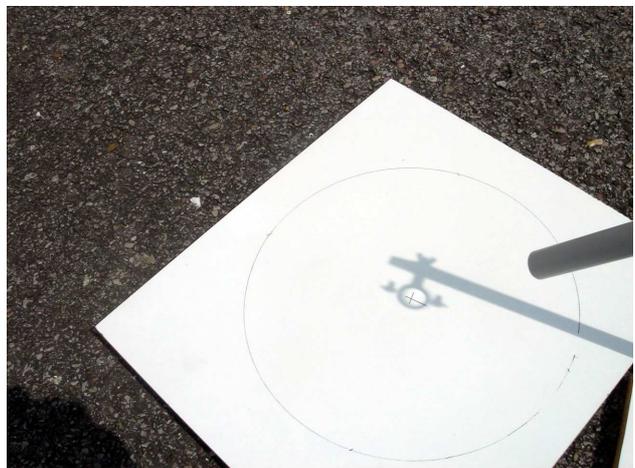
Orientation du panoramique

Étape 6 : matérialisation du Soleil et de sa direction

Quelle est la position du Soleil dans le ciel fictif de la figurine de la "maquette" ? La frise panoramique ne contient pas l'image du Soleil, elle ne représente donc pas le ciel dans son entier. Les élèves proposent d'aller dans la cour avec leur modèle (frise, figurine posée sur une planche figurant le sol) pour "expérimenter" et tenter de placer le Soleil dans la maquette.

Lors de séquences précédentes, les élèves ont appris à mettre en évidence la propagation rectiligne de la lumière en "piégeant des faisceaux de lumière" à l'aide de cartons percés alignés et à l'aide de tubes creux rectilignes. Ils reprennent donc les accessoires déjà utilisés : tubes creux, cartons percés et essaient de nouveau de "piéger le faisceau de lumière" de façon à "éblouir" la figurine. Avec des tubes pleins et des baguettes rectilignes d'autres essaient de faire une ombre sur

la figurine "pour qu'elle ne voie pas le Soleil". Ils constatent alors que les tubes sont tous parallèles et indiquent la direction du Soleil pour leur figurine (alignement figurine-creux du tube-Soleil, matérialisé par le tube). Ils constatent également que le Soleil ne peut pas être présent sur la photo panoramique étant trop haut dans le ciel à ce moment de l'observation. Certains proposent de placer une petite balle ou un disque à l'extrémité du tube pour représenter le Soleil dans la maquette.



Visée du Soleil (par la figurine) à l'aide d'un tube (l'ombre qui apparaît sur le socle est l'ombre du support vertical du tube)

D'autres élèves s'affranchissent de la frise circulaire (qui se déforme) et de la figurine pour les remplacer respectivement par un cercle et par une croix.



Matérialisation de la position du Soleil en cachant la figurine dans l'ombre d'une boule par rapport au Soleil

D'autres au contraire la conservent comme une nécessité pour donner du sens à ce qu'ils sont en train de réaliser.

Les élèves qui ont matérialisé le Soleil par une petite boule ou un disque constatent qu'en supprimant le tube, l'ombre du disque se forme sur la croix, preuve supplémentaire de l'alignement "croix-disque-Soleil".

D'autres proposent de matérialiser le Soleil par une boule et sa direction par une tige plantée dans de la pâte à modeler au niveau de la croix.



Matérialisation du Soleil (par la boule) et de sa direction (par une tige)

Le dispositif est séduisant et les élèves sont heureux d'avoir trouvé une solution. Mais très vite ils se rendent à l'évidence des fragilités de ce dispositif : le socle mou en pâte à modeler s'affaisse, et il sera impossible de planter en un même point toutes les tiges correspondant à chaque relevé.

Étape 7 : matérialisation de la voûte céleste

À ce stade de la modélisation, l'enseignante impose deux contraintes : le Soleil, reste à une distance constante à la Terre durant la journée et toutes les positions du Soleil représentées sur le modèle doivent figurer sur un même support rigide. Les élèves proposent alors deux solutions : un cylindre très haut (dans le prolongement de celui de la frise) "mais avec un toit" pour couvrir tout le champ du ciel visible depuis la Terre ou bien un parapluie transparent.

Le dôme transparent est alors proposé par

l'enseignante ("saladier") et la méthode de repérage est expérimentée par la classe.

Les élèves ont alors construit le modèle, ils seront en mesure de l'utiliser pour observer et enregistrer le mouvement apparent journalier du Soleil au fil des saisons. Cette démarche de modélisation leur a permis de saisir le sens du "dispositif saladier".

Elle leur a donné l'occasion de se décentrer de la réalité, dont ils sont partie prenante, de réfléchir sur cette réalité en se positionnant dans l'espace dans une vision virtuelle totalement impossible.

Il est à espérer qu'ils seront en mesure d'interpréter une représentation de type "vue en extérieur" du mouvement sur la voûte céleste, représentation la plus précise du mouvement apparent du Soleil.

Cette démarche a été mise en œuvre par Mme Yvonne Le Roy, Professeure d'école en classe de CM2, à l'école Jean Jaurès d'Oissel (Seine-Maritime) en 2006-2007 et en 2007-2008, avec l'appui de l'IUFM de Haute-Normandie.

Références bibliographiques

CAUSERET P. (2007). "Comment représenter le mouvement apparent du Soleil ?" Les Cahiers Clairaut 119, 9-15.

CAUSERET P., FOUQUET J.-L., SARRAZIN-VILAS L. (2005). "Le ciel à portée de main, 50 expériences d'astronomie". Belin, Paris.

LAINÉ M. & TRYOËN V. (1991). "La course du Soleil pendant une journée". Les Cahiers Clairaut Hors série n°1.

M.E.N (2007) : BO Hors série n° 5, 12 Avril 2007.

M.E.N. (2002): BO Hors série n° 1, 14 Février 2002.

M.E.N. (2002) : documents d'application des programmes, fiches connaissances.

M.E.N. (2002) : documents d'application des programmes, Sciences et technologie, cycle 3.

MERLE H., GIRAULT Y. (coord.), (2003) : "L'enseignement de l'astronomie", ASTER n° 36. INRP, Paris.

MERLE H. (2000) : "Comment aider les élèves à modéliser "le ciel et la Terre" Aster, 31, 37-70.

ROLANDO J.-M. (2003) : "L'astronomie à l'école, Construire des compétences et des savoirs au cycle 3". Delagrave, Paris. ■

Levers et couchers de Soleil : est-ce la Terre qui tourne sur elle-même ou le Soleil qui tourne autour de la Terre ? Un argument culinaire.

"Car il serait aussi ridicule de croire que ce grand corps lumineux [le Soleil] tournât autour d'un point dont il n'a que faire, que de s'imaginer quand nous voyons une alouette rôtie, qu'on a, pour la cuire, tourné la cheminée à l'entour." Cyrano de Bergerac. L'autre monde ou les États et Empires de la Lune.

RÉALISATIONS

Dispositifs pour "sentir" que la Terre peut tourner sur elle-même

Pierre Causeret, Esbarres

Résumé : *Tout le monde a vu le Soleil se lever et se coucher. Tout le monde (ou presque) a appris que la Terre tourne sur elle-même. Mais il me semble qu'il n'y a pas beaucoup de jeunes ou d'adultes qui ont réellement fait le lien entre les deux. Pour s'en rendre compte, il suffit de demander dans quel sens en ce moment nous tournons. Peu de personnes répondent correctement. Pour essayer de mieux comprendre la rotation de la Terre, j'ai proposé deux dispositifs. Le premier existe depuis quelques années dans la salle d'animation du planétarium de Dijon, le deuxième devrait bientôt être réalisé.*

Dispositif n°1 : webcam et globe terrestre

Un globe terrestre est fixé sur un axe vertical. Juste au dessus, au plafond, se trouve un disque sur lequel est dessiné la Grande Ourse, Cassiopée et l'étoile Polaire, ce disque pouvant tourner autour de la Polaire. Sur la Terre est fixée une webcam à la latitude de la France et visant la Polaire. L'image filmée par la webcam est projetée par un vidéoprojecteur sur un écran. Les élèves ont vu auparavant dans le planétarium le ciel tourner autour de l'étoile Polaire.

Si on fait tourner le disque des étoiles (dans le sens inverse des aiguilles d'une montre), on voit à l'écran la même chose que ce que l'on a observé dans le planétarium : la Grande Ourse et Cassiopée tournent autour de la Polaire. Mais si on laisse le ciel fixe et que l'on fait tourner la Terre sur elle-même (d'ouest en est), alors l'image projetée montre exactement la même chose. Il est donc possible que la Terre tourne.

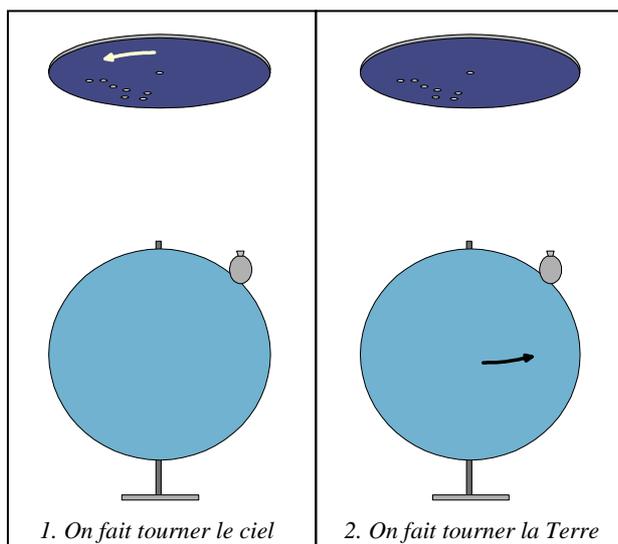


Schéma du dispositif

L'expérience serait encore plus parlante si, au lieu d'observer un écran, on se plaçait réellement sur le globe terrestre. Mais il faudrait alors un globe de bonne taille.



Le montage dans la salle d'animation

Dans le deuxième dispositif, la personne qui observe tourne réellement.

Dispositif n°2 : la chaise tournante

Sur une chaise tournante est fixé un paysage avec un arbre et une maison. Au bout d'une tige sur pied se trouve un Soleil. Au départ, le Soleil et la chaise sont dans une position donnée. On doit voir alors le Soleil au-dessus de l'arbre. Dans la position finale, le Soleil doit se retrouver au-dessus de la cheminée.

On peut y parvenir de deux manières différentes : soit en déplaçant le Soleil vers la droite, soit en faisant tourner la chaise vers la gauche. Le but est de vérifier que ces deux mouvements donnent exactement le même résultat.

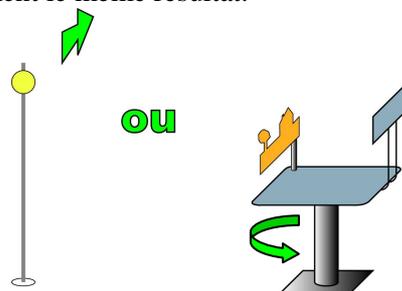


Schéma du deuxième dispositif en projet

Ce sont des expériences très simples mais qui peuvent aider les élèves à mieux comprendre et à se poser des questions sur ces mouvements qui ne sont pas si évidents. ■

AVEC NOS ÉLÈVES

Le jour et la nuit

Jean Ripert, Pradines

Résumé : *Comment aborder la notion de jour et de nuit en cycle 3 de l'école ? Voici un atelier, des pistes pour susciter la curiosité, faire réfléchir, utiliser une méthode expérimentale (observation, hypothèses, expérimentation, conclusion) dans le domaine de l'astronomie.*

Avant d'aborder ce thème d'autres notions ont été vues en classe. Les ombres : ombre propre, ombre portée (notions simples (?) et qui réservent parfois des surprises) et les points cardinaux. Si le Sud a été repéré par la culmination du Soleil et le Nord par la Polaire c'est l'idéal. Il est préférable d'avoir fait également observer aux élèves que le Soleil se lève vers l'Est et se couche vers l'Ouest.

Par une belle matinée ensoleillée, nous voilà donc avec des élèves dans une classe. Pourquoi fait-il jour ? En était-il de même il y a 8 h ? Pourquoi cette succession de jour et de nuit ? Alors là on obtient plusieurs réponses que l'on peut regrouper en deux hypothèses : le Soleil se lève et se couche (la Terre est fixe), la Terre tourne.

Nous allons donc voir si ce que l'on observe peut être expliqué par ces hypothèses.

1. Le Soleil se lève et se couche.

Où se trouve le Soleil actuellement (les rais de lumière ou les ombres permettent de le situer) ? De quel côté s'est-il levé ? Se lève-t-il vers l'Est ou vers l'Ouest ? Sur un mur de la pièce, dans la direction indiquée, on peut coller un carton portant "EST". Où va-t-il se coucher ? On place de la même manière le carton "OUEST". (À ce niveau, nous laissons de côté le fait que le Soleil ne se lève que rarement à l'Est et se couche rarement à l'Ouest). Les leçons précédentes permettent de placer le "NORD" et le "SUD".

Mise en situation.

Maintenant que nous nous sommes orientés, (nous avons trouvé la direction approximative de l'orient), nous allons faire un exercice difficile : nous éloigner de la Terre (qui nous paraît plate) pour voir notre classe de l'extérieur, de très loin.

En s'éloignant on voit l'école, le village ou la ville, le pays, l'Europe, la Terre. L'enseignant présente alors un globe terrestre (sans pied). Où se trouve l'Europe ? La France ? Le pôle Nord ?

Un support ayant été préparé (tabouret et bol, de manière à maintenir le globe stable), l'enseignant demande à un élève de déposer le globe en respectant les points cardinaux définis dans la salle. (Il y a une infinité de solutions, l'important est que le nord du globe soit vers le "NORD" de la salle.

Il présente alors un petit personnage fixé sur une feuille de carton qui représente l'horizon (le sol de la classe) sur lequel sont portés : Est, Ouest, Nord, Sud. Ce personnage va représenter un élève de la classe. L'enseignant demande alors à un volontaire de coller (patafix) ce personnage, sur le globe, en France et de façon à ce que son "sol" soit horizontal (il n'y a plus qu'une possibilité).



Expérimentons.

L'enseignant présente le "soleil" : un lampadaire avec une lampe boule blanche. Il demande alors à un "tenant du lever et coucher du Soleil" de montrer à ses camarades que son hypothèse est bonne : qu'il peut à l'aide de la lampe simuler le jour (le personnage est éclairé) ou la nuit (il ne l'est plus). L'élève doit placer la lampe au-dessus ou au-dessous de l'horizon. Insister sur le fait que lorsque le "soleil" est sous l'horizon, le personnage n'est pas éclairé, il fait nuit et inversement. Puis de simuler une succession de jours et de nuits, il doit alors faire tourner la lampe autour du globe. Le plus simple est de placer l'élève du côté du pôle Nord.



Il faut alors faire constater ou mieux exprimer le fait que le "soleil" se lève, il fait jour, le "soleil" monte sur l'horizon (on peut reparler de la culmination), puis descend et se couche, il fait nuit.

Poser également la question : est-ce que le "soleil" tourne dans le bon sens, Est-ce que le personnage observe la même chose que nous ? Le Soleil se lève vers l'Est et se couche vers l'Ouest ? Même si l'élève le fait tourner dans le mauvais sens au début cela n'est pas grave, on peut alors corriger.

Conclusion

L'hypothèse selon laquelle la succession des jours et des nuits peut s'expliquer par un Soleil se déplaçant autour de la terre semble convaincante.

2. La Terre tourne.

Il faut maintenant donner la parole aux tenants de la rotation de la Terre.

Mise en situation.

Le matériel est le même : le globe terrestre sur lequel un personnage et son horizon sont fixés au lieu d'observation et le lampadaire.

Il faut trouver un volontaire. Parfois l'équipe de la rotation de la Terre se défile et oui, l'autre hypothèse "marche", ils doivent avoir tort et ils n'osent plus.

Leur demander si le Soleil est fixe. (il est préférable de le placer au Sud).

Expérimentons.

Un volontaire prend alors le globe en mains et essaie de vérifier son hypothèse : le personnage peut être éclairé (jour) ou non (nuit). Faire simuler ces deux situations. Cela permet de bien assimiler (certains sont plus lents et la répétition fixe la notion).

Puis simuler une succession de jours et de nuits.

Des élèves ont parlé de la Terre qui tourne. Comment tourne-t-elle ? C'est le moment de parler de la Polaire. Elle indique toujours le Nord,

elle se trouve dans le prolongement de l'axe passant par le pôle Nord. En général les élèves ont déjà vu un globe tourner autour de cet axe.

En faisant tourner la Terre autour de cet axe, l'élève va simuler pour le personnage une succession de jours et de nuits.



Il ne reste plus qu'à vérifier si le sens de rotation est bon : le "soleil" doit se lever vers l'Est.

Ceci permet d'avoir le sens de rotation de la Terre, sans l'imposer aux élèves.

Conclusion

Là encore, l'hypothèse selon laquelle la succession des jours et des nuits peut s'expliquer par la Terre tournant sur elle-même semble convaincante.

Commentaire

Mais alors qui a raison ? Les élèves sont troublés. Je crois qu'il est bon de revenir sur l'aspect historique, car ce que nous venons de voir ne permet pas de trancher. Leur dire que pendant deux mille ans les hommes ont pensé que le Soleil tournait autour de la Terre. Que pour expliquer ce qu'ils observaient, ils avaient dû inventer des systèmes bien compliqués. Dans le cas d'une Terre immobile, il faut que le Soleil, toutes les planètes et toutes les étoiles fassent un tour autour de la Terre en 24 h. Alors que l'on peut observer la même chose si la Terre tourne sur elle-même en 24 h, ce qui paraît plus simple (mais c'est équivalent, voir les deux dispositifs page 23). Il a fallu attendre le 19^e siècle pour avoir des expériences montrant la rotation de la Terre.

En général les élèves savent que le Soleil est beaucoup plus gros que la Terre. Il suffit à l'enseignant de valser avec l'élève le plus petit, en demandant à celui-ci de faire tourner son maître (ou maîtresse) autour de lui. Très rapidement c'est l'inverse qui se produit. Ce n'est pas une preuve, mais les élèves auront retenu que le petit tourne autour du gros.

ARTICLE DE FOND

La Terre tourne-t-elle encore rond ?

Forme, rotation et structure de la Terre

Christian Larcher, Le Perreux, larcher2@wanadoo.fr

Introduction

Les mouvements principaux de la Terre, sa rotation sur elle-même et sa révolution autour du Soleil présentent une grande importance pour tous les êtres vivants à sa surface. Ces mouvements sont en effet à l'origine des saisons et à l'origine du concept de temps avec les unités de base que sont le jour et l'année. Dans les dernières décennies, l'utilisation de méthodes extrêmement précises ont mis en évidence des irrégularités de mouvement, particulièrement pour la rotation de la Terre. L'étude fine de ces irrégularités est précieuse car elles véhiculent de nombreuses informations sur la structure interne de notre globe.

Nous allons ici rappeler l'histoire de la découverte progressive de la forme de notre planète, des irrégularités de sa rotation sur elle-même et les explications proposées pour en rendre compte. Nous détaillerons dans un prochain article les liens entre ces mouvements et la structure interne de la Terre.

La forme de la Terre

1. Une Terre sphérique ?

L'idée d'une Terre sphérique apparaît avec Parménide (515-450 av JC) sur des critères plus esthétiques que rationnels. La mesure de son rayon fut établie plus tard en utilisant la célèbre méthode inventée par Ératosthène (284-192 av JC).

Il faut attendre le XVII^e siècle pour obtenir des mesures plus précises. Elles sont dues surtout à l'abbé Picard (1620-1682) qui, en utilisant une méthode de triangulation géodésique, évalue la longueur d'un degré de méridien à 57 060 toises soit environ 111 km.

2 Tomate ou citron ?

A la fin du XVII^e siècle plusieurs physiciens se demandent si la Terre est vraiment sphérique. **Huygens** (1629-1695) découvre l'existence de la force centrifuge qui résulte de la rotation terrestre. Cette force est nulle aux pôles et maximale à l'équateur ; elle agit différemment suivant la latitude. Ne peut-elle pas avoir un effet sur la forme de la Terre ?

En 1687, Isaac Newton pense que si la Terre ne tournait pas sur elle-même, elle serait parfaitement sphérique à *cause de l'égalité de ses parties*. Mais du fait de sa rotation, elle a une forme ellipsoïdale. Newton ajoute que ceci impose que la Terre solide ait été fluide à un moment donné de son histoire.

Newton cherche à calculer l'aplatissement de la Terre en la supposant fluide et homogène et en utilisant sa théorie de l'attraction universelle en $1/r^2$. Pour effectuer ce calcul, il considère que deux colonnes fluides partant l'une du pôle et l'autre de l'équateur et se rejoignant au centre de la Terre doivent se faire équilibre. Il est amené pour cela à calculer l'attraction au pôle et à l'équateur d'un ellipsoïde de révolution, c'est la première fois que l'attraction d'un corps non-sphérique est calculée. Il trouve avec son modèle un aplatissement de $1/230$.

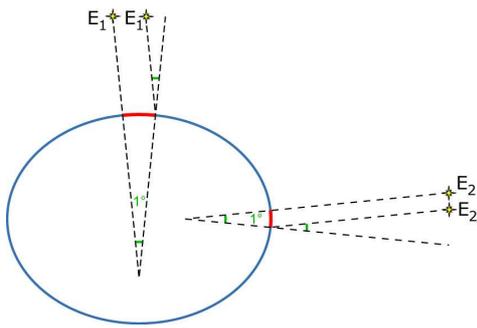
De son côté, en France, J.D.Cassini (Cassini II) poursuit les travaux de Picard. Les résultats de ses mesures le conduisent à estimer que pour une différence de 1° de latitude, mesuré à l'aide des étoiles sur le méridien, on obtient dans le Sud de la France une **portion de méridien plus grande que dans le nord**. Il en conclut que la Terre doit être allongée selon la ligne des pôles.

En d'autres termes pour J.D. Cassini la Terre doit ressembler à un citron. Tandis que, pour les théoriciens comme Huygens et surtout Newton, elle serait plutôt aplatie aux pôles c'est à dire qu'elle aurait plutôt la forme d'une tomate.

Pour trancher le débat entre les "newtoniens" et les "cassiniens", l'Académie des Sciences décide d'envoyer deux expéditions l'une vers le pôle nord et l'autre vers l'équateur. Celle qui part vers le nord effectue des mesures en Laponie en 1736 et 1737, elle comprend entre autres Maupertuis (1701-1774) et A. Clairaut (1713-1765). Elle revient rapidement avec des résultats non équivoques : un arc d'un degré de méridien **est plus long près du pôle nord** qu'en France.

Les verticales sont les normales (perpendiculaires) à l'ellipse et ne concourent pas au centre de la Terre. La longueur d'un arc d'ellipse de faible amplitude est sensiblement égale à celle de l'arc

de cercle dont le centre est le centre de courbure de l'arc.



"Si donc la surface de la Terre est inégalement courbe dans différentes régions, pour trouver la même différence de hauteur dans une étoile, il faudra, dans ces différentes régions, parcourir des arcs inégaux du méridien de la Terre; et ces arcs dont l'amplitude sera toujours d'un degré, seront plus longs là où la Terre sera plus plate. Si la Terre est aplatie vers les pôles, un degré du méridien terrestre sera plus long, vers les pôles que vers l'équateur ; et l'on pourra juger ainsi de la figure de la Terre, en comparant ses différents degrés les uns avec les autres." Maupertuis, 1738 ; le voyage en Laponie

L'autre expédition va vers l'équateur, au Pérou, de 1735 à 1744 elle comprend en particulier La Condamine (1701-1774). Cette équipe rencontre de multiples difficultés dans les Andes et ne reviendra que bien plus tard... (voir le roman "Le procès des étoiles" de Florence Trystam)

En définitive la thèse de Newton se trouve confirmée : la Terre est aplatie aux pôles. Voltaire commente cet événement en quelques vers : "Vous avez confirmé dans ces lieux plein d'ennui Ce que Newton connut sans sortir de chez lui" (4^e discours sur l'homme : de la Modération).

Ce fait étant établi, la différence de rayon entre équateur et pôle est de 22 km, il reste à l'expliquer. De plus, la Terre a-t-elle exactement la même figure que celle que prendrait une masse fluide ? La réponse est importante pour déterminer (le croit-on à l'époque) les conditions qui régnaient à l'origine de la Terre.

A. Clairaut (1713-1765) imagine avec d'autres physiciens que la Terre a probablement connu une période fluide et qu'il convient d'appliquer les lois de l'hydrostatique. Il écrit, dans *Théorie de la figure de la Terre, tirée des principes de l'hydrostatique*, 1743 ; 2^{de} éd. Paris, Courcier, 1808, p. vii. : "...que la figure de la Terre doit dépendre des lois de l'hydrostatique, et que les opérations faites pour la mesurer doivent donner à peu près les mêmes résultats que si on les faisait sur une

masse d'eau qui se serait durcie après avoir pris la figure que demande l'équilibre". Il indique que l'aplatissement de la Terre ne dépend pas seulement de sa vitesse de rotation mais également de la répartition interne des masses.

Par ailleurs, A. Clairaut est l'un des premiers à penser que les petites variations de période d'un pendule simple en différents points de la Terre peuvent donner des informations sur son aplatissement. Il donne ainsi naissance à la "géodésie dynamique".

3 De la forme réelle à sa modélisation

Au début du XIX^e siècle on distingue la surface réelle de la Terre ou surface topographique, (celle sur laquelle nous nous déplaçons) et la surface théorique définie de telle sorte qu'en tout point de cette surface le champ de pesanteur lui soit orthogonal tout en restant proche de la surface topographique. Cette surface est définie comme si la Terre était entièrement fluide. Dans le langage moderne on dirait qu'il s'agit d'une surface équipotentielle. Par la suite elle prendra le nom de géoïde. Une telle approche à partir du champ de pesanteur concerne principalement les physiciens. Les mathématiciens, avec Gauss (1777-1873), choisissent une surface mathématique simple, un ellipsoïde de révolution, qui permet d'effectuer facilement des calculs tout en restant proche du géoïde par la forme et par les dimensions.

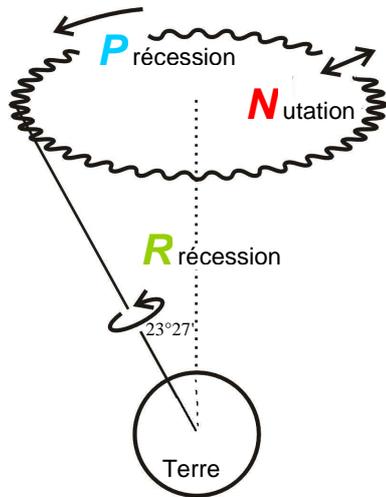
Les mouvements de notre planète

1. Les différents types de mouvement

Les mouvements de l'axe de rotation vus de l'extérieur de la Terre

Dès l'antiquité Hipparque de Nicée avait réussi à montrer que la Terre tourne comme une toupie. L'axe de rotation de la Terre décrit très lentement (par rapport aux étoiles) un cône de 23,5 ° en 25 770 ans autour d'un axe perpendiculaire à l'écliptique (voir figure). Cette faible variation représente environ 50 secondes d'arc par an ; elle explique le phénomène dit de *précession des équinoxes*. Actuellement l'axe de rotation de la Terre passe à moins de un degré de l'étoile polaire. Dans 13 000 ans, l'étoile Véga de la Lyre sera la nouvelle étoile Polaire. Ce mouvement de **précession** de l'axe de rotation a été expliqué par Newton : il résulte de la forme ellipsoïdale de la Terre. L'attraction gravitationnelle de la Lune et du Soleil crée un couple de forces sur le bourrelet équatorial de la Terre. Ce couple tend à faire basculer son axe de rotation pour l'aligner perpendiculairement à l'écliptique.

À ce mouvement de précession s'ajoute un mouvement dit de **nutaton**, prédit par Newton dans *Principia Mathematica* et découvert par Bradley en 1748. Il s'agit d'un mouvement



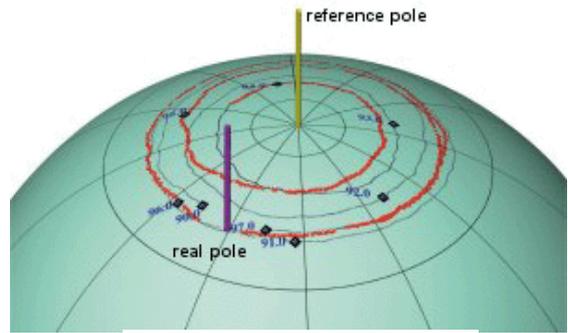
périodique de faible amplitude (9,21") et de période maximale 18,6 ans que subit l'axe de la Terre autour d'une position moyenne située sur le cône de précession. Elle est due à l'évolution de l'orbite de la Lune, perturbée par le Soleil, autour de la Terre ; l'action de la Lune vient légèrement perturber la précession en créant ces "vaguelettes".

D'autres mouvements de nutation, d'amplitude plus faible et de périodicité annuelle ou semi annuelle, ont été mis en évidence. Ils composent un mouvement global complexe, tant sur le plan de la trajectoire que de la vitesse, si on veut le suivre dans tous ses détails.

Le déplacement de l'axe de rotation par rapport à la Terre elle-même

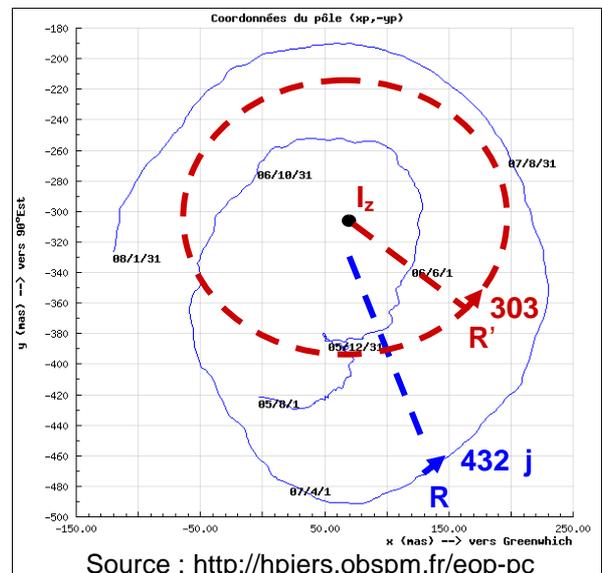
Avec un modèle d'ellipsoïde de révolution homogène solide, le grand mathématicien Euler (1707-1783) avait démontré que si l'axe de rotation de l'ellipsoïde n'est pas confondu avec son axe de symétrie, il est affecté d'un mouvement de précession autour de l'axe de symétrie. En appliquant son calcul à la Terre il évalue la période à 303 jours. La position du pôle devrait donc décrire un cercle autour d'une position fixe en dix mois environ.

L'astronome américain Seth Chandler (1846-1913) met en évidence un tel phénomène en 1891 : un mouvement du pôle ou **Polhodie** (littéralement en grec : chemin du pôle) à peu près circulaire et de période environ 432 jours, à comparer aux 303 jours prévus avec le modèle d'Euler.



Mouvement du pôle ; polhodie

Peu après un autre américain Simon Newcomb (1835-1909) montra que cet écart entre valeur prévue à partir du modèle ellipsoïdal rigide et la valeur mesurée résultait de la non rigidité de la Terre. A la même époque, en France, Henri Poincaré émettait lui aussi l'hypothèse que la Terre possédait un noyau fluide et que le noyau et le manteau terrestre ne tournaient pas exactement selon le même axe. Cette hypothèse n'a été



— — Terre réelle - - - Terre rigide

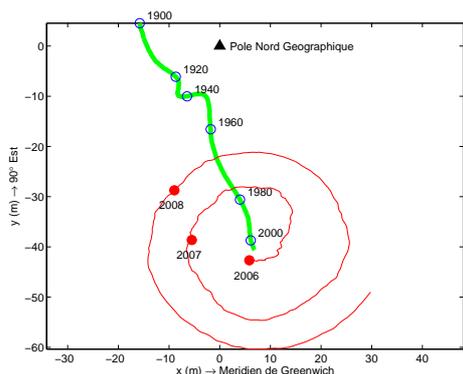
Mouvement du pôle : comparaison entre une Terre rigide et une terre "réelle"

validée que très récemment et a des effets sur la nutation de l'axe de rotation. Nous reviendrons ultérieurement sur les multiples effets de la structure interne de la Terre.

Actuellement, la trajectoire du pôle est connue à quelques millimètres près.

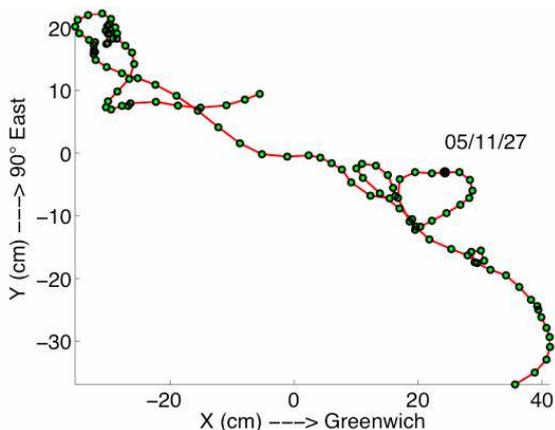
Elle se compose non seulement de l'oscillation découverte par Chandler (en rouge sur la figure) mais aussi d'une oscillation annuelle forcée et d'une dérive séculaire de la position moyenne du pôle (quelques centimètres par an en direction du Groenland avec une vitesse de 0,4 seconde d'arc par siècle), avec des mouvements irréguliers (en

vert sur la figure). Depuis l'année 1900, il s'est déplacé d'environ 50 m.



— dérive séculaire
— dérive apparente

La trajectoire subit aussi des fluctuations à très court terme (ci-dessous en moins de 20 jours).



Variations rapides de la position du pôle pour de courtes durées (20 jours).

Actuellement la rotation de la Terre est définie comme "la rotation de la croûte terrestre ou lithosphère par rapport aux étoiles".

De nombreux paramètres liés à la structure de la Terre, tant en surface qu'à l'intérieur, interviennent pour perturber les mouvements calculables avec des modèles simples (ellipsoïde rigide ou fluide) : variation de la pression au fond des

océans, fluctuation de la pression atmosphérique et des vents, circulation atmosphérique saisonnière, mouvements de convection du manteau terrestre, fonte des calottes glaciaires, friction entre le manteau constitué d'un solide (non rigide) et le noyau terrestre (liquide), entre le noyau et la graine (solide)... que nous détaillerons dans un prochain article.

2. Implications sur la durée du jour

La dynamique de la rotation de la Terre implique des mouvements de son axe mais aussi des fluctuations de la vitesse de rotation autour de cet axe. Christian Bizouard, astronome à l'Observatoire de Paris, indique que ces fluctuations de vitesse ne furent décelées que vers 1930 et que jusque là la rotation diurne assurait *la fonction d'horloge sans défaut*. Jusqu'en 1972, l'échelle de temps reposa sur la **succession des jours solaires moyens**.

On sait depuis longtemps que la Terre ralentit et que la durée du jour augmente de 2 ms par siècle, phénomène dû à la friction entre les océans et la croûte terrestre, qui dissipe de l'énergie. Depuis peu, on a observé des irrégularités grâce aux horloges atomiques. Ces irrégularités ont des périodes variables suivant qu'elles sont dues à la fonte des glaciers ou aux mouvements saisonniers de l'atmosphère terrestre, ou encore au noyau terrestre.

Je remercie particulièrement Christian Bizouard, astronome à l'Observatoire de Paris au Service International de la Rotation de la Terre (IERS), pour ses explications et pour la documentation fournie qui sert à illustrer cet article.

Sources :

Etienne Ghys, CNRS/ENS Lyon : "La forme de la Terre : un problème mathématique"

http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/LOM-forme-terre-Ghys_conf.xml

Greff-Lefftz, Marianne. (2004). *La Terre, une toupie au cœur liquide*, Pour la Science, 318, 58-63.

Rotation d'un œuf cru et d'un œuf dur

Pour percevoir la différence entre la rotation d'un corps solide et d'un corps qui contient une partie fluide, on peut faire une petite expérience : prendre un œuf cru et un œuf dur, chacun d'eux posé sur une assiette.

Puis les faire tourner comme une toupie et observer la différence !

TÉMOIGNAGE

"Le ciel est par-dessus le toit" : l'Astronomie dans les prisons

Danielle Briot, Astronome à l'Observatoire de Paris

Ce poème écrit par Verlaine alors que le poète était en prison pour avoir tiré des coups de feu sur Rimbaud, est pour moi un bon symbole de ce que représente l'astronomie en prison. (*le texte du poème est p.34*)

INTRODUCTION

Depuis une décennie, et par l'intermédiaire de différentes structures, des astronomes de la région parisienne, ainsi que des astronomes de la région Midi-Pyrénées, vont dans différentes prisons pour parler d'astronomie aux détenus.

Notons d'abord que toute intervention de personnes extérieures dans une prison ne peut se faire que dans la journée et non pas le soir ou la nuit. Les activités ayant trait à l'astronomie ne peuvent donc être que des conférences, des cours ou des discussions, à l'exception d'observations pouvant se faire pendant la journée, c'est-à-dire des observations du Soleil ; ces observations se feront particulièrement à l'occasion d'événements astronomiques, par exemple des éclipses ou des passages de planètes devant le Soleil. Alors que les détenus sont vraiment intéressés, comme nous le verrons plus loin, c'est, également pour les astronomes, une expérience très intéressante à de nombreux points de vue.

QUELQUES REMARQUES PRÉLIMINAIRES

Parler d'astronomie en prison présente au moins deux paradoxes :

Premier paradoxe :

Tout d'abord, il est étonnant que des gens qui ont un passé souvent très douloureux, un quotidien très lourd et un avenir très angoissant, s'intéressent à quelque chose qui relève de la connaissance pure et qui n'aura aucune utilité directe. Ceci est particulièrement remarquable quand il s'agit de personnes en détention préventive, en attente du jugement.

Deuxième paradoxe :

Le deuxième paradoxe est que les auditeurs de nos conférences sont enfermés autant qu'il est possible, alors que le but de l'astronomie est de voir toujours plus loin, d'avoir accès à un espace toujours plus

vaste et plus lointain, et de comprendre l'Univers dans son infinie totalité.

Cette contradiction apparente a été pour moi particulièrement marquée quand je donnais des conférences d'astronomie dans la Maison d'Arrêt de la Santé qui est le pôle de maisons qui jouxte le jardin de l'Observatoire.

Une explication à ces paradoxes est donnée par François Chouquet, professeur de philosophie, et responsable pendant de nombreuses années de l'enseignement de l'Université Paris 7 en milieu carcéral :

"Il est certain, je le sais par expérience, que quelqu'un qui est enfermé dans son histoire, dans son crime quand c'est le cas, quelle qu'en soit sa responsabilité, est aussi quelqu'un tout disposé à s'ouvrir à une pensée sur les limites, à une mémoire du passé et du futur, et l'astronomie est un chemin pour cela".

Notre but est de profiter d'un moment "spécial" dans la vie de ces personnes pour leur faire découvrir des savoirs et de leur faire rencontrer des gens qu'ils n'auront peut-être jamais l'occasion de découvrir, ou de rencontrer à l'extérieur.

QUELQUES CARACTÉRISTIQUES DE CES CONFÉRENCES

Comme dans toutes les conférences devant un public non spécialisé, le niveau de l'auditoire est très hétérogène.

Un bon exemple est donné par une conférence faite à la maison d'arrêt de Fresnes à l'occasion du passage de Vénus en 2004, conférence qui réunissait dans une grande salle, des prisonniers venant des différentes sections de la prison. Après ma conférence, il y eut trois questions :

La première question était une demande de précision supplémentaire par rapport à ce que j'avais raconté, et elle correspondait tout à fait aux questions posées habituellement.

La deuxième question fut posée par un Africain, qui me dit, et visiblement, cette pensée le faisait beaucoup rire : "Mais enfin, madame, vous dites que la Terre tourne, mais si la Terre tourne, l'Afrique, elle s'envole....".

La troisième question fut beaucoup moins drôle : "La prochaine fois que vous viendrez, est-ce que vous pourriez vous arranger pour que les gardiens ne nous maintiennent pas, trente personnes à la fois, pendant une heure dans une salle surchauffée avant de nous transférer d'une section à une autre ?". Mais que pouvais-je y faire ?

Cependant, très souvent les questions sont de très bon niveau. Les questions pertinentes montrent qu'une proportion non négligeable des prisonniers, mettent à profit leur temps en prison pour lire et étudier très soigneusement certains sujets scientifiques. Ce serait peut-être plus difficile à l'extérieur, où ils seraient moins motivés. Mais c'est aussi un moyen d'échapper à l'angoisse au sujet de leur avenir.

Les sujets de conférence sont quelquefois choisis par les prisonniers eux-mêmes. Par exemple, j'avais préparé un exposé sur "l'astronomie au quotidien" destiné à un auditoire de femmes. Je pensais leur parler des mouvements du Soleil, des saisons, des mouvements de la Lune... Elles n'ont absolument pas été intéressées et m'ont interrogée, pendant tout le temps prévu pour la conférence, sur l'origine de l'Univers et le Big Bang

Une autre raison qui peut contribuer à expliquer le très grand intérêt des prisonniers pour ces conférences est qu'une autorisation est nécessaire, autorisation qu'ils doivent demander à l'administration, et qui n'est pas toujours accordée, ne serait-ce qu'en raison du nombre de places disponibles. Notre auditoire est donc composé de personnes particulièrement motivées.

Une différence importante par rapport à un autre auditoire est qu'il montre, plus souvent qu'ailleurs, des préoccupations métaphysiques. La question sur Dieu est posée plus souvent, dans un sens ou dans l'autre, dans l'optique d'une religion ou d'une autre. Par exemple : "Un astronome ne peut pas croire en Dieu..."

On peut aussi observer un très grand intérêt pour la notion de temps, ce qui est assez compréhensible pour des personnes soumises à leur temps d'incarcération. Ainsi, quand j'expliquais que la fin de vie du Soleil se produirait dans cinq milliards d'années, l'auditoire a vraiment essayé de se représenter ce que cela signifiait. Et pour ceux qui réfléchissaient et avaient l'air très préoccupés, d'autres les ont rassurés en riant : "Ne t'en fais pas, tu seras sorti à ce moment-là".

Cependant, il y a tout de même des sujets que j'évite d'aborder :

- Je ne décrirais pas, comme je le fais dans d'autres conférences, les constellations que l'on peut voir dans le ciel. "Il n'y a pas d'étoiles dans le ciel de Fresnes", m'a affirmée une de mes auditrices.

- Certaines expressions d'astrophysique sont malheureuses, comme "la probabilité d'échappement" ou "la vitesse de fuite", et il n'est pas toujours possible de les éviter.

- Et lorsque j'ai montré un dessin d'ambulance avec son avertisseur en marche, pour expliquer l'effet Doppler, tout l'auditoire a pensé qu'il s'agissait d'une voiture de police.

DÉTAILS TECHNIQUES, ADMINISTRATIFS ET ORGANISATION

Parmi les problèmes qui se posent, l'un des plus compliqués est l'organisation de ces conférences, et l'obtention des autorisations. On peut dire qu'il y a là un paradoxe de plus : il est compliqué d'**entrer** en prison...

Nous devons tout d'abord entrer en contact avec l'équipe enseignante ou le service culturel de la prison, et demander toutes les autorisations à l'administration de la prison.

Rappelons qu'il existe plusieurs types de prisons en France.

Principalement :

- les maisons d'arrêt pour les détentions provisoires ou les peines inférieures à un an ;

- les centres de détention pour les peines d'un an ou plus, dont les détenus sont en fin de peine et présentent des perspectives de réinsertion favorables

- les maisons centrales pour les longues peines. Les dispositifs de sécurité y sont les plus renforcés.

Le règlement est différent suivant les prisons. L'enseignement disponible change aussi beaucoup suivant les prisons. Et c'est une opinion largement partagée que les dispositifs de sécurité, le régime des prisons et le nombre de détenus varient dans le temps en fonction de la politique et des circonstances, suivant en cela un système de balancier.

Le principe de base est que rien n'est jamais acquis : une autorisation renouvelée depuis des années peut être retirée. Les autorisations sont parfois tellement compliquées à obtenir, que pour certaines prisons importantes, l'équipe pédagogique de l'établissement pénitentiaire préfère organiser seulement des conférences à auditoires réduits, et non pas des conférences avec un audi-

toire provenant des différentes divisions, ceci afin d'éviter les innombrables autorisations nécessaires pour le transfert des détenus d'une partie à l'autre de la prison.

Par exemple, comparons comment deux éclipses de Soleil ont été traitées dans deux prisons de la région parisienne :

- l'éclipse d'août 1999, dont j'ai parlé à la Santé,
- et l'éclipse de mars 2006, que nous avons observée à Fresnes.

L'éclipse totale d'août 1999 qui était visible dans sa totalité dans certaines parties de la France, mais seulement partielle à Paris, avait été très relayée par les médias, presse écrite, radios et télévisions. Elle s'est produite en dehors des heures de promenade. Comme il était impossible que tous les prisonniers soient dans la cour en même temps, l'administration avait choisi de n'accorder aucune autorisation spéciale. Les prisonniers sont restés dans leur cellule et seuls ceux dont la cellule avait la bonne orientation ont pu observer l'éclipse. Cependant, par souci d'équité, des lunettes spéciales pour observer l'éclipse avaient été distribuées à tous les détenus. La seule chose que nous ayons pu faire a été de filmer une conférence explicative, comportant entre autres choses, une table ronde réunissant les intervenants et certains détenus. Ce film a été diffusé sur le circuit intérieur de la prison de la Santé.

L'éclipse totale de mars 2006 était également partielle à Paris, mais n'était visible dans sa totalité nulle part en France. Elle avait lieu également en dehors des heures de promenade. Nous avons proposé d'organiser des observations de cette éclipse dans la prison de Fresnes. La surveillante responsable du centre pédagogique à cette époque, fut très coopérative. Elle choisit quelques détenus parmi ceux qui étaient scolarisés, et ceux-là eurent l'autorisation d'aller dans la toute petite cour où nous avons installé des instruments spéciaux pour suivre l'éclipse. Nous avons apporté des lunettes et de la documentation à distribuer pour chacun. En fait, comme il y avait des nuages, nous n'avons pas pu voir grand chose, mais les détenus ont eu l'air de trouver cette expérience très amusante.

Alors, que la prison de Fresnes a la réputation d'être la prison la plus dure, en l'occurrence, il semblerait que les autorisations aient été plus faciles à obtenir. Mais, il est très difficile de juger, en particulier parce que beaucoup d'éléments entrent en jeu.

CE QUI EST FAIT ACTUELLEMENT

L'année de l'Astronomie a, comme dans bien d'autres activités de diffusion de l'astronomie, augmenté le nombre d'initiatives dans ce domaine.

Depuis quelques années, des conférences dans les

maisons d'arrêt du Val d'Oise et de Fresnes sont faites, quand c'est possible, par Régis Courtin, astronome à Meudon, et moi, regroupés dans la structure "astronomie vers tous".

Depuis 2005, des rencontres scientifiques sont organisées par Brigitte Gaaloul, fondatrice des "bars des sciences", dans la prison de Fleury-Mérogis, rencontres scientifiques auxquelles nous devons participer.

Un très important et très intéressant travail de diffusion de l'astronomie dans les prisons est fait par Didier Barret, astronome à Toulouse. En 2004, il a créé l'association "les étoiles brillent pour tous" qui regroupe une trentaine de chercheurs de diverses disciplines, parmi lesquels des astronomes et qui interviennent, entre autres, à la maison d'arrêt de Seysses et au centre de détention de Muret, ainsi que dans des hôpitaux, ou des maisons de retraite. Il a pu amener à l'observatoire du Pic du Midi un groupe de prisonniers en fin de peine dont l'un n'était pas sorti de prison depuis treize ans. Rappelons que l'observatoire du Pic du Midi est à 2 877 mètres d'altitude, au sommet d'une montagne et que l'on y accède par un téléphérique. Il est sûr que les visiteurs n'oublieront jamais cette journée.

EN MANIÈRE DE CONCLUSION

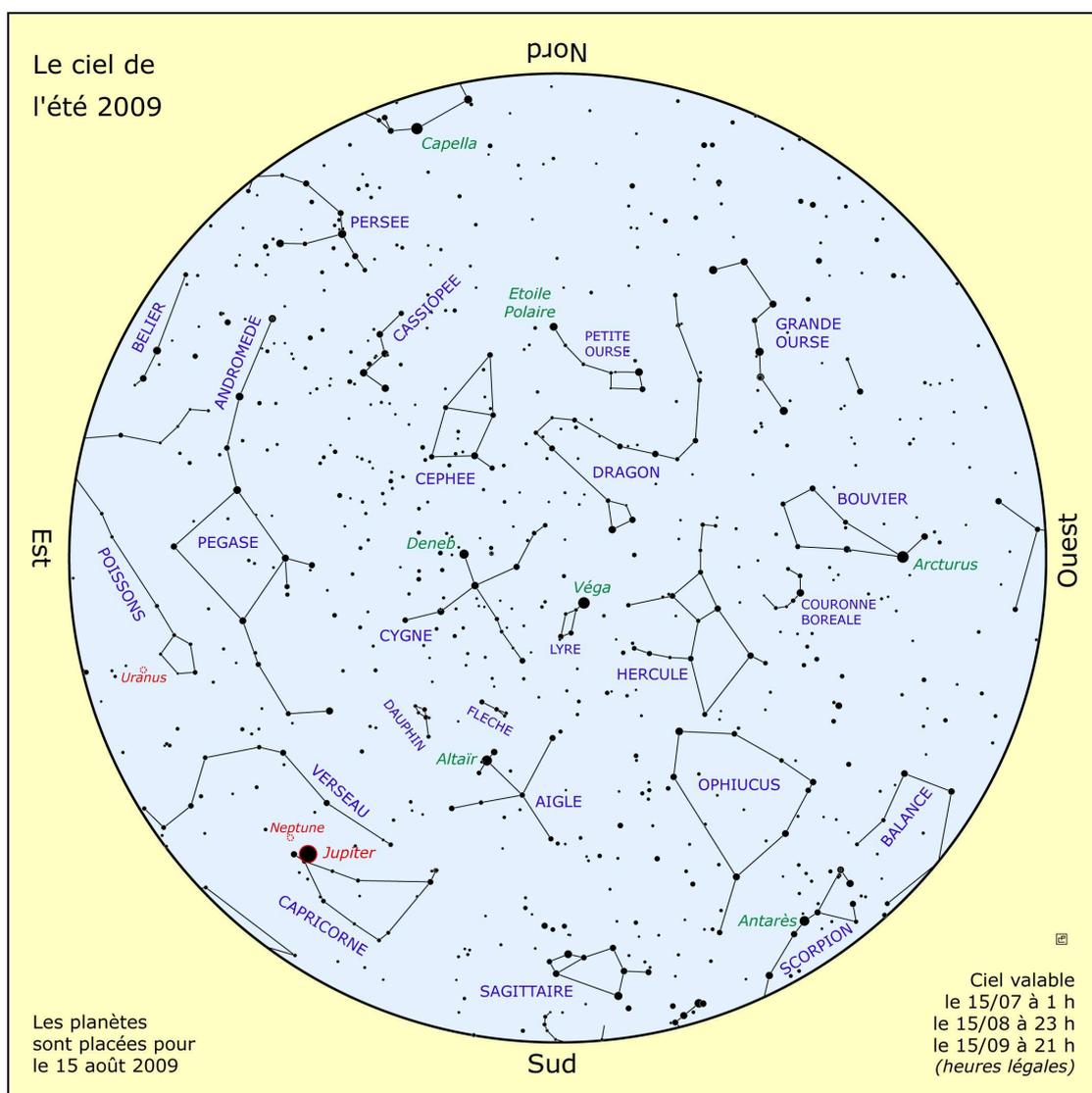
En conclusion, il est sûr que donner aux détenus toutes les occasions de réfléchir et d'augmenter leurs connaissances, ne peut que faciliter leur réinsertion dans la société après leur sortie, en plus de l'intérêt qu'ils portent aux sciences, et de la distraction qu'apporte toute chose qui vient casser la routine de la prison. Parlant des conférences organisées par le philosophe François Chouquet à la prison de la Santé, il y a quelques années, conférences auxquelles j'ai participé à de nombreuses reprises, un détenu explique sur son "blog" : "Après des années de quartier d'isolement, cette activité culturelle, véritable ouverture sur le monde des lumières, me faisait un bien immense car j'avais l'impression de redécouvrir les beautés de la civilisation".

Lorsqu'un ancien détenu me reconnaît dans le métro et discute longuement avec moi, je pense que je n'ai pas perdu mon temps.

Pour finir, un petit exemple du sens de l'humour.

Alors que je parlais de la masse manquante de l'Univers et que j'insistais sur le fait que nul ne sait où se trouve cette masse manquante, les auditeurs s'écrient : "C'est pas nous qui l'avons pris, m'dame, nous sommes ici, nous avons un alibi, on ne peut pas nous mettre ça sur le dos !".

Le ciel de l'été 2009



Visibilité des planètes

Vénus est toujours bien visible le matin à l'est.

On trouve Mars le matin dans la constellation du Taureau puis dans celle des Gémeaux.

Jupiter est visible toute la nuit, très brillante.

On peut encore apercevoir Saturne le soir en juillet peu après le coucher du Soleil.

Uranus peut être observé entre les Poissons et le Verseau (opposition le 17/09) et Neptune dans le Capricorne (opposition le 17/08).

Événements (les heures sont en heure légale)

21 juin : solstice d'été à 7 h 45.

Du 1er au 15 juillet : Neptune est au nord de Jupiter (0,6° à 0,7°), c'est le moment de la trouver au télescope si vous ne l'avez jamais observée.

7 juillet : éclipse de Lune par la pénombre invisible en France.

18 juillet (vers 5 h) : la Lune traverse les Pléiades.

21 juillet : 40^e anniversaire du premier pas d'un homme sur la Lune.

22 juillet : éclipse totale de Soleil visible en Asie et dans le Pacifique. Durée de la totalité : plus de 6 minutes dans le Pacifique (c'est la plus longue du siècle).

6 août : nouvelle éclipse de Lune par la pénombre, visible en France mais de peu d'intérêt (maximum 2 h 39)

12 août : maximum de l'essaim d'étoiles filantes des Perséides à observer la première quinzaine d'août mais la pleine Lune sera gênante.

14 août : opposition de Jupiter.

18 août (matin) : rapprochement Lune Vénus.

24 août : élongation maximale Est de Mercure

2 septembre (matin) : Vénus proche de la Crèche (M44).

22 septembre : équinoxe d'automne à 23 h 18.

Lune

Nouvelle Lune le 22/06, 22/07, 20/08, 18/09.

Pleine Lune le 7/07, 6/08, 4/09.

JEUX

La navette de l'espace lettre

Michel Bobin, Le Val Saint Germain

Sous cette appellation, Michel Bobin vous propose une activité ludique d'un genre nouveau, consistant à découvrir un extrait d'un texte littéraire (astronomique bien entendu).

Ci dessous, deux grilles de définitions sont données. Vous reporterez, grâce aux numéros des cases, les lettres ainsi trouvées, dans la grille ci-dessous. Le texte s'étoffant, cette grille elle-même vous aidera à reporter, grâce à leur codage, des lettres dans les grilles de définitions.

Pour vous aider, la première colonne en "saumon" de la première grille de définitions contient le prénom et le nom de l'auteur du texte ainsi que le titre de l'ouvrage où l'extrait fut puisé ; celle de la deuxième grille de définitions contient le titre d'un autre ouvrage de cet auteur.

C1	S2	J3	L4	F5		B6		H7	H8	C9	D10	F11		V12	A13	R14	N15	N16	K17	U18		M19	A20	U21	K22	S23
	K24		F25	M26	H'27	J28	L29	Q30	J'31	G32		K33	E'34	S35	E36	E'37	H38		G'39	S40	M41		F42	C'43		C44
B45	R'46	D47	B48	L49	Q50	C'51	I'52		P53	P'54	O55	S56	Q'57		I'58	O59	G'60	T61		H62	E63	J'64	O'65	P66		C67
C'68	G69	D'70	I'71	Q72	I73	N'74	R'75	D'76		J'77	I78	S'79	C80	R'81	Q'82	B83	U84		E'85	G'86	I'87	M88	R'89	Q'90	I'91	
A'92	Q93		D94	T95	E'96	U97	E98	Q'99	D'100		H101	P102	W103	O'104	H'105	P106	B107		P'108	L'109		P110	N'111	R112	E113	B'114
I115	R116	K'117	B'118	O'119		Q'120	G121		R122	A123	S'124	A'125	C126	J127		B'128		K'129		W130	J'131	J132	G'133	E'134	M'135	
A'136	N137		S'138	E'139	D'140	D141	S142	Q'143		K'144	F145	R146	A'147		K'148	L149	Q150	D151	J152	Q153	G'154	S'155	D156		O'157	
A158	O159	B160	A'161	H'162	N'163	K164	T165		H166	A167		E168		A169	I'170	F'171	J'172	M173	F'174	E175		D176	Q177	M'178	F179	
L180	V181	D'182	G'183	D184	L185	M186		L187		A'189		M'190	F191	H'192	N193		P'194	F195	N'196		R197	C'198		N'199	I200	R'201
E202	P'203	K204	C205	C'206		F'207	N'208		D209	M'210	B'211		L'212	P'213		P214	O215	R'216	L'217	Q218		M219	Q'220	E221	U222	
A223	M'224	O225	W226		N'227	C228		B229	M230	H231	L'232		K'233	L234	A'235	R236		V237	H'238	D'239		L240	R'241	P242	C'243	Q244
	J'245	H246		A247	T248	S249	W250	I'251	R252	F'253	N254		T255	A'256	C257	B'258		W259	B260	C'261	O262	A'263	C'264	S265		H266
L'267	T268	M'269		E270	V271	F'272	K273		N274	T275	F276	O'277	T278	U279	K280	R281	B'282	E'283	B284	P285	I286	G287				

*Le ciel est, par-dessus le toit,
Si beau, si calme!
Un arbre, par-dessus le toit,
Berce sa palme.*

*La cloche, dans le ciel qu'on voit,
Doucement tinte,
Un oiseau sur l'arbre qu'on voit,
Chante sa plainte.*

*Mon Dieu, mon Dieu, la vie est là,
Simple et tranquille.
Cette paisible rumeur-là
Vient de la ville.*

*- Qu'as-tu fait, ô toi que voilà
Pleurant sans cesse,
Dis, qu'as-tu fait, toi que voilà,
De ta jeunesse?*

Paul Verlaine (Sagesse)

Le 8 août 1873, le tribunal de Bruxelles condamne Paul Verlaine à deux ans de prison pour avoir tiré sur son amant Arthur Rimbaud. "Le ciel est par-dessus le toit" a été écrit en prison.

Première grille de définitions

Un étalon variable (!) et c'est bien son charme	A	13	20	247	169	158	123	223	167	■
Pour se repérer, à moins d'être gauche	B	284	6	229	107	83	160	48	45	260
Moins à la Lune, plus à Castor	C	44	9	126	205	1	80	257	67	228
Manque de considération	D	10	151	156	176	209	94	141	184	47
Balancement de corps	E	168	221	270	36	98	202	63	113	175
Il causerait volontiers	F	191	145	25	195	5	276	179	■	
Tient le haut du pavé	G	287	32	69	121	■				
Astronome royal de Charles II	H	266	101	246	62	38	8	7	231	166
Abriter	I	286	200	73	78	115	■			
Une ourse y est plus probable qu'un lion	J	152	28	132	127	■				
Naute en nuages ?	K	33	280	204	17	22	164	24	273	■
S'occupe de forces célestes, par exemple	L	149	4	49	180	187	240	29	185	234
Directions	M	88	173	230	219	26	186	19	■	
Butor, maroufle	N	15	137	193	16	274	254	■		
Ça ne sent pas la rose	O	262	55	159	59	225	215	■		
Comme des vols, mais pas à la tire	P	102	110	285	53	214	242	106	66	■
Peut être du crabe	Q	72	93	150	50	177	218	30	153	244
Pas très liant	R	146	252	281	122	14	197	236	116	112
Fils croisés	S	249	23	35	142	2	40	56	265	■
Donnèrent de l'espace	T	95	275	61	248	268	165	278	255	■
Sang, taure ?	U	279	18	97	222	21	84	■		
Un institut où plus d'un de nous fut	V	271	181	12	237	■				
Croissance	W	259	250	226	130	103	■			

Deuxième grille de définitions

Fille d'un roi d'Ethiopie	A'	125	189	92	147	256	235	263	136	161
Gros accessoire pour petit (et grand) pas	B'	282	128	258	114	211	118	■		
Tri pour faire court	C'	261	264	68	198	43	243	51	206	■
Trace, soupçon	D'	76	100	140	182	239	70	■		
De l'espace : sortie le 27/09/1968	E'	139	85	96	134	283	34	37	■	
Pour une bouillie très épaisse	F'	207	272	42	11	171	174	253	■	
Ovide prétend que Héra les priva de bains	G'	133	60	183	39	86	154	■		
Récipient pour boire ou mesurer	H'	162	238	105	192	27	■			
Différent par la masse	I'	71	91	251	87	170	58	52	■	
Brève disparition	J'	64	77	3	172	131	245	31	■	
Récompense pour anatidés ?	K'	144	117	129	233	148	■			
Créateur du PMU, de l'Olympia, etc.	L'	267	212	232	109	217	■			
Président pour nous	M'	190	224	269	210	41	135	178	■	
Avec Ariel, mais le blanc n'est pas son fort	N'	74	199	163	196	208	111	227	■	
Position croisée	O'	157	277	119	65	104	■			
Un chevalier loué par Voltaire	P'	203	54	194	213	108	■			
Interdit	Q'	82	90	143	57	99	220	120	■	
Un matheux intègre	R'	216	89	75	241	81	201	46	■	
Fuite de cygne, de grue ou de toucan...	S'	155	138	124	188	79	■			

Vous trouverez les réponses en page 37

LECTURE POUR LA MARQUISE

René Moreau, Bordeaux

NDLR. : Ce titre fait référence à la Marquise du Châtelet (1706 – 1749) qui fût une des toutes premières femmes scientifiques de haut niveau, "une femme savante".

On retient particulièrement d'elle la première traduction des œuvres d'Isaac Newton intitulées "Philosophae Naturalis Principia Mathematica" publiées en 1687 par Newton. Non seulement il fallait savoir lire le latin "aperto libro" mais surtout comprendre les subtilités scientifiques, particulièrement dans le domaine des mathématiques.

Voltaire écrivit en 1752 "un éloge à Madame du Châtelet" qui devait initialement apparaître au début des *Principia*.

Le Secret de Copernic, La Discorde Céleste et L'Œil de Galilée, de Jean-Pierre Luminet.

Ces trois livres sont les premiers d'une série consacrée "Aux Bâisseurs du Ciel" ; elle commence avec la vie romancée du chanoine polonais Nicolas Copernic, continue avec celle de Tycho Brahé, de la haute noblesse danoise, mort en exil à Prague et se poursuit crescendo avec l'histoire bouleversante de l'allemand Johannes Kepler, né sept ans après l'italien Galilée, présent lui aussi, évidemment, dans ce troisième roman qui porte son nom.

D'emblée, l'avant propos de l'auteur avertit le lecteur que ces romans ont été écrits pour nous divertir mais aussi pour nous instruire. Comme ses héros sont connus de tous ou, tout au moins, que chacun de nous sait qu'il s'agit d'astronomes, on s'attend à trouver, dès le premier roman, quelques précisions sur les observations et les calculs menés par Copernic dans la tour où il aimait réfléchir et observer. Or il n'en est rien, si l'on excepte, vers le milieu du livre, un schéma expliquant les rétrogradations de Mars dans le ciel.

De même J.P. Luminet nous montre, dans le deuxième roman, Tycho Brahé acharné à relever, jour après jour pendant des dizaines d'années, les positions mobiles des planètes, celles, fixes, d'une supernova inattendue et celles, fulgurantes et fugaces, des comètes ; il nous décrit aussi, globalement, la représentation étonnante de l'Univers selon Tycho, mais il ne nous précise ni sous quelle forme ni dans quel système de repérage Tycho, avec une précision stupéfiante, notait ces positions.

Le troisième roman, "L'Œil de Galilée", éclaire quelque peu l'aspect purement technique des activités des astronomes. Comme le mot "trigonométrie" est cité dans La Discorde Céleste, on comprend que Tycho et a fortiori Kepler, ont utilisé non seulement la trigonométrie euclidienne mais aussi la trigonométrie sphérique pour rendre compatibles des observations réalisées à des

latitudes différentes. Dans ce troisième roman, on nous montre également Kepler féru des logarithmes récemment inventés, à l'époque, par l'anglais John Napier que les étudiants en sciences connaissent plutôt sous son nom francisé de Neper. Mais aucune indication n'est donnée sur la manière dont Kepler, à partir des observations purement angulaires de Tycho Brahé, a pu déterminer avec précision les variations de la distance de Mars au Soleil, puis les caractéristiques des orbites elliptiques des autres planètes.

Manifestement, donc, si J.P. Luminet a cherché à nous instruire, ce n'est pas sur les méthodes de l'astrophysique que nous pouvons toujours, il est vrai, appréhender dans des ouvrages spécialisés.

En revanche, "Le Secret de Copernic" permet de côtoyer évêques et papes de l'époque et notamment les Borgia, Médicis et autres Farnèse, aux moeurs si particulières, tandis que les deux livres suivants constituent une remarquable fresque permettant d'assister à la préparation puis au déclenchement de la guerre de Trente Ans qui mit aux prises les pays d'Europe Centrale tout en impliquant l'ensemble des puissances européennes à l'exception de l'Angleterre et de la Russie.

"Le Secret de Copernic" rend ainsi très compréhensible la rébellion de Luther contre l'Église catholique. Mais La Discorde Céleste et, surtout "L'Œil de Galilée", montrent qu'il ne suffit pas de dénoncer les errements des autres pour être soi-même irréprochable : pendant la jeunesse de Kepler, luthériens et calvinistes se détestaient presque autant qu'ils détestaient ensemble les papistes, et, parvenu à l'âge mûr, c'est contre un calviniste déterminé à faire brûler sa vieille mère que Kepler dut se battre pendant des années afin de la sauver du bûcher auquel la vouait cet intégriste de l'époque, chasseur professionnel de sorcières.

Il faut suivre, sur une carte de l'Europe, les voyages professionnels ou familiaux de Copernic, Brahé et Kepler. On reste alors stupéfait de tant d'audace à une époque où les routes étaient en si mauvais état et si peu sûres. Au fil des livres, on suit également les problèmes de succession des familles régnantes, et particulièrement ceux des nombreux Habsbourg, les Maximilien, Rodolphe, Matthias, Ferdinand, Frédéric, etc. que leurs liens de parenté n'empêchaient pas de s'affronter, le moment venu.

Jean Pierre Luminet, qui met en scène la plupart des savants de l'époque, a eu la bonne idée de

donner, en annexe de chacun de ses livres, de courtes indications biographiques sur les personnages contemporains de ses héros. Ces tables concernent aussi d'autres savants d'époques antérieures dont les travaux sont cités.

Ainsi, j'ai pu vérifier que le mathématicien Jésuite Paul Guldin, qui apparaît souvent dans "L'Œil de Galilée", était bien celui qui avait établi les deux théorèmes que j'avais appris, il y a bien longtemps, en classe de Mathématiques Supérieures.

Lecture intéressante, donc, qui donne souvent envie d'en savoir plus, dans de nombreux domaines. ■

Solution du jeu de l'espace lettre

Le texte

"Icléa s'était écartée, seule, à quelques mètres, sur un monticule isolé, pour mieux distinguer certains détails de paysage, lorsque se retournant, le visage à l'opposé du Soleil pour embrasser l'ensemble de l'horizon, elle aperçut, non plus sur la montagne ni sur la terre mais dans le ciel même, son image, sa personne tout entière, fort bien reconnaissable."

Camille Flammarion (1842 - 1926) publia "L'astronomie populaire" en 1880 et le roman "Uranie" chez son frère Ernest en 1889.

Il décrit dans ce passage le phénomène lumineux dit "spectre de Brocken" (point culminant du Harz) et dans la phrase suivante (non reproduite ici) les cercles irisés qualifiés de "gloire" peut-être grâce à ses mots. Voir cette description dans "Jeux de lumière - les phénomènes lumineux du ciel" de JP Parisot et F Suagher Editions Cêtre Besançon 1975.

À propos des définitions :

B. Ascension droite, une des coordonnées équatoriales.

H. Halley lui succéda.

B'. Saturn V envoya Neil Armstrong faire son grand petit pas sur la Lune.

C'. Tri, abréviation internationale de la constellation du Triangle.

E'. 2001, l'odyssée de l'espace, de Sydney Kubrick.

F'. Bouillie de l'ordre du milliard de tonnes par cm³.

G'. : Il s'agit d'une des légendes sur la Grande et de la Petite Ourse qui tournant autour de la Polaire sans se coucher, ne peuvent se baigner dans le fleuve Océan.

L'. Joseph Oller, également propriétaire du Moulin Rouge.

N'. Umbriel et Ariel sont deux satellites d'Uranus de taille comparable, le premier étant très sombre (albédo 0,2 contre 0,4 à Ariel).

R'. Bernhard Riemann et son intégrale, entre autres...

CLEA, ICLEA : Cette coïncidence (qui n'a peut-être encore jamais été signalée depuis la naissance de l'association ?) m'a motivé à entreprendre ce casse-tête. "Uranie" se termine par cette notule : "En souvenir de ce livre, le nom d'Icléa a été donné à la 286^e planète découverte entre Mars et Jupiter, le 3 août 1889, par M. Palisa, astronome à l'observatoire de Vienne. Le nom d'Uranie, muse de l'Astronomie, avait déjà été donné, assez tard cependant, en 1854, à la 30^e de ces petites planètes, dont la première a été découverte le 1^{er} janvier 1801.

Petit clin d'œil d'un "vieux Pédagogue" à ses alter "Hugo"

La vieille comète dit aux jeunes étoiles

"...Vous êtes la lumière et moi je suis la flamme ;

Dieu me fit de son cœur et vous fit de son âme ;

O mes sœurs, nous versons toutes de la clarté, Étant, vous l'harmonie, et moi la liberté."

Victor HUGO, La légende des siècles, Tome II
Chap.XXXV – Là-haut, 30 novembre 1869

Nous sommes tous des comètes, mais la liberté
De l'une demande tant d'attentions aux autres...
La question constante, comment faire rimer :
Communauté et solitude, est nôtre ?

Quand les mots manquent, entre les vers, mes pensées
S'envolent comme autant de notes de musique,
Pour égrener tous mes silences, magiques
Instants, noirceur d'un ciel à la profonde clarté.

La poésie m'accompagne, conversation
Solitaire, où je couvre de couleurs sucrées
Des voiles masquant l'inaudible..., confusion
De ma pensée, à l'imaginaire étoilé.

Pince de Mohr, été 2009

LA VIE ASSOCIATIVE

Résumé de la conférence de Jean-Pierre Verdet sur Galilée et son époque.

Jean-Pierre Devalance, Parentis en Born – Jean-Michel Vienney, Buthiers

Jean-Pierre Verdet est mathématicien, astronome et historien des sciences, ancien directeur du département d'astronomie fondamentale de l'Observatoire de Paris.

La vidéo de cette conférence, dont la durée est de 56 minutes, peut-être téléchargée gratuitement (environ 95 Mo) sur le site : <http://accres.inrp.fr/clea>

Galilée est le premier usager scientifique de la lunette. En octobre 1608, sans doute empiriquement, Hans Lippershey en a fait la découverte pour laquelle il dépose un brevet qui lui sera d'ailleurs refusé, la lunette étant alors considérée comme un objet d'"intérêt collectif". D'autres lunetiers hollandais tels Adrien Metius ou Zacharias Janssen en revendiqueront l'invention, mais ne pourront prouver leur antériorité. J-P. Verdet fait alors remarquer que Galilée se heurtera, faute de publication, au même problème lorsqu'il revendiquera, à tort d'ailleurs (1), l'antériorité de la découverte des taches solaires (2).

En juin 1609, Galilée prend possession de la lunette hollandaise qui circule en Europe et ne tarde pas s'en faire fabriquer une, profitant de l'incontestable avance technologique des verriers de Murano. J-P. Verdet insiste alors sur la relation entre les avancées technologiques et les progrès scientifiques qu'elles rendent possibles.

(1) Dès mai 1611, Christophe Scheiner a observé les taches solaires à Ingolstadt ; avant Galilée également Thomas Harriot, à Oxford et surtout Johann Fabricius, à Wittenberg, qui publiera un opuscule sur les taches solaires dont la préface est datée du 13 juin 1611, il sera de plus le premier à en donner une interprétation correcte. Il reste que la rigueur et la clarté de la démonstration de la nature solaire des taches font des *Lettres concernant les taches solaires*, publiées en 1613 sous les auspices de l'Accademia dei Lincei, un des meilleurs écrits de Galilée (commentaire de J.P. Verdet).

(2) sur les taches solaires voir K. Mizar CC n° 92

À cette époque, Galilée enseigne à Padoue qui dépend de la République de Venise (NDLR : Padoue est à environ 30 km de Venise). Il invite donc, le 21 août 1609, le Doge et les puissants de Venise à venir observer à travers sa lunette de puissance faible (x3) et affectée de nombreuses aberrations. La scène se passe en haut du campanile de la place San Marco : on peut, de là, voir l'île de Murano mais surtout, à l'horizon, des vaisseaux qui ne seront visibles à l'œil nu que deux heures plus tard. L'intérêt militaire n'échappe pas aux autorités qui décident de doubler le salaire de Galilée. Il vient de réussir une grande opération de communication, il devient un personnage important !

Aussitôt il construit une autre lunette (puissance 8, diamètre 25 mm). Il voyage alors beaucoup entre Venise, Padoue et Florence en Toscane d'où il est originaire. A partir du 30 novembre, il utilise une lunette de puissance 20 qui lui permet, malgré les aberrations, d'observer la Lune et de la décrire, avec une grande précision. Il évaluera même, à partir des ombres, les altitudes de montagnes qui bordent la Mer de la Sérénité !

À partir de décembre il débute la rédaction du "*Sidereus Nuncius*" (le Messager des étoiles) dans lequel il rend compte de ses observations.

Après la Lune, Galilée tourne son regard vers d'autres régions du ciel (Orion, les Pléiades ...) puis s'intéresse à la Voie Lactée que l'on considérait alors (entre autres théories) comme une exhalaison de l'atmosphère terrestre et comprend qu'elle est en fait constituée de milliers

d'étoiles. Le 7 janvier 1610, Galilée, observant Jupiter, repère trois astres (ce mot désigne à l'époque tout corps lumineux du ciel) qui semblent l'accompagner. Un peu plus tard il en observera un quatrième. Copernicien, il comprend rapidement que ces astres tournent autour de Jupiter et il les nomme "Astres Médicéens" en l'honneur de Cosme II de Médicis — devenu duc de Toscane en 1609 : toujours les relations publiques ! — à qui il dédie cette découverte.

Jean-Pierre Verdet fait alors remarquer la rapidité d'exécution de *Sidereus Nuncius* si on imagine le travail que nécessite un livre à cette époque, car la rédaction étant achevée le 12 mars, l'ouvrage sort de chez l'imprimeur le 21.

Notre conférencier évoque ensuite la dissymétrie des relations entre Galilée et Kepler : le second fervent admirateur, fera dans une lettre l'éloge du livre de Galilée, alors que ce dernier s'était contenté en 1596 lors de la publication du "mysterium cosmographicum" de remercier rapidement son confrère, s'épargnant ainsi une longue et fastidieuse lecture critique. Jean-Pierre Verdet fera aussi remarquer que Galilée était en optique un piètre théoricien, et que c'est à Kepler (puis à Huygens) qu'on doit les avancées théoriques sur le fonctionnement de la lunette, notamment l'idée d'isoler un rayon lumineux.

Après une longue digression sur Newton, et l'idée d'étendre le domaine de validité des lois de la physique au-delà de la "sphère lunaire", Jean-Pierre Verdet revient sur l'appellation d'"astres médicéens" que Kepler proposera ensuite d'appeler "satellites" (mot dérivé du latin *satelles, satellitis : gardes du corps, serviteurs, complices..*). Il fait remarquer que de tels problèmes de dénomination se poseront aussi en 1781 lors de la découverte d'Uranus par Herschell, puis lors de celle de Neptune par Le Verrier en 1846 et celle de Pluton en 1930 par Tombaugh.

Il rappelle aussi qu'en 1610, Neptune se trouvait très proche de Jupiter, et que Galilée a sans doute dû la voir, mais ne pouvait pas l'identifier comme une planète : à cause des aberrations, les lunettes d'alors ne permettant pas de différencier les images planétaires des images stellaires. A contrario, c'est grâce à la très grande qualité de son optique et à l'"acuité" de son œil qu'Herschell a pu identifier Uranus comme un objet

d'apparence non stellaire, qu'il a d'abord pris pour une comète avant que le calcul de l'orbite montre qu'il s'agissait d'une planète. Jean-Pierre Verdet fait de plus remarquer que Neptune et Uranus se déplacent très peu dans le champ des étoiles à moins de les observer sur de longues périodes, et il attire l'attention du public sur le fait qu'alors, et ce depuis 30 siècles, on ne connaissait que 7 astres (Soleil, Lune et 5 planètes), d'où l'importance de la découverte d'Herschell.

Qualifiant les nuits de décembre 1609 et janvier 1610 de "plus belles nuits de l'astronomie", il remarque que de nos jours l'outil spatial, en s'affranchissant de l'atmosphère, a fait faire des progrès immenses à l'astronomie : il permet de voir mieux, plus loin, mais n'a jusqu'ici pas trouvé d'objets astronomiques qui ne soient déjà connus.

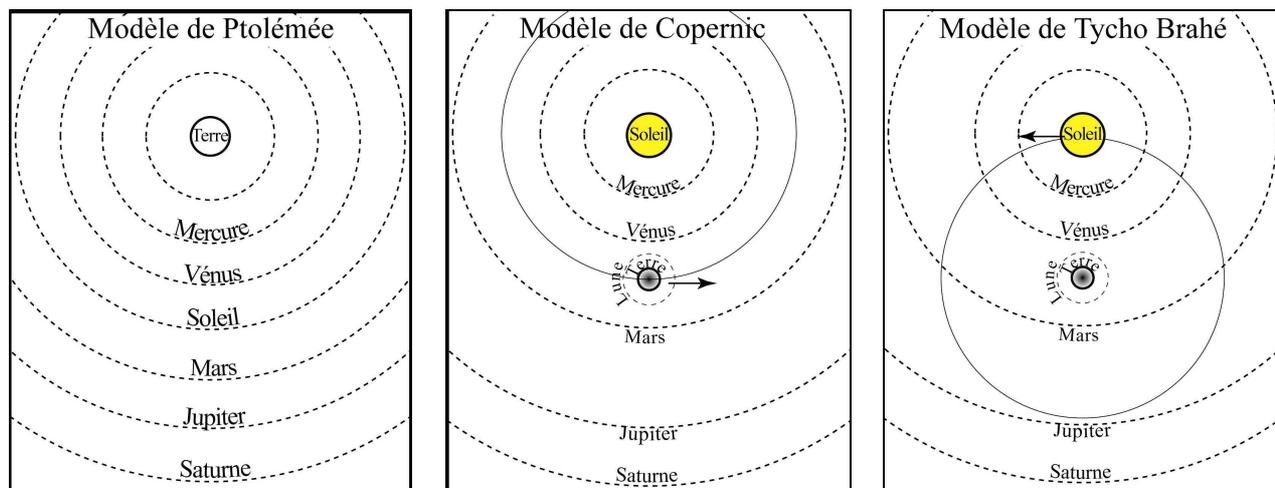
Revenant sur la lunette de Galilée, il montre que cet objet en apparence dérisoire a pourtant fait faire d'immenses avancées : en ce début du XVII^e siècle l'astronomie c'est Ptolémée et la physique c'est Aristote. La découverte des satellites de Jupiter est à ce titre fondamentale car elle falsifie la théorie d'Aristote de l'unicité du centre de rotation de l'Univers (la Terre).

Jean-Pierre Verdet fait toutefois remarquer que cela ne prouve pas pour autant la validité du système copernicien. Il insiste bien sur ces problèmes des théories, de leur véracité et des preuves.

Avec la découverte des phases de Vénus, c'est le système de Ptolémée qui est remis en cause, même si, ici encore, il reste à trancher entre deux systèmes équivalents du point de vue cinématique : le système de Copernic et celui de Tycho Brahé.

Finalement la dynamique et les équations de Newton sont plus faciles à écrire dans le cas de Copernic que dans le cas de Tycho Brahé, mais cette simplicité ne constitue pas en soi une preuve (ndlr : Galilée est mort en janvier 1642 du calendrier Grégorien, Newton est né le 25 décembre 1642 du calendrier julien, c'est à dire le 4 janvier 1643 du calendrier grégorien ... à quelques jours près dans la même année).

Schémas proposés par la rédaction : au cours de sa conférence JP Verdet, avec un sympathique rire juvénile, avoue avoir déménagé depuis peu de temps et être dans l'incapacité de remettre la main sur les diapos qu'il aurait souhaité projeter.



Jean-Pierre Verdet termine sa présentation en rappelant que si Galilée n'a pas inventé la lunette, avec elle il a fait entrer l'astronomie dans un monde nouveau des idées : il infirme les théories d'Aristote et de Ptolémée et il agrandit l'Univers même s'il faudra attendre 1756 pour comprendre la structure "aplatie" de la Voie Lactée et attendre le début du XX^e siècle pour savoir que notre système solaire n'est finalement pas au centre de notre galaxie.

Pour finir une question de l'assistance permet de conclure sur l'importance du modèle qui ne peut pas répondre dans le cadre de la dynamique et que pour répondre il a fallu prendre en compte la dynamique de Newton.

En marge de cette conférence, signalons quelques ouvrages :

Jean-Pierre Verdet :

- Une histoire de l'astronomie Le Seuil (1990),
- Histoire de l'astronomie ancienne et classique PUF Que-sais-je ? (1998),

De Galilée :

- Le messenger des étoiles (Sidereus Nuncius) Seuil 1992,
- Le messenger des étoiles (Points Sciences n° 186, Seuil, réédition fev 2009).

Le messenger céleste (Isabelle Pantin, Les Belles Lettres, 1992),

- **Galilée 1609-2009 Observations astronomiques** (distribution CLEA, 2009), sous la direction d'Alain Bremond,

- Dialogue sur les deux grands systèmes du monde Seuil Coll. Point n°S139

- Discours concernant deux sciences nouvelles. PUF Epiméthée 1995 (*Une traduction de Maurice Clavelin avec des démonstrations géométriques époustouflantes, un vrai régal !*),

Sur Galilée :

- Galilée par Ludovico Geymonat Seuil Point n° S82 le meilleur ouvrage selon de nombreux spécialistes.
- Galilée le messenger des étoiles par le regretté Jean-Paul Maury Gallimard 2005
- Découverte n° 10 revu par F Balibar en 2005, magnifique par la qualité de l'iconographie.

Et les autres :

Newton :

Il y a tant d'ouvrages qu'il est difficile d'en extraire un, mais il faut avoir à portée de main les "Principes mathématiques de la philosophie naturelle" dans la traduction de Madame du Châtelet (Reprint aux éditions Jacques Gabay 1990) un réel plaisir à la lecture, dans une belle langue et de plus cela éviterait à certains auteurs de dire des sottises (Newton a écrit ..., Newton pense ... Newton dit ...).

Kepler et Tycho Brahé :

En 2004 Henriette Chardak a fait paraître aux éditions Presses de la renaissance deux énormes ouvrages, faciles à lire cependant : Johannes Kepler puis Tycho Brahé.

On préférera sans doute le roman de Paul Chatel aux Éditions Liana Levi "le château des étoiles" qui narre la vie de Tycho Brahé avec sensibilité.

Ceux qui ont le bonheur de lire le danois retrouveront "Den ukendte Tycho Brahe" de Torkil Morsing aux Editions Poul Kristensens Forlag 2003. ■

Écoles d'Été d'Astronomie



Vous souhaitez débiter en astronomie ?

Vous souhaitez vous perfectionner ?

Vous avez le projet d'animer un club ?

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



Des exposés accessibles à tous



Des ateliers pratiques et des observations

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

Renseignements sur le site du CLEA

Les productions du CLEA ⁽¹⁾

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

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

Fiches pédagogiques

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

Fascicules thématiques de la formation des maîtres, en astronomie

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

Matériel

Filtres colorés et réseaux de diffraction

DVD

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

Le formulaire de commande est sur le site.

(1) vente aux adhérents uniquement

Planétarium

Il est possible également de louer le planétarium gonflable (starlab) du CLEA. Cette année 2009, il sera en région Midi-Pyrénées. (uniquement pour le planétarium contact : jean.a.ripert@wanadoo.fr)

Le site internet

Une information toujours actualisée

www.clea-astro.eu



LES CAHIERS CLAIRAUT



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

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

COMMENT NOUS JOINDRE ?

Informations générales :

www.clea-astro.eu
ou
www.ac-nice.fr/clea

Siège Social :

CLEA,
Observatoire de Lyon
69561 ST-Genis Laval CEDEX

École d'Été d'Astronomie :

jean-luc.fouquet@wanadoo.fr

Cahiers Clairaut :

larcher2@wanadoo.fr

Ventes des productions :

www.clea-astro.eu

Site internet :

berthomi@ac-nice.fr

Adhésion / Abonnement :

Adhésion CLEA pour 2009 : 5 €

Abonnement pour 2009 : 30 €

Abonnement + adhésion : 35 €

Chèque à l'ordre du CLEA, à envoyer à :

Jean Ripert
Impasse de Mouyracs
46090 PRADINES

Directeur de la Publication : Georges Paturol
Imprimerie France Quercy 46090 MERCUÈS

Premier dépôt légal : 1er trimestre 1979

Numéro CPPAP : 0310 G 89368

Prix au numéro : 8 €

Revue trimestrielle : numéro 126, Juin 2009