

Les Cahiers Clairaut

Automne 2007 n° 119

EDITORIAL

Nous terminons le cours de trigonométrie sphérique. Avec ces connaissances acquises, nous pourrions envisager bientôt des applications originales.

Notre action en direction des plus petits commence avec un article d'Émilie Wernli, qui, aidée de son expérience et de celles de deux collègues, nous donne des pistes pour aborder l'astronomie en maternelle. Avec le reportage de Liliane Vilas, les enfants commenceront à comprendre que « haut et bas » sont relatifs, ainsi que les histoires mythologiques attachées aux constellations. L'article de Pierre Causeret sur la représentation du mouvement s'inscrit aussi dans cette logique d'explication des choses simples, mais souvent si mal comprises.

Pour les plus grands, il y a aussi des applications concrètes d'études de mouvements avec les articles de René Pape, Charles-Henri Eyraud, Philippe Merlin ou Béatrice Sandré.

Enfin, pour préparer la rentrée scolaire, Pierre Causeret nous propose des idées d'observations.

Bonne rentrée 2007-2008 !

La Rédaction
patu@obs.univ-lyon1.fr

**Cours : Trigonométrie sphérique III :
Changement de coordonnées**
G. Paturel p. 2

Avec nos élèves
Astronomie en maternelle
E. Wernli (J. Cluzel et M. Hibon) p. 4

Avec nos élèves
Comment représenter le mouvement apparent du Soleil
P. Causeret p. 9

Observation
L'équinoxe d'automne
R. Pape p.16

Logiciels
Prise en main du logiciel Solarium
Ch.-H. Eyraud p. 19

Reportage
Le ciel des Maoris
L. Vilas p. 22

Avec nos élèves
**Orbite de la Terre et durée des saisons :
Astronomie, mathématiques et un peu de programmation dans un tableur**
Ph. Merlin p. 24

Avec nos élèves

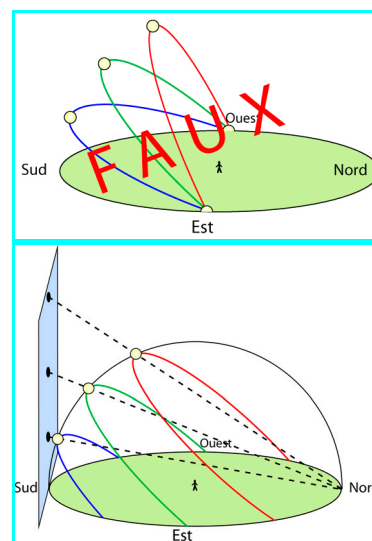
L'équation du temps
B. Sandré p. 27

Observation

Quelques idées d'observations
P. Causeret p.32

Rubriques fixes p.35

- **Remue-méninges**
- **Lecture pour la Marquise**
- **La vie associative**



Il est toujours utile de rappeler que le Soleil ne se lève pas à l'est. Il ne le fait qu'aux équinoxes. L'article de Pierre Causeret montre comment représenter la course du Soleil pour parler aux enfants de la rotation de la Terre, des saisons ou d'autres choses.

Trigonométrie sphérique : III Changement de coordonnées

Georges Paturel, Observatoire de Lyon

Résumé : Nous avons découvert les bases de la trigonométrie sphérique dans les deux articles précédents. Nous terminons cette série par un sujet important : le changement de coordonnées. Nous l'appliquerons au passage des coordonnées équatoriales aux coordonnées galactiques en vue d'applications ultérieures.

Posons le problème

Nous allons résoudre le problème dans sa toute sa généralité. Des simplifications apparaîtront dans certains cas. Représentons les deux systèmes de coordonnées (Figure 1), celui de départ en rouge (P,O,...), et le nouveau système en vert, désigné par des lettres primées : P', O', etc.. L'angle mesurant la hauteur au-dessus du plan de référence sera représenté par la lettre b . L'angle, dans le plan de référence, entre la direction origine et la direction visée sera représenté par la lettre l . Les angles seront comptés dans le sens direct. On a donc :

$$l = OH ; b = EH ; l' = O'H' ; b' = EH'$$

Sur la surface de notre sphère céleste, de rayon unité, nous avons un astre E de coordonnées (l, b) dans le premier système (en rouge) et de coordonnées (l', b') dans le second système (en vert). Connaissant (l, b) , nous voulons calculer (l', b') . Naturellement, sont connues les coordonnées caractéristiques du deuxième système dans le premier, à savoir : (l_p, b_p) pour le pôle nord P' et les coordonnées (l_o, b_o) pour l'origine O'.

Résolution générale

Nous devons résoudre le triangle sphérique PP'E en utilisant le groupe de Gauss vu lors du premier cours¹. Dans ce triangle seuls sont connus : l'angle en P, le côté PP' et le côté PE. Explicitions les angles (les arcs de grands cercles seront surlignés) :

$$\hat{P} = \overline{MH} = \overline{MN} + \overline{NO} + \overline{OH}$$

$$\hat{P} = \pi/2 - \sigma + l$$

La grandeur σ se calcule aisément :

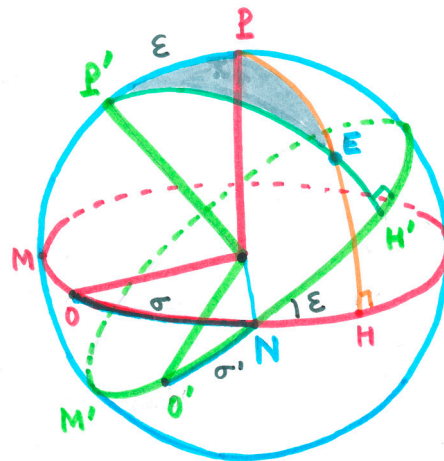


Figure 1 : Les deux systèmes de coordonnées. En rouge le système de départ, en vert, le nouveau système.

$$\sigma = \overline{ON} = \overline{OM} + \overline{MN} = l_p + \pi/2$$

de sorte que :

$$\hat{P} = l - l_p$$

De même l'angle en P' vaut :

$$\hat{P}' = \pi - (\pi/2 - \sigma' + l') = \pi/2 + \sigma' - l'$$

Le côté PP' vaut :

$$\varepsilon = \pi/2 - b_p$$

Nous verrons qu'il n'est pas besoin d'expliciter σ' qui se déduira automatiquement de l'origine du nouveau système (l_o, b_o) .

Comment calculer (l', b') ? Commençons par calculer b' avec la relation G3 du groupe de Gauss, en l'appliquant au triangle PP'E (Figure 2)². On a :

² Pour cette application, il est bon de rappeler que : $\sin(\pi/2 - A) = \cos A$ et $\cos(\pi/2 - A) = \sin A$

¹ Voir le CC117.

$$\sin b' = \sin b \cdot \sin b_{p'} + \cos b \cdot \cos b_{p'} \cdot \cos(l - l_{p'})$$

b' étant compris entre $-\pi/2$ et $+\pi/2$ on extrait sa valeur directement de celle de son sinus.

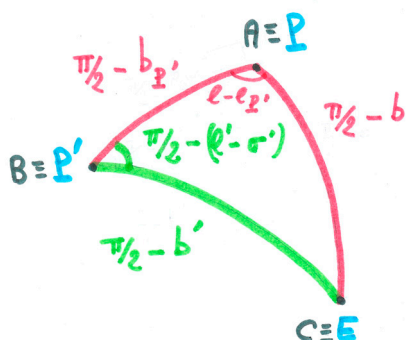


Figure 2 : Le triangle sphérique à résoudre

Pour la valeur de l' , comprise entre 0 et 2π , c'est un peu plus compliqué. Il nous faut le sinus et le cosinus. Le cosinus se tire de la relation G1 écrite sous sa forme symétrique :

$$\sin b / \sin B = \sin c / \sin C,$$

et le sinus de la relation G2. On obtient alors :

$$\cos(l' - \sigma') = \frac{\cos b \cdot \sin(l - l_{p'})}{\cos b'}$$

$$\sin(l' - \sigma') = \frac{\sin b \cdot \cos b_{p'} - \cos b \cdot \sin b_{p'} \cdot \cos(l - l_{p'})}{\cos b'}$$

Notons que $\cos b'$ intervient dans les deux expressions. Ce n'est pas gênant puisque nous avons calculé $\sin b'$ auparavant. Nous pouvons ainsi obtenir l'angle $l' - \sigma'$.

Pour avoir σ' , et donc l' , il suffit d'appliquer le calcul précédent à l'origine ($l=l_0$, $b=b_0$), car le résultat doit donner, par définition, $l'=0$ et $b'=0$.

Application concrète

Quelles sont les coordonnées galactiques d'une galaxie de coordonnées équatoriales connues (α, δ) ? Toutes les coordonnées (α, δ) sont à identifier aux coordonnées (l, b) de la section précédente et les coordonnées galactiques cherchées, que nous noterons justement l', b' , sont à identifier aux coordonnées (l', b').

Vous pourrez aisément programmer le calcul sur votre tableur. Personnellement je l'ai programmé en un autre langage, mais la procédure est similaire.

L'Union Astronomique Internationale a adopté les valeurs suivantes³ pour la direction du pôle nord galactique (à identifier à $l_{p'}$ et $b_{p'}$) :

$$\alpha_{p'}(1950) = 12^h 49^m = 12,8167^h = 192,25^\circ$$

$$\delta_{p'}(1950) = 27^\circ 24' = 27,4^\circ$$

et pour l'origine des coordonnées galactiques (à identifier à l_0 et b_0) :

$$\alpha_0(1950) = 17^h 42,4^m = 17,7067^h = 265,60^\circ$$

$$\delta_0(1950) = -28^\circ 55' = -28,916^\circ$$

Quand le programme est écrit, nous calculons une fois pour toutes σ' , en injectant comme données d'entrée les coordonnées de la nouvelle origine α_0 et δ_0 . Nous trouvons : $\sin b' = 0,00014$ ou $b' = 0,008^\circ$ (l'origine des longitudes galactiques est dans le plan galactique, aux erreurs d'arrondis près !) puis : $\cos(l' - \sigma') = 0,8386$; $\sin(l' - \sigma') = -0,5447$ d'où $l' - \sigma' = 327^\circ$. Comme $l'=0$ pour l'origine nous tirons $\sigma' = -327 = +33,00$, valeur que nous utilisons pour modifier définitivement le programme.

Prenons maintenant un exemple. La galaxie NGC1293 a pour coordonnées (équinoxe 1950) :

$$\alpha(1950) = 3^h 18,3^m = 3,305^h = 49,575^\circ$$

$$\delta(1950) = 41^\circ 12,8' = 41,2133^\circ$$

Le calcul donne :

$$\sin b' = \sin \delta \cdot \sin \delta_{p'} + \cos \delta \cdot \cos \delta_{p'} \cdot \cos(\alpha - \alpha_{p'})$$

$$\sin b' = -0,22788 \text{ ou } b' = -13,17^\circ$$

on calcule au passage :

$$\cos b' = \sqrt{1 - \sin^2 b'} = 0,97369$$

Les deux autres relations nous fournissent :

$$\cos(l' - \sigma') = -0,46845 ; \sin(l' - \sigma') = 0,88349$$

d'où nous tirons :

$$l' - \sigma' = 117,93367 \text{ et } l' = 117,93 + 33,00 = 150,93$$

$$l' = 150,93^\circ$$

Telles sont les coordonnées galactiques de la galaxie NGC1293, située dans une direction proche du plan de la Voie Lactée (à seulement $13,17^\circ$).

Nous avons vu désormais tout ce qui est essentiel en trigonométrie sphérique. Nous donnerons des applications dans les prochains Cahiers Clairaut. Si vous avez programmé le changement de coordonnées, gardez bien le programme !

³ Toutes les coordonnées équatoriales seront données pour l'équinoxe 1950.

Astronomie en maternelle

Emilie Wernli, CLEA
d'après les expériences pédagogiques de
Jacqueline Cluzel, enseignante à Clamart (GSM 1985)
Mireille Hibon, institutrice (GSM 1990)

Résumé : *Nous entamons, à l'occasion de cette rentrée scolaire, une série de notions d'astronomie adaptées à différents niveaux. Voici de quoi sensibiliser les plus jeunes (maternelle) à l'intérêt de l'observation du ciel, dans le cadre d'une petite initiation à l'astronomie.*

Jour et nuit

Observateur terrestre

Nous commençons notre découverte du ciel en demandant aux enfants, par des dessins par exemple, ce que l'on peut voir au-dessus de nos têtes en plein jour (*Soleil, Lune, mais aussi oiseaux, nuages...*) ainsi que la nuit (*Lune, étoiles, planètes, étoiles filantes, avions...*). Nous insistons bien sur le fait que la Lune peut être visible de jour comme de nuit, contrairement au Soleil, qui, lui, va justement définir le jour et la nuit selon sa position par rapport à l'horizon. Nous pouvons demander aux enfants où se trouve le Soleil en pleine nuit (*sous l'horizon*), ainsi que les étoiles en plein jour (*tout autour de nous*).

La notion de distance et de taille de ces objets peut être abordée, et va nous amener à nous situer par rapport à tous ces objets. Les enfants comprennent tous qu'un objet plus proche de nous paraît plus gros que pour un même objet situé plus loin.

Trouvons maintenant le point commun entre le Soleil et les étoiles : *ils brillent, etc...* le Soleil est lui aussi une étoile ! C'est une notion difficile : le Soleil, lumière du jour, est une étoile, lumière de la nuit. Pour l'expliquer, nous utilisons un projecteur. De loin, la lumière du projecteur est perçue comme un point lumineux, mais si nous nous approchons, la lumière nous aveugle, nous ne voyons plus rien autour de nous. Quand le Soleil est levé, les autres étoiles sont encore là mais nous ne les voyons plus. Cela nous explique en partie pourquoi l'on ne voit pas les étoiles en plein jour sur la Terre.

Pour un niveau plus avancé, on pourra se demander alors : "pourquoi est-il possible sur la Lune de voir des

étoiles en plein jour ?" (*c'est en fait la présence de l'atmosphère terrestre diffusant la lumière du Soleil qui nous empêche de voir les étoiles*).

Observateur extraterrestre

Notre Soleil est donc une étoile. Nous allons visualiser la différence étoile/planète/satellite. Qu'est-ce qu'une étoile ? *une boule de gaz très chaud qui brille et émet de la chaleur*. Et nous, où sommes-nous ? *sur la planète Terre*. Qu'est-ce qu'une planète ? *une boule de roche ou de gaz plus froide, qui tourne autour d'une étoile*. Qu'est-ce que la Lune ? *un satellite naturel de notre Terre*.

Au fur et à mesure des réponses, nous plaçons des objets devant les enfants : une grosse ampoule/globe lumineux pour le Soleil, une boule de polystyrène pour la Terre et une plus petite pour la Lune. Ces objets sont des versions réduites du Soleil, de la Terre et de la Lune, les tailles, masses et distances ne sont pas respectées, et ce, dans le très simple but de les faire rentrer dans la pièce. Où faudrait-il aller pour voir notre Terre comme cela ? *dans l'espace*. Qui a déjà vu la Terre « en vrai » ? *Moi, sous mes pieds*. Pourquoi y a-t-il le jour et la nuit sur notre planète ? *zone éclairée / zone dans l'ombre*. Et pourquoi s'alternent-ils ? *la Terre tourne sur elle-même*.

Nous trouvons ces réponses à l'aide des boules de polystyrène, où l'on distingue la zone éclairée (le jour) et la zone d'ombre (la nuit). Pour comprendre l'alternance jour/nuit, nous fixons un bonhomme¹ sur la Terre et essayons de nous imaginer à sa place avant

¹ Notion de gravité : voir encadré dernière page de l'article

de faire tourner la Terre sur elle-même. Nous nous aidons alors des dessins réalisés lors de la découverte du ciel de jour et de nuit (section précédente).

Nous pouvons demander aux plus grands qui tourne autour de qui, et en combien de temps ? Nous introduisons alors la notion du temps et du calendrier : le jour est fixé par la période de rotation de la Terre sur elle-même, le mois par la période des phases de la Lune et l'année par le temps de révolution de la Terre autour du Soleil. Tout cela, étant un peu compliqué pour des maternelles, sera expliqué en détail dans un prochain numéro.

Le système solaire

Le Soleil est notre étoile mais c'est aussi l'étoile d'autres planètes, qui, comme nous, tournent autour du Soleil. Nous apprenons leur nom, leur place, leur taille. Chaque planète suit son chemin, qui a la forme d'un ovale appelé ellipse. Mais qu'est-ce qu'une ellipse ? *c'est un rond ! (sic)*

Nous vérifions avec un compas, ce n'est pas un cercle, c'est un ovale. Nous apprenons à tracer une ellipse en plantant deux clous sur une planche, nous les entourons d'une ficelle tendue par le crayon ; il y a un passage difficile lorsque la ficelle s'aligne avec les clous. Si nous changeons la distance entre les deux clous, que se passe-t-il ? *Si on les rapproche, l'ovale est plus rond, si on les éloigne, il est plus allongé.*

Sur un grand carton rigide nous traçons huit ellipses sur lesquelles nous figurons les planètes par des disques plus ou moins gros que nous colorions. Les enfants remplacent les disques par des boules de polystyrène plus ou moins grosses, la Terre en bleu, Mars en rouge, Mercure en gris... Les enfants s'amuse beaucoup avec ce système solaire. Ils commentent : *Mercury est la plus proche du Soleil, Neptune est la plus éloignée, la Terre est sur la troisième orbite, Mars sur la quatrième...* nous abordons la notion de nombre ordinal. *Tu vois Maîtresse, on est bien, sur la Terre, ni trop loin, ni trop près du Soleil, juste ce qu'il faut !*

Les constellations

De par sa lumière le Soleil nous empêche de voir les étoiles en plein jour, mais dès qu'il se couche, une multitude de points lumineux se révèle à nos yeux dans le ciel. Ce sont des étoiles, tout comme le Soleil, mais qui se situent beaucoup plus loin que lui !

Demandons aux enfants s'ils se sont déjà imaginé des formes en contemplant les nuages. Nous regardons alors par la fenêtre s'il y a de beaux cumulus, et

proposons différentes formes en laissant libre cours à notre imagination.

C'est exactement ce que nos ancêtres ont fait en voyant les étoiles ! Contrairement aux nuages, ces formes sont fixes dans le ciel, et peuvent donc nous servir de repères. Ainsi nos ancêtres ont inventé des formes en reliant ces étoiles par des traits imaginaires. Peut-être certains des enfants connaissent-ils déjà des noms de constellations ?

Certaines constellations sont appelées différemment selon l'époque et le lieu (autres noms pour la Grande Ourse : le Grand Chariot, la Casserole, les Pleureuses et le Cercueil). L'héritage de nos ancêtres, toutes civilisations confondues, a donné naissance à notre actuelle carte du ciel.

Présentation de la carte du ciel

Nous découvrons ensemble une carte du ciel. Cette carte ressemble-t-elle aux cartes déjà connues (cartes routière, géographique...) ? Les enfants identifient ce qu'ils voient : il y a des points, qui sont les étoiles, et des traits, qui forment les constellations. Plusieurs questions nous viennent à l'esprit : Sous quelle forme voit-on une étoile ? *un point, et non une étoile !* Pourquoi y a-t-il des points plus ou moins gros ? *La taille des points traduit la luminosité des étoiles, qui peut être liée à la taille des étoiles mais aussi à leur proximité.* Voit-on ces traits dans le ciel ? *Ces traits n'ont pas, bien sûr, d'existence réelle : ils sont le fruit de l'imagination de nos ancêtres, et ne sont là que pour aider au repérage des groupes d'étoiles.*

Jouons avec les nombres

Les étoiles et leur multitude nous ont posé les premiers problèmes de dénombrement. Peut-on compter les étoiles dans le ciel ? Les enfants sont très partagés : elles sont loin et on ne les voit pas bien. Et sur la carte ? Là encore la classe est divisée.

C'est le moment pour la maîtresse de savoir jusqu'où chaque enfant possède la comptine des nombres. Les enfants qui comptent le plus loin sont sollicités pour dénombrer les étoiles sur la carte. Leur disposition éparpillée est un handicap : *Tu sais maîtresse, si elles étaient rangées on y arriverait mieux !*

Nous allons les compter par constellations. Le Taureau a 9 étoiles, le Lion aussi, le Sagittaire 20, le Capricorne 11... Là encore nous constatons la difficulté de dénombrer les étoiles du fait qu'elles ne sont pas alignées. Pour nous aider nous utilisons des pions que nous posons à la place des étoiles, puis nous les alignons sur la table. Petit à petit, nous nous habituerons à compter les étoiles sans utiliser les jetons

mais en utilisant des points de repère même si certains enfants auront toujours recours aux pions.

Un peu de topologie...

Nous remarquons que ces constellations forment : soit des figures simples (triangles, carrés, losanges), soit des lignes brisées, certains groupes d'étoiles présentant ces deux particularités à la fois.

Nous allons proposer aux enfants d'apprendre à relier des "points étoiles" par des traits pour former des constellations, et cela, selon trois cas de figure :

- des constellations *fermées*
- des constellations *ouvertes*
- des constellations *mixtes*

Chacun reçoit une feuille divisée en trois secteurs où figurent des petits points épars (voir Fig. 1). Chaque secteur propose un exemple parmi les trois types de constellations évoquées, et il s'agit de continuer de la même façon. Il faut insister à la fois sur la qualité du graphisme et sur le respect des consignes liées à la topologie. Les feuilles sont ensuite regroupées et commentées par les enfants.

Maintenant familiarisé avec ces formes, chaque enfant peut réaliser une carte du ciel selon sa fantaisie : il reçoit une feuille sur laquelle figure juste un cercle. Il s'agit tout d'abord de faire des points avec des feutres de couleur, de différentes grosseurs (référence aux magnitudes et aux couleurs des étoiles). Ensuite, avec un crayon, il faut relier ces points afin de faire apparaître des constellations inspirées de l'exercice précédent. Ce jeu plaît beaucoup aux enfants, et les résultats sont très intéressants.

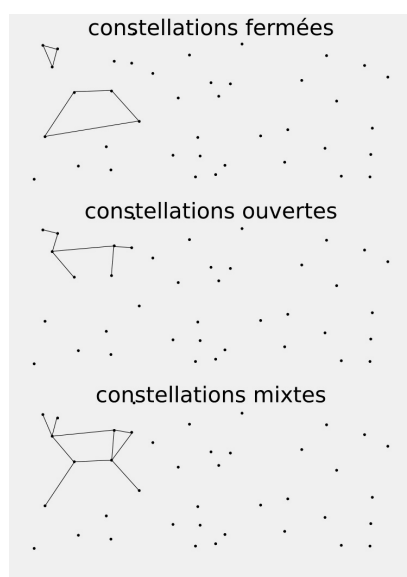


Figure 1 - Topologie : les enfants doivent relier les points-étoiles en formant des constellations fermées, ouvertes ou mixtes

Étude de la carte du ciel

Procédons maintenant à l'étude de quelques constellations circumpolaires : mémorisons leur figure, leur orientation et leur position respective. Nous voyons en particulier la Petite Ourse et la Grande Ourse, cette dernière nous offrant une « clé » pour trouver l'étoile polaire, celle qui nous indique le Nord.

Chaque enfant reçoit une « carte du ciel » où figurent des petits points colorés différemment selon les constellations étudiées (voir Fig. 2). À lui de retrouver ces constellations, de les tracer et de recopier leur nom. Les enfants réussissent ce jeu avec aisance et rapidité.

Cette fois-ci, les enfants vont essayer de reconstituer entièrement de mémoire cette même « carte du ciel », car aucun point ne sera déjà tracé. Les résultats sont très divers, mais très encourageant car on retrouve bien toutes les constellations étudiées, même si certaines sont reproduites maladroitement, ou avec des erreurs d'orientation ou de positions respectives.

Les enfants découvrent d'autres constellations dans des livres et sur différentes cartes du ciel. Ce sont les animaux fantastiques qui les attirent le plus. La plupart d'entre eux reconnaissent spontanément les signes du zodiaque, non seulement leur propre signe mais aussi celui des membres de leur famille... On nomme les personnages empruntés à la mythologie, en racontant certains épisodes de leur histoire, ce qui passionne beaucoup les enfants. Ils sont prêts maintenant à passer à l'étape suivante...

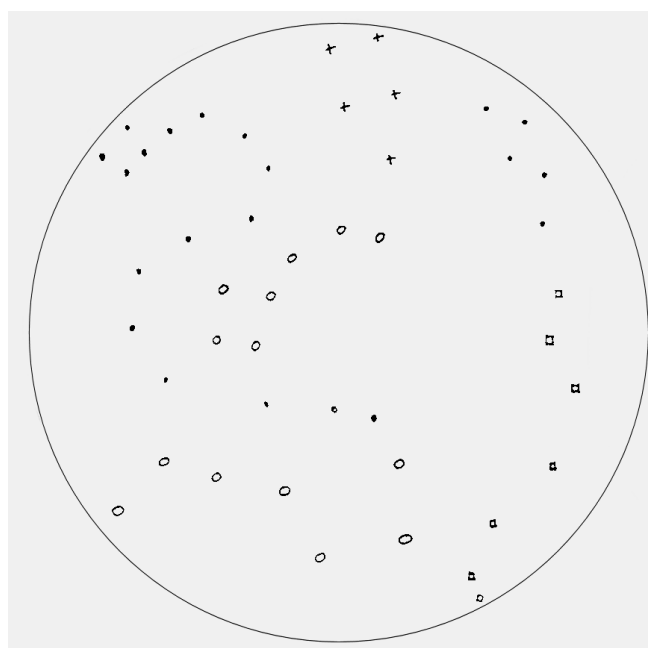


Figure 2 - Constellations circumpolaires : les différentes constellations sont à relier par des traits

Un peu d'imagination...

Chaque enfant reçoit une feuille parsemée de petits points. Il doit placer une étoile sur tous les points avec un feutre jaune. Il relie les étoiles par des traits au crayon noir, pour former des constellations. Il trace ensuite, tout autour, avec un feutre de couleur vive, des formes d'objets, de personnages ou d'animaux, selon leur inspiration (voir Fig. 3).

Les enfants aiment beaucoup ce jeu graphique d'imagination. En général, ils respectent bien les

consignes données et ne sont pas en peine de trouver des formes d'objets ou d'animaux très variés.

Il y en a par contre toujours quelques uns qui se trouvent comme bloqués devant leur feuille, souvent parce qu'ils essaient de « voir » une forme avant de relier les étoiles par des traits. Certains ont aussi des problèmes de topologie : étoiles trop nombreuses pour une même constellation qui devient alors tentaculaire ou de masse informe : traits courbes ou coudés, ou encore n'aboutissant nulle part...

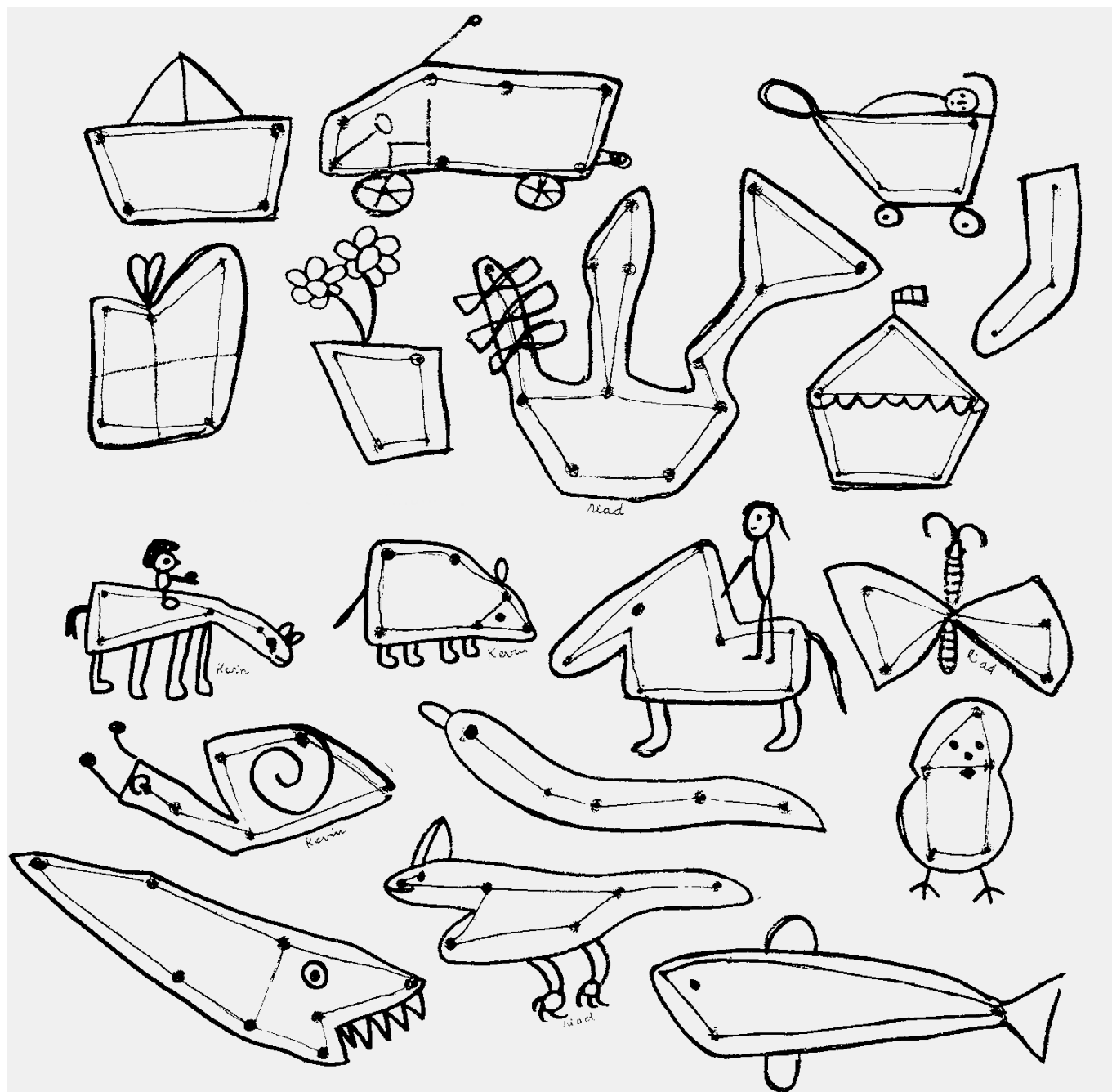


Figure 3 - Sur une feuille où des points sont déjà tracés, les enfants créent des constellations en reliant les étoiles par des traits, puis en dessinant au feutre la constellation tout autour.

Mobile

Contrairement à beaucoup de représentations que l'on peut se faire de la « voûte céleste », les étoiles ne se trouvent pas toutes à la même distance de nous. Elles sont réparties un peu tout autour de nous, plus ou moins loin. Les constellations que nous connaissons désormais très bien auraient ainsi une autre forme, vues depuis un autre point de l'espace.

Il serait intéressant de réaliser une constellation connue en 3D. Ce travail reste cependant très compliqué pour une classe de maternelle, nous l'expliquerons par la suite pour les plus grandes classes. À notre niveau, nous pouvons déjà réaliser un grand mobile, qui formera des constellations imaginaires.

Chaque enfant réalise une boule plus ou moins grosse (en pâte à sel, papier mâché...), qu'il va ensuite peindre (en bleu, blanc, jaune, orange ou rouge). Il prend ensuite une longueur de fil de nylon de son choix (plus courte que la hauteur de la classe). L'étoile pourra alors être suspendue avec une punaise au plafond de la classe. Chacun des enfants va ensuite dessiner une carte du ciel depuis son point de vue, qu'il pourra comparer aux autres par la suite.

Il est important d'expliquer aux enfants que les étoiles ne sont pas réellement suspendues à des fils. Comment tiennent-elles en réalité dans l'espace ? Cela peut être une bonne introduction au phénomène de la gravitation universelle (voir encadré).

Conclusion

Pour conclure sur ce travail, pouvons faire un récapitulatif de notre situation dans l'Univers, sous forme de résumé à deux voix avec les enfants :

Nous habitons sur une planète, qui s'appelle la Terre, qui tourne ainsi que d'autres planètes autour du Soleil qui est une étoile. Le Soleil est une étoile parmi des milliards d'autres, autour desquelles d'autres planètes peuvent exister.

Laissons alors libre cours aux dessins des enfants.

Ainsi avons-nous posé les notions fondamentales du langage astronomique. Ces notions sont difficiles, et nous aidons à leur compréhension par des réalisations concrètes, des activités manuelles, corporelles, musicales.

Enfin pour terminer cet article par une note poétique, je signale que l'on peut trouver des poèmes concernant les constellations dans le recueil du poète belge Maurice Carême, intitulé « *L'Almanach du Ciel* ».

Gravitation

Aux questions : comment tient-on sur Terre ? Pourquoi les gens de l'hémisphère sud ne tombent-ils pas ? comment les planètes flottent-elles dans l'espace ? Voici un début d'explication :

Prenons deux objets, un lourd et un léger par exemple. Entre ces deux objets, il y a une force qui les attire l'un vers l'autre. C'est-à-dire qu'ils vont avoir tendance à se rapprocher l'un de l'autre. Cependant, plus les objets sont légers, plus cette force est faible. Sentons-nous que ces deux objets s'attirent ? *Non*. Par contre, si un de ces objets était très lourd, nous arriverions à sentir cette force. Prenons la Terre : une boule de 6000 milliards de milliards de tonnes, et un objet quelconque. Si je lâche cet objet à proximité de la Terre, que se passe-t-il ? *Il tombe, ou encore il est attiré par cette énorme masse qu'est la Terre.*

En comparant les tailles respectives de la Terre et de la Lune, et en sachant qu'elles sont faites du même type de roche, les enfants devinent tout de suite que la Lune est plus légère que la Terre. Regardons alors un film d'astronaute sur la Lune : on les voit effectuer de grands bonds car les astronautes se sentent 6 fois plus légers sur la Lune. Ils se sentent moins attirés par cette boule plus légère.

Dans l'espace, où il n'y a du coup plus de masse pour nous attirer, on ne « tombe » pas. C'est pour cela que les planètes, les étoiles « flottent » dans l'espace. En réalité, les planètes sont attirées par l'étoile autour de laquelle elles tournent, et les étoiles par le centre galactique. Il faut alors tenir compte de la vitesse de ces astres... mais cela devient tout de suite plus compliqué !

En voici deux que les enfants aiment beaucoup :

LA PETITE OURSE

Qui ne serait pas fière
De porter l'Étoile Polaire,
Et de voir chaque nuit la Terre
Tourner en dessous d'elle
Ainsi qu'au bout d'une ficelle ?
Pourtant, la Petite Ourse trouve beaucoup plus naturel
- Elle n'a pas d'autre ressource -
Que de tourner, mais à l'envers,
Pour nous complaire en haut du ciel

La GRANDE OURSE

Toute Grande Ourse que vous êtes,
Sept clous d'or ont pourtant suffi
Pour fixer des pieds à la tête
Votre image au coeur de la nuit,
D'où vous ne bougez guère plus
Qu'un chariot aux roues vermoulues.

Maurice Carême

■

AVEC NOS ÉLÈVES

Comment représenter le mouvement apparent du Soleil ?

Pierre Causeret
pierre.causeret@wanadoo.fr

Résumé : Pour un enseignant qui fait de l'astronomie avec ses élèves, il est courant d'avoir à représenter le mouvement apparent du Soleil sur une feuille, que ce soit pour parler de la rotation de la Terre, des saisons ou des cadrans solaires. Il existe de nombreuses façons de le faire et il n'est pas évident de savoir comment sont lues ces représentations, en particulier par des enfants. Je vous en propose un certain nombre ici, en essayant de noter quelques avantages et inconvénients pour chacune d'elles afin que vous puissiez choisir celle qui conviendra le mieux à vous et à vos élèves.

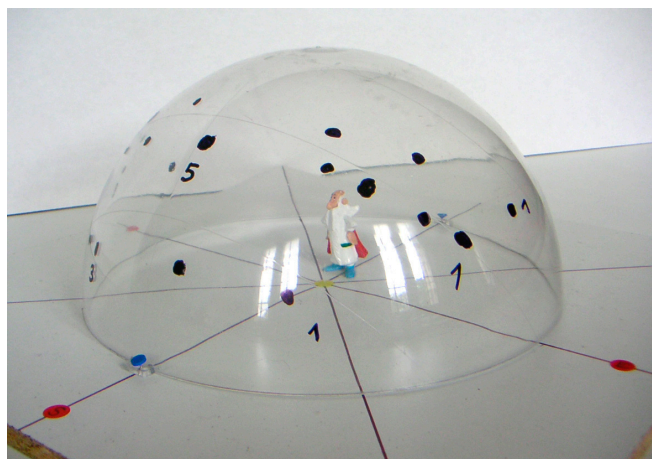
Quand on observe le Soleil au cours de la journée, on le voit monter dans le ciel le matin, culminer à midi puis redescendre l'après-midi. C'est ce qu'on a l'habitude d'appeler le mouvement « apparent » du Soleil et qu'on explique en affirmant que le Soleil est fixe et que la Terre tourne sur elle-même¹.

La meilleure solution pour simuler ce mouvement apparent du Soleil au cours de la journée est de se placer exactement au centre d'un planétarium et d'observer le Soleil sur le dôme. Seule la direction du Soleil nous importe ici et on ne prendra pas en compte ses variations de distance. Une représentation du même genre bien connue des participants aux écoles d'été est de représenter ce mouvement sur un saladier transparent.

¹ Un mouvement n'a de sens que par rapport à quelque chose. On peut très bien affirmer que le Soleil tourne autour de la Terre. C'est vrai dans un repère lié à un observateur terrestre. Le terme de mouvement apparent est tout à fait discutable puis qu'il s'agit d'un vrai mouvement dans ce repère.

Mais certains repères sont plus pratiques que d'autres et permettent d'expliquer plus simplement les phénomènes observés. On se place en général dans un repère galiléen, lié aux étoiles, qui permet d'écrire des lois physiques plus simples. Dans un tel repère, la Terre tourne sur elle-même et autour du Soleil.

Si on veut représenter tout cela sur une feuille, il faut mettre à plat la trajectoire du Soleil ainsi que l'horizon. Dans les schémas qui suivent, on a noté en rouge la trajectoire du Soleil au solstice d'été, en vert aux équinoxes et en bleu au solstice d'hiver.



Sur ce saladier, les ronds noirs représentent la position du Soleil à différentes heures et à trois dates différentes pour un observateur situé au centre de la demi sphère (réalisé par une classe de CM). Vous trouverez tous les détails sur ce type de relevé à l'adresse :

<http://webpublic.ac-dijon.fr/divers/crdp/IMG/pdf/saladier.pdf>

Représentations du premier type, la vue extérieure

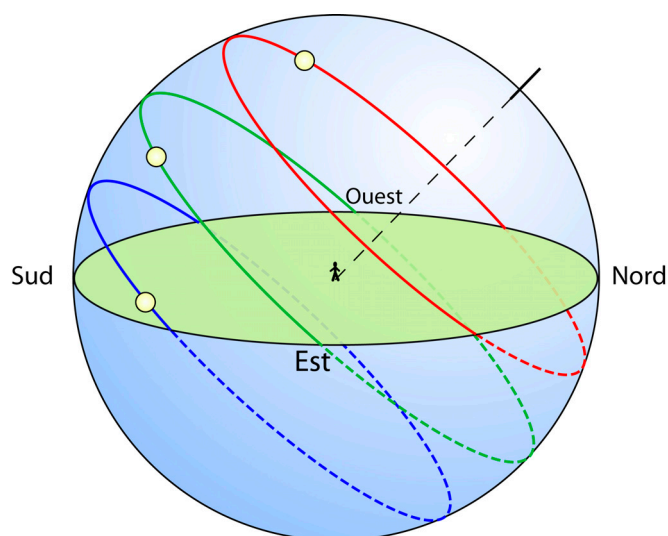


Figure 1. Représentation extérieure classique, sur la voûte céleste

C'est la représentation la plus précise et pourtant c'est une vue totalement impossible. On ne peut pas, de l'extérieur, voir ainsi l'observateur et le Soleil qui est situé à 150 millions de kilomètres. Sur une image de ce type, à l'échelle de l'observateur, le Soleil est rapproché plusieurs milliards de fois. C'est pourtant la représentation que je préfère car elle permet de voir les directions de lever et de coucher, la hauteur du Soleil, l'axe de rotation, la partie de la trajectoire sous l'horizon... Mais elle demande une certaine abstraction puisqu'il faut s'imaginer à la place du personnage pour que le schéma prenne un sens. À partir de quel âge en est-on capable ? Apparemment, des élèves de CM2 ayant fait auparavant l'expérience du saladier saisissent correctement ce type de schéma.

Les cercles représentant la trajectoire du Soleil au cours de la journée sont tous parallèles et leur centre est situé sur l'axe de la Terre, ou sur le schéma, sur une droite parallèle à l'axe de la Terre passant par l'observateur. Sur la figure 1, le Soleil est représenté à la surface d'une sphère, donc toujours à la même distance de l'observateur et ces cercles parallèles n'ont pas tous le même rayon. Quand on s'intéresse aux cadrans solaires et au problème de l'heure solaire, il est parfois plus simple de prendre des cercles de même rayon situés sur un cylindre. Chaque cercle est partagé en 24 parties à partir de la position du Soleil à midi pour avoir les différentes heures solaires. L'avantage est que, à une heure donnée, le Soleil est situé sur un segment au lieu d'être sur un arc de cercle.

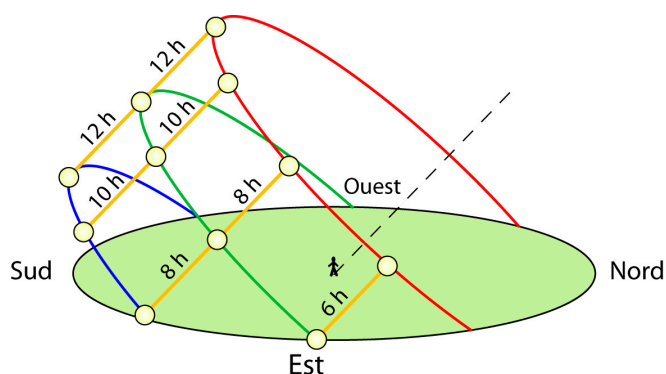


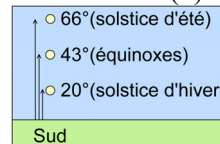
Figure 2. Représentation du mouvement apparent du Soleil sur un cylindre. Les heures notées sont des heures solaires vraies locales.

Que veut-on montrer dans ces représentations ?

- Que le Soleil est au plus haut quand il passe au sud (1)
- Qu'il ne se lève pas et ne se couche pas toujours au même endroit (2)
- Que les trajectoires apparentes sont des cercles parallèles (3).

On peut aussi essayer de conserver certains angles (les valeurs données sur les schémas correspondent à une latitude de 47° nord) :

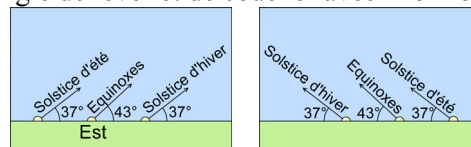
- La hauteur du Soleil à midi (4)



- La direction du lever et du coucher du Soleil (5)



- L'angle de lever et de coucher avec l'horizon (6)



Il n'est pas évident *a priori* que l'angle que fait la direction du lever ou du coucher du Soleil avec l'horizon dépend de la date. Pour s'en persuader, on peut imaginer un lever de Soleil observé le jour du solstice d'été depuis le cercle polaire à minuit, quand il est à l'horizon nord. Comme la trajectoire apparente du Soleil est tangente à l'horizon, l'angle cherché vaut 0° contre 23° aux équinoxes.

Représentations du deuxième type, la vue de l'observateur avec un horizon courbe

Si vous demandez à une personne de vous représenter le mouvement apparent du Soleil, il commencera par faire un horizon en ligne droite. C'est ainsi qu'on le voit

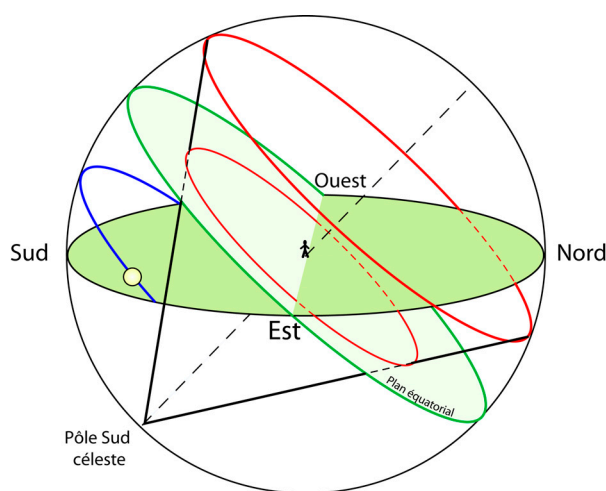


Figure 3a. Principe de la projection stéréographique à partir du pôle sud céleste.

On peut ensuite regarder l'image projetée depuis le « haut » (comme sur les astrolabes). Dans ce cas, sur la figure 4b, il faut mettre l'est à droite et l'ouest à gauche. Mais on peut aussi regarder le ciel par en dessous comme sur les cartes tournantes. Il faut alors placer l'est à gauche et l'ouest à droite sur la figure 3b.

Les trajectoires du Soleil aux équinoxes et aux solstices sont trois cercles concentriques, le centre étant l'axe de l'astrolabe donc le pôle nord céleste.

Principal intérêt de cette projection ici : elle conserve les angles. On peut donc mesurer sur la figure l'angle que fait la trajectoire du Soleil à son lever ou à son coucher avec l'horizon (en prenant des tangentes à la trajectoire et à l'horizon). Mais ce type de schéma n'est pas facile à comprendre.

Sur une carte tournante du ciel, on obtient un schéma ressemblant au précédent avec trois cercles concentriques.

Dans la projection utilisée, la distance d'une étoile au pôle est proportionnelle au complémentaire de la déclinaison (cela revient à dire que la graduation en déclinaison sur la figure 4 est régulière), ce n'était pas

ou qu'on semble le voir. En photo ce n'est pas toujours le cas. Et les cartes du ciel ont un horizon courbe.

Les représentations du ciel les plus utilisées ont été les astrolabes puis maintenant les cartes tournantes du ciel. Les astrolabes utilisent la projection stéréographique, en projetant la sphere céleste à partir du pôle sud céleste sur le plan de l'équateur.

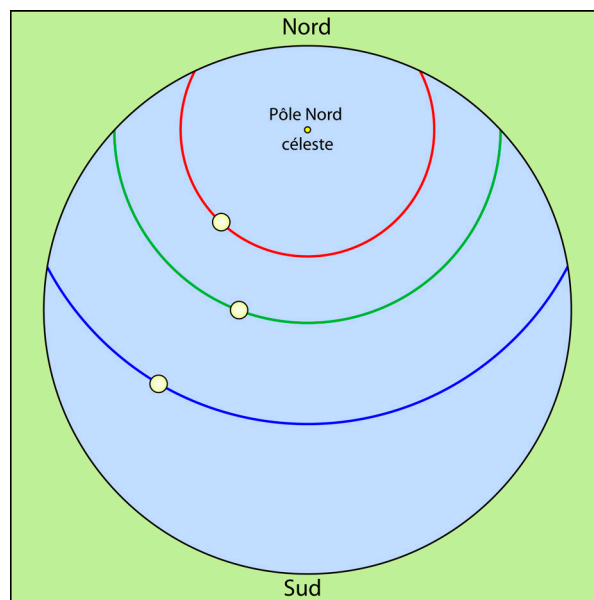


Figure 3b. Les trajectoires du Soleil sur un astrolabe.

le cas pour la projection stéréographique. De ce fait, les 3 cercles sont équidistants et la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon sud sur la carte (correspondant à la position du Soleil à midi) est proportionnelle à la hauteur réelle. Mais on obtient là encore une représentation difficile à comparer avec la réalité.

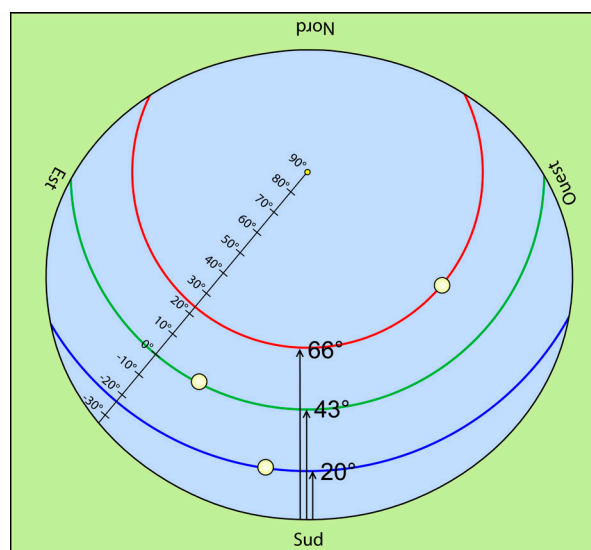


Figure 4. Sur une carte tournante du ciel.

Représentations du troisième type, la vue de l'observateur avec un horizon rectiligne

On trouve parfois ce type de représentation (figure 5). On voit bien ici que le Soleil monte plus haut en été qu'en hiver, qu'il ne se lève pas toujours dans la même direction et qu'il culmine en passant au sud, tout ceci est vrai. Par contre sur ce schéma, il tourne autour d'un point situé plein sud, il se lève verticalement et se couche verticalement, ce qui est faux. Cela me gêne et je préfère ne pas l'utiliser. On pourrait croire aussi que le Soleil passe exactement la moitié de son temps au dessus de l'horizon aussi bien en été qu'en hiver.

Si on veut avoir le bon angle pour le lever ou le coucher du Soleil, on peut essayer la projection stéréographique puisqu'elle conserve les angles. Pour avoir un horizon rectiligne, il faut prendre le pôle de projection à l'horizon.

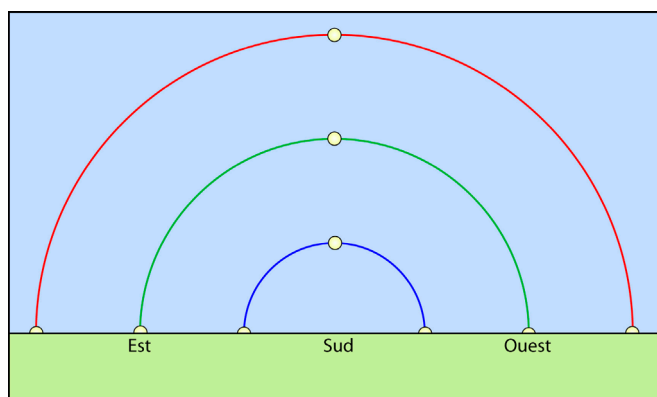


Figure 5. Une représentation classique.

Si on choisit l'horizon nord, on projette la sphère céleste sur un plan vertical orienté est-ouest.

Les angles de lever et de coucher sont justes ici mais la hauteur du Soleil à midi au dessus de l'horizon sud sur le schéma n'est pas proportionnelle à la vraie hauteur.

Comme la projection stéréographique transforme tout cercle de la sphère céleste en un cercle, les trajectoires apparentes sont des cercles. C'est une représentation qui peut être utile pour une maquette où l'on fait se lever et se coucher le Soleil en tournant un disque. Mais on ne peut le faire que pour une seule date puisque les centres des trois cercles sont différents.

Avec cette représentation, il est difficile d'imaginer qu'au solstice d'été, la journée est plus longue que la nuit étant donné que l'on n'a qu'une petite partie de la trajectoire du Soleil au-dessus de l'horizon et que la plus grande partie du cercle est sous l'horizon.

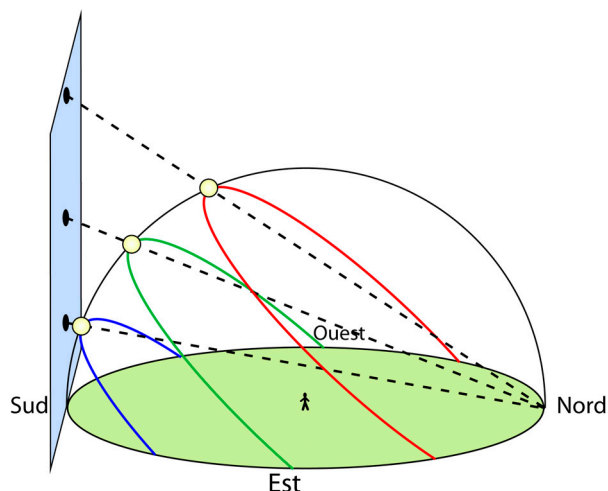


Figure 6a. Projection stéréographique à partir de l'horizon nord.

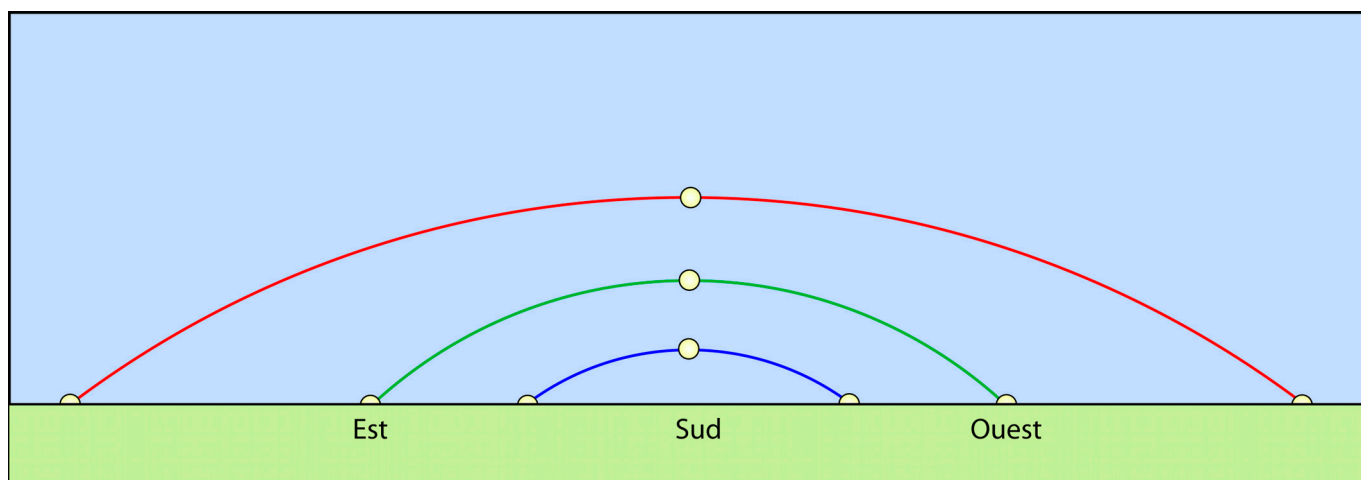


Figure 6b. Trajectoires du Soleil avec cette projection. On obtient des cercles.

Dans la réalité, la vitesse apparente du Soleil est constante au cours de la journée mais dans cette projection, il se déplace beaucoup plus rapidement lorsqu'il est sous l'horizon que lorsqu'il est au-dessus.

Une méthode parfois proposée pour noter le mouvement apparent du Soleil ou de la Lune est de l'observer à travers une grande baie vitrée. On se place toujours au même endroit et on inscrit sur la vitre la position de l'astre observé. Pour le Soleil, c'est déconseillé car il ne faut surtout pas le regarder directement mais pour la Lune cela ne pose pas de problème. Ce type de technique était aussi employé par les peintres pour représenter un paysage en perspective. Il s'agit d'une projection classique enseignée par les

collègues d'arts plastiques. Les cartographes l'appellent projection gnomonique. Si on regarde le dessin en plaçant l'œil au bon endroit, à la bonne distance de l'écran, on voit exactement la même chose que la réalité. Cette méthode convient pour une petite partie d'un paysage ou du globe terrestre mais cela pose problème pour le Soleil car, entre son lever et son coucher, on doit représenter un champ supérieur à 180° au printemps et en été, ce qui n'est pas possible. Cette méthode peut éventuellement permettre de représenter le soleil au solstice d'hiver (ou la pleine Lune au solstice d'été). Aux équinoxes, on obtient... une droite ! Cela surprend et pourtant c'est bien réel. Le Soleil à son lever et à son coucher est alors à l'infini.

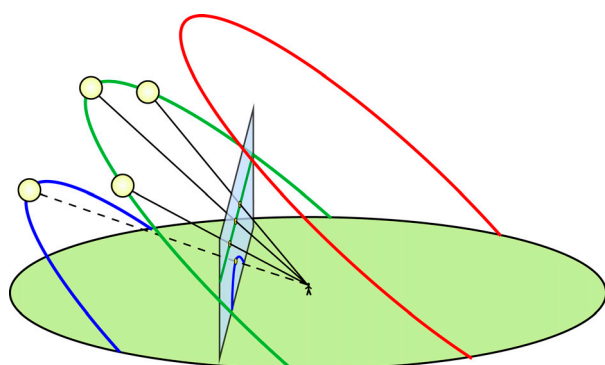


Figure 7a. Projection gnomonique.
L'image du Soleil est à l'intersection de la droite observateur - Soleil et d'un plan vertical.

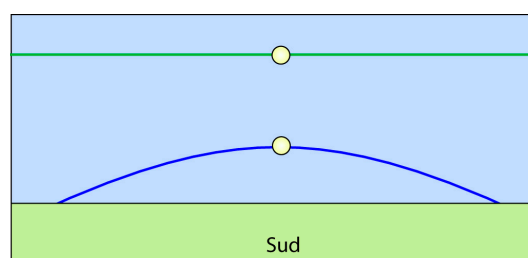


Figure 7b. Les trajectoires sont des hyperboles (une droite aux équinoxes).

Au solstice d'été, l'azimut du Soleil varie d'environ 250° entre son lever et son coucher à nos latitudes. Pour représenter la trajectoire complète, on peut la

projeter sur un cylindre d'axe vertical que l'on déroule ensuite. Il existe différentes sortes de projections cylindriques.

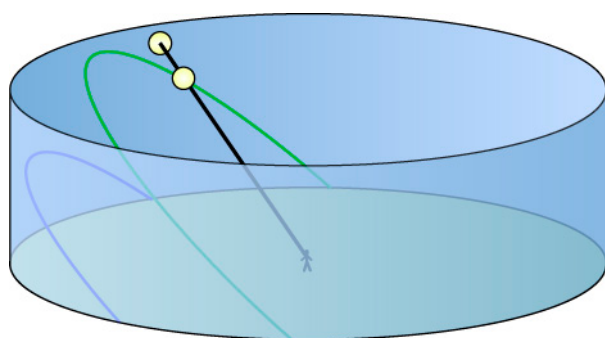


Figure 8a. Projection cylindrique centrale.
L'image du Soleil est à l'intersection entre la droite observateur - Soleil et le cylindre.

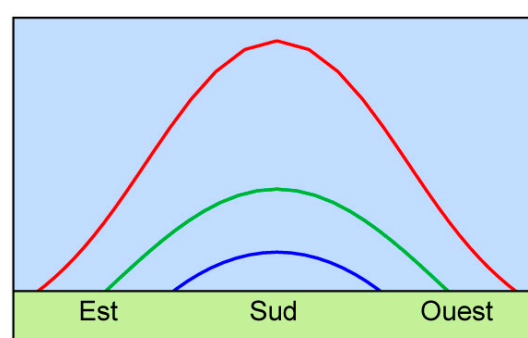


Figure 8b. Les trajectoires dans cette projection.

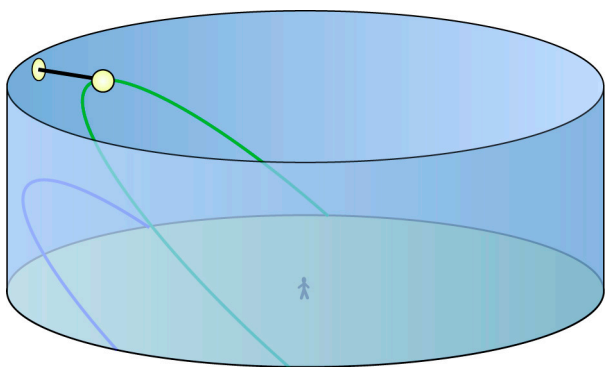


Figure 9a.

Projection cylindrique de Lambert (ou isocylindrique). Dans le plan vertical contenant l'observateur et le Soleil, on trace une droite horizontale passant par le Soleil qui coupe le cylindre au point cherché.

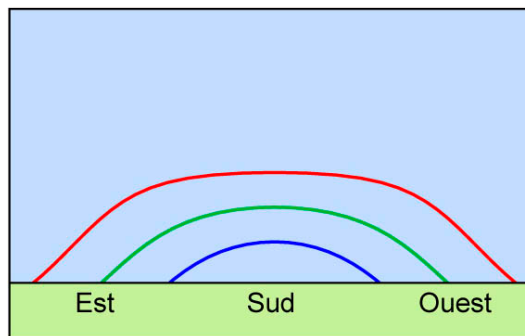


Figure 9b. Les trajectoires dans cette projection.

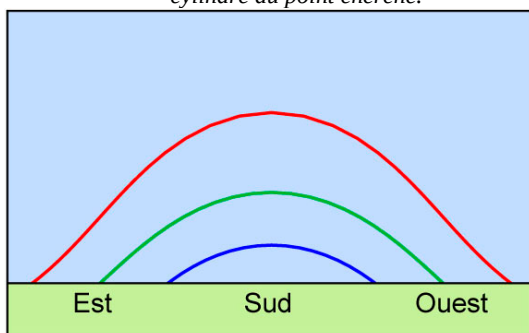


Figure 10. Projection de Mercator.

Dans la projection de Mercator, l'ordonnée est corrigée pour qu'en tout point, les angles soient conservés. C'est intéressant quand on projette la surface terrestre pour reconnaître la forme d'un pays sur une carte mais l'avantage est limité ici.

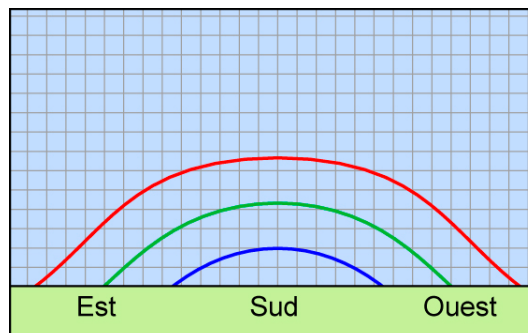


Figure 11. Projection équirectangulaire

Dans cette projection, l'abscisse est proportionnelle à l'azimut comme dans les précédentes. On décide que l'ordonnée est aussi proportionnelle à la hauteur. Ce type de projection déforme énormément vers les pôles mais ici, on en reste éloigné.

Il est aussi intéressant de se demander ce que devient le Soleil la nuit dans ces projections cylindriques. Pour ces quatre projections, la trajectoire nocturne à l'équinoxe s'obtient en prenant le symétrique de la trajectoire diurne par rapport au point du coucher ou du lever du Soleil.

La partie nocturne au solstice d'été s'obtient à partir de la partie diurne du solstice d'hiver toujours par symétrie centrale et la partie nocturne au solstice d'hiver s'obtient à partir de la partie diurne du solstice d'été.

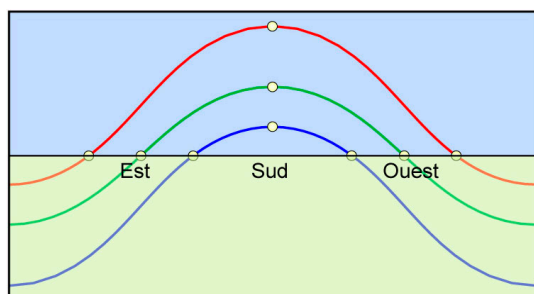


Figure 12. Mouvement apparent du Soleil dans la projection de Mercator avec un horizon transparent.

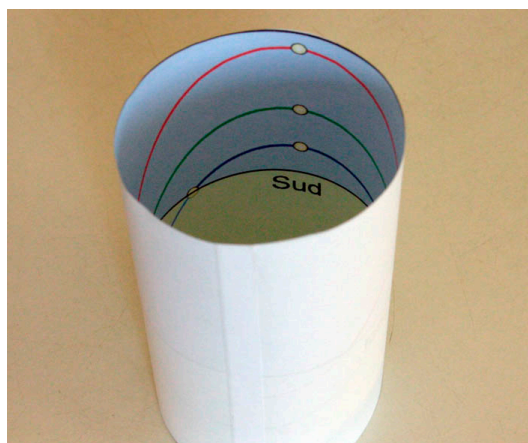


Figure 13.

Le schéma précédent mis en cylindre représente bien le mouvement apparent du Soleil. Mais on revient à une représentation vue de l'extérieur comme sur les deux premières figures. L'idéal serait de mettre la tête à l'intérieur du cylindre. Pour cela, la feuille de départ devrait mesurer plus d'un mètre de long...

En guise de conclusion

Quelles sont finalement les meilleures représentations ? Laissons de côté la figure 1, celle qui est la plus juste si on sait la comprendre, ainsi que les figures 3b et 4 trop éloignées de ce que l'on observe, et intéressons-nous aux représentations du troisième type en reprenant les 6 critères de l'encadré de la page 10.

Toutes les représentations montrent que le Soleil est au plus haut quand il passe au sud et qu'il ne se lève ni ne se couche au même endroit (conditions 1 et 2). Par contre, la forme générale des trajectoires (cercles parallèles) est rarement satisfaisante pour l'œil. La figure 11 semble la plus acceptable.

Pour les variations de hauteur à midi (condition 4), il est intéressant visuellement de montrer un soleil d'équinoxe intermédiaire entre les soleils des deux

solstices, ce qu'on retrouve dans les figures 5 et 11 et presque dans la figure 9b.

De la même manière, le lever du soleil d'équinoxe est intermédiaire entre les levers des soleils des deux solstices (condition 5), ce qu'on retrouve dans les figures 5, 8b, 9b, 10 et 11. Pour la condition 6, l'angle de lever et de coucher du Soleil est correct sur les figures 6, 8b, 9b, 10 et 11 mais complètement faux sur la figure 5.

Globalement, la figure 11 est la plus satisfaisante. On peut néanmoins être gêné par le changement de courbure de la trajectoire au solstice d'été. Si on transforme légèrement les courbes pour obtenir des arcs d'ellipse, le résultat est plus agréable. On imagine plus facilement, me semble-t-il, que les trajectoires sont des cercles parallèles. Mais ici, les angles de lever et de coucher sont faux.

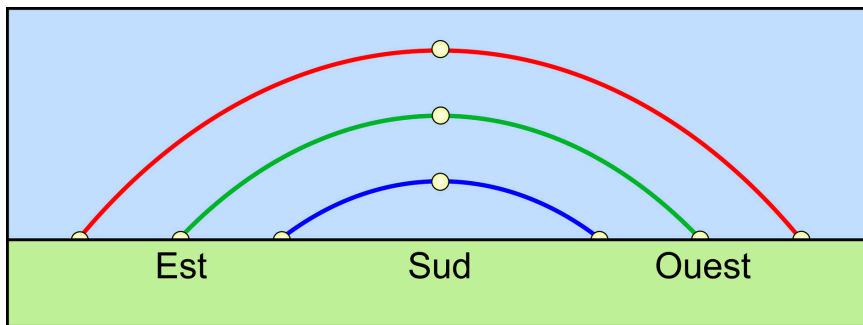


Figure 14. Sur cette représentation, les trajectoires sont des arcs d'ellipses tracés au jugé, sans projection particulière, en gardant les positions du Soleil au lever, à midi et au coucher de la figure 11.

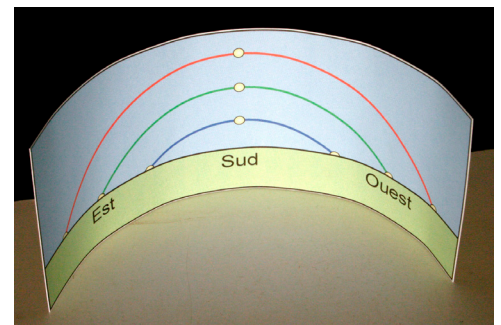


Figure 15. La figure précédente sur une feuille courbée est une représentation moins fautive que les représentations planes.

Mais il reste un gros reproche que l'on peut faire à toutes ces représentations : on voit devant soi l'est et l'ouest, deux points qui sont normalement opposés. Et il est difficile de réaliser un cylindre comme sur la figure 13 suffisamment grand pour y mettre la tête.

Un bon compromis peut être d'utiliser la figure 14 et de courber légèrement la feuille. C'est moins "vrai" que le saladier, mais plus facile à faire...

Mis à part le saladier, il n'y a pas de représentation parfaite du mouvement apparent du Soleil. J'espère que ces quelques propositions vous aideront à choisir les plus appropriées.

Pour terminer, après ces schémas plus ou moins bons, je voudrais quand même citer une représentation complètement fautive du mouvement apparent du Soleil où celui-ci se lève toujours à l'est pour se coucher à l'ouest. On la trouve malheureusement dans un livre proposé aux enseignants des écoles primaires.

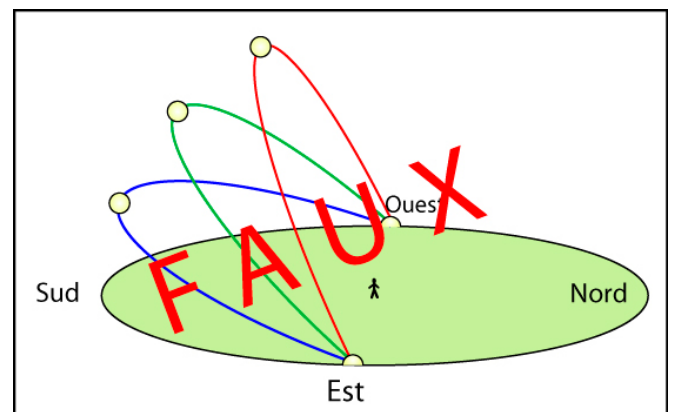


Figure 16. Représentation fautive du mouvement apparent du Soleil que l'on trouve chez de nombreux adultes et même dans un livre à destination des enseignants...

Pierre Causeret
(Merci à Liliane et à Didier pour leurs commentaires)■

OBSERVATIONS

L'équinoxe d'automne

René PAPE, Lycée Aragon de Héricourt

Résumé : L'objectif est de retrouver quelques résultats d'astronomie, latitude et longitude du lieu, midi solaire à partir de relevés des ombres d'une tige verticale à heures régulières. Les résultats (angles et longueurs) sont traités avec le module géométrie de la calculatrice.

Description des observations

Une tige de 42,5 cm est plantée verticalement. Son ombre se projette sur un grand panneau horizontal, les relevés sont faits toutes les demi heures. Un

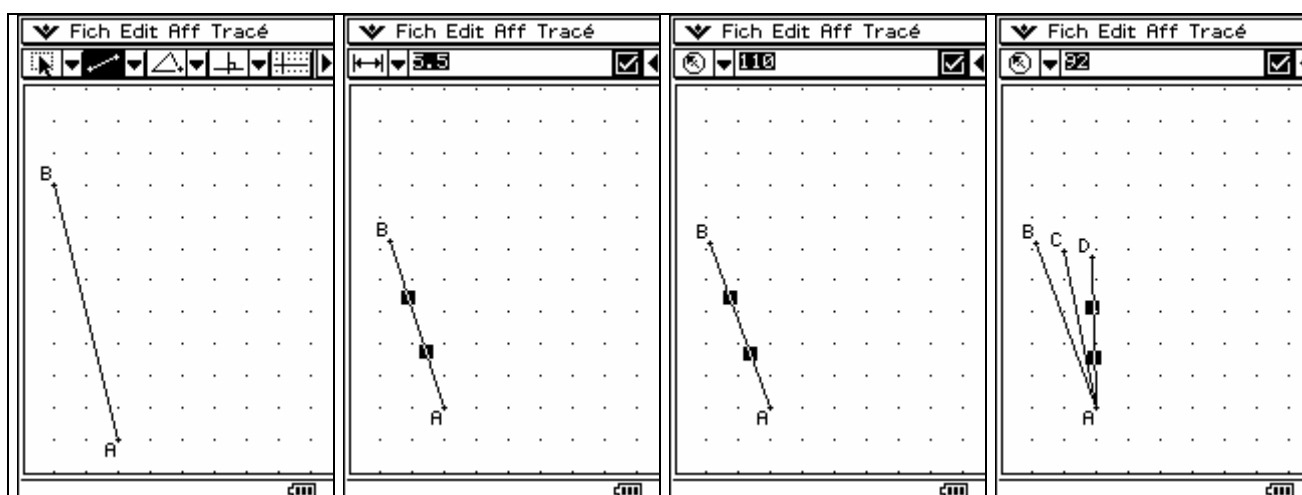
calque permet de les récupérer et les élèves peuvent remplir le tableau des longueurs et angles des ombres. On obtient les résultats suivants :

Heure	11 h 30	12 h	12 h 30	13 h	13 h 30	14 h	14 h 30	15 h	15 h 30
Longueur	57 cm	50,5	47,5	45	45	46	48	52	57
Angle	110°	102	92	81	72	60	50	41	32

Les angles sont mesurés depuis le bord du panneau (le repérage du Sud n'a pas été fait).

Traitement des données

Il se fait avec le module Géométrie du Classpad (on peut télécharger le logiciel ClasspadManager sur le site www.classpad.de).

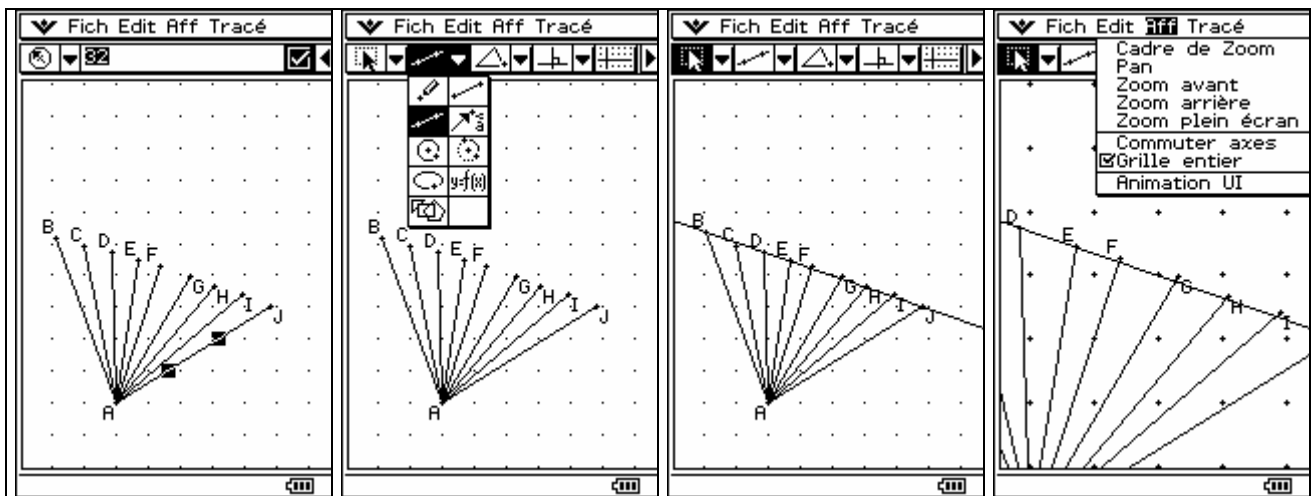


Après avoir affiché la grille (Aff, puis Grille entier), on place le segment AB en lui donnant l'allure du relevé. On passe au 2^{ème} bandeau (flèche noire à

droite), on clique sur le segment, on sélectionne Longueur (menu déroulant), on tape 5.7 (échelle 1/10°) et on verrouille cette longueur en cochant

à droite. On sélectionne Angle et on tape 110, que l'on verrouille également. On revient au 1^{er} bandeau et on sélectionne l'outil segment. On dessine le

segment suivant à partir de A, on le positionne de la même façon. On continue jusqu'au dernier...

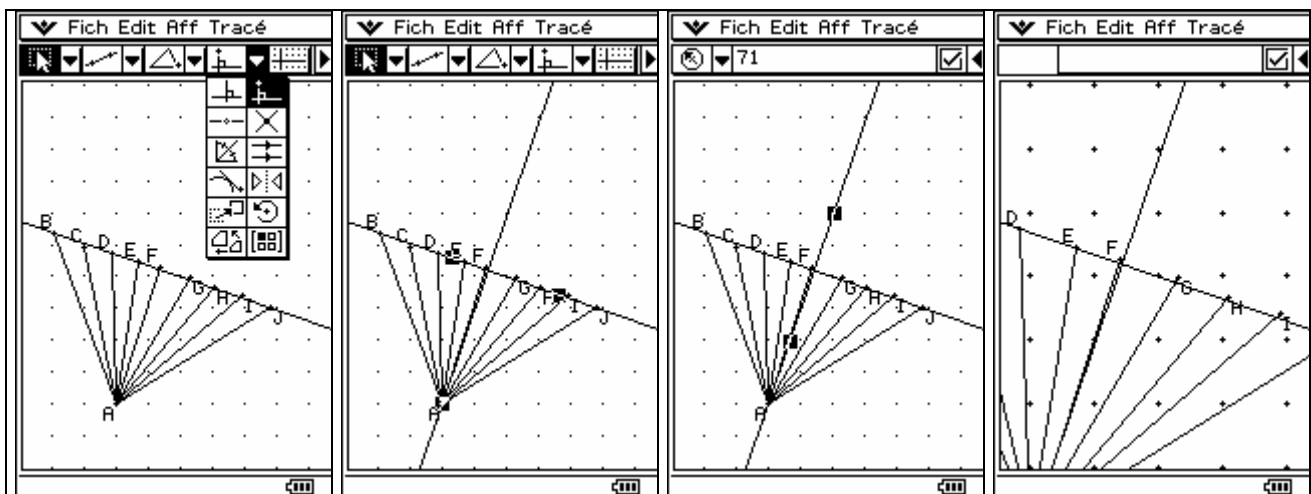


On constate un assez bon alignement des extrémités des ombres !

Pour le vérifier, on trace une droite passant par B et J : on sélectionne l'outil droite dans le 2^{ème} menu, puis on clique B et J. On peut faire un zoom avant pour plus de précision (Aff, puis Zoom avant). On revient à l'affichage normal pour continuer l'exploitation du tracé.

Midi solaire

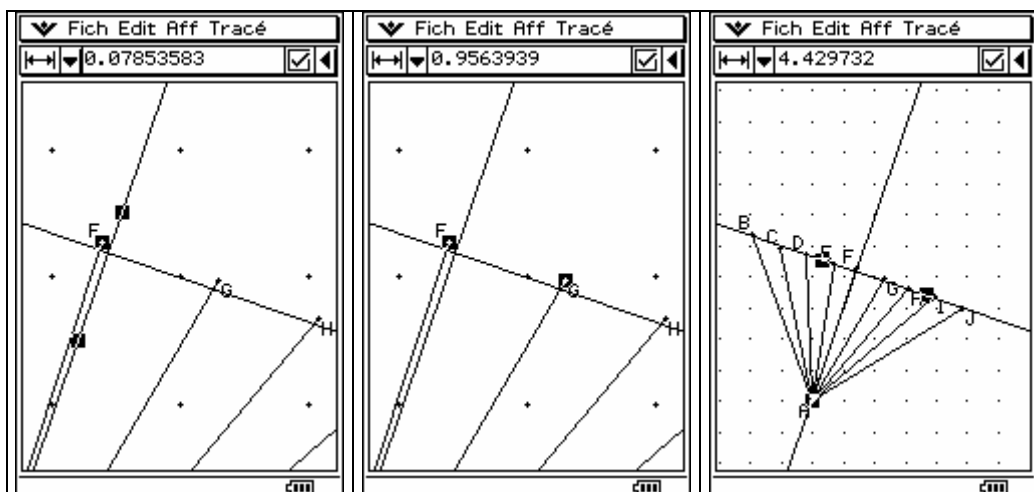
Il correspond à l'ombre la plus courte, ce que l'on obtient en traçant la perpendiculaire à la ligne des ombres. On sélectionne le point A, puis la droite, puis l'outil perpendiculaire (4^{ème} menu) et on obtient cette perpendiculaire qui détermine l'orientation du panneau mais surtout le midi solaire ! On passe au 2^{ème} bandeau : l'angle est de 71° (au lieu de 90° si l'on avait repéré le sud avant les mesures).



Longitude du lieu

Un zoom avant sur le tracé permet de constater que midi solaire se situe tout près de 13 h 30. Un 2^{ème} zoom permet de faire un calcul plus précis de cette heure. On clique le point F puis la perpendiculaire :

on peut lire la distance entre les 2 (0,078), puis on clique n'importe où avant de sélectionner F et G (0,96). Une simple règle de trois donne 2,4 min à ajouter à 13 h 30, soit 13 h 32 min 24 s (précision sans nul doute utopique).



Latitude du lieu

On revient à l'affichage initial pour déterminer la longueur minimale de l'ombre : on sélectionne A puis la droite des ombres, puis l'outil Distance dans le 2^{ème} bandeau. Résultat 4,43 soit en réalité 44,3 cm.

La latitude de Belfort est de $90 - \tan^{-1}(42,5/44,3) = 46,2^\circ$ ou $46^\circ 12'$ Nord. Les données officielles sont : $6,87^\circ$ E et $47,63^\circ$ N.

Pour aller plus loin on peut utiliser un logiciel de tracé automatique de cadran solaire, pour comparaison (voir l'article de Charles-Henri Eyraud dans ce même numéro).

Résultats

Le Soleil est en avance de :

$$12 \text{ h} + 2 \text{ h} - 13 \text{ h } 32 = 28 \text{ min},$$

ce qui correspond à une longitude de :

$$28 * 15 / 60 = 7^\circ \text{ Est.}$$

Controverse équine à propos de l'équinoxe



...quand les nuits
sont égales aux
jours

Quand on demande aux enfants des mots ayant la même origine étymologique que : *équivalent*, *équilibre*, etc., il n'est pas rare que certains répondent : *équitation*, ou même : *ecchymose*. Même si l'équitation est parfois une question d'équilibre et une source d'ecchymoses, l'origine de ces mots ne découlent pas de la même origine.

Prise en main du logiciel Solarium

Charles-Henri Eyraud

INRP, Lyon

Installer le logiciel

Créez un dossier Solarium sur votre disque dur¹, puis télécharger le fichier **solarium.zip** à l'adresse:

http://isheyveo.ens-lyon.fr/village_este/cycles/cycle-3/cadrans_solaires/solarium

Dans le dossier Solarium que vous avez créé, enregistrez ce fichier et décompressez-le. Cliquez ensuite sur Setup.exe : le logiciel Solarium s'installe automatiquement.

Pour créer un raccourci sur votre bureau, cliquez sur *Démarrer/Programmes/Solarium* et cliquez sur Solarium avec le bouton droit de la souris. Choisissez : *Créer un raccourci*. Déplacez alors ce raccourci sur le bureau. Vous êtes prêts à démarrer.

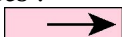
Solarium : Carte du ciel

Entrée des coordonnées de notre lieu :

Lancez Solarium en cliquant sur le raccourci placé sur le Bureau. À gauche, cochez la case, de façon à lire « *Simplifiée* » puis cliquez dans le rectangle :



Écran Sommaire : Cliquez : *Lieux géographiques : Saisie des coordonnées :*



En haut écrivez vos nouvelles coordonnées : par exemple : Latitude (phi) 45°47'43" Nord Longitude (Lg) 04°50'50" Est. Puis « *Nom du lieu* » : Caluire, enfin, en dessous : « *Ajouter* »

Cliquez à gauche sur Caluire puis à droite sur :

Mettre le lieu en tête de la liste

Cliquez sur « *Sommaire* » puis « *Carte du ciel* »

Mouvement diurne à une date et un lieu donnés

Vérifiez (en haut à gauche) Jour, Mois, An, Heure UT, Min (Universel Time) Écrire 5h00 U.T. Vérifiez la Latitude et la Longitude

Regardez l'emplacement de la boîte « *Vitesses* » avec les boutons *Arrêt*, 1, 2, 3.

Cliquez sur l'onglet « *Animation, Mouvement diurne, vers le sud* ». Préparez vous à cliquer sur « *vitesse 1* » ou « *Arrêt* » lorsque le Soleil franchit la ligne horizon ou du méridien :

Le soleil franchit l'horizon au lever. Quelle heure est-il ?.....

Le Soleil franchit la ligne du méridien (au milieu). Quelle heure est-il ?

Le Soleil franchit l'horizon au coucher. Quelle heure est-il ?

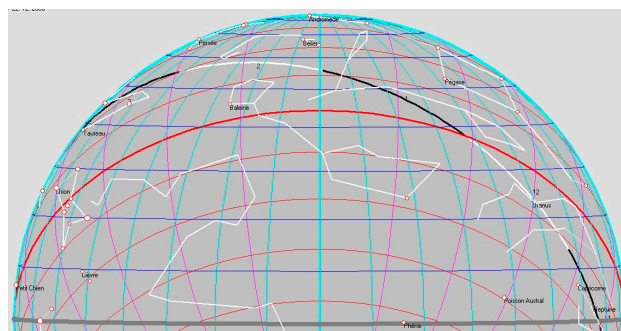
Que voyons nous légèrement au dessus du Soleil couchant ?

Faire ensuite un arrêt à 19h30 T.U. Complétez la *Vue vers le Sud*.

Écrivez le nom des étoiles : Bételgeuse et Rigel; Aldébaran; Remarquez le carré de Pégase proche du zénith. Complétez la *Vue vers le Nord*

Dans les onglets du haut de l'écran, choisissez « *demi-ciel en perspective selon l'azimut* » Nord Écrivez le nom des étoiles Alkaïd, Mizar, Alioth, Megrez, Phecda, Mérah, Dubhe.

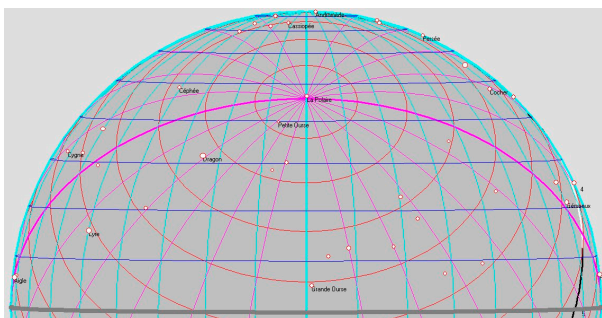
Donnez la direction de l'étoile Polaire, puis celle des trois étoiles Véga, Deneb, Altaïr et celle du W de Cassiopée :



Ciel vu vers le Sud à Caluire et Cuire le jeudi 21 décembre à 19h30 U.T. (20h30 Temps Légale en France)

Écrivez le nom des étoiles : Bételgeuse et Rigel; Aldébaran; Remarquez le carré de Pégase proche du zénith.

¹Sous windows XP, placez solarium.exe dans un espace partagé où le logiciel possède les droits pour écrire « Mes cadrans »



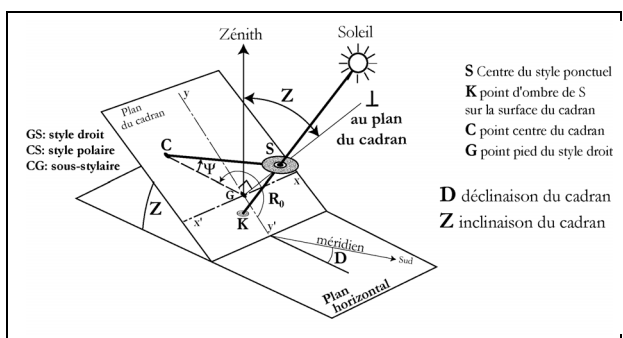
Ciel vu vers le Nord à Caluire et Cuire le jeudi 21 décembre à 19h30 U.T. (20h30 Temps Légale en France)

Du 17 au 26 décembre on peut voir les Ursides, étoiles filantes semblant provenir de la Petite Ourse. Écrivez le nom des étoiles Alkaïd, Mizar, Alioth, Megrez, Phecda, Mérah, Dubhe. Donnez la direction de l'étoile Polaire celle des trois étoiles Véga, Deneb, Altaïr et celle du W de Cassiopée :

Solarium : cadrans solaires

Le cadran plan à style ponctuel (appelé « Type 70 » dans Solarium)

C'est un cadran plan à style ponctuel dont le sommet S peut être une bille, un œilleton, un disque... Ce sommet S peut-être monté sur un style polaire, sur un style droit ou d'une autre façon. La figure ci-dessous représente un cadran de ce type, avec un œilleton en extrémité du style polaire en utilisant la nomenclature de Pierre Dallet.

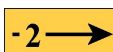


Le cadran plan à style ponctuel

Tracé du cadran

Page 1

A gauche, cochez la case, de façon à lire "Simplifiée", puis cliquez dans le rectangle orangé de droite



Page 2 « SOMMAIRE »

Saisie des coordonnées : Ajoutez Caluire et Cuire (Voir page 1, si cela n'a pas été fait), puis

Mettre le lieu en tête de la liste

Cliquez sur le rectangle

Choix type Cadran
-3→

Page 3 : « Choix type cadran »

Cliquez sur 70 : Cadran à style droit

Les coordonnées primaires sont les coordonnées de base du cadran Vérifiez les Coordonnées primaires affichées

Latitude: 45.795° Longitude: -4.847°

Déclinaison gnomonique: D=0° si notre cadran est orienté plein sud (méridional)

Inclinaison gnomonique: Z=0° si notre cadran est horizontal, Z=90° si notre cadran est vertical

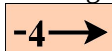
Cliquez sur le rectangle orange en haut à gauche

Coo. Primaires
affichées

pour valider les coordonnées primaires puis cliquez « Oui » si ces coordonnées sont correctes.

Valeur de l'unité: c'est la longueur du style droit : on prendra 40 à 60 mm pour une impression sur un format A4, d'un cadran horizontal ou vertical méridional à la latitude 45°.

Cliquez ensuite sur le rectangle orangé :



on obtient alors l'écran "Indications".

Page 4 : Indications données par le cadran

30 = Temps vrai local : extrémité de l'ombre du style à une heure solaire donnée tous les jours de l'année.

Cliquez sur « 30= ... » puis sur le rectangle :

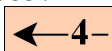
Tracés -5→

en cochant « Option chiffres des heures et symboles »

Choisissez « Toutes » : on obtient le tracé de l'extrémité de l'ombre pour toutes les heures de la journée

Choisissez « 0 » : on obtient le tracé des heures rondes (...IX, X, XI, XII, XIII,...)

Revenez en arrière avec :



200 = Déclinaisons des entrées en tiers de saisons: extrémités de l'ombre du style le 21 de chaque mois Cliquez sur « 200=... », puis sur le rectangle :

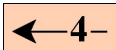
Tracés -5→

en cochant « Option chiffres des heures et symboles »

Choisissez « OUI » ; on obtient le tracé de l'extrémité de l'ombre tous les 21 de chaque mois.

Choisir « Lignes entières » : on obtient le tracé de l'extrémité de l'ombre toute la journée.

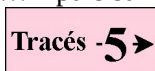
Revenez en arrière avec :



130=Temps Universel : extrémité de l'ombre du style lorsqu'il est XX h U.T.

Comme il y a un décalage constant entre l'heure U.T. et l'heure légale, on obtient ainsi une courbe donnant une heure fixe en T.L.F.. La suite cherche à obtenir la ligne de 12h Temps Légal en France (à notre montre).

Cliquez sur « 130=... » puis sur le rectangle :



Choix de l'heure:

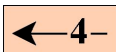
Supprimer « Toutes » et écrire 10 ; on obtient 10h

U.T. soit 12h T. Légal en France en heure d'été

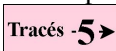
Demi huit ou huit entier: Les deux (c'est à dire tracé de 10h U.T. toute l'année).

Minutes entre les heures rondes: 0

Revenez en arrière avec :



puis cliquez sur « 130=... » puis sur le rectangle :



Choix de l'heure: Supprimer « Toutes » et écrire 11:

on obtient 11h U.T. soit 12h T. Légal en France en heure d'hiver

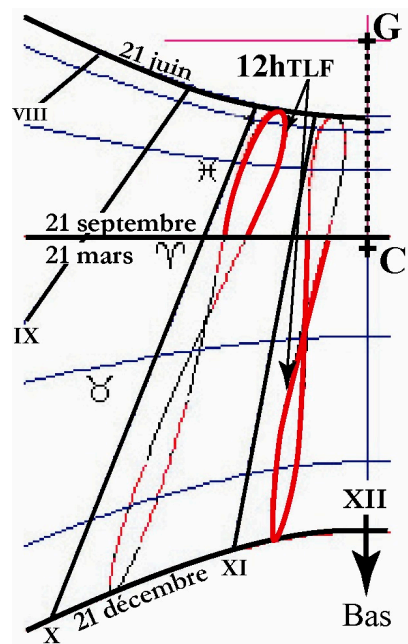
Demi huit ou huit entier : Les deux (c'est à dire tracé de 11h U.T. toute l'année)

Minutes entre les heures rondes: 0

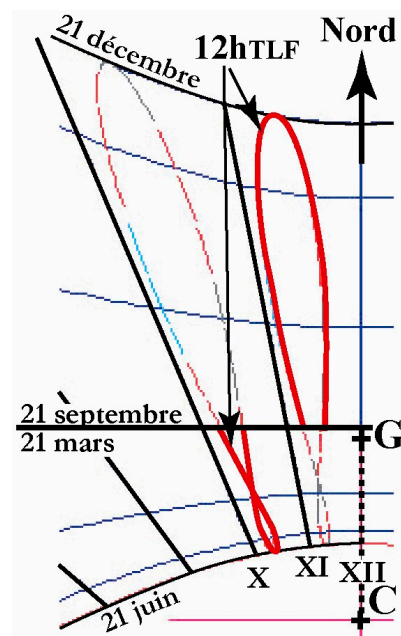
ATTENTION : Lorsqu'on gravera la courbe de 12h Temps Légal en France, on veillera à prendre la courbe :

10h U.T. du 21 mars au 21 septembre et

11h U.T. du 21 septembre au 21 mars



Cadran vertical méridional $Z=90^\circ$, $D=0^\circ$



Cadran horizontal $Z=0^\circ$

REPORTAGE

Le ciel des Maoris

Liliane Vilas

Résumé : *Un voyage dans l'hémisphère sud nous procure une bonne occasion de découvrir le ciel à l'envers et les légendes qui s'y rattachent.*

Les Maoris habitent la Nouvelle Zélande en haut (!) de la planisphère. Ils sont célèbres dans les matchs internationaux de rugby car ils font partie de l'équipe néo-zélandaise des « All Blacks ». L'origine de l'histoire des Maoris débute lorsqu'ils ont débarqué arrivant de Polynésie au XIV^{ème} siècle sur des grands canoës.

Le premier explorateur européen Abel TASMAN jeta l'ancre dans une baie de l'île du nord en 1642 qui s'appelle à juste titre « la baie des massacres ». Ce fut le capitaine James COOK qui, en 1769, lors d'un transit de Vénus, colonisa l'île (grâce à ses armes à feu).

Les légendes des Maoris sont très vivaces et leur représentation du ciel bien différente de la nôtre. Allons nous promener avec eux dans le ciel austral.

La Croix du Sud



La Croix du Sud est la constellation qui flotte sur le drapeau néo-zélandais.

Ce doux soir d'été en février vers le 45^{ème} parallèle qui traverse l'île du sud, on l'admire à l'horizon sud-est. Elle va tourner autour du pôle céleste sud. Elle forme un beau losange presque parfait dans le ciel.



L'auteur vu à l'endroit !

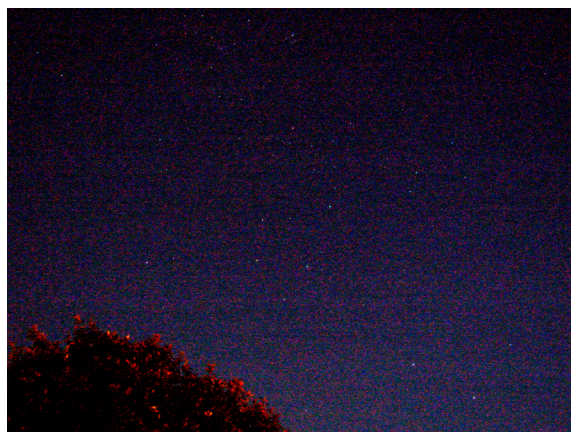
Trois étoiles sont très brillantes

Etoile α : Acrux ($m = 1,0$) est bleue

Etoile β : Mimosa ($m = 1,5$) est bleue

Etoile γ : Gacrux ($m = 1,6$) est orangée

Etoile δ : ($m = 3,1$) est bleue.



La Croix du Sud

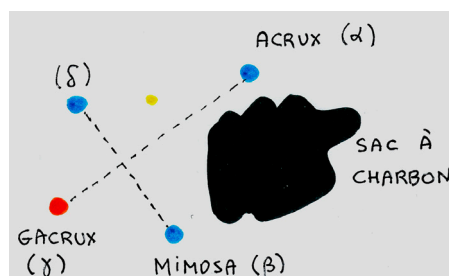


Schéma de la Croix du Sud

Les étoiles α , β , δ sont bleues. L'étoile γ est orangée. Les Maoris l'appellent l'ancre du canoë de MARERETI.

Près des étoiles α et β de la Croix du Sud se trouve une tache sombre irrégulière sans étoile : « le sac de charbon ». C'est un nuage de poussières interstellaires qui nous empêche de voir les étoiles qui sont derrière lui.

Les Maoris ont très bien observé ; c'est évidemment un carrelet qui se cache dans la vase !

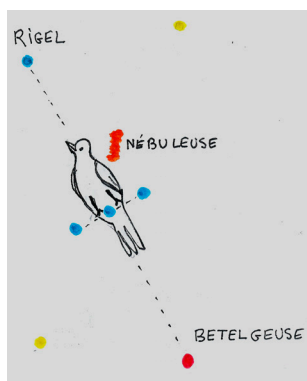
Orion

Durant tout l'été, en décembre, janvier et février « ORION » est très visible à 50° de hauteur à l'horizon nord. Ce n'est pas Bételgeuse mais Rigel qui est la plus haute.



Orion à l'envers !

N'oublions pas : on a la « tête en bas » en Nouvelle Zélande ! Les Maoris trouvent que les trois belles étoiles alignées sont un splendide perchoir pour le pigeon KERERU.



KERERU fasciné par Rigel

Le pauvre oiseau attiré par la belle myrtille bleue qu'est Rigel s'est posé sur la branche. Il n'a pas soupçonné un seul instant que, dans la nébulosité proche, se cachait un collet.

C'est ainsi que KERERU reste prisonnier sur son perchoir.

Autres légendes

Le « poisson de MAUI »

Le « poisson de MAUI » (TEIKA A MAUI) ou le « grand requin » (TE MANOORA) étale sa longue silhouette laiteuse dans le ciel (vous reconnaissez n'est-ce pas ? – c'est la Voie Lactée !)

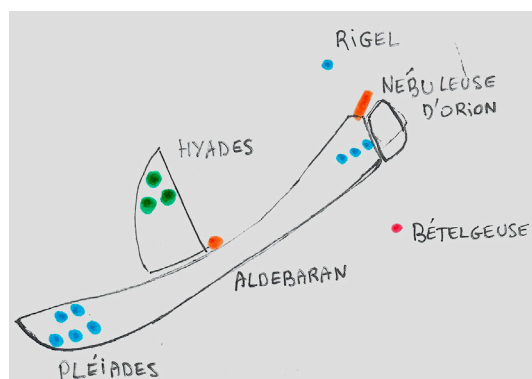
L' "hameçon de MAUI" à l'horizon nord ne sera visible que cet été (Qui est-ce ?) Vous avez reconnu le Scorpion.

En novembre, au coucher du Soleil se trouve au nord « le canoë de TAINUI ». Il vogue dans le ciel et plonge au petit matin dans l'horizon .

Quel est ce canoë ?

Son avant est composé des « Pléiades ». Sa voile est le grand V des « Hyades », sa proue est la

ceinture d'Orion et le gouvernail n'est autre que la nébuleuse d'Orion !



Le canoë de TAINUI

Légende de la Lune et de la jeune fille RONA.

Un soir de pleine Lune, la jeune fille RONA avait oublié de remplir sa calebasse d'eau aussi se dépêcha-t-elle de descendre vers le fleuve.

La Lune venait de se lever et, grâce à son éclat, RONA pouvait se diriger à travers le bush. (Le bush est formé de buissons bas adaptés à la sécheresse)

Cependant pendant quelques instants la Lune fut masquée par les nuages. Surprise par cette soudaine obscurité, RONA trébucha sur des racines, se blessa au genou et lâcha la calebasse. Malgré toutes ses recherches RONA ne la retrouva pas ; elle avait dû rouler dans les broussailles.

Alors RONA, au comble de la colère injuria la Lune et la traita (je n'ose à peine le dire, car c'est la pire insulte qu'on puisse lui adresser) : RONA la traita de « TÊTE CUITE » ! !

La Lune ne put supporter un tel affront : elle descendit du ciel et saisit RONA qui s'agrippa aux branches d'un manuka¹ : la lutte fut acharnée mais inégale. La Lune était bien plus forte que RONA agrippée à sa branche. Le manuka se rompit !

C'est ainsi que RONA et la branche de manuka se retrouvèrent sur la Lune.

Lorsqu'on regarde la pleine Lune, on distingue nettement RONA assise tristement sur sa branche de manuka.

Lecteurs écoutez bien ce conseil ; n'insultez jamais la Lune. Vous pourriez subir le même sort.

Référence : « Naked eye wonders » de Paul TAYLOR

¹ Le manuka est un arbrisseau aux fleurs blanches et parfumées qui pousse en Nouvelle Zélande, Australie et Tasmanie

Orbite de la Terre et durée des saisons : I - Astronomie, mathématiques et un peu de programmation dans un tableur

Ph. Merlin, Observatoire de Lyon

Résumé : Les durées des saisons sont inégales et influent sur l'ensoleillement reçu en différentes saisons. Comment recalculer la durée des saisons à partir des éléments de l'orbite de la Terre ou d'une planète ?

Connaissant les éléments de l'orbite d'une planète, a , e , i , Ω , ϖ , ω , il est possible de retrouver la durée des saisons avec une simple calculatrice. Mais comme les paramètres des orbites sont variables et vont faire changer les durées et les ensoleillements, l'usage d'un tableur devient très intéressant pour tabuler les calculs et tracer les résultats.

Dans le présent article, nous établirons les quelques formules à utiliser et nous les appliquerons à la Terre actuelle. Dans de prochains articles, nous ferons varier les paramètres de l'orbite de la Terre et nous traiterons le cas de la planète Mars, à extrapoler éventuellement à d'autres planètes.

Dans ce qui suit, nous supposerons en première approximation, que les orbites des planètes sont régies par les lois de Kepler et ne sont donc pas perturbées, sur un intervalle de temps court (par rapport aux ères géologiques).

Les éléments caractéristiques de l'orbite d'une planète

Pour connaître à tout instant la position d'une planète par rapport au Soleil, il faut posséder les éléments de l'orbite :

Dans le plan de l'orbite de la planète :

a demi-grand axe

e excentricité de l'orbite

P période sidérale

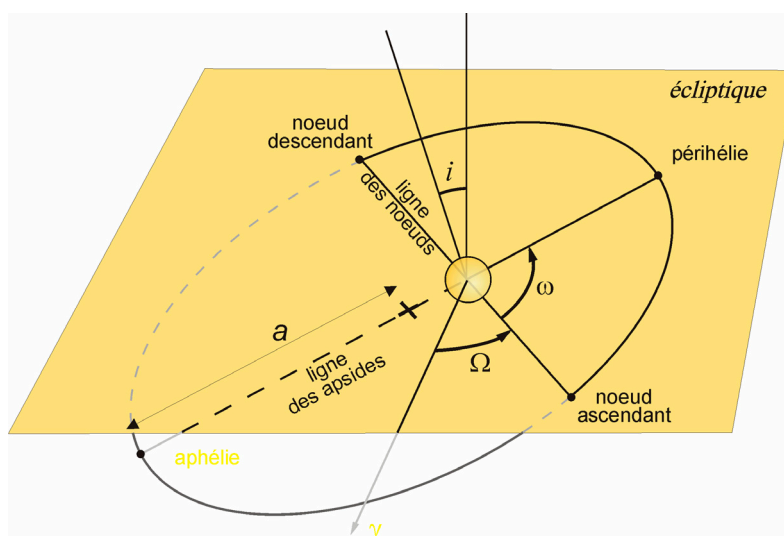
t_0 temps du passage au périhélie du plan de l'orbite par rapport à l'écliptique :

i inclinaison du plan de l'orbite sur l'écliptique

Ω longitude du nœud ascendant

ω angle nœud ascendant périhélie ou $\varpi = \omega + \Omega$.

Pour la Terre, $\Omega = 0$



Si θ est l'angle entre la direction du périhélie et la planète, la distance au Soleil est

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos\theta}$$

Pour connaître r et θ en fonction de t , on utilise deux variables intermédiaires u , l'*anomalie excentrique*, et M , l'*anomalie moyenne*, angle au centre d'une planète fictive qui accomplirait l'orbite à vitesse angulaire constante :

$$M = \frac{2\pi}{P}(t-t_o) = \frac{360}{P}(t-t_o) \quad (1)$$

Passer de θ à u s'obtient par la relation (voir Annexe 1) :

$$\tan \frac{u}{2} = \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \tan \frac{\theta}{2} \quad (2)$$

Et entre u et M (u et M en radians) on a (voir Annexe 2) :

$$u - e \sin u = M \quad (3)$$

Ces équations vont permettre, pour les positions θ des équinoxes et des solstices, d'en calculer les instants.

Positions des équinoxes et des solstices

Pour la Terre, tout est simple, à l'équinoxe de printemps, le Soleil est au point γ et l'on connaît la position du périhélie. On peut calculer l'angle pour l'équinoxe de printemps (EP).

$$\theta_{EP} = 180 - \omega$$

Les autres positions s'en déduisent,

Solstice d'été (SE)

$$\theta_{SE} = \theta_{EP} + 90^\circ \quad (\text{modulo } 360)$$

Equinoxe d'automne (EA)

$$\theta_{EA} = \theta_{SE} + 90^\circ \quad (\text{modulo } 360) \quad (4)$$

Solstice d'hiver (SH)

$$\theta_{SH} = \theta_{EA} + 90^\circ \quad (\text{modulo } 360)$$

A l'aide des formules (1), (2) et (3), on calcule les temps de passages aux différents points par rapport au passage au périhélie et on déduit la durée des saisons.

Pour chaque position, à partir θ_{EP} , θ_{SE} , θ_{EA} , θ_{SH} , on calcule : l'angle u (équation 2), M (équation 3) et les temps t_{EP} , t_{SE} , t_{EA} , t_{SH} (équation 1) qui sont les temps de passage aux quatre positions remarquables.

La durée des saisons se fait par différences. Si celle-ci est négative, on ajoute P (365,25j) pour rendre la valeur positive.

Éléments de l'orbite de la Terre

$a = 149\,598\,034$ km demi grand axe

$e = 0,0167$ excentricité de l'orbite

$P = 365,25$ j période sidérale

$\omega = 102,9373^\circ$ angle nœud ascendant périhélie ou $\varpi = \omega + \Omega$.

t_0 temps du passage au périhélie, se calcule (1) avec ω , mais peut être pris à 0.

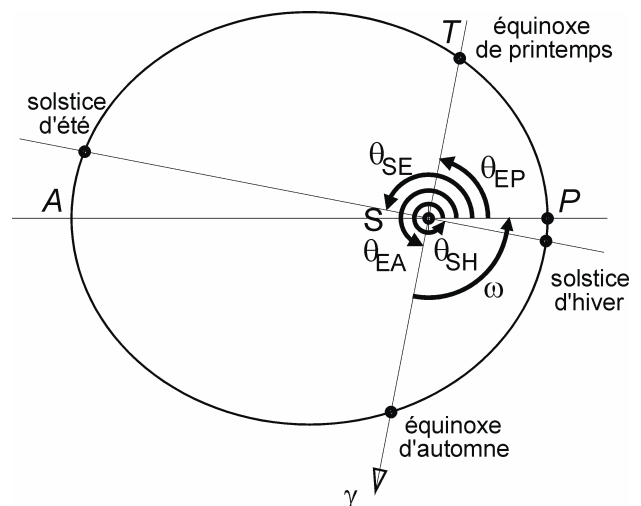
Programmation

La programmation des formules est simple. Il faut se souvenir que les angles sont en radians dans les fonctions trigonométriques.

Pour les angles, il y a lieu de se ramener à l'intervalle $[0-360^\circ]$, ainsi que pour les durées qui sont à l'intérieur de la période P (365,25 jours).

Les distances Soleil-Terre aux solstices et l'ensoleillement

Les changements climatiques sont en partie conditionnés par la différence des ensoleillements aux cours des saisons et surtout la différence entre l'ensoleillement été-hiver. Il est intéressant de calculer le rapport des énergies reçues en fonction des variations des distances entre l'été et l'hiver.



L'énergie reçue varie en fonction de l'inverse du carré des distances :

$$\frac{E_{SH}}{E_{SE}} = \frac{1/r_{SH}^2}{1/r_{SE}^2} = \frac{r_{SE}^2}{r_{SH}^2}$$

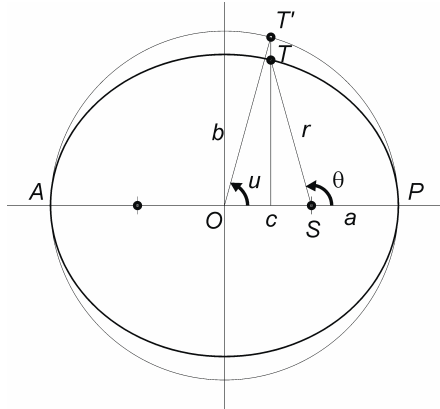
Comme on obtient les θ pour les différentes positions, les r sont calculables immédiatement. Le rapport est trouvé.

Les énergies reçues en un point de la Terre sont fonction de l'inclinaison des rayons du Soleil donc de la latitude φ . On pourra comparer les énergies reçues sur les deux hémisphères.

Annexe 1 : Démonstration de la relation (2)

On pose $a = OP$, $c = OS$, $e = c / a$

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \text{ et } x^2 + y'^2 = a^2$$



on tire $\frac{y}{y'} = \frac{CT}{CT'} = \frac{b}{a} = \sqrt{1-e^2}$

$$SC = r \cos \theta$$

$$SC = a \cos u - c = a(\cos u - e)$$

d'où

$$r \cos \theta = a(\cos u - e) \quad (1A)$$

de même

$$CT = r \sin \theta$$

$$CT = CT' \sqrt{1-e^2} = a \sin u \sqrt{1-e^2}$$

d'où

$$r \sin \theta = a \sin u \sqrt{1-e^2} \quad (2A)$$

Des deux relations 1A et 2A on tire aisément :

$$r = a(1 - e \cos u), \text{ que l'on peut écrire :}$$

$$r \left(\cos^2 \frac{\theta}{2} + \sin^2 \frac{\theta}{2} \right) = a(1 - e \cos u) \quad (3A)$$

La relation 1A peut s'exprimer en remplaçant le $\cos \theta$ par son expression en fonction de $\theta/2$. On obtient alors :

$$r \left(\cos^2 \frac{\theta}{2} - \sin^2 \frac{\theta}{2} \right) = a(\cos u - e) \quad (4A)$$

Fichier Excel

Les calculs et la programmation des formules se trouvent dans le fichier *durees_saisons.xls* disponible sur le site :

www-obs.univ-lyon1.fr/labo/fc/cdroms/cdrom2007/cd_tls2007/index.htm#a11

En ajoutant 3A et 4A, on extrait $\cos^2 \theta / 2$; en les retranchant on obtient $\sin^2 \theta / 2$. Le rapport des deux relations obtenues donne $\tan^2 \theta / 2$, qui se simplifie ainsi :

$$\tan^2 \frac{\theta}{2} = \frac{1+e}{1-e} \tan^2 \frac{u}{2}$$

En notant que $\theta/2$ et $u/2$ sont toujours dans le même quadrant trigonométrique, on trouve donc la relation cherchée :

$$\tan \frac{u}{2} = \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \tan \frac{\theta}{2}$$

Annexe 2 : Démonstration de la relation (3)

En différenciant par rapport au temps t la relation précédente, et en simplifiant à l'aide des relations donnant $\cos^2 \theta / 2$ et r , on aboutit à :

$$\frac{1}{2} r^2 \frac{d\theta}{dt} = \frac{a^2}{2} (1 - e \cos u) \sqrt{1-e^2} \frac{du}{dt}$$

Or, $\frac{1}{2} r^2 d\theta$ est la surface balayée par le rayon vecteur r (2ème loi de Kepler). C'est une constante,

qui est aussi égale à l'aire de l'ellipse ($\pi a^2 \sqrt{1-e^2}$) divisée par la période P . On aboutit alors à :

$$\frac{a^2}{2} (1 - e \cos u) \sqrt{1-e^2} \frac{du}{dt} = \frac{\pi a^2 \sqrt{1-e^2}}{P}$$

équation qui se simplifie et s'intègre en la relation cherchée, dite *équation de Kepler* :

$$u - e \sin u = \frac{2\pi}{P} (t - t_0) = M$$

t_0 étant la constante d'intégration.

Pour le détail des démonstrations voir *Astronomie générale* d'André Danjon, Librairie Scientifique et Technique Albert Blanchard, 1980, pages 61 et 168.

AVEC NOS ÉLÈVES

L'équation du temps

Béatrice Sandré

Résumé : Le but du travail qui suit est de retrouver l'équation du temps en fonction de la date.

Heure solaire et heure légale

L'heure solaire est indiquée par un cadran solaire. C'est aussi l'angle horaire H du soleil (figure 1), exprimé en heures ($1 \text{ heure} = 15^\circ$) et augmenté de 12 heures. L'heure légale est donnée par une horloge, l'horloge atomique de Brunswick par exemple.

En prenant une photographie du Soleil tous les dix jours pendant une année à la même heure de la montre, on constate que l'angle horaire du Soleil n'est pas toujours le même.

Mesurés avec une horloge, tous les jours solaires de l'année n'ont pas la même durée. Certains durent plus de 24 heures, d'autres moins ; 24 heures n'est que la valeur moyenne du jour solaire sur une année. En France métropolitaine par exemple, la relation liant l'heure solaire et l'heure légale peut s'écrire :

$$\text{heure légale} = \text{heure solaire} + \text{longitude} + \begin{cases} 1 \text{ heure en hiver} \\ 2 \text{ heures en été} \end{cases} + \text{équation du temps}$$

La longitude est mesurée en heure ($1 \text{ heure} = 15^\circ$) et comptée positivement vers l'Ouest. L'équation du temps est une correction dépendant de la date, due à la durée inégale des jours solaires au cours de l'année.

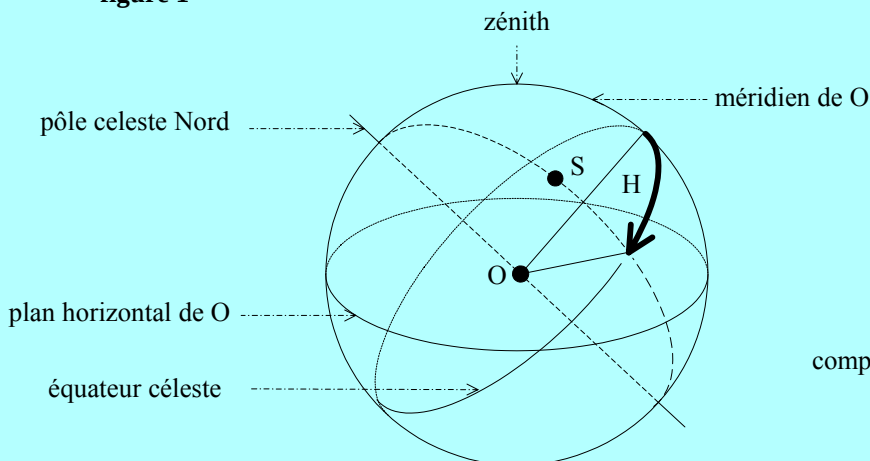
Mais en moyenne sur une année, l'équation du temps est nulle.



Concrétisation de l'équation du temps dans le ciel de Crimée

Crédit : V. Rumyantsev / observatoire de Naucsny

figure 1



O est la position de l'observateur

H est l'angle horaire de S
compté positivement dans le sens rétrograde

Jour solaire et Soleil moyen

La sphère céleste tourne autour de l'axe des pôles de l'observateur d'un tour en $T_o = 23$ heures 56 minutes.

Ce mouvement est uniforme de vitesse angulaire $\omega_o = \frac{2\pi}{T_o}$ constante dans le sens rétrograde.

Sur la sphère céleste, le Soleil décrit un grand cercle appelé écliptique en $T_a = 1$ an dans le sens direct. Si ce cercle était confondu avec l'équateur céleste et si le mouvement du Soleil y était uniforme, la vitesse angulaire du Soleil sur la sphère céleste serait uniforme et égale à $\omega_a = \frac{2\pi}{T_a}$ dans le sens direct.

La vitesse angulaire du Soleil par rapport à l'observateur serait $\omega_o - \omega_a = 2\pi \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_a} \right)$ dans le sens rétrograde et la durée du jour solaire, c'est à dire la durée d'un tour :

$$T_j = \frac{2\pi}{\omega_o - \omega_a} = \frac{T_o T_a}{T_a - T_o} = 24,00 \text{ heures}$$

Mais l'écliptique est incliné par rapport à l'équateur céleste et le mouvement du Soleil sur l'écliptique n'est pas uniforme. 24 heures est la durée du jour légal mais ce n'est que la moyenne de la durée du jour solaire.

Nous appellerons "Soleil moyen", un point se déplaçant sur l'équateur céleste (et non sur l'écliptique), à vitesse angulaire constante, d'un tour en un an dans le sens direct. Son ascension droite est donc une fonction affine du temps t :

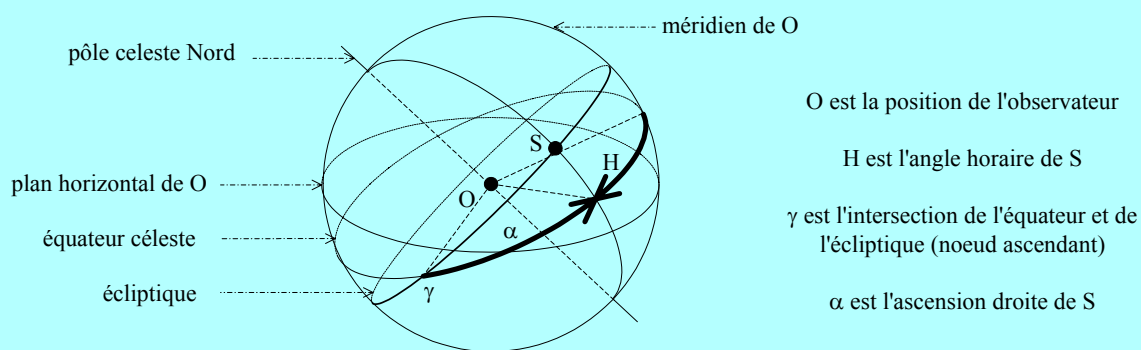
$$\alpha_m = \alpha_o + 2\pi \frac{t}{T_a} \text{ rad}$$

La valeur de α_o sera choisie de telle sorte que l'écart entre les ascensions droites du Soleil réel et du Soleil moyen soit nul en moyenne au cours d'une année.

L'équation du temps est la différence entre les angles horaires du Soleil moyen H_m et du Soleil réel H . Ascension droite et angle horaire étant comptés positivement dans des sens opposés, c'est aussi la différence entre les ascensions droites du Soleil réel α et du Soleil moyen α_m :

$$\text{équation du temps} = H_m - H = \alpha - \alpha_m$$

figure 2



Longitude écliptique et ascension droite du Soleil

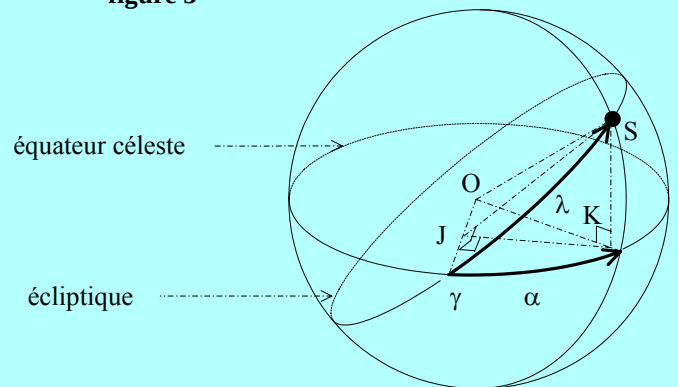
La figure 3 ci-contre rappelle la définition de la longitude écliptique λ du Soleil S.

Longitude écliptique et ascension droite du Soleil sont liées par une relation que nous allons établir et qui fait intervenir l'angle ε entre le plan de l'équateur et le plan de l'écliptique.

K est la projection orthogonale de S sur le plan de l'équateur.

J est la projection orthogonale de S sur Oy ; c'est aussi la projection orthogonale de K sur Oy.

figure 3



$(\vec{JK}, \vec{JS}) = \varepsilon$, angle entre le plan de l'équateur et le plan de l'écliptique.

$$\left. \begin{array}{l} JK = OJ \tan \alpha \\ JS = OJ \tan \lambda \\ JK = JS \cos \varepsilon \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{JK}{JS} = \frac{\tan \alpha}{\tan \lambda} = \cos \varepsilon$$

$$\boxed{\tan \alpha = \cos \varepsilon \tan \lambda}$$

Cette relation est suffisante pour déterminer α connaissant λ (ou réciproquement) car les angles α et λ appartiennent toujours au même quadrant.

Elle montre que l'ascension droite du Soleil n'est pas proportionnelle à sa longitude écliptique. Même si le Soleil avait eu un mouvement uniforme sur l'écliptique, son ascension droite n'aurait pas été fonction affine du temps.

Longitude écliptique du Soleil au cours du temps

La longitude écliptique du Soleil dans le référentiel géocentrique est identique à la longitude écliptique de la Terre dans le référentiel héliocentrique.

Le mouvement de la Terre autour du Soleil suit la loi des aires, mais la trajectoire n'étant pas circulaire, le mouvement de la Terre n'est pas uniforme et la longitude écliptique du Soleil n'est pas une fonction affine du temps.

La trajectoire de la Terre est une ellipse de foyer S, de demi-grand axe a , d'excentricité e et de périhélie P. Son équation en coordonnées polaire d'origine S et de direction origine SP s'écrit :

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cos \theta}$$

L'aire de l'ellipse est $\text{aire} = \pi ab = \pi a^2 \sqrt{1-e^2}$ et la période du mouvement est $T_a = 1$ an.

La loi des aires peut donc s'écrire :

$$r^2 \frac{d\theta}{dt} = 2 \frac{\text{aire}}{T_a} = \frac{2\pi a^2 \sqrt{1-e^2}}{T_a},$$

d'où, compte tenu de l'équation de la trajectoire,

$$\frac{a^2 (1-e^2)^2}{(1+e \cos \theta)^2} \frac{d\theta}{dt} = \frac{2\pi a^2 \sqrt{1-e^2}}{T_a}.$$

En séparant les variables θ et t , on obtient l'équation différentielle :

$$dt = \frac{T_a}{2\pi} \frac{(1-e^2)^{3/2}}{(1+e \cos \theta)^2} d\theta.$$

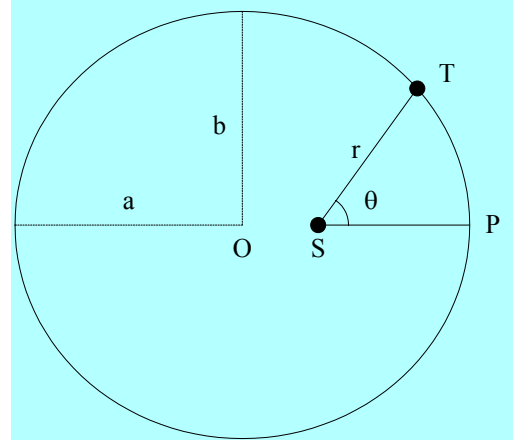
Elle permet de calculer la date t_i à laquelle la Terre se trouve à la distance angulaire θ_i du périhélie par intégration numérique :

$$\boxed{t_i = t_p + \frac{T_a}{2\pi} \int_0^{\theta_i} \frac{(1-e^2)^{3/2}}{(1+e \cos \theta)^2} d\theta}$$

t_p étant la date de passage au périhélie.

On peut ainsi calculer la date de passage t_i pour chacune des valeurs de θ_i choisies.

figure 4



En ajoutant la longitude écliptique λ_p du périhélie P à chacune des valeurs de θ_i , on obtient la longitude écliptique λ du Soleil réel (ou de la Terre) en fonction du temps. Son ascension droite est ensuite déterminée grâce à la relation :

$$\tan \alpha = \cos \varepsilon \tan \lambda$$

Soleil fictif et Soleil moyen

L'équation du temps est l'écart en ascension droite entre le Soleil réel et le Soleil moyen. Mais pour connaître la position du Soleil moyen, il nous manque la valeur de α_0 . Nous la déterminerons en écrivant que la valeur moyenne de $\alpha - \alpha_m$ est nulle sur une année.

Considérons un Soleil fictif de même ascension droite α_p que le Soleil réel lorsque celui-ci passe à son périhélie P et ayant un mouvement uniforme de période $T_a = 1$ an le long de l'équateur céleste. Son ascension droite en fonction du temps s'écrit alors :

$$\alpha_f = \alpha_p + 2\pi \frac{t - t_p}{T_a} \text{ rad}$$

Mais la date de passage de la Terre au périhélie n'étant pas confondue avec une date de solstice, la valeur

moyenne de $\alpha - \alpha_f$ au cours d'une année n'a aucune raison d'être nulle. Le Soleil fictif n'est pas confondu avec le Soleil moyen. Mais l'écart entre les ascensions droites du Soleil fictif et du Soleil moyen est constant et vaut :

$$\alpha_p - \alpha_o.$$

La valeur moyenne de $\alpha - \alpha_m$ étant nulle sur une année, la valeur moyenne de $\alpha - \alpha_f$ vaut :

$$\alpha_p - \alpha_o.$$

α_p est donné par les éphémérides et nous avons montré que nous pouvions calculer α en fonction du temps. Une intégration numérique nous donne la valeur moyenne edt_o de $\alpha - \alpha_f$ sur une année. On en déduit

$\alpha_o = \alpha_p - edt_o$. L'ascension droite du soleil moyen en fonction du temps est $\alpha_m = \alpha_p - edt_o + 2\pi \frac{t - t_p}{T_a}$ et

l'équation du temps $edt = \alpha - \alpha_p + edt_o - 2\pi \frac{t - t_p}{T_a}$

Déroulement du calcul

Pour obtenir les caractéristiques de l'orbite de la Terre, on peut relever sur le site de l'IMCCE :

* la date de passage au périhélie et la longitude écliptique à cette date :

$$t_p = 3 \text{ Janvier } 2007 \text{ à } 20 \text{ heures} ; \lambda_p = 282^\circ 57' 43,6614''$$

* la distance minimale et la distance maximale de la Terre au Soleil (périhélie et apogée) en unité astronomique :

$$d_{\min} = 0,983260183 \text{ u.a.} ; d_{\max} = 1,016705946 \text{ u.a.}$$

* la valeur maximale de la déclinaison du Soleil, égale à l'inclinaison du plan de l'écliptique par rapport au plan de l'équateur :

$$\varepsilon = 23^\circ 26' 18,0332''$$

* les temps seront mesurés en jours et la durée d'une année est :

$$T_a = 365,25 \text{ jours}$$

L'excentricité de l'orbite terrestre est :

$$e = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{d_{\max} + d_{\min}} = 0,01672316484$$

La longitude écliptique du périhélie appartenant au quatrième quadrant :

$$\alpha_p = \arctan(\tan \lambda_p \times \cos \varepsilon) = -1,324997264 \text{ rad.}$$

Pour calculer la valeur moyenne de $\alpha - \alpha_f$, il est nécessaire de connaître $\alpha(t)$ avec un pas "très serré", afin de faire une bonne intégration numérique. Nous avons choisi de calculer la date t_i de passage en $\theta = \theta_i$ avec un pas pour θ de $\frac{2\pi}{365}$ rad soit 365 points pour une année.

$$\theta_i = i \times \frac{2\pi}{365} \text{ rad}$$

et, en choisissant l'origine des dates à l'instant de passage de la Terre à son périhélie :

$$t_i = \frac{T_a}{2\pi} \int_0^{\theta_i} \frac{(1 - e^2)^{3/2}}{(1 + e \cos \theta)^2} d\theta$$

La longitude écliptique du Soleil à cette date est :

$$\lambda_i = \theta_i + \lambda_p$$

L'ascension droite du Soleil à cette date est :

$$\alpha_i = \arctan(\tan \lambda_i \times \cos \varepsilon) \quad \text{si } \cos \lambda_i > 0$$

$$\alpha_i = \arctan(\tan \lambda_i \times \cos \varepsilon) + \pi \text{ rad} \quad \text{si } \cos \lambda_i < 0$$

Puis, on ramène α_i dans le domaine $[0, 2\pi[$.

L'ascension droite du Soleil fictif à cette date est :

$$\alpha_{fi} = \alpha_p + 2\pi \frac{t_i}{T_a} \quad \text{que l'on ramène dans le domaine } [0, 2\pi[.$$

La valeur moyenne de $\alpha - \alpha_f$ sur une année est :

$$edt_o = \frac{1}{T_a} \int_0^{T_a} (\alpha(t) - \alpha_f(t)) dt.$$

Nous calculons donc :

$$edt_o = \frac{1}{T_a} \sum_{i=1}^{365} \frac{(\alpha_{i-1} - \alpha_{fi-1}) + (\alpha_i - \alpha_{fi})}{2} \times (t_i - t_{i-1})$$

et obtenons :

$$edt_o = -0,0195633 \text{ rad} = -1,12089^\circ$$

Le Soleil moyen est en retard de $1,12^\circ$ sur le Soleil fictif.

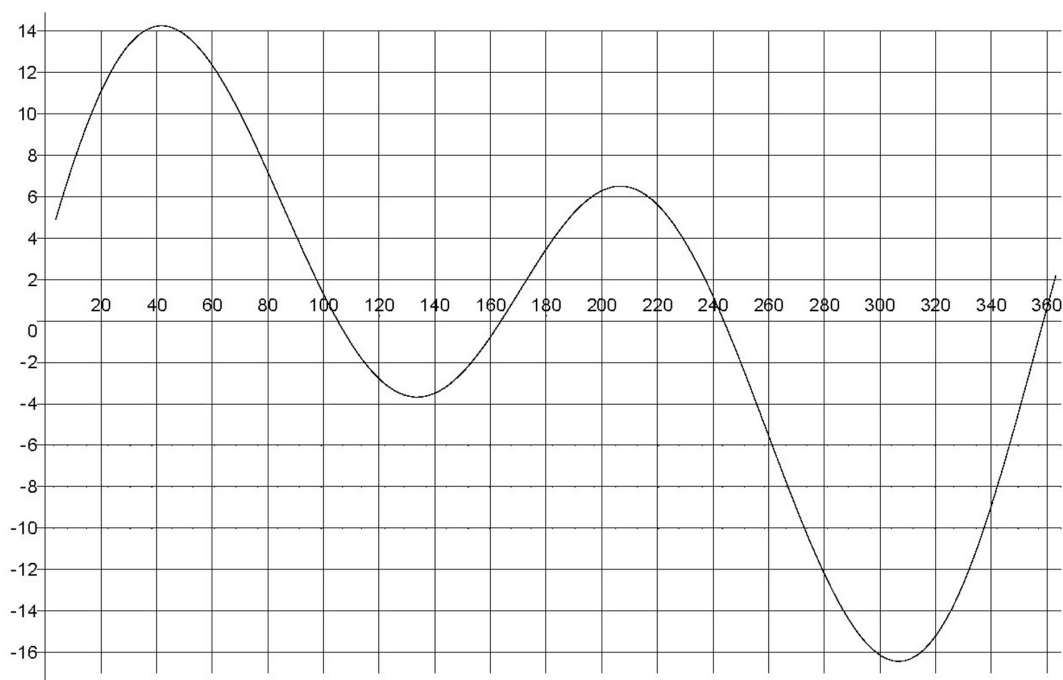
À la date t_i , l'équation du temps sera $edt = \alpha_i - \alpha_{fi} - edt_o$, que l'on obtiendra en radians.

En minutes de temps, sa valeur sera $edt = (\alpha_i - \alpha_{fi} - edt_o) \times \frac{180}{\pi} \times \frac{60}{15}$.

Nous avons choisi l'origine des dates à l'instant du passage du Soleil au périhélie de l'année 2007. Celui-ci

ayant eu lieu le 3 Janvier à 20 heures, il faudra ajouter $\left(2 + \frac{20}{24}\right)$ jours à t_i pour placer l'origine des dates au 1^{er} Janvier de l'année 2007.

La courbe ci-dessous donne l'équation du temps en minutes en fonction de cette date.



Équation du temps (minutes) en fonction de la date (jours)

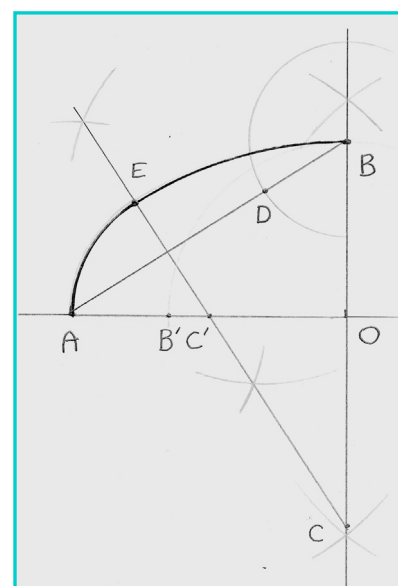
Comment tracer une pseudo-ellipse à la règle et au compas

Nous avons posé ce problème dans le dernier numéro. En fait, comme nous le disions, il ne s'agit pas d'une ellipse exacte mais d'une représentation aussi précise que possible. Ce problème est bien connu des anciens dessinateurs industriels qui devaient tracer une ellipse donnée par le demi-grand axe a et le demi-petit axe b . Cette figure géométrique, projection d'un cercle sur un plan oblique, est très courante. Voici la méthode :

Posons $OA=a$; $OB'=b$. On trace la droite perpendiculaire en O à $[OA]$. On reporte la longueur $OB=OB'=b$. On trace le segment $[AB]$ et, depuis le point B , on trace un arc de cercle de rayon $a-b$ qui coupe $[AB]$ en D . On trace la médiatrice de $[AD]$, qui coupe le segment $[OA]$ en C' et le support de $[OB]$ en C . Depuis le centre C' on trace un arc de cercle AE de rayon $C'A$. Depuis le centre C on trace l'arc de cercle EB de rayon CE . On obtient un quasi quart d'ellipse AEB .

Il suffit de recommencer pour tracer les trois autres quarts. Heureusement que nous avons la DAO !

GP■



OBSERVATION

Quelques idées d'observations pour 2007-2008

Pierre Causeret,
pierre.causeret@wanadoo.fr

Résumé : L'actualité astronomique est source d'activités avec les élèves. Comme chaque année, voici quelques propositions d'observations à faire. On peut noter en particulier la rétrogradation de Mars (opposition le 24 décembre) et une belle éclipse totale de Lune le 21 février qui aura lieu malheureusement tôt le matin.

Les planètes

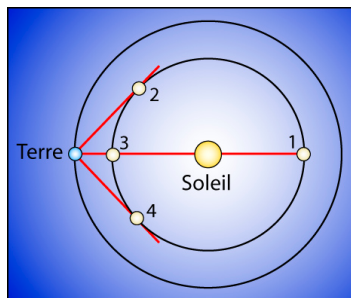
Mercure

Mercure est une planète difficile à observer puisqu'elle semble toujours proche du Soleil. On peut la voir le soir côté ouest après le coucher du Soleil ou le matin côté est avant le lever du Soleil lorsque son élongation (l'angle Soleil Terre Mercure) est suffisante. Mais sa visibilité dépend aussi beaucoup de l'inclinaison de l'écliptique par rapport à l'horizon.

Les meilleures périodes d'observation pour 2007-2008 sont :

- pour le soir la deuxième quinzaine de janvier 2008 (élongation maximale le 22) et les trois premières semaines de mai 2008 (élongation maximale le 14).
- pour le matin, la première quinzaine de novembre 2007 (élongation maximale le 8)

Vous pourrez profiter des conjonctions avec la Lune pour vous aider à repérer Mercure le 7/11 (matin), 9/01 (soir), 5/03 (matin) ou 6/05 (soir).



Les différentes configurations des planètes inférieures (Mercure ou Vénus) observées depuis la Terre.

Élongation maximale est : 29/09/07 (26°)
Conjonction inférieure : 23/10/07
Élongation maximale ouest : 8/11/07 (19°)
Conjonction supérieure : 17/12/07
Élongation maximale est : 22/01/08 (19°)
Conjonction inférieure : 6/02/08
Élongation maximale ouest : 3/03/08 (27°)
Conjonction supérieure : 16/04/08
Élongation maximale : 14/05/08 (22°)
Conjonction inférieure : 7/06/08
Élongation maximale : 1/07/08 (22°)

Vénus

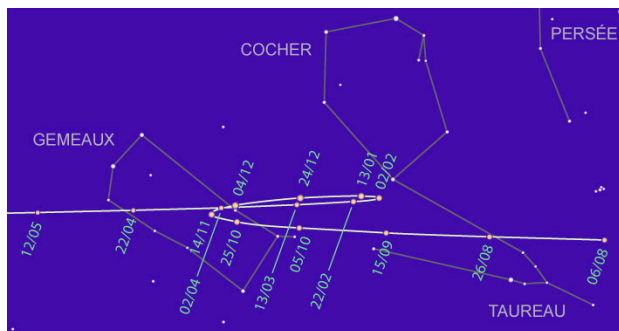
Vénus est passée entre la Terre et le Soleil en août 2007 (conjonction inférieure). Elle est actuellement bien visible le matin et pendant tout l'automne 2007. L'élongation maximale a lieu le 28 octobre (46°), elle apparaît alors en quartier dans un télescope. Elle devient ensuite de moins en moins lumineuse et semble de plus en plus proche du Soleil jusqu'à sa conjonction supérieure le 9 juin 2008. A noter quelques rapprochements avec la Lune le 9/09, le 7/10 (3°), le 5/11 et le 5/12, tous le matin.

Conjonction inférieure : 18/08/07
Elongation maximale ouest : 28/10/07 (46°)
Conjonction supérieure : 9/06/08

Mars

La planète Mars sera dans le Taureau et les Gémeaux de fin juillet 2007 à début mai 2008. Elle rétrograde dans ces deux constellations de la mi novembre à fin janvier. Il faudra profiter des mois de décembre et de janvier pour l'observer, quand elle sera au plus près de la Terre. Son diamètre

apparent sera au maximum de 16", à peine le centième de celui de la Lune. C'est une très bonne opposition car Mars sera très haute dans le ciel à son passage au méridien plein sud, ce qui réduit la turbulence atmosphérique. L'hémisphère sud sortira de l'été et la calotte polaire australe devrait être réduite. Par contre, l'hémisphère nord sortant tout juste de l'hiver, on devrait apercevoir une belle calotte boréale sur le limbe de Mars.



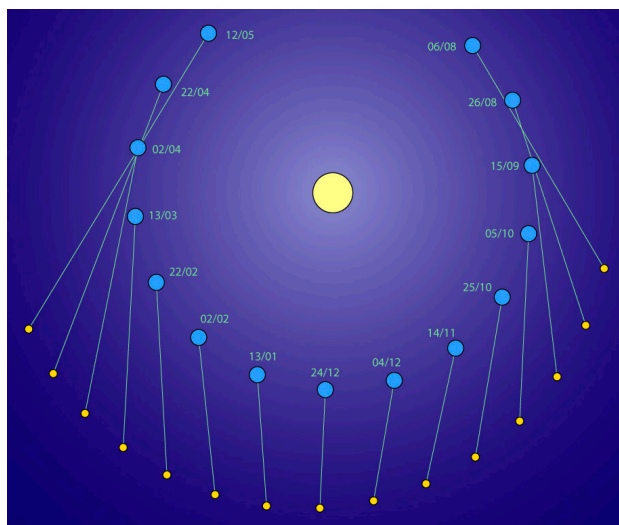
La rétrogradation de Mars en 2007-2008

15/11/07 : début de la rétrogradation.

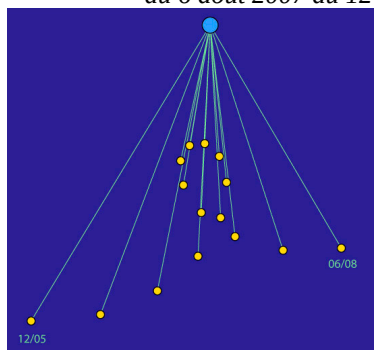
18/12/07 : passage au plus près de la Terre, Mars sera alors à 88 170 000 km (ce n'est pas exactement le jour de l'opposition à cause de la forme elliptique de l'orbite de Mars).

24/12/07 : opposition de Mars.

30/01/08 : fin de la rétrogradation.



La Terre et Mars sont représentées ici tous les 20 jours du 6 août 2007 au 12 mai 2008.



On a reporté ici la direction et la distance de Mars du schéma précédent à partir d'une Terre fixe. On explique ainsi la rétrogradation observée.

Si vous voulez faire réaliser à vos élèves ce type de schémas, voici les données nécessaires. l est la longitude éclipstique en degrés et d est la distance au Soleil en millions de km.

Terre	06/08	26/08	15/09	05/10	25/10	14/11	04/12	24/12
l	313,6	332,8	352,2	11,8	31,6	51,6	71,8	92,2
d	151,7	151,2	150,5	149,6	148,8	148	147,4	147,1

Terre	13/01	02/02	22/02	13/03	02/04	22/04	12/05
l	112,6	132,9	153,1	173,2	193	212,6	232
d	147,1	147,4	148	148,7	149,6	150,4	151,2

Mars	06/08	26/08	15/09	05/10	25/10	14/11	04/12	24/12
l	15,6	27,6	39,3	50,7	61,6	72,2	82,4	92,3
d	210,8	213,5	216,8	220,5	224,3	228,2	232	235,7

Mars	13/01	02/02	22/02	13/03	02/04	22/04	12/05
l	102	111,3	120,5	129,5	138,4	147,2	155,9
d	239	242	244,5	246,5	248	248,9	249,2

Jupiter

Jupiter est encore observable le soir en septembre et octobre 2007 mais la planète géante passe derrière le Soleil à la fin de l'année. On la retrouve le matin en février 2008. Elle commence sa rétrogradation le 9 mai et est à l'opposition cet été. Elle se trouve dans la constellation du Sagittaire pendant toute l'année 2008 et ne monte donc jamais bien haut dans le ciel des observateurs de l'hémisphère nord.

23/12/07 : conjonction de Jupiter avec le Soleil.

09/07/08 : opposition de Jupiter.

Saturne

Saturne reste dans le Lion jusqu'à la fin de l'été 2008. Elle est visible le matin à l'automne 2007, passe à l'opposition le 24/02 et sera alors observable toute la nuit. Les anneaux sont de moins en moins inclinés (entre 6 et 10°). C'est à la fin de l'été 2009 qu'on les verra par la tranche.

19/12/07 : début de la rétrogradation.

24/02/08 : opposition de Saturne.

03/05/08 : fin de la rétrogradation.

Uranus

Toujours dans le Verseau, Uranus peut être observée pendant l'automne. Le 1er octobre, elle passe au méridien à 22 h TU.

Conjonctions et occultations

7/10/07 au matin : Occultation de Regulus par un croissant de Lune avec Vénus et Saturne juste à côté. L'occultation commence un peu après 6 h TU. Regulus émerge après le lever du Soleil.

7/11/07 au matin : Mercure à 12° à gauche de la Lune

5/12 Lune Spica (plus de 2°) avec Vénus proche.
 24/12 vers 4 h La pleine Lune frôle Mars à moins de 1°.
 28/12 rapprochement Lune gibbeuse - Regulus (1°)
 Fin janvier début février 2008 le matin : rapprochement Jupiter Vénus (moins de 1° le 31/01 et le 1/02)
 9/01/08 au soir : Mercure à moins d'1° au-dessus d'un très mince croissant de Lune.
 4/02 vers 6 h Rapprochement d'un très mince croissant de Lune avec Jupiter et Vénus.
 18/02 au soir : Saturne devrait occulter une étoile de magnitude 10.
 26 et 27/02 le matin Rapprochement Mercure Vénus (environ 1°) mais les deux planètes sont très basses.
 29/02 vers 2h : le dernier quartier de Lune se lève à 1° d'Antarès.
 5/03/08 au matin : Mercure à 4° à gauche de la Lune (et à droite de Vénus).
 15/03 vers 2 h : la Lune en premier quartier se couche à un peu plus de 1° de Mars
 6/05 au soir : Mercure est à 2,5° d'un très mince croissant de Lune.
 10/05 au soir : la Lune en premier quartier se trouve entre Mars et l'amas de la Crèche (à 4° de chaque).
 12/05 au soir rapprochement Lune Regulus Saturne
 27/05 au matin (2h30 TU) : la Lune frôle Neptune
 Du 9 au 11/07 le soir : Mars et Saturne à moins de 1°.

Éclipses de Soleil

Il y aura trois éclipses de Soleil en moins d'un an mais aucune visible depuis la France.
 Eclipse partielle de Soleil le 11/09/07 visible depuis l'Amérique du Sud.
 Eclipse annulaire de Soleil le 7 février 2008 à observer depuis l'Antarctique...
 Eclipse totale de Soleil le 1er août 2008. Zone de visibilité : nord du Canada, Groenland, nord-est de l'Asie...

Éclipses de Lune

Eclipse totale de Lune le jeudi 21 février 2008 au matin. C'est la dernière totale avant le 21 décembre 2010. Entre temps nous n'aurons que des éclipses partielles ou par la pénombre.

Voici les principales données (toutes les heures sont en TU, il faut ajouter 1 h pour avoir l'heure légale) :

Date de l'éclipse	21 février 2008
Entrée dans l'ombre	1 h 43
Début de la totalité	3 h 01
Maximum de l'éclipse	3 h 26
Fin de la totalité	3 h 51
Sortie de l'ombre	5 h 09

Grandeur de l'éclipse : 1,106

Distance Terre Soleil : 147 900 000 km

Distance Terre-Lune 384 000 km

Longueur du cône d'ombre : 1 360 000 km

Diamètre de l'ombre : 9 300 km

Vitesse de la Lune : 3 400 km/h

Saisons et orbite de la Terre

Équinoxe d'automne : 23/09/07 à 9 h 51 TU

Solstice d'hiver : 22/12/07 à 6 h 07 TU

Équinoxe de printemps : 20/03/08 à 5h48 TU

Solstice d'été : 20/06/08 à 23 h 59 TU ou le 21/06/08 à 1 h 59 (heure légale)

Périhélie : 03/01/08 à 0 h TU.

Distance Terre Soleil : 147 097 000 km

Aphélie : 04/07/08 à 8 h.

Distance Terre-Soleil : 152 104 000 km

Phases de la Lune

Nouvelle Lune	Premier Quartier	Pleine Lune	Dernier quartier
11/09/07 12 h 44	19/09/07 16 h 48	26/09/07 19 h 46	03/10/07 10 h 07
11/10/07 05 h 01	19/10/ 2007 08 h 34	26/10/07 04 h 52	01/11/07 21 h 19
09/11/07 23 h 03	17/11/07 22 h 33	24/11/07 14 h 30	01/12/07 12 h 44
09/12/07 17 h 40	17/12/07 10 h 17	24/12/07 01 h 15	31/12/07 07 h 50
08/01/08 11 h 36	15/01/08 19 h 45	22/01/08 13 h 34	30/01/08 05 h 02
07/02/08 03 h 44	14/02/08 03 h 33	21/02/08 03 h 29	29/02/08 02 h 19
07/03/08 17 h 14	14/03/08 10 h 45	21/03/08 18 h 39	29/03/08 21 h 48
06/04/08 03 h 55	12/04/08 18 h 31	20/04/08 10 h 24	28/04/08 14 h 13
05/05/08 12 h 18	12/05/08 03 h 46	20/05/08 02 h 11	28/05/08 02 h 57
03/06/08 19 h 23	10/06/08 15 h 02	18/06/08 17 h 30	26/06/08 12 h 10
03/07/08 02 h 19	10/07/08 04 h 34	18/07/08 07 h 59	25/07/08 18 h 42

Passages au périhélie en 2007-2008 : 28 septembre, 26 octobre, 24 novembre, 22 décembre, 19 janvier, 14 février, 10 mars, 7 avril, 6 mai, 3 juin, 1er juillet.

Avec ces données, on peut, par exemple :

- calculer la durée de chaque lunaison et en faire une moyenne,
- comparer ces dates avec le début des mois des calendriers musulman ou chinois,
- calculer la durée écoulée entre deux phases de la Lune et comparer avec la date de passage au périhélie...

Tous ces renseignements proviennent de l'institut de mécanique céleste (www.imcce.fr) ou du guide du ciel de Guillaume Cannat (amds).

■

REMUE-MÉNINGES

Une erreur non imaginaire !

Nous avons déjà publié un casse-tête pour mettre à l'épreuve votre foi en la géométrie et en l'arithmétique (CC 102 et CC108). Voici de quoi ébranler encore un peu plus vos certitudes.

Nous partons de l'expression triviale : $\frac{-1}{1} = \frac{1}{-1}$, et nous remplaçons -1 par l'imaginaire i^2 , selon la

définition $i^2 = -1$. Ceci conduit à : $\frac{i^2}{1} = \frac{1}{i^2}$. Il ne reste qu'à prendre la racine carrée des deux membres. On obtient : $\frac{i}{1} = \frac{1}{i}$. En faisant le produit croisé de l'expression on obtient : $i^2 = 1$, ce qui est contraire à la définition ! Où est l'erreur ?

G. et Ph. Paturel

La solution de ce remue-ménings est donnée en page 40

Mots croisés

Horizontalement

I : Un des deux astronomes à l'origine du diagramme couleur luminosité.

II : Sous l'eau, paraît-il. Comme une énergie recherchée. Une pour le Soleil.

III : Elle contient le grand nuage de Magellan. Permet d'aller à l'observatoire de Strasbourg mais pas à celui de Paris.

IV : Il n'y a pas d'étoile de cette couleur. Un peu de rayonnement.

V : Il vaut mieux en avoir plus d'un pour observer. Sa double raie est bien connue dans les spectres.

VI : Comme l'amas des Pléiades.

VII : Direction du lever de Soleil au mois d'août.

VIII : À l'origine de la raie D de Fraunhofer. Flat français. Parfois interdite pour une nébuleuse.

IX : Comme l'électron.

Verticalement

1. Très courant dans l'Univers.

2. On peut y observer la Croix du Sud. Découvert par Schiaparelli sur la planète rouge.

3. Fait comme un robot martien.

4. Se déplaçant vers le haut. Après le passage du Soleil dans le plan du méridien.

5. Comme une constellation où l'on trouve les planètes.

6. Visite toute chamboulée. Nombre d'univers.

7. Au tout début de la protoétoile. Comme un astronome de Montpellier.

8. Constellation introduite par Lacaille en 1752. Tête de cheval romain. Soleil égyptien.

9. Variable de la Lyre. Fatiguai.

10. Il y en a plus d'une entre les deux composantes d'Albireo. Sa présence dans le dépôt datant de la fin du Crétacé est à l'origine de la thèse de la météorite pour expliquer la disparition des dinosaures.

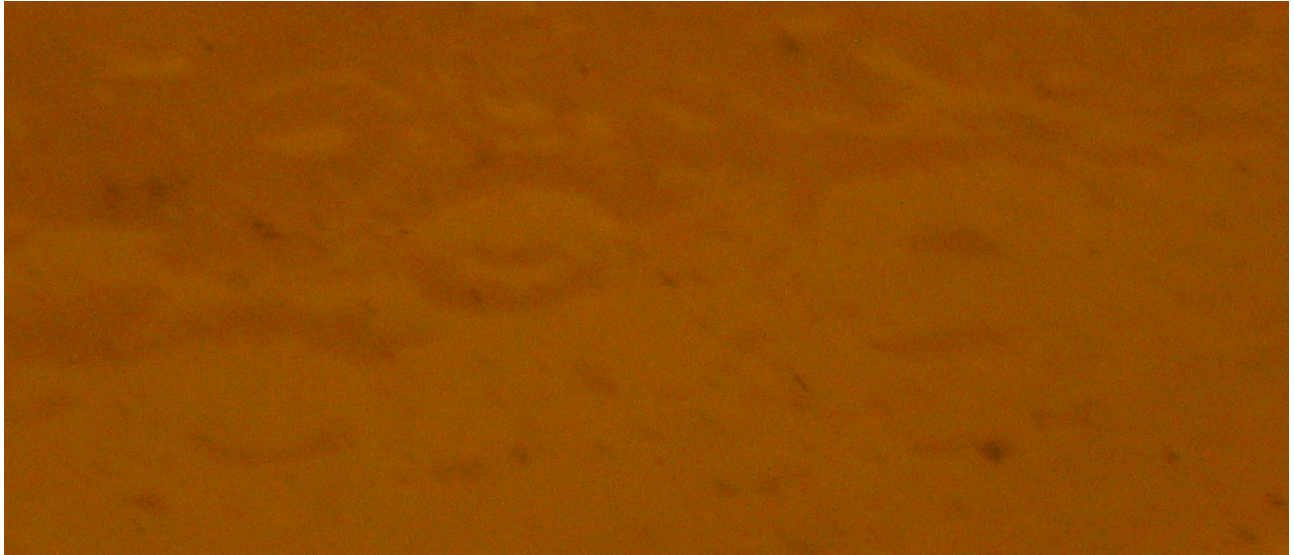
11. Origine des coordonnées équatoriales ou écliptiques. Elle marche à la baguette.

P. Causeret (La solution de ces mots croisés est donnée en page 40)■

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I											
II											
III											
IV											
V											
VI											
VII											
VIII											
IX											

Les cratères mystérieux

Quelle est cette surface constellée de cratères ?



GP. - La réponse à cette question est donnée en page 40

LECTURE POUR LA MARQUISE

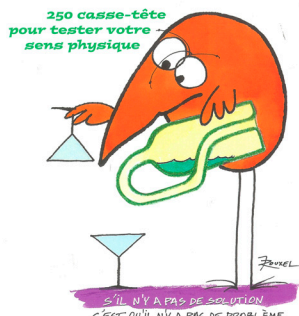
Oh, la Physique !

de Yakov Perelman, chez Dunod

ISBN 2 10 004587 3

Si vous aimez la Physique et les remue-ménages, vous devez avoir ce livre. Je ne dis pas "lire ce livre" mais "avoir ce livre", car ce livre ne se lit pas ; il se picore au fil du temps. Le lire comme un roman serait un contresens.

Oh, la Physique !



Disons quelques mots de l'auteur, Yakov Isidorovich Perelman. Il est né en 1882 à Belostock

et mort d'épuisement, en 1942, pendant le siège de Léninegrad. C'était un homme passionné par les mathématiques et la physique et, de plus, un immense vulgarisateur. Il produisit plus d'une centaine de livres ou brochures. Ses ouvrages, traduits dans plus de dix-huit langues, ont été tirés à plus de dix millions d'exemplaires.

Ce livre couvre les grandes branches de la Physique et pour chacune d'elles, il pose des petits problèmes dont la réponse est souvent à l'opposé de celle que nous pourrions donner sans réfléchir. C'est une façon amusante de piquer la curiosité du lecteur.

Voici un exemple concret de question touchant à l'astronomie (p. 204) : *"La troisième loi de Kepler est formulée de façon différente selon les manuels. Dans les uns on dit que les carrés des temps de révolutions [...] sont proportionnels aux cubes de leurs distances moyennes au Soleil. Dans les autres qu'ils sont proportionnels aux cubes des demi-grand axes de leurs orbites. Laquelle des formulations est la bonne ?"*. L'auteur donne la bonne réponse et la démontre. Je suis sûr que vous êtes déjà intéressés !

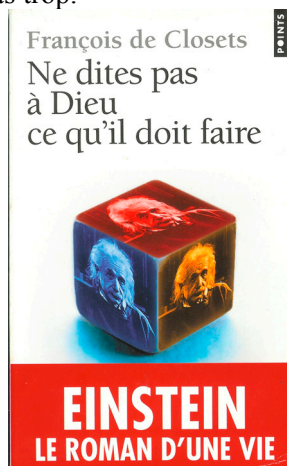
J'ai calculé que ce livre pourrait alimenter notre rubrique "remue-ménages" pendant plus de 62 ans.

GP■

Ne dites pas à Dieu ce qu'il doit faire

François de Closets aux Éditions du Seuil.
ISBN 2 02 085500 3

Je dois confesser quelque chose au sujet de ce livre sur la vie d'Einstein. Quand je l'ai vu sortir en librairie en 2005, pour l'année mondiale de la Physique (dédiée implicitement aux premières publications d'Einstein), j'ai pensé : "encore un livre journalistique qui cherche à exploiter le filon des Années Mondiales de ci ou de ça". Même si en soi ce n'est pas critiquable de faire coïncider une parution avec un événement mondial, le principe ne me plaisait pas trop.



Pourtant j'aime bien les livres de François de Closets, où son talent de journaliste, précis et complet, nous livre des analyses passionnantes de notre monde. J'ai donc acheté le livre et je n'ai pas été déçu.

Le livre débute comme un roman. C'est une façon de rendre plus vivante la biographie, mais assez vite on retrouve une narration plus traditionnelle, où se mêlent la vie personnelle du savant et l'explication de ses travaux. Les explications scientifiques sont claires, mais ce n'est pas, à mon sens, ce qui fait la valeur principale du livre.

Le livre fourmille de détails précis sur l'homme et est remarquable surtout en ce qu'il montre Einstein comme un homme ordinaire, avec ses échecs (sa thèse a été refusé deux fois et il n'a pas eu de poste universitaire à la fin de ses études), ses drames personnels (une fille, probablement abandonnée, et un divorce), ses faiblesses (la vie sentimentale agitée du savant) et bien sûr son immense génie scientifique (ce qui est moins ordinaire, je vous l'accorde), fulgurant mais aussi contesté (Einstein, à la fin de sa carrière, était considéré par certains comme dépassé par la science nouvelle).

En conclusion, je recommande chaudement cette biographie très complète à la Marquise, elle qui aime la science et les scientifiques.,

GP■

Le DVD offert aux abonnés

Les abonnés de 2007 ont eu droit au DVD des archives des Cahiers Clairaut et des Écoles d'Été du CLEA. Si vous vous êtes abonnés en cours d'année et n'avez pas reçu ce DVD, contactez-nous à l'observatoire de Lyon pour le réclamer ; nous vous l'enverrons.

Au fil des perles des enseignants, des astronomes et des autres

Un jour le pluviomètre de la station météo de l'OHP fut remplie de vin par un aimable plaisantin ! À tout hasard, je suis allé voir mon pluviomètre. Hélas rien d'anormal, sauf qu'il était gradué en mm/m² (authentique). Quelle hauteur, en millimètres, serait-il tombé sur un hectare !

Une lectrice, Madame Louis du Lycée Sonia-Delaunay à Villepreux, nous a envoyé une annonce trouvée dans le n° 340 de la revue Géo de Juin 2007 à la rubrique "Les bonnes adresses des Alsaciens" :

Vins - À déguster : des rouges d'astrologue

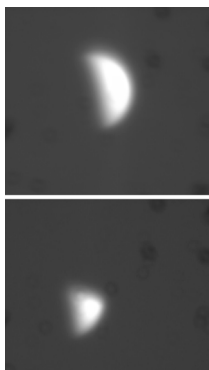
Vigneron, astrologue et apothicaire, [...] il soigne ses vignes avec des tisanes d'ortie, de prêle ou de camomille, qu'il répand [...] en fonction de la position des planètes et de la Lune !"

Mais les prix sont, paraît-il, astronomiques !



LA VIE ASSOCIATIVE

Occultation de Vénus



L'occultation de Vénus par la Lune s'est produite le 18 juin 2007. Voici quelques photos prises par Philippe Merlin au télescope de 1 mètre de l'observatoire de Lyon. Sur l'image de gauche nous voyons la photo avant l'occultation (en haut) et pendant l'occultation (en bas).

Le phénomène le plus curieux est l'observation des franges de diffraction à la fin de l'occultation. On voit bien que la lumière ne se propage pas en ligne droite.



Quelques annonces pour la rentrée

Septembre

Jérôme Lalande (1732-1807), un astronome entre service de la science et quête de la renommée

Nantes, Muséum d'histoire naturelle
Vendredi 28 septembre 2007

Contacts : quv.boistel@wanadoo.fr ; jerome.lamy@laposte.net ; colette.lelav@wanadoo.fr

Inscriptions : <http://www.sciences.univ-nantes.fr/cfv/>

Octobre

1907-2007 : Centenaire du Bup

55èmes Journées nationales
de l'Union des professeurs de physique et de chimie

Paris 26-29 octobre 2007

Une occasion rare de rencontre entre les chercheurs, les universitaires et les enseignants du secondaire

Quatre jours de conférences, ateliers, visites de musées, promenades scientifiques, expositions... à la Maison de la chimie et à l'ENCPB

Renseignements et inscription

<http://paris2007.udppc.asso.fr/>

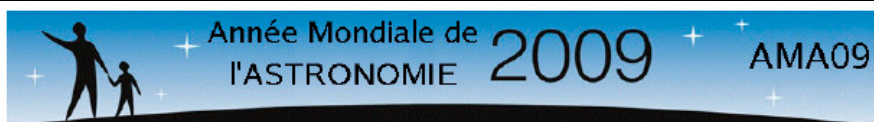
Nous vous attendons nombreux !

UdPPC : <http://www.udppc.asso.fr> - JN2007@udppc.asso.fr



Novembre

Pour les 30 ans de sa création, le CLEA tiendra son Assemblée Générale au Palais de la découverte, le 18 novembre 2007. Une conférence de notre ami André Brahic est prévue. Allez visiter notre site pour avoir plus d'informations. Venez nombreux ! <http://clea-astro.eu>



Nous allons bientôt entrer dans l'année mondiale de l'astronomie. Naturellement, le CLEA va proposer des actions. Il faut dès à présent préparer un dossier pour avoir le label AMA09. La date limite du premier appel est le 15 novembre 2007, à minuit.

Il est bon de rappeler que cette année mondiale 2009 sera une célébration des premières observations optiques de Galilée. Ceci peut donner quelques pistes pour proposer des activités. Si vous avez des suggestions, faites en part très vite à la rédaction pour qu'elles soient intégrées dans le projet en préparation.

Liste de diffusion, ou, "Comment pouvoir poser des questions et recevoir des réponses", avoir accès à des images du CLEA etc., via le Web

Les adhérents qui souhaitent être inscrits peuvent envoyer un message à : jriper@ac-toulouse.fr
C'est gratuit !

LE COURRIER DES LECTEURS

Le GPS et la Relativité Générale

Un de nos lecteurs, Mr. Claude Cavalier, nous a envoyé un enregistrement d'une interview de Jean-Claude Carrière, diffusée sur les ondes. Nous reproduisons rigoureusement l'enregistrement pour que vous puissiez vous faire une idée du sujet :

"...c'est le GPS. C'est-à-dire que quand nous prenons une voiture ou un taxi et qu'il y a quelque chose qui indique notre chemin, ça c'est directement issu des travaux d'Einstein ; mais directement. C'est une application directe de la Relativité Générale. C'est-à-dire qu'il s'agit, et c'est compliqué, de mettre en relation à travers un satellite, qui est en mouvement, qui tourne autour d'une planète, qui est en mouvement, à l'intérieur d'un système solaire, qui est en mouvement, à un taxi qui lui aussi est en mouvement? Vous voyez donc, il faut relativiser toutes les... tous les mouvements et toutes les distances de ces différents objets pour arriver à ce qu'on vous dise : à cent mètres, tournez à droite".

Notre lecteur semblait trouver que ce propos était faux. L'est-il ? D'où vient donc cette information ?

Jean-Claude Carrière est un écrivain talentueux dont les écrits transpirent l'intelligence. Si vous n'avez pas lu ou vu "La controverse de Valladolid" je vous conseille de le faire : un chef d'œuvre de finesse. Nous avons aussi commenté un livre qu'il

avait écrit avec le physicien Thibault Damour (CC103). Il s'agissait en fait d'une interview du physicien, conduite par Jean-Claude Carrière. Est-il possible que l'écrivain se soit laissé aller à dire une absurdité aussi évidente ?

Je vous livre une information que nous avait donnée Thibault Damour et qui éclaire le débat.

Pour le guidage des missiles rapides (Patriot ?) les militaires ne souhaitaient pas que soient pris en compte les petits effets de Relativité Générale, qui résultent en une variation du temps avec la gravité, donc avec l'altitude. Le résultat fut décevant. Quand les effets relativistes furent pris en compte, le guidage s'améliora. Si on s'en tient à cette information on peut dire que le GPS militaire est la première utilisation des effets de Relativité Générale dans la vie courante - si tant est que le guidage de missile fasse déjà partie de la vie courante. Je pense que c'est cette même information, probablement reçue de Thibault Damour, que Jean-Claude Carrière a expliqué dans le propos que nous relatons.

Mais pour ce qui est du guidage du taxi par le GPS commun, je crois qu'on est bien loin du compte (sauf erreur de calcul de ma part). Le propos, même s'il contient un peu de vérité, est donc très exagéré. Nous essayerons de quantifier ceci.

GP■

Solution du remue-méninges

L'erreur est de prendre la racine carré du rapport $i^2/1$. En effet, la racine carré n'est définie que sur le domaine des réels positifs. Or l'imaginaire pur i n'appartient pas à ce domaine.

G & Ph■

Solution commentée du mots-croisés

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	H	E	R	T	Z	S	P	R	U	N	G
II	Y	S		N	O	I	R	E		U	A
III	D	O	R	A	D	E		T	R	A	M
IV	R		O	L	I	V	E		R	N	M
V	O	C	U	L	A	I	R	E		C	A
VI	G	A	L	A	C	T	I	Q	U	E	
VII	E	N	E		A		C		S		F
VIII	N	A		P	L	U		R	A	I	E
IX	E	L	E	M	E	N	T	A	I	R	E

Quelques commentaires sur les mots croisés

Horizontalement

II UA = Unité Astronomique

IV Il n'y a pas d'étoile verte, une étoile ayant son maximum d'émission dans le vert est une étoile blanche, comme le Soleil.

VIII Fraunhofer avait nommé les raies d'absorption observée dans le Soleil A, B, C, D... La raie D est la raie du sodium. PLU = Plage de Lumière Uniforme pour les utilisateurs de CCD, on utilise aussi communément le terme anglais FLAT FIELD (champ uniforme).

Une raie d'émission interdite comme [OIII] est inobservable en laboratoire mais présente dans le spectre de certaines nébuleuses.

Verticalement

2. European Southern Observatory.

4. Post Meridiem.

7. Demander au secrétaire adjoint du CLEA.

8. Le Réticule (RET) est une petite constellation à côté de la Dorade.

Début d'équus, le cheval en latin (c'est un peu tiré par les cheveux, je l'admets...)

9. RR Lyrae est une étoile variable qui a donné son nom à un type de variables pulsantes.

10. La découverte d'iridium dans une couche datant de la fin du Crétacé dans diverses régions du monde est un des arguments en faveur de la chute d'une grosse météorite à cette époque là.

11. Le point gamma ou point vernal (direction du Soleil à l'équinoxe de printemps).

PC■

Les cratères mystérieux !



C'est une assiette de soupe !

En effet en laissant tomber quelques gouttes de soupe dans l'assiette on reproduit de manière saisissante la surface d'une planète. Mais attention, pas n'importe quelle soupe. Il s'agit d'une soupe poireaux et pommes de terre. Assurément c'est une façon distrayante et éducative de faire manger la soupe à ses enfants, à condition qu'ils ne veuillent pas faire des cratères trop gros !

GP■

Articles à venir (en italique les articles qui sont prêts pour le CC120)

La mesure de la vitesse de la lumière - Ces comètes qui nous font tourner la tête - Les taches solaires - Les Olympiades de physiques : Les nébuleuses ; Détection des astéroïdes - Le quart de cercle de Lalande - Les finesses de la régression linéaire - La relation Période Luminosité Couleur des étoiles variables Céphéïdes - L'orbilune. La nébuleuse du Crabe revisitée - Les ondes gravitationnelles - Le chaos - La sismologie stellaire. Le Solarscope - L'étoile laser artificielle.

Nous remercions Émilie Wernli, Anne-Marie Paturel et Chantal Petit pour la relecture de ce Cahier.