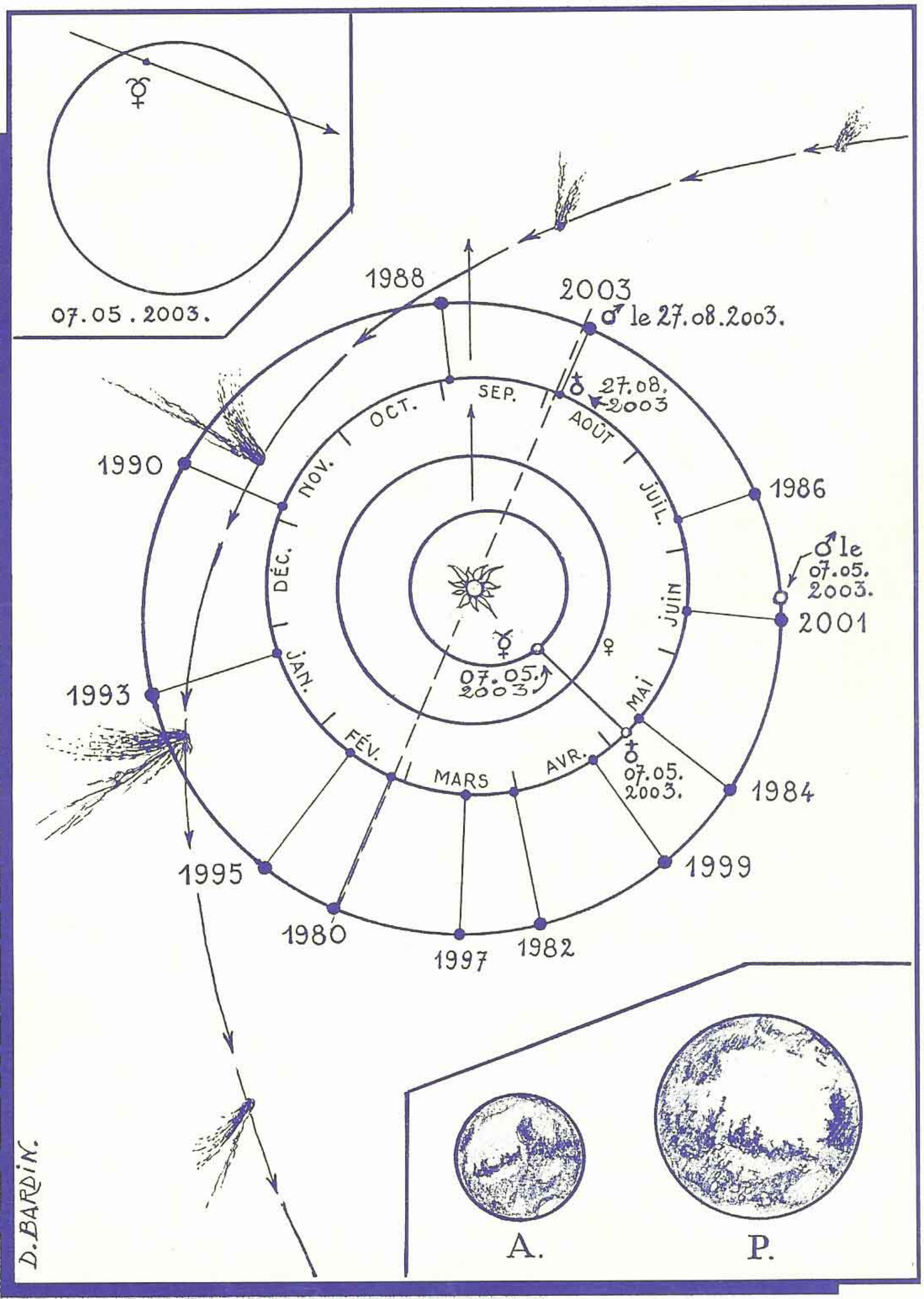
Les Cahiers Clairaut

bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes



Lect
pour
et se
His
Ré
d'o
Ar
fo
Réfle
déb
Info
élève
Vi
Tex
exer
Articles
Les potins de la Voie lactée

numéro 102 - ÉTÉ 2003

ISSN 0758-234X

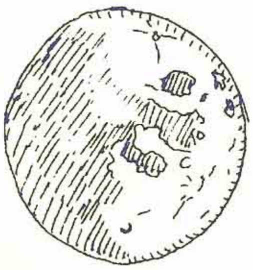
Comité de liaison enseignants astronomes

Le CLEA

Le **CLEA**, Comité de Liaison Enseignants et Astronomes, est une association déclarée (loi de 1901). Elle réunit des enseignants et des astronomes professionnels qui veulent ensemble promouvoir l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux de l'enseignement et dans les organismes de culture populaire. En particulier, ils agissent dans le cadre de la formation initiale et continue des enseignants.

Le **CLEA** organise des stages nationaux (universités d'été) et régionaux dans le cadre des MAFPEN. Ces stages sont ouverts aux enseignants de l'école primaire, du collège et du lycée. On s'efforce d'y conjuguer information théorique et travaux pratiques (observations, travaux sur documents, mise au point de matériels didactiques et recherche du meilleur usage de ces matériels, etc).

Aussi bien au cours de ces stages que dans ses diverses publications, le **CLEA** favorise les échanges directs entre enseignants et astronomes hors de toute contrainte hiérarchique.



Pour toute information s'adresser au siège du CLEA
Laboratoire d'Astronomie, bât. 470
Université Paris Sud 91405 Orsay cedex
Tel / Fax : 01 69 15 63 80
Adresse électronique : clea.astro@astro.u-psud.fr
Le CLEA est présent sur Internet à l'adresse :
http://www.ac-nice.fr/clea

Conception de la mise en page : Sophie Durand. Dessin de couverture : Daniel Bardin

Les Cahiers Clairaut

Eté 2003 n° 102

EDITORIAL

Ce numéro 102 des Cahiers-Clairaut est un numéro de transition. La disparition de Martine Bobin nous a obligés à prendre sa suite dans l'urgence. Heureusement nous avons bénéficié de l'aide de Jacky Dupré, de Frédéric Dahringer et de Michel Bobin qui nous ont aidés à récupérer ce que Martine avait déjà préparé.

L'adaptation n'a pas été facile. Aussi, nous vous demandons beaucoup d'indulgence pour les inévitables erreurs ou imperfections que vous pourrez noter, malgré le soin que nous avons apporté à la constitution de ce numéro. Cela nous a permis de mesurer le travail énorme que Martine réalisait.

Si vous avez soumis un article récemment, nous vous prions de bien vouloir entrer en contact avec nous afin que nous puissions contrôler que vos documents sont bien en notre possession.

La Rédaction -
patu@obs.univ-lyon1.fr

Reportages

Invitation au voyage : Cadrans de Turquie

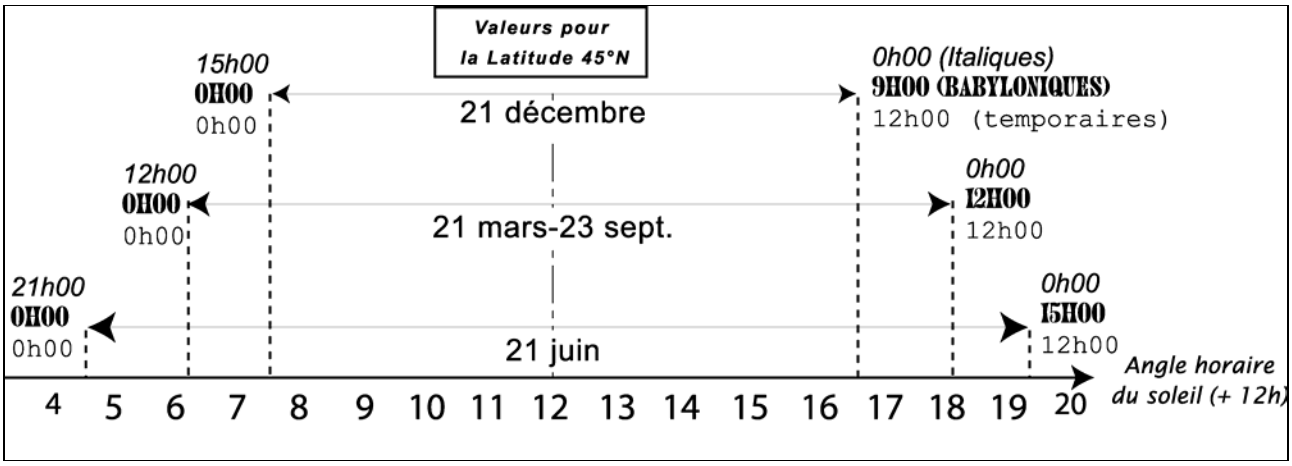
Charles-Henri Eyraud

Résumé : On comprend bien l'importance qu'avaient les cadrans solaires en visitant Istanbul. Les formes diverses reflètent la complexité de la mesure du temps, avec ses diverses définitions : les heures italiques, les heures babyloniques et astronomiques. Ces monuments allient le pratique et l'esthétique.

Mots-clefs : CADRAN SOLAIRE – TEMPS

Introduction

Les Arabes reprirent la tradition gréco-latine des « horloges solaires » placées sur des surfaces verticales ou horizontales, permettant de lire l'heure temporaire à l'aide de l'ombre d'une aiguille portée sur des graduations. Les premiers cadrans solaires musulmans furent construits dès 800 après J.C. en Andalousie, au Maghreb, en Egypte, à Bagdad et à Damas.
Le plus ancien cadran musulman, que l'on ait retrouvé, date de l'an 1000 et se trouve pour un fragment au musée de Cordoue. C'est un cadran horizontal ayant en plus des lignes temporaires (comme les cadrans gréco-romains), l'heure de la prière de l'Asr.
Le cadran horizontal construit en 1371 pour la mosquée de Damas représente un aboutissement de la gnomonique arabe : il comprend les lignes italiques et babyloniques ainsi que les différentes lignes des heures de prière. C'est un des premiers à utiliser le principe du gnomon polaire permettant la lecture des heures astronomiques sur des droites (voir aussi cadran horizontal du Topkapi et de Kairouan plus récents).
Les astronomes de Damas avaient dès les années 1300 préparé les tables des prières pour les grandes villes de l'Islam. Celles-ci furent recalculées pour les villes de Turquie par les astronomes ottomans à partir de 1400. Le premier cadran solaire d'Istanbul fut construit dans la cour de l'Université en 1473 (878 de l'Hégire) et de nombreux autres lui succédèrent.
Les cadrans les plus répandus sont verticaux et placés sur les murs sud-ouest des mosquées. L'ombre d'un gnomon horizontal est repérée sur les droites italiques et babyloniques. Parfois les lignes horaires astronomiques sont portées, permettant une lecture à l'aide d'un style polaire dont le gnomon horizontal constitue la jambe d'appui. Les lignes diurnes (hyperboles des solstices, droite des équinoxes…) souvent tracées ne sont pas repérées par une date puisque ces évènements n'ont pas lieu à date fixe dans le calendrier musulman lunaire qui dérive de 11 jours par rapport à l'année solaire.
Un deuxième gnomon horizontal donnant uniquement les heures du Dhor, du 1'Asr et du 2'Asr se trouve parfois à côté (voir cadran de la mosquée de Süleymanié).



Rappels sur les Heures italiques et babyloniques

Heures italiques: coucher du soleil à 24h (12h chez les ottomans)
Heures babyloniques: lever du soleil à 0h00
Heures temporaires (de durée variable): Lever à 0h00, coucher à 12h

Les heures babyloniques divisent le jour en *24 heures égales* dont la première débute au lever du soleil.
Les heures italiques divisent le jour en *24 heures égales* dont la première débute au coucher du soleil.
Les heures astronomiques divisent le jour en *24 heures égales* dont la première débute à midi solaire.
Sur les cadrans solaires, lorsque l'extrémité du gnomon l'ombre atteint la ligne babylonique X heures, le soleil s'est levé X heures auparavant, lorsqu'elle atteint la ligne italique Y heures, le soleil va se coucher dans 24-Y heures, lorsqu'elle atteint la ligne astronomique H, il s'est écoulé H heures depuis midi.

Les cadrans d'Istanbul

Les cadrans de la mosquée de Süleymanié (Soliman) –

Le cadran de gauche

Le style polaire n'est plus présent mais on peut voir sur les photographies le point de convergence des lignes horaires astronomiques. Celles-ci sont réduites à de petits segments sur la barre horizontale : de 12 h (midi solaire vrai) à 20 h le soir. Le réseau de courbes comprend :

- les droites italiques graduées de 5h à 12h (= coucher du soleil du système italique ottoman)
- les droites babyloniques de 6h (=lever du soleil +6h) à 14h (=lever du soleil +14h)
- les lignes diurnes : hyperbole en haut pour le 21 décembre, en bas pour le 21 juin et droite des équinoxes : ces dates ne sont pas indiquées puisqu'elles ne correspondent pas à un jour donné du calendrier musulman.
- La ligne horizontale italique des 12h est plus haute que la pointe du gnomon : il devait être droit et horizontal et il a été tordu. Pourquoi ?

Le cadran de droite

Son gnomon horizontal (il a été également tordu) montre les instants du début et de fin de la prière de l'Asr (lignes du haut surlignées 1'Asr et 2'Asr) ainsi que le fractionnement en huit intervalles de la prière du Dhor.

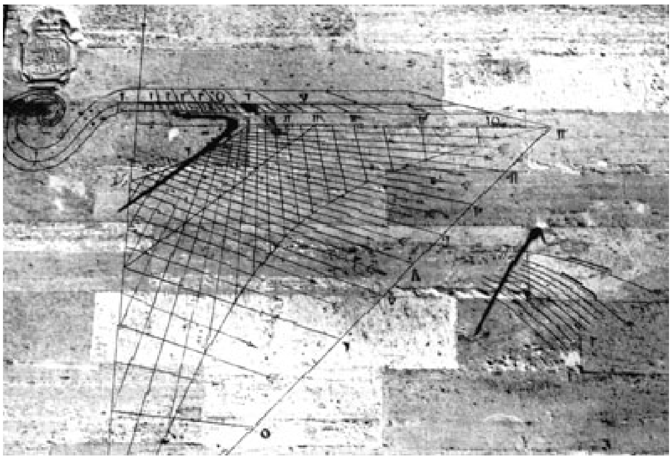


Fig. 1 : Photo des deux cadrans de la mosquée de Soliman

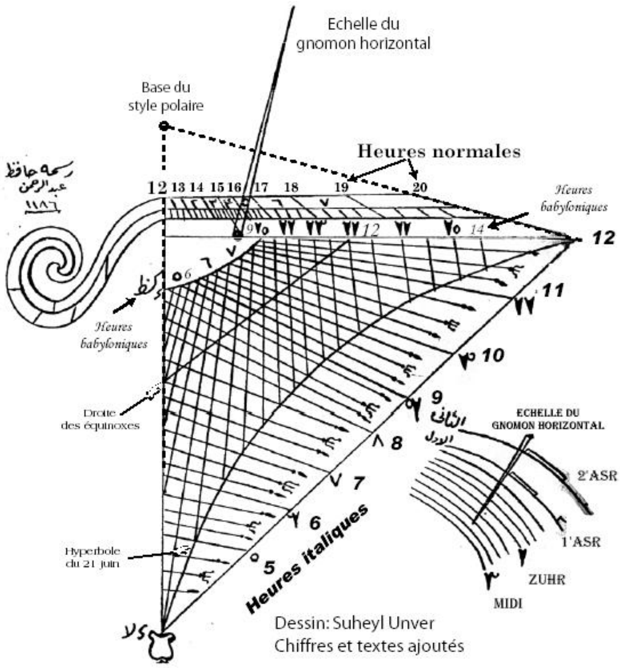


Fig.2 : Schéma des cadrans de la mosquée de Soliman.

Le cadran de « Yeni Camii »

Placé sur le mur sud-ouest de la mosquée près du pont de Galata (camii signifie mosquée en langue turque)
Le cadre de droite correspond certainement à la dédicace en usage sur ces cadrans.
Les « bulles » situées au dessus du cadran et pointant sur les hyperboles diurnes devaient contenir des symboles représentant les signes du zodiaque.
On distingue comme pour le cadran de la mosquée Süleymanié un réseau de lignes : ici les droites italiques et les lignes diurnes, se croisent avec les droites horaires normales qui convergent vers la base du style polaire.
La ligne de l'Asr dépasse curieusement la ligne diurne du solstice d'été.

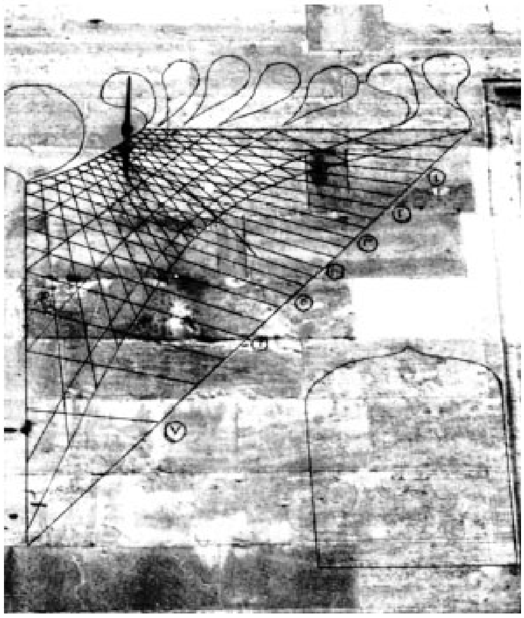


Fig.3 : Photo du cadran de la Yeni Camii

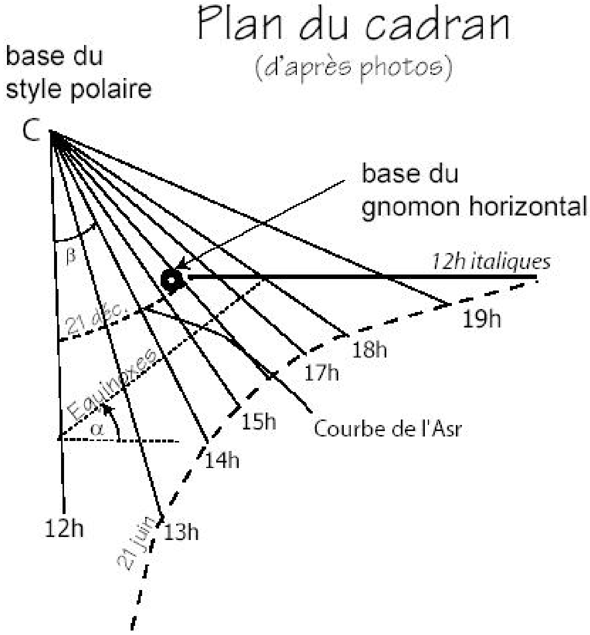


Fig. 4 : Schéma du cadran de Yeni Camii

Le cadran horizontal de la cour du Topkapi

Ce cadran est placé dans la cour de l'ancien sérail (palais du sultan)
On remarque entre les deux hyperboles les courbes italiques et babyloniques relatives au gnomon vertical.
Les segments du pourtour correspondent aux heures normales indiquées par l'ombre du fil polaire tendu (l'heure est elle même partagée en intervalles de 20mn puis de 4mn.
Le trou sur le méridien entre le gnomon et la base du fil laisse penser que dans un premier temps ce cadran comportait un deuxième gnomon et que comme pour le cadran de Kairouan on lisait l'heure sur le pourtour en prolongeant par la pensée l'extrémité de l'ombre du gnomon Nord avec la base du gnomon Sud. Il faudrait vérifier sur place que l'inclinaison de ce style fictif est bien d'environ 40° correspondant à la latitude d'Istanbul. Les dimensions prises sur la photo semblent valider cette hypothèse

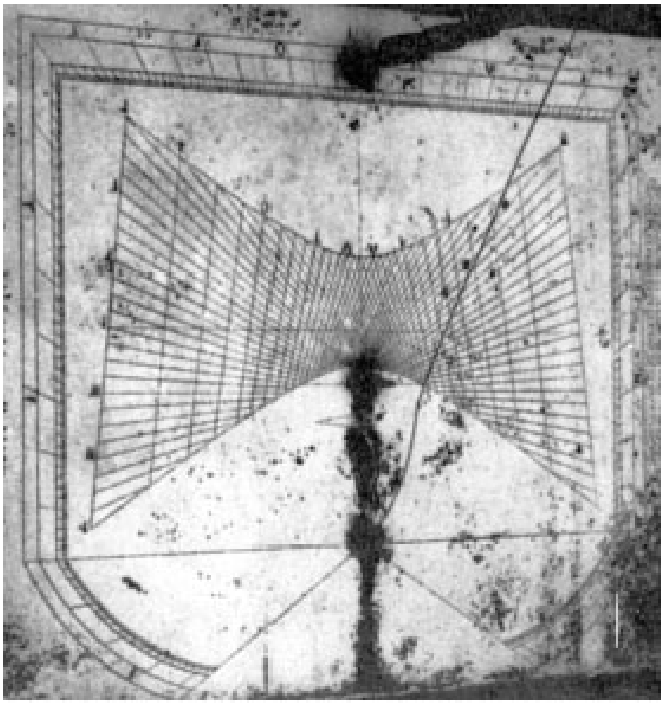


Fig. 5 : Photo du cadran de la tour de Topkapi

Photographies

René Rohr, les Cadrans Solaires,
Avec l'autorisation des Editions Oberlin, Strasbourg

Bibliographie

- Les cadrans solaires horizontaux et verticaux de Turquie, Suheyl Unver, Archives Internationales d'Histoire des Sciences, Année 7, n° 28-29, page 254 à 266
- Les cadrans solaires, René Rohr, Editions Oberlin
- Appunti per uni studio delle meridiane islamische, Giani Ferrari et Nicola Severino, polycopié de 225 pages en italien et logiciel de calcul et de dessin de différents types de cadrans musulmans sous PC à commander à G. Ferrari, Via Valdrighi, 135 41 100 Modène, Italie Email : frank.f@pianeta.it
- Le Calendrier musulman et le cadran solaire de la mosquée de Kairouan, M. Abdellati, K. Saddem, C.H. Eyraud, Cahiers Clairaut n°90, Eté 2000
- http://www.ens-lyon.fr/RELIE/Cadrans/culture/musee/ Documents/Turque.htm

Reportages

L'horloge astronomique de la cathédrale de Strasbourg revisitée

G. Paturel et P. Dubois
Observatoire de Lyon et Observatoire de Strasbourg

Résumé: Nous vous proposons une visite guidée de l'horloge astronomique de la cathédrale de Strasbourg. Le but est de vous faire découvrir une partie des merveilles techniques qui font de cette horloge un objet unique, fruit du génie mécanique et astronomique de J-B. Schwilgué.

Mots-clefs : REPORTAGE - TEMPS - CALENDRIER

Si vous passez par Strasbourg un détour par la cathédrale vous enchantera pour peu que vous aimiez l'astronomie et la belle mécanique horlogère. Une première description vous avait été proposée par J.-M. Poncelet dans les Cahiers Clairaut (CC 38, page 3). Nous allons revisiter cette horloge extraordinaire ou plus exactement nous allons donner des éléments pour guider la visite. En effet, si l'on va voir cette horloge sans préparation on risque de passer à côté des détails intéressants. Nous commencerons donc par un bref rappel historique, puis nous détaillerons l'horloge actuelle en parlant des innombrables détails techniques qui émaillent cette œuvre. Nous nous sommes largement inspirés du livre « Les trois horloges astronomiques de la cathédrale de Strasbourg » de H. Bach et J.-P. Rieb publié aux éditions Ronald Hirlé.

1. Quelques éléments historiques.

La conservation du temps a toujours été un problème important pour l'homme civilisé. Ce furent les cadrans solaires qui furent utilisés tout d'abord puis les sabliers et les clepsydres (sortes de sablier à liquide), les lampes à huile ou les cierges. Au XIII^{e} siècle fut inventée l'horloge dite « à foliot ».

La première horloge de Strasbourg, construite vers les années 1350, était de ce type. Il s'agissait d'un système à échappement classique, mais au lieu que l'avancement dent par dent ait été commandé par un pendule, il était commandé par un balancier oscillant. Le réglage s'effectuait en modifiant le moment d'inertie du balancier. La figure 1 montre le principe de ce système, déjà très évolué.

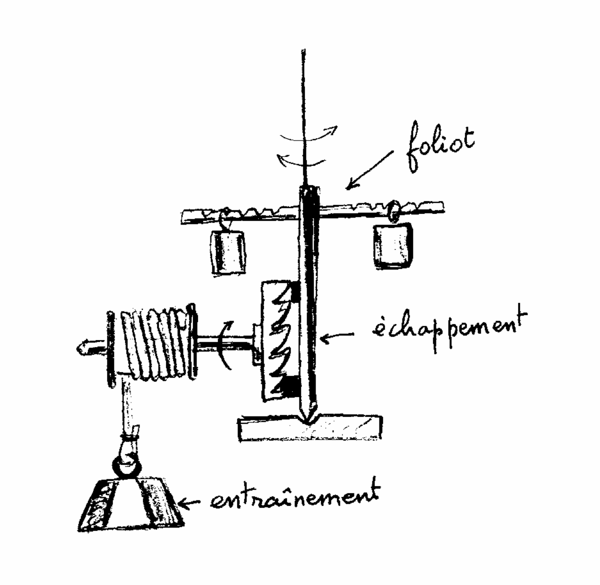


FIGURE 1 : Le mécanisme de l'horloge « à foliot ». La différence avec une horloge classique est que le balancier n'a pas de période propre.

Cette première horloge était placée sur le mur faisant face à l'horloge actuelle. On devine encore son emplacement. Elle donnait déjà le mouvement apparent du Soleil autour de la Terre.

La deuxième horloge fut calculée par le mathématicien Dasypodius et réalisée par deux horlogers, les frères Habrecht, en 1574, plus de deux cents ans après la première. En 1656, une modification majeure fut apportée en adjoignant un pendule à balancier pour en régulariser la marche. La figure 2 illustre le principe du nouveau mécanisme.

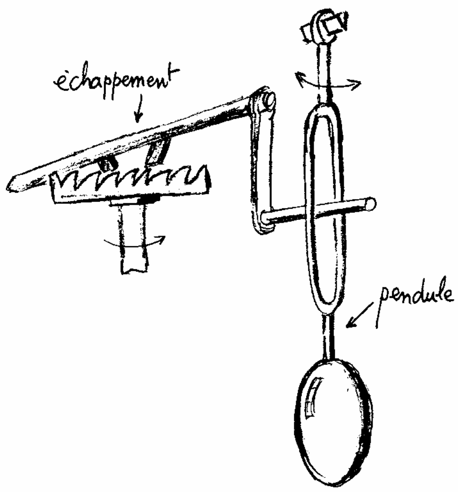


FIGURE 2 : Le pendule à balancier assure la régulation du mouvement.

La troisième horloge, celle que vous verrez aujourd'hui, ressemble extérieurement à la seconde, car le buffet qui en est l'habillage externe, a été conservé presque à l'identique.

Elle fut l'œuvre d'un autodidacte remarquable, Jean-Baptiste Schwilgué. Apprenti chez un horloger, il acquiert une bonne notoriété en réalisant plusieurs horloges remarquables, ce qui l'amène à être reçu par Louis XVIII. Sa notoriété grandit encore. Il est sollicité pour réparer l'ancienne horloge de Dasypodius. Il ne propose rien moins que de reconstruire tout le mécanisme. Il a 61 ans quand on lui confie le travail. On lui octroie un délai de trois ans pour achever les travaux. S'il parvient à remplir son contrat, c'est qu'il s'y était préparé de longue date en formant des ouvriers et en réalisant des machines propres à l'aider.

A la figure 3 nous donnons une représentation de l'horloge. Les éléments que nous allons détailler y sont notés. Une photographie donne l'aspect réel.

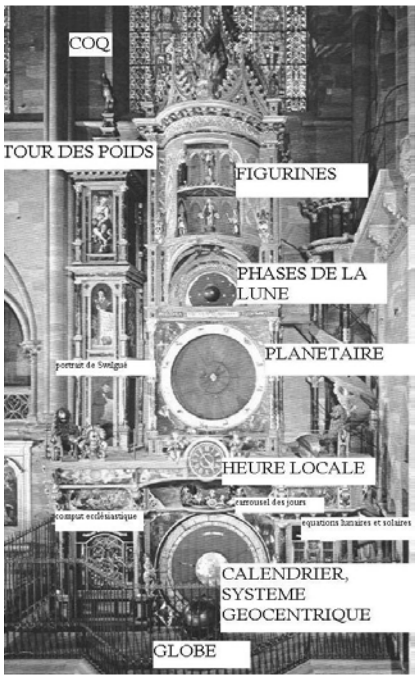


FIGURE 3 : Photographie de l'horloge montrant les différents éléments (photo tiré de la brochure de R. Lehni, éd. La goélette).

2. Les détails de l'horloge actuelle.

La tour de gauche contient les poids d'entraînement : cinq poids de 50 kilogrammes chacun.
Le portrait de Schwilgué figure sur cette colonne, sous celui de Copernic et de la déesse Urania. La tour est couronnée par un coq automate qui chante à midi, en battant des ailes, grâce à un astucieux système mécanique et pneumatique.

Le cadran du bas donne le mouvement apparent du Soleil et de la Lune, les heures de lever et de coucher du Soleil, les éclipses de lune et de soleil, les jours de la semaine, la date de Pâques. Donnons quelques explications.
Le Soleil et la Lune tournent autour de la Terre, placée au centre. Symétrique du Soleil par rapport à la Terre, un disque noir représente l'ombre de la Terre (voir figure 4). On pourrait s'attendre à ce que la Lune passe devant le Soleil ou derrière le disque d'ombre à chaque tour. Eh bien non !
En effet, la tige qui supporte la Lune a une longueur variable, ajustée, le cas échéant, pour que la Lune éclipse le Soleil ou soit éclipsée par l'ombre de la Terre. A la figure 4 nous montrons le détail de l'éclipse du 15 Février 1961. A la périphérie de ce grand cadran, tous les jours de l'année apparaissent, précédés d'une lettre, la lettre dominicale. Un cadran situé sur la gauche donne la lettre dominicale de l'année en cours, Vous pouvez donc savoir immédiatement où se trouvent les dimanches. Le dimanche de Pâques est mentionné en clair. Ce n'est pas un mince exploit que de calculer par un moyen mécanique la date de Pâques si on se rappelle que la définition est la suivante : Pâques est le premier dimanche qui suit la première pleine lune à partir du 21 mars et, lorsque cette pleine lune tombe un dimanche, la date est reportée au dimanche suivant.
Un mécanisme compliqué situé derrière le cadran insère le jour marqué « Pâques » au bon endroit et ajoute un jour pour les années bissextiles.
Toutes les informations liées aux dates religieuses sont affichées dans le « comput ecclésiastique » : épactes (nombre de jours entre le premier janvier et la nouvelle lune précédente), lettre dominicale, indiction (datation des bulles pontificales), cycle solaire (cycle de 28 ans au bout duquel les jours de la semaine reviennent identiquement) et le nombre d'or (cycle de 19 ans au bout duquel les phases de la Lune reviennent identiquement).

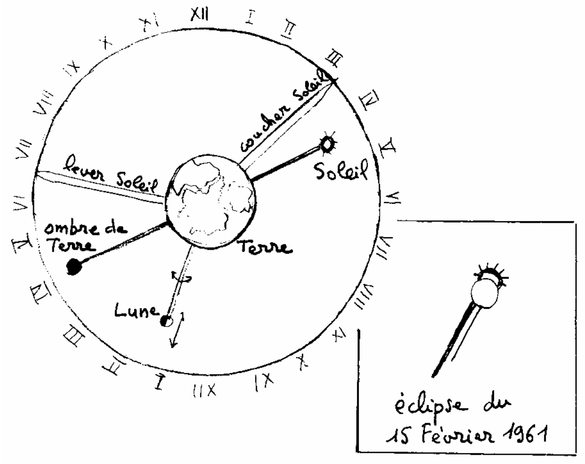


FIGURE 4 : Le système géocentrique. La Lune passe éventuellement derrière l'ombre de la Terre ou devant le Soleil, comme en 1961 (encadré).

Au-dessus de ce premier cadran, le carrousel des jours de la semaine fait défiler les figurines : Apollon pour le Soleil (dimanche), Diane pour la Lune (lundi), Mars (mardi), Mercure (mercredi), Jupiter (jeudi), Vénus (vendredi) et Saturne (samedi).

Au-dessus encore, se trouve l'horloge qui donne le temps solaire moyen pour Strasbourg. C'est le temps qui serait déterminé avec le Soleil si ce dernier avait une orbite parfaitement circulaire. C'est aussi le temps universel mais décalé de la longitude du lieu, soit environ 30 minutes de temps. Ne vous étonnez donc pas si ce cadran semble indiquer une heure inexacte.
A côté, un angelot retourne un sablier toutes les heures (ou tous les quarts d'heure) et un autre fait tinter une cloche tous les quarts d'heures.

Au-dessus de cette horloge flanquée d'angelots, se trouve un autre grand cadran, le planétaire héliocentrique. Il montre les planètes principales : Mercure, Vénus, Terre (et Lune), Mars, Jupiter et Saturne.

Au-dessus encore, un globe figure la Lune avec sa phase du moment. Nous voyons instantanément si nous sommes en période de pleine lune, de nouvelle lune ou autre. Sur la photo, le globe est en période de nouvelle lune (lune sombre).

Enfin tout en haut, des figurines défilent. Les différents âges (enfant, adolescent, adulte et vieillard) passent devant la mort tous les quarts d'heure. A midi, les douze apôtres passent devant Jésus-Christ et le coq chante trois fois.
En avant du buffet, au niveau du sol, se dresse normalement un globe céleste montrant la position des constellations et des principales étoiles par rapport à la Terre. Quand nous avons visité la cathédrale le globe était en cours de réfection et n'était donc pas visible. Pour illustrer encore le souci du détail, Schwilgué a pris en compte la précession des équinoxes. L'axe de rotation terrestre décrit lentement un cône, à raison d'un tour tous les 26000 ans ! Depuis la construction, la rotation a été de moins d'une dent d'engrenage. Nous promettons de venir vérifier plus tard que la précession se fait à la bonne vitesse.
Deux passages successifs d'une même étoile au méridien sont séparés de 23h56min de temps et définissent 24 heures de « temps sidéral » (rappelons que cette différence de 4 minutes provient du fait que notre temps est défini en prenant le Soleil comme référence. Or, la Terre tournant autour du Soleil, la différence est de un tour (24 heures) par an, soit 24/365.26= 0.066 heure par jour, ou encore 4 minutes par jour). Le temps sidéral est donc également fourni par l'horloge de la cathédrale de Strasbourg.

3. Quelques détails techniques.

La difficulté de conception d'une horloge astronomique réside dans la représentation de mouvements périodiques dont les périodes sont dans des rapports non entiers alors que les roues dentées sensées produire le mouvement ont un nombre de dents entier. Nous allons voir comment Schwilgué réussit à résoudre cette difficulté.

Le mécanisme fondamental est un pendule battant la seconde. La perfection de la réalisation est telle que la dérive ne dépasse pas 40 secondes par an. Si on croit cette estimation, l'horloge serait plus précise qu'une montre à quartz.

Cette remarquable précision s'explique par plusieurs perfectionnements. Tout d'abord les dents des engrenages ont une forme qui leur permet de rouler les uns sur les autres, sans frottement (voir la figure 5). Il n'y a donc pas de cause de ralentissement incontrôlé. Par ailleurs, le couple qui agit sur la roue d'échappement est maintenu presque constant par un astucieux mécanisme de ressort compensateur. L'horloge n'a donc pas de raison d'accélérer si la force d'entraînement vient à diminuer. Le balancier du pendule est compensé pour absorber les variations de température. Pour cela, le bras du balancier est fixé au centre du disque pendulaire et le bras est constitué de métaux différents, dont les coefficient de dilatation maintiennent constante la longueur effective du pendule. La figure 5 fera comprendre le principe d'une telle compensation.

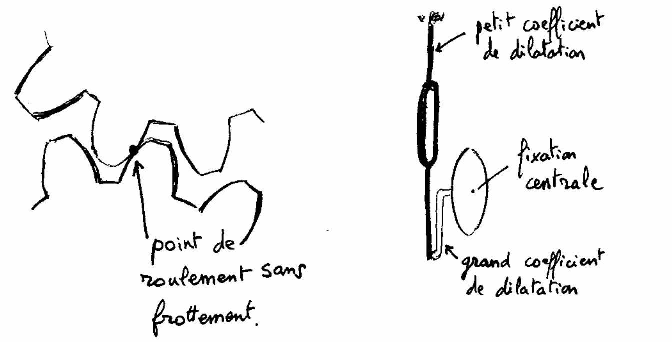


FIGURE 5 : Principe des engrenages a roulement sans frottement et du balancier de longueur constante par dilatations compensées.

A partir de cette base de temps, toutes les périodes vont être réalisées par des combinaisons d'engrenages, donc de nombres entiers.
Ainsi, la période de révolution de la Terre autour du Soleil est réalisée par la combinaison suivante :
$P = (156\times188\times269) / (9\times10\times10) = 365{,}2422$ tours au lieu des 365.26 attendus pour faire une année. L'erreur n'est que de 4.2 secondes de temps par jour.
Cette durée fondamentale P est utilisée ensuite pour produire les période de révolution des planètes :
Mercure : $P\times(44\times134)/(240\times102)= 87.97$ jours (c'est la valeur admise).

Vénus : P×(17×221)/(197×31)= 224.70 jours (c'est la valeur admise).
Mars : P×(95×213)/(203×53)= 686.93 jours (la valeur admise est 686.98).
Jupiter : P×(157×232)/(96×32)= 11.86 années (c'est la valeur admise).
Saturne : P×(161×212)/(58×20)= 29.42 années (la valeur admise est 29.46).

On voit que la précision est, dans le plus mauvais cas, de l'ordre de un pour mille.

Pour le mouvement de la Lune, Schwilgué utilisa un système à vitesse différentielle. La figure 6 illustre le principe. La période de révolution lunaire comptée en prenant le Soleil comme référence de direction (c'est ce qu'on appelle la « période synodique » par opposition à la « période sidérale » comptée en prenant une étoile lointaine comme référence de direction) est obtenue comme suit. Pour une révolution terrestre, la lune effectue le nombre de tours suivant : (312/24)×[1 – (83×14)/(122×196)] = 12.368266 (voir la figure 6 pour le calcul de la vitesse différentielle). Ce qui donne une période synodique lunaire de : P/12.368265 = 29,53059 jours, ce qui est d'une précision meilleure qu'une fraction de seconde.

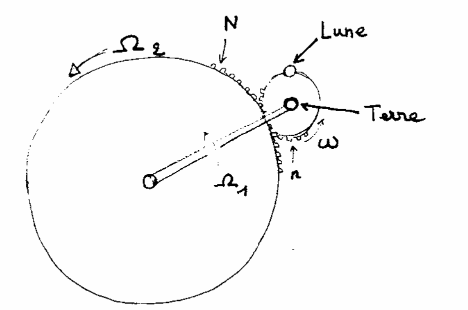


FIGURE 6 : Principe de la réalisation du mouvement orbital de la Lune autour de la Terre.

$$\varpi=(\Omega_1 -\Omega_2)N/n$$
$$P_{Lune} = 2\pi/\varpi = 2\pi/[\Omega_1(1-\Omega_2 /\Omega_1) N/n]$$
$$P_{Lune} = P_{Terre} / (1-\Omega_2 /\Omega_1) N/n$$

Mais Schwilgué ne s'en est pas arrêté là dans sa quête de la perfection. Il a pris en compte les anomalies du mouvement du Soleil et de la Lune. Les anomalies principales proviennent évidemment du fait que les trajectoires sont des ellipses et non des cercles. Pour la Lune s'y rajoutent les effets de la trajectoire Terre-Soleil et de l'inclinaison du plan de la trajectoire lunaire par rapport à l'écliptique. Si le dernier effet est habilement corrigé par une roue dentée inclinée (voir l'article de Poncelet cité en introduction), les autres anomalies ne relèvent plus de mécanismes classiques. Un empilement de plateaux à cames réalise une sorte de décomposition en série, comme le ferait une série de Fourier, des plateaux de grandes amplitudes pour les termes les plus importants jusqu'aux plateaux de faibles amplitudes pour les corrections mineures (voir la figure 7 tirée du livre de Bach et Rieb). Une façon de transmettre la correction à un axe tournant, consiste à utiliser un engrenage à denture oblique. En élevant ou en abaissant le pignon d'entraînement, la roue subit une accélération ou une décélération faisant tourner l'astre un peu plus vite ou un peu moins vite. Ce mécanisme est visible dans la vitrine nommée « Equations solaires et lunaires ». Le pignon à denture oblique est visible sur la gauche de cette vitrine et à la figure 7.

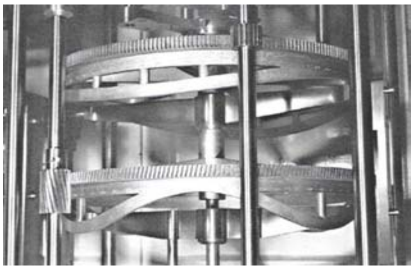


FIGURE 7 : Photographie des plateaux à cames réalisant les corrections des anomalies solaires et lunaires (d'après Bach et Rieb, éd. R. Hirlé).

Il nous reste un dernier détail à expliquer. Pour régler l'horloge sur la marche vraie du Soleil, il faut de temps à autre observer le Soleil au méridien.
Pour cela, une ouverture circulaire pratiquée dans la porte latérale de la cathédrale (sur la droite de l'horloge) projette un rayon lumineux sur une méridienne verticale, graduée en fonction de la date. Il est très facile de faire coïncider le midi de l'horloge avec le midi solaire.

4. Conclusions

Après cette visite nous restons confondus devant une telle accumulation de merveilles mécaniques. Pour en savoir plus sur les aspects techniques et historiques, l'ouvrage de Bach et Rieb est très complet et vraiment remarquable. La petite brochure de Lehni, vendue au kiosque de la cathédrale, met plus l'accent sur les décorations et les sculptures, qui en elles-mêmes constituent aussi un chef d'œuvre. Elle comporte de très belles photographies du buffet.

Que fallait-il comprendre dans le dessin de G. Paturel ?

Céline Brunon

Je vais vous expliquer ce que m'a inspiré le dessin de G. Paturel, paru dans les Cahiers Clairaut n° 98, 2002, p. 25, où l'on voit un extraterrestre qui imagine la formule $e=mc^2$ en regardant une pomme tomber.
On raconte que, pendant la peste de 1665-1666, Newton tranquillement assis, au fond de son jardin de Woolsthorpe, vit tomber une pomme, ce qui déclencha ses réflexions étonnantes. En effet, simplement à travers la chute d'une pomme, Newton a fondé sa fameuse théorie de la gravitation. Mais est-ce une légende ? Nul ne le sait. D'ailleurs, certains scientifiques comme Gauss n'y croyaient pas ! Le dessin de G. Paturel pourrait servir de légende à la phrase de Pasteur : «Le hasard ne sourit qu'aux esprits éclairés».

En effet, un phénomène anodin peut permettre à chacun de penser à des choses complètement différentes et même de voir bien au-delà. On peut penser que dans un autre monde, la pomme peut servir de support de pensée pour une autre théorie.

« Il fallait être Newton pour remarquer que la lune tombe quand tout le monde voit qu'elle ne tombe pas » P. Valéry.
Pour en savoir plus sur Newton et sa pomme, lisez l'article ci-après de M.-L. Spagnol.

Article de fond

L'EXPERIENCE DE CAVENDISH

I - De l'observation astronomique à l'expérience de laboratoire

Marie-Laure Spagnol
Observatoire de Lyon

Résumé : Dans cette série d'articles nous allons retrouver le cheminement qui a conduit à la détermination de la constante de la gravitation universelle G.
Dans ce premier article, nous verrons comment les astronomes sont arrivés lentement à l'idée de l'existence d'une force d'attraction entre tous les corps. Dans les articles suivants, nous décrirons l'expérience de Cavendish et l'expérience de Boys qui toutes deux conduisirent aux premières déterminations de cette constante fondamentale. Nous relaterons aussi notre réalisation de cette expérience qui est d'une difficulté extrême.

Mots-clefs : GRAVITATION - EXPERIENCE - HISTOIRE

Introduction

Les constantes universelles régissent toute la physique. Leurs valeurs, exprimées dans les unités fondamentales, sont imposées aux physiciens par la nature. Elles sont capitales dans l'homogénéisation et dans la quantification des lois de la physique. La constante de gravitation universelle **G** fait partie de ces constantes fondamentales. Elle établit l'homogénéité dans la loi de I. Newton entre la force, les masses et les distances.
La gravitation est partout ; en tout point de la Terre nous ressentons ses effets et observons ses conséquences. C'est elle qui nous fait garder les pieds sur Terre. Elle est aussi responsable de la forme des trajectoires des astres célestes.

Aujourd'hui, cette force universelle nous paraît évidente. En réalité elle n'a été comprise quantitativement qu'à partir du XVII^{e} siècle par I.Newton qui bouscula ainsi la vision de l'univers de l'époque basée sur des explications philosophiques et des résolutions géométriques. Mais, comment la théorie de Newton et toutes ses conséquences, se sont-elles imposées face aux modèles implicites de l'antiquité ?

La physique est une science exacte fondée sur une confrontation des théories avec l'expérience. La loi de la gravitation de Newton décrit parfaitement des observations faites à l'époque mais son auteur ne chercha pas à la quantifier plus précisément.
Il faut attendre environ un siècle pour que Henry Cavendish détermine le paramètre reliant la force d'attraction au produit des masses divisé par leur distance au carré, c'est-à-dire la constante de la gravitation universelle G.

Cette mesure requiert un dispositif expérimental complexe qui sera amélioré par la suite mais le principe novateur restera.
On peut s'interroger sur les raisons de cette expérimentation tardive. La raison tient sans doute à l'extrême difficulté d'une telle mesure. La valeur précise est encore mal connue et sa détermination suscite encore l'intérêt des physiciens.

Ebauche d'une théorie par Aristote et ses successeurs.

Les premières interrogations sur l'origine des forces remontent à l'antiquité, lorsque les Grecs commencent les premières réflexions sur la chute des corps et sur les lois qui en découlent, régissant l'univers.
Les corps célestes sont classés en trois catégories : les *Luminaires*, comme la Lune ou le Soleil, les *Planètes* dont le mouvement est circulaire et les *Etoiles* qui sont fixes sur la sphère céleste.
Par simple observation du ciel, les astronomes constatent que les corps célestes ont un mouvement 'circulaire'.
Aristote (Stagire 384 avant J.-C. – Chalcis 322 avant J.-C.), dans une œuvre de plusieurs dizaines de volumes, aborde des domaines très variés de la science, comme la physique, la botanique, la médecine. Il va développer un modèle basé sur l'observation et le raisonnement intuitif.

La grande préoccupation de l'époque est la chute des corps. Aristote postule de manière subjective, que les corps les plus lourds sont ceux qui subissent la plus grande attraction de la part de la Terre.
Il base sa réflexion sur deux qualités absolues : le lourd et le léger. Il distingue les corps légers, comme le feu, auxquels sont associés un mouvement vers le haut et les corps lourds, comme la Terre, dont le mouvement est dirigé vers le bas. Pour lui, tout corps possède un mouvement qui lui est propre, exprimant sa tendance à rejoindre son milieu «naturel».

Selon cette théorie, le monde possède deux parties distinctes :

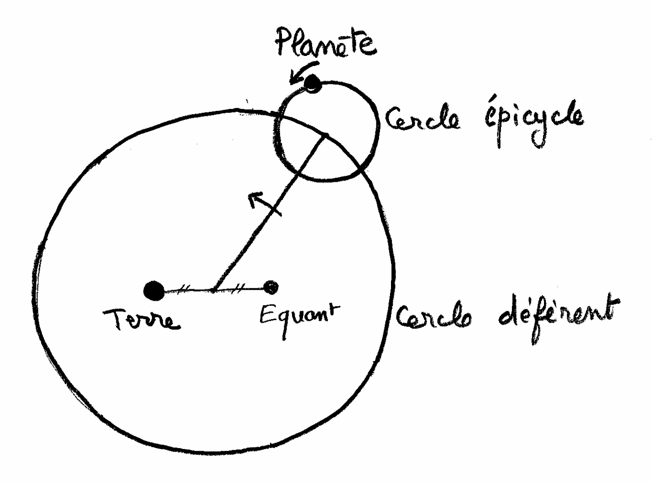
- Le monde *sublunaire* (ou terrestre), imparfait et changeant, composé des quatre éléments : la Terre, l'eau, l'air et le feu.
- Le *cosmos* : représentant le monde céleste, parfait et éternel, constitué de la Lune, du Soleil, des planètes et des étoiles.

Ces deux mondes se différencient par leurs degrés de perfection et permettent de décrire avec cohérence l'univers par rapport aux observations faites à l'époque.
L'univers est basé sur cette séparation absolue entre les deux mondes mais aussi sur deux autres principes fondamentaux :
- La Terre est immobile au centre de l'univers.
- Les seuls mouvements célestes possibles sont des mouvements uniformes.

Aristote pense que le fait de ne pas ressentir les effets engendrés par le mouvement de la Terre, démontre qu'elle est immobile dans l'univers et que les astres se déplacent sur des sphères célestes tournantes centrées sur la Terre. Plus tard, l'église, grande puissance politique et culturelle, adopte la théorie d'Aristote. Contredire cette vision du monde, revient à combattre l'Eglise. C'est pourquoi la théorie d'Aristote fut si longtemps conservée.
Certes, un astronome grec, Aristarque de Samos, eut l'idée, contradictoire par rapport à la théorie d'Aristote, que le soleil était au centre de l'univers et par conséquent que la Terre tournait autour de lui une fois par an. Il inventa même une méthode lui permettant de calculer les distances relatives de la Terre à la Lune et de la Terre au Soleil. Mais il fut conduit à conclure que le Soleil était plus gros que le Péloponnèse et pour cette raison il fut bannit.

Par la suite, l'alexandrin Claude Ptolémée (100-170), encore un astronome grec, va s'appuyer sur la vision aristotélicienne de l'univers géocentrique pour obtenir la position des astres (comprenez des planètes). Il propose dans son «Almageste», une quantification précise des mouvements avec un système mathématique cohérent qui restera incontesté pendant près de quatorze siècles. Dans sa description de l'univers, les astres décrivent des grands cercles, les cercles *Déférents*, et afin de reproduire plus précisément le mouvement des

planètes, il ajoute des combinaisons de petits cercles, les épicycles.
Ce système lui permet de prévoir des phénomènes comme les éclipses de Lune et de Soleil.
Ce système sera amélioré mais aussi compliqué par augmentation du nombre d'épicycles afin d'être en accord avec les observations.



A.C. Ptolémée constate que la vitesse d'une planète n'est pas uniforme sur son orbite, il va donc placer les centres des cercles *Déférents*, à mi-chemin entre la Terre et un point particulier, le point d'*Equant*. Par conséquent le centre de l'orbite des planètes n'est plus rigoureusement la Terre. Ceci représente, de fait, une première contradiction par rapport au strict principe géocentrique de l'univers. Ce système permet néanmoins de construire des tables astronomiques précises pour la navigation et l'élaboration du calendrier.
La période du moyen âge, qui suivit, ne fit guère progresser la mécanique et la vision d'Aristote fut conservée.

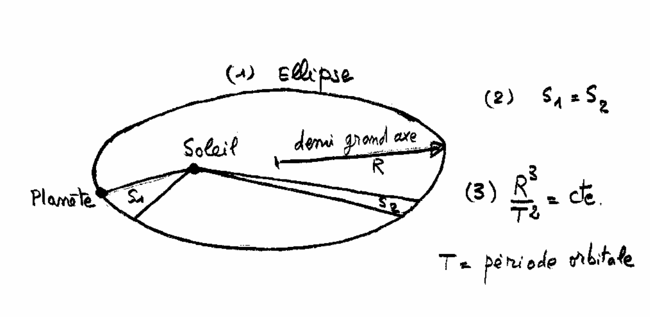
Les prémisses d'une nouvelle vision de l'univers

Il faut attendre Nicolas Copernic (1473 – 1543), un chanoine astronome polonais, pour révolutionner cette vision du monde.
Il s'intéresse au calendrier, mais aussi au problème du point d'*Equant*. Il est le premier à étudier le système héliocentrique qui simplifie les calculs. Mais pour expliquer l'alternance du jour et de la nuit il faut faire intervenir la rotation de la Terre sur elle-même. La Terre ne serait donc ni immobile, ni au centre du monde. Contrairement à ce que l'on pense, il ne démontre pas l'héliocentrisme, son argumentation est simplement basée sur le fait que ce modèle est plus simple et plus logique.
Malgré toutes ces avancées, Copernic avait encore une grande question :
Si la Terre tourne sur elle-même et se déplace à travers l'espace, pourquoi est-ce que nous ne ressentons rien ? Pour répondre à cette question, il faudra attendre les grandes découvertes de Galilée.
On comprend mieux pourquoi Galilée a introduit le principe affirmant que « *le mouvement est comme rien* ».
Copernic écrit un ouvrage «De Revolutionibus Urbium Coelestium» où il expose ses hypothèses d'un univers héliocentrique. Ce livre passe inaperçu, aux yeux de l'église mais aussi de la communauté scientifique, jusqu'à ce que certains savants voulant développer ses idées, le fasse connaître.

Parmi eux, Tycho Brahé (1546-1601), un grand observateur et constructeur d'instruments de grandes précisions, observe une conjonction entre Saturne et Jupiter. Il constate que les tables astronomiques de N. Copernic, fondées sur le modèle héliocentrique, prédisent le phénomène avec plus de précision que celles de Ptolémée. Avec l'aide de Kepler, il crée des tables astronomiques basées sur l'observation.
Il remet en cause les théories d'Aristote en observant une comète en 1577, où il constate que les sphères célestes n'existent pas car la comète n'appartient pas au monde sublunaire et son orbite coupe celles des autres planètes. Il met donc en défaut la théorie d'Aristote basée sur deux mondes distincts.

Képler (1546-1601) est un mathématicien doté d'un grand intérêt pour l'astronomie. Il impose un nouveau système héliocentrique où il introduit des polygones fondamentaux inscrits dans les sphères : il géométrise l'espace.
Il découvre, à partir des observations de Tycho Brahé, que les orbites des planètes ne sont pas des sphères mais des ellipses dont le soleil occupe l'un des foyers.
Il énonce ses trois lois célèbres :

1) Chaque planète décrit, dans le sens direct, une ellipse dont le soleil occupe l'un des foyers.
2) La ligne qui joint le Soleil à la planète balaie des surfaces égales en des temps égaux.
3) Le carré de la période de révolution divisé par le cube de la distance au Soleil est une constante. Elle est la même pour toutes les planètes : T^2/R^3=constante.



Ces lois ne s'appliquent pas uniquement aux planètes en mouvement autour du Soleil mais aussi à la Lune qui tourne autour de la Terre (mais la constante de la troisième loi est alors différente).
Dans ces lois, Kepler met en relation les paramètres de position et de vitesse. En réalité, il anticipe sur la notion de la gravitation sans l'établir car il lui manque des principes fondamentaux de la mécanique. Il est convaincu qu'une force d'attraction s'exerce entre deux corps, mais il ne sait pas l'expliquer car à cette époque la seule force attractive à distance connue est la force magnétique.
Mais, malgré ces avancées scientifiques qui confirment les observations, le système de Ptolémée reste en vigueur, car il est conforme à la doctrine de l'Eglise.

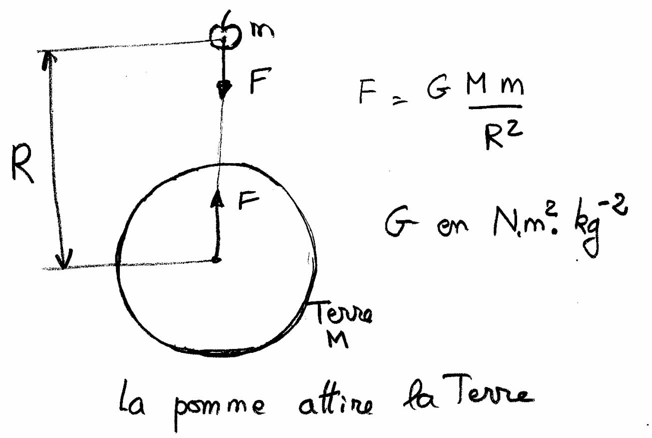
Galilée (Pise 1564 – Arceti 1642), est un physicien et un astronome Italien, que l'on reconnaît comme le père de la physique moderne. Il impose le rôle décisif de l'expérience et des mathématiques. Il enseigne l'astronomie *officielle,* conformément à la volonté de l'église, bien qu'il soit convaincu par la représentation de l'univers de Copernic et Képler. Il va chercher des arguments qui permettent de la démontrer et de la faire adopter.
Il utilise la lunette astronomique, qui lui permet de faire des grandes découvertes en ce qui concerne le monde céleste. En observant la Lune et Jupiter il découvre trois petites étoiles qui gravitent autour (les satellites de Jupiter). Il obtient ainsi la preuve que la Terre n'est pas au centre de tous les mouvements célestes et que sa nature n'est pas différente de celle de Jupiter. Il n'y a donc plus deux mondes distincts, c'est une contradiction au modèle d'Aristote.
Il étudie la chute des corps avec la célèbre expérience de la tour de Pise dont il déduit que le temps de chute est le même pour tous les corps quel que soit leur poids, leur taille et leur nature. C'est-à-dire que la vitesse de la chute libre est la même pour tous les corps. Il n'y a donc plus de léger ou de lourd, tous les corps possèdent un principe interne qui les dirige vers le bas et nous savons aujourd'hui qu'il s'agit de la gravité.
Par l'expérience, il découvre la notion de force et formule le principe d'inertie. Il a l'idée d'une force de frottement, en constatant que si l'on peut réduire les frottements, le corps conserve son mouvement. C'est ainsi qu'il fit la première formulation du principe d'inertie : Tout corps possède une certaine *inertie* qui l'oblige à conserver sa vitesse, à moins qu'une force extérieure, une force de frottement par exemple, ne l'oblige à arrêter le mouvement. C'est une loi capitale qui touche toute la physique et permet de faire des grandes avancées.
Il postule les mêmes lois sur la Terre et dans le ciel, ce qui révolutionne la physique et l'astronomie, mais ce qui lui valut les ennuis que l'on sait avec l'Eglise.

Pour avoir affirmé que la Terre n'est pas immobile, il fut jugé et assigné à résidence jusqu'à la fin de ces jours dans la banlieue de Florence.
Néanmoins, il réussit à faire imposer le système Copernicien et ses grandes découvertes permettent la compréhension de la gravitation.

Bouleversement de la mécanique par Newton

Dès la parution des écrits de Galilée «discours et démonstration mathématique concernant deux sciences nouvelles », René Descartes (1596 – 1650), lui reproche de ne pas avoir cherché les causes fondamentales des effets qu'il a observés mais qu'il a simplement pris des cas particuliers. Il défend un modèle plus unitaire, d'un monde entièrement mécanique et géométrique. Descartes explique le mouvement circulaire des planètes comme un équilibre entre une force attractive par le Soleil et une force répulsive, ce que l'on appelle aujourd'hui la force inertielle (ou centrifuge).
Depuis quelques années, une grande question anime le monde scientifique : Quelles est la force qui oblige les planètes à tourner autour du Soleil selon le mouvement décrit par les lois de Kepler ?

Isaac Newton mathématicien et physicien anglais (Woolsthorpe 1642 – Kensington 1727), bâtit toute une théorie qui répondra à cette question. Il est considéré comme l'un des plus grands scientifiques de l'histoire. C'est une rencontre avec Edmond Halley, astronome et mathématicien, qui l'encourage à reprendre ses recherches sur la gravitation universelle. Newton étudie la théorie cartésienne et parallèlement Robert Hooke travaille aussi sur le mouvement des planètes. Contrairement à ce que l'on peut penser, c'est Robert Hooke, qui, partant de l'idée d'une force répulsive, a l'idée d'une force attractive en $1/R^2$. Mais c'est Newton qui l'exploite et en tire toutes les conséquences. Après de nombreuses disputes entre les deux hommes, qui ne s'apprécient guère, Newton développe, non seulement le mouvement circulaire des planètes mais aussi sa théorie de la gravité universelle et de la mécanique.
Avant l'élaboration de sa théorie, il veut une confirmation expérimentale de la loi en $1/R^2$. C'est ce qu'il fait avec la célèbre et mythique anecdote de la pomme : obligé d'interrompre l'étude de sa théorie à cause de la peste de 1665 –1667, Newton rentre chez lui à Woolsthorpe. En voyant une pomme tomber dans son jardin, il se pose la question : *Pourquoi la pomme tombe sur la terre alors que la lune ne tombe pas* ? C'est la force d'inertie qui compense la chute (voir CC95 p. XVIII) et permet à la Lune de tomber vers la Terre sans jamais l'atteindre.
Newton publie en 1687 «Philosophia Naturalis Principia Mathématica » (principe mathématique de la philosophie naturelle). Ce livre marque un tournant dans l'histoire mais il est responsable d'incidents car Robert Hooke déclare que Newton lui a volé l'idée centrale : deux corps s'attirent avec une force inversement proportionnelle au carré de la distance.
Newton en déduit les lois régissant le mouvement des objets célestes.
1) Première loi ou loi d'inertie : Tout objet en état de mouvement rectiligne et soumis à aucune force extérieure, conserve son mouvement, dans un repère galiléen.
Cette loi est la re-formulation du premier principe énoncé par Galilée. Elle implique que les planètes n'ayant pas un mouvement rectiligne, sont soumises à une force.
2) La relation fondamentale de la dynamique : $\mathbf{F}=m\cdot\gamma$ (γ est le vecteur accélération). La résultante des forces qui s'exercent sur un corps est égale au produit de la masse m par l'accélération.
3) Loi de l'action et de la réaction : si un corps A exerce sur un corps B une force F alors B exerce sur A une force opposée –F.

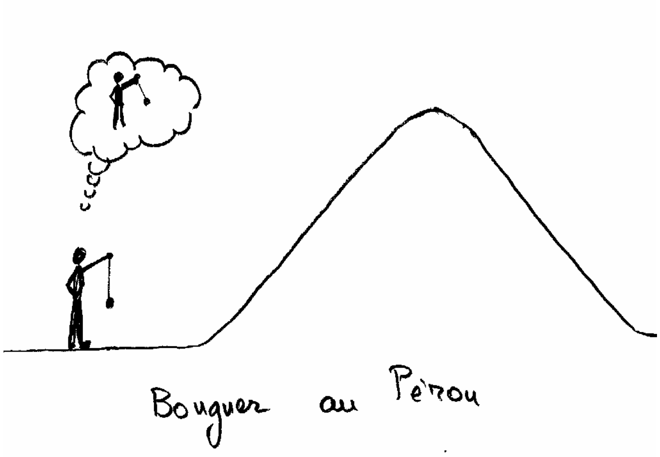


Quant à la force de gravitation, dont le postulat de départ est sa forme en $1/R^2$, elle est caractérisée d'universelle car elle devrait être valable pour deux corps quelconques de masse M et m placés à une distance R l'un de l'autre. Sa forme finale est : $F=G\cdot m\cdot M/R^2$, où G est la constante de gravitation universelle exprimée en $N.M^2.kg^{-2}$ pour rendre l'équation homogène du point de vue dimensionnel. A partir de cette force et avec les trois lois qu'il a énoncées, Newton peut retrouver les lois de Képler et décrire le mouvement des planètes. De nombreuses autres prédictions viendront progressivement conforter cette première théorie de la gravitation (mouvement de la Lune, explication des marées etc.…). C'est le résultat de mille années de recherches, de controverses, d'affrontements. Cependant, nul n'est encore capable de prédire l'intensité de cette force car la constante G n'est pas connue.

Confirmation par l'expérience

Newton montre mathématiquement et «logiquement» sa théorie de la gravitation universelle, mais il ne la valide pas concrètement par l'expérience. En effet, Newton n'a pas pour but de quantifier la loi mais plutôt de faire des grandes avancées physiques. Il a quand-même pensé à deux méthodes qui permettent de mesurer la constante de gravitation universelle G :
- Par l'observation des perturbations que font, sur la gravitation, certaines portions de la Terre comme les montagnes.
-Par la création de ce qu'on appelait à l'époque une planète artificielle. Il s'agissait en fait simplement de deux masses dont on se proposait de mesurer l'attraction réciproque.

Le géophysicien Pierre Bouguer (1698-1758), essaye la première méthode préconisée par Newton. Il essaye de mesurer la faible variation de la position d'un fil à plomb au voisinage de la masse d'un volcan des Andes. C'est ce qu'il fait au péril de sa vie lors de l'expédition racontée par F. Tristram (voir CC95, p20). Cette expérience est un échec car les déviations obtenues sont trop faibles. Il est intéressant de constater que son but était de déterminer la densité de la Terre.



Cette méthode est reprise par deux anglais Nevel Maskelyne et Charles Hutton en 1755. Ils font des expériences concluantes au pied d'une montagne en Ecosse. Ils déterminent aussi la densité de la Terre et la trouve égale à 4,5 à 5. La force d'attraction entre deux masses est très faible, il faut donc attendre l'arrivée de nouveaux moyens techniques sensibles pour pouvoir mesurer cette force de très faible intensité. La vérification expérimentale commence grâce au travail de John Michelle qui est repris par Henry Cavendish (1798). Ce dernier, veut lui aussi trouver la densité de la Terre, mais, de fait, il prouve, par une expérience de laboratoire, la théorie de la gravitation énoncée un siècle auparavant par Newton. Par la suite, Sir Charles Vernon Boys, confirmera les expériences de Cavendish en montrant que la miniaturisation du montage, loin de faire perdre de la précision, permet au contraire d'améliorer les résultats. C'est ce que nous relaterons dans les prochains articles.

Remerciements

Nous remercions B. Sandré et A. Petit qui nous ont communiqué de très précieux documents sur les expériences de Cavendish et de Boys. Je remercie également G. Paturel pour son aide dans la rédaction de cet article.

Histoire

Peiresc

Jean Ripert

Résumé: Suite à l'article paru dans les Cahiers Clairaut n° 101, Jean Ripert nous fait découvrir l'œuvre de Peiresc qui fait des observations tout à fait remarquables rivalisant avec celles faites par Galilée à la même époque : les phases de Vénus, Saturne, Jupiter… Peiresc contribue aussi à préciser les cartes géographiques de l'époque.
Nous vous laissons le plaisir de découvrir cette œuvre magnifique et souvent mal connue.

Mots-clefs : HISTOIRE - ASTRONOMIE

Quelle fut son œuvre scientifique ? Comme le dit Pierre Humbert : "Peiresc, un amateur". Amateur, il le fut dans le sens qu'il n'approfondissait pas complètement les sujets qu'il abordait. Peut-être à cause de son manque de connaissances mathématiques ou de son caractère. Mais quel amateur fut-il ! Il avait une admiration pour tout ce qui existe. Il aimait observer, noter, comparer, classer et sa soif de connaissance ne sera jamais assouvie.
Il s'intéresse à tout ce qu'il rencontre : la neige, le foudre, il mesure la vitesse du mistral, il recueille des fossiles et des roches et note la forme géométrique des cristaux. Les plantes le passionnent. A Belgentier, il cultive, il acclimate, il greffe. Son jardin comporte d'innombrables fleurs (narcisses, anémones, tulipes) et arbres (60 espèces de pommiers). Il introduit en Provence le néflier du Japon, le jasmin jaune, la jacinthe, la patate douce d'Afrique. Belgentier a même connu des bananiers. Les capucins avec qui il est en relation, lui procurent aussi bien des textes en hébreu que des plantes exotiques. Il importe des chats d'Angora, en fait l'élevage et les offre à des amis ou les échange contre des documents ou des informations. Il étudie l'alzaron animal venu de Tunisie ressemblant au bœuf et au cerf. Peiresc observe les mœurs des caméléons, leur mort l'affecte. A la grande surprise des villageois, il fera amener à Belgentier pour les étudier, peser, dessiner, un crocodile et un éléphant. Il reçoit de ses nombreux informateurs des détails sur les mœurs d'animaux vivant en Afrique, en Guinée ou à Java.
Dans une lettre à Malherbe du 15 juillet 1608, il parle de pluie de sang tombée dans la région, pluie importante ….
" mesmes qu'on asseure que les laboureurs qui cultivoyent la terre ce jour-là par toute la playne de Maillannes, feurent contraints de quitter la besongne du grand effroy qu'ils heurent de se voir ensanglantez d'une sorte de tache qui ne se peult effacer en aucune façon. …"
Peiresc observe : "la tasche ne se ternit point comme le fait le sang, …" ; " … et qui pis est, s'il y a une pierre qui advance en dehors en toute muraille, c'est au dessoubs de tel advancement que se treuve la goutte de sang, hors de l'usaige et de touite contenance de la cheute de pluye. …" ; " quelques-ungs ont creu que ce soit de fiante de papillons dont il en passa grand nombre ces jours passez. …"
Peiresc observa qu'un papillon enfermé par lui dans une boite, déposait une liqueur rouge. Il avait

tous les arguments (ou presque) pour découvrir que le "sang" était le muconium laissé par les vanesses en sortant de leur chrysalide, mais il n'y parvint pas ce jour-là : "pour moy, je ne sçay qu'en croire ..."

Les yeux des animaux l'intéressent beaucoup, il en dissèque un grand nombre pour essayer de comprendre le mécanisme de la vision. Dans une lettre du 11 avril 1614 (ou 1624), il donne des détails sur son expérimentation et ses conclusions.

"Nous avions eu le dimanche matin un grand poisson de ceste espèce que nous appelons des Tons, dont la grosseur des ieux me feu venir l'envie d'en voir l'Anatomie pour y faire des expériences de la réfraction des Rayons conversion des espèces des images par delà l'humeur crystalin .... Monsieur le prieur de la Valette fu de la patie avec Mr. Gassend et vous responds que nous passames quelques heures avec un bien grand plaisir, nonobstant que je feusse un peu (.....) d'un rhume (.....) mais mon mal m'estoit insensible dans le contentement des observations que nous faisions autour de ces yeux, donc ces mess. demeurèrent grandement satisfaits et grandement désireux d'en faire d'autres expériences pour plus grande vériffication d'une imagination que je leur avois cõmuniqué longtemps y à Et qu'ils avoient eu peine de m'accorder que cõme l'humeur Crystalin fait renverser les images qui passent à travers ( ) , aussi la concavité du fondz de l'oeil ( ) doit faire nécessairement une seconde convertion et redresser les images, selon les esfects que nous voyons tous les jours en toute sorte de miroirs concaves qui est chose dont le pauvre Kepler et le P. Scheiner et le S^r ( ) qui est venu aprez tous eulx, ne s'estoient point encore ( ), n'ayant peu comprendre par quel moyen nous voyons droites les figures qui passent devant nos yeux, ..."

Voilà donc Peiresc, Gassendi et Gaultier prieur de La Valette (près de Toulon), qui au vu d'un gros poisson décident sur-le-champ d'en étudier l'œil. Ils vont vérifier une "imagination" proposée par Peiresc. Bien qu'ils eurent quelque difficulté à la fin de leurs expérimentations parce que "ceste eau noire nous eschappoit en ouvrant l'oeil", ils réussissent à constater que le cristallin renverse les images.

Figure 1 : Gassendi

De par sa forme, le fond de l'œil doit aussi les renverser comme un miroir concave. D'ailleurs n'est-il pas recouvert "d'une matière ou substance qui a un lustre quasi cõme celluy du métal ( ) et que ceste mesme tunique nage dans une eau noire qui fait cõme une boue fort capable, non seulement de noircir, mais de rendre l'effect du miroir ..."

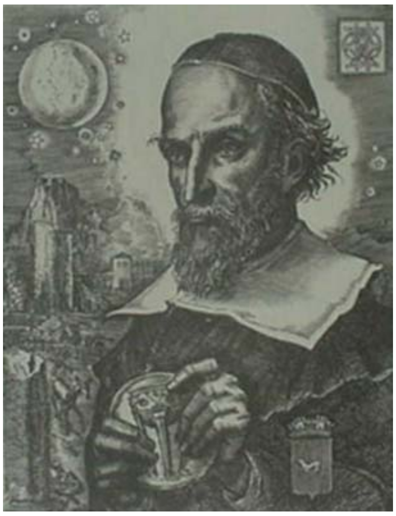


Figure 2 : Peiresc à Belgentier. Gravure réalisée par Albert Decaris pour le quadricentenaire de la naissance de Peiresc.

Les images sont donc renversées deux fois et projetées à l'intérieur de l'œil. Il suffit donc de les capter.

".... Là où finit le nerf optique, il se continue une espèce de nerf diaphane qui se va insinuer à travers l'oeil contre l'humeur crystalin (où c'est qu'abboutit le point de redressement des rayons et par conséquent des espèces) d'où il se tirera de belles conséquences quelque jour."

De nos jours, cela paraît enfantin, mais la démarche est logique. Puisque nous voyons les objets à "l'endroit", cherchons ce qui dans l'œil renverse deux fois les images. Remarquons que "l'explication" de la vision n'est pas recherchée par la pensée, mais par des expériences. Nous sommes au siècle de Galilée, le siècle de l'expérimentation.

Dans les notes manuscrites de Peiresc, se trouve la description d'une "lunette" qui est l'ancêtre du microscope. S'il en avait fait un dessin, c'eut été, d'après un chercheur de l'université de Tübingen, le plus vieux schéma connu d'un microscope.

" le dimanche 2 may 1622 J'ay veu une LUNETTE qui grossit un (....) cõme une grosse mouche, de l'invention de CORNELIUS DREUBELSIUS ou DREBELIUS ou DREUBELS d'Alcmar en Hollande grandement versé aux mécaniques, qui se vante d'avoir fait le mouvement perpétuel soubs l'emp[r] Rodolphe, et de l'Alchimie .... Et qui depuis s'est retiré en Angleterre où il est entretenu par le Roy de la grande Bretagne .... Sa lunette est de la longueur d'un (.....) ou environ cõme un canon d'escrittoir, elle est de cuyvre doré et s'assemble de trois pièces et s'allonge plus ou moins selon quelque esloignement des objects bien petits. Elle à du costé de l'oeil, cõme un petit entonnoir peint de noir dans lequel il y a un trou de la largeur d'une petite ongle, à deux doigts du quel trou est enchassé un verre convexe des deux costez et portion d'un assez petit globe.

A l'autre bout est serty, ou (.....) un moindre tuyeau qui n'a pas plus de diamètre que le tiers de l'autre, ni de longueur plus d'un demy doigt. A l'extrémité duquel est enchassé un autre verre, plat du costé qui regarde le convexe, et rond du costé qui regarde l'object, recouvert de cuyvre, de sorte qu'il n'en paroit qu'un trou, si petit qu'une grosse espingle le pourroit amplir. Il dit qu'il n'est pas vray convexe régulier, ni concave, et que ce n'est pas de simple verre cõmun, ainsi que pour le rendre plus clair, quand il est fondu et preste à se congeler, il y verse dessus certaine autre matière qui le clarifie. .....

Cest instrument s'enchassoit dans un petit cercle de cuyvre doré porté par trois petits pieds arrestez sur un petit plot cõme si c'estoit la molette d'une escrittoire, et entre le plot et la lunette il avoit une petite placque ronde noire et mobile sur laquelle il mettoit les objects. Et les mouvoit çà et là pour les rapporter au vray poinct ou tomboit le rayon de la veüe. Il choisissoit une assiette ou le soleil illuminast l'object, sans importuner en le regardant.

Au surplus l'object s'y voyoit à la renverse, en sorte que si les animaulx cheminoient à droite à les voir de plein oeil ; il sembloit à travers cela, cheminer à gauche. ..."

Cette lunette est présentée à Peiresc au faubourg Saint Germain par Abraham Kuffler, frère du gendre de Drebbels. Peiresc prend sûrement de notes car il décrit avec minutie l'appareil, et donne en détails les observations qu'il a faites de "mites" du fromage, de (grillets), de pulce et d'araignées. Il est surpris et enthousiasmé par tout ce qu'il découvre. Il y avait de quoi, imaginons ce regard nouveau sur le monde.

Mais ce sont ses observations astronomiques qui ont fait sa renommée.

Au début du 18ème siècle les observatoires étaient inexistants en Europe. Celui de Tycho Brahé avait été détruit, la Tour de Copenhague date de 1656, l'observatoire de Greenwich de 1666 et en 1667 on posa la première pierre de l'observatoire de Paris. Avec la découverte de la lunette, nombreux sont ceux qui veulent "voir" et installent leur observatoire. Pierre Humbert en a dénombré 23 à Paris de 1610 à 1667. Peiresc fait construire à l'étage supérieur de sa maison une galerie, la plus haute de toute la ville d'Aix (près de cent marches de haut). Il y installera des instruments d'optique, une mappemonde et des lunettes.

Avant la découverte de la lunette, on s'intéressait surtout à l'astronomie de position. Les mesures de hauteur d'astres se faisaient à l'aide de quadrants

de cuivre ou de bois, une alidade mobile sur une graduation, permettait la mesure. Les angles entre les astres se mesuraient à l'aide de bâtons de Jacob (abalestrilles). C'était des appareils incommodes, imprécis et capricieux ; et pourtant en les utilisant certains obtinrent de bons résultats.
Autre problème : l'heure. Les horloges n'étaient pas assez régulières. Certains astronomes utilisaient des clepsydres, d'autres préférant mesurer l'heure à partir de la hauteur des astres. Certains utilisaient cette méthode pour vérifier la bonne marche de leur horloge pendant leurs observations. Pour la navigation, s'il était difficile de faire le point depuis le pont d'un navire, il était encore plus difficile "d'emporter l'heure". Il faut remarquer que c'est au cours du 17ème siècle qu'auront lieu les découvertes de l'horloge à balancier (juin 1657 Huygens), du ressort spiral, du sextant, du micromètre (dec. 1666 Auzout ou W Gascoigne 1619-1644 ?) qui suivait la "virgule" utilisée par Huygens dès 1659.
Les premières observations de Peiresc datent de 1604. En effet cette année-là, il observe la conjonction de Mars, Jupiter et Saturne, phénomène qui se produit que rarement. Au cours de ses observations, il fait une découverte. Voilà un passage modernisé de la lettre qu'il écrit à Paolo Gualdo (20-02-1605).
" du petit bourg de Belgentier, en octobre, je m'aperçus de la nouvelle étoile près de Jupiter. Mais sans carte, ni instrument mathématique, je crus que c'était une planète. Je n'avais pas remarqué qu'elle scintillait ce qui me fit juger que c'était une étoile fixe bien que sa grandeur me parût extraordinaire en ce lieu."
Il est bien dommage que Peiresc ne mentionne pas la date exacte de son observation. Il s'agit en effet de la nova de 1604 qui apparût dans Ophiucus. Il a peut-être été le premier à la voir. Cette découverte revient à Bruno Wickius qui l'a observée le 10 octobre 1604 depuis Prague. Fabricius l'a observée régulièrement à partir du 13 et Kepler en laisse, à partir du 17 une description, jusqu'à sa disparition début 1606.
A l'époque, on observait le déplacement des planètes parmi les fixes. Imaginons le bond en avant qu'à permis la découverte de la lunette, non seulement en repoussant les limites du visible, mais surtout en permettant de "redécouvrir" les planètes.
Dès 1538, Frascator avait remarqué le pouvoir grossissant d'une combinaison de deux lentilles.
G. B. della Porta (napolitain visité par Peiresc) en parle aussi, mais ni Frascator, ni della Porta ne semblent avoir fabriqué de lunette. Le 2 octobre 1606 un fabricant de bessicles de Middelburg, Jean Lippershey demandait un brevet pour l'invention d'un instrument "servant à faire voir au loin". Mais en 1608, le brevet fut refusé sur la demande de Jacques Métius d'Alcmaër qui disait en avoir construit un depuis deux ans. Galilée lui-même affirma en avoir construit une en 1609, indépendamment des hollandais. Il semble que déjà, depuis quelques années, se vendaient des lunettes dites hollandaises. Les premières n'étant peut-être pas très utilisables en astronomie à cause de leurs qualités. Toujours est-il que l'instrument était créé et que Galilée fut le premier à avoir l'idée de viser le ciel.
Galilée découvre les satellites de Jupiter le 7 janvier 1610 ; en fait-il voit trois astres nouveaux près de Jupiter. Le 8 ils sont plus près de la planète. Ce n'est que les jours suivants (le 11 il n'en voit que deux et le 14, quatre) qu'il pense à des astres tournant autour de Jupiter. Il publiera ses découvertes dans *Sidereus nuncius* fin 1610, mais il avait informé avant les savants du monde entier. Kepler accueille la nouvelle avec enthousiasme, d'autres comme Clavius pensent à une illusion d'optique. Simon Marius affirme les avoir vus en décembre 1609 (?).

Figure 3 : Galilée

Quand les observateurs d'Aix apprennent la nouvelle, ils se procurent une lunette et cherchent

Jupiter. Peiresc observait, bien souvent, en compagnie d'amis, tel Joseph Gaultier (1564-1647), prêtre et docteur en théologie, vicaire général d'Aix qui était un astronome de grande réputation. Peiresc considérait Gaultier de La Valette comme le premier mathématicien du royaume.
Autre observateur, Gassendi (1592-1655), évêque de Digne, qui laissera une importante œuvre. Il y avait aussi Agarrat (1615- ?) qui fut quelques temps secrétaire de Gassendi avant d'enseigner les mathématiques ; Ismaël Boulliau (1605-1694) qui fit une carrière diplomatique tout en s'occupant d'astronomie ; Fr. Bernier (1625-1688) docteur en médecine ; JB Morin et Jean Picard (1620-1682). Peiresc se fera aider par Corberan, son relieur, à qui Gassendi apprendra les secrets de l'observation. Il semble que ce soit Gaultier qui ait observé le premier, les satellites de Jupiter depuis Aix, le mercredi 24 novembre 1610. Peiresc les voit le 25, et à partir de cette date, il notera leur position tous les jours où ils étaient visibles jusqu'en 1612.
Les observations de Peiresc s'affinent de jour en jour. Au début, il ne notait qu'une observation par nuit, puis il multipliera les dessins jusqu'à six par nuit, donnant la position des satellites par rapport à Jupiter et des détails sur les conditions de l'observation.
Au cours des observations, le nom des satellites change. Galilée les avait appelés planètes Médicéennes. Simon Marius (ou Mayer) 1570-1624, leur avait donné des noms Brandebourgeois. Ainsi les feuilles d'observation de Peiresc portent les noms de Ferdinandus et Franciscus. Ensuite pour faire honneur aux Médicis montées sur le trône de France, Peiresc note Maria et Catharina. Mais la postérité suivra Galilée qui avait finalement opté pour une dénomination mythologique : Io, Europe, Ganymède et Callisto.
Le 6 février 1612, il assiste au cours de la nuit à l'occultation d'un satellite par un autre (Catharina et cosmus minor).
Tout au long du mois de janvier 1611, il note une conjonction de Jupiter, Mars et Mercure dans les gémeaux.

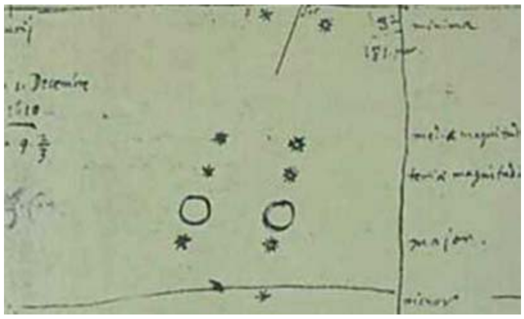


Figure 4 : Jupiter et ses satellites

Figure 5 : Jupiter

Il observe même, le 27 mai 1611, un croissant de Jupiter. Il en donne une explication en dessinant le Soleil qui n'éclaire Jupiter que d'un côté. Il faisait trop confiance à sa lunette.
Ses feuilles d'observation ont été surchargées par un lecteur car les jours de la semaine notés : die Lunae, die Martis, die Mercurii, die Iovis, die Veneris, die Sabbathi, die DNICA (dominica) sont parfois accolés d'un lundy, … dimenche.
A partir de ses observations et aidé par ses amis, il essaie de déterminer les durées de révolution des satellites. Ses valeurs seront plus précises que celles de Galilée. Ainsi il trouve pour Ganymède 170 h ; en 1933 on trouvera 171 h. Pour Callisto, la valeur de Peiresc ne diffère que de 2 minutes de celle trouvée par Cassini. C'est à partir de ces calculs que le flamand Godefroy Wendelin qui habita Forcalquier de 1598 à 1612, montra que les lois de Kepler étaient valables pour les satellites de Jupiter. Il semble que Peiresc n'ait pas fait imprimer de tables donnant la position des satellites.

Fort de ces observations, Peiresc décide de mesurer les longitudes en utilisant les mouvements rapides des satellites. Il équipe Jean Lombard d'une lunette et autres instruments d'optique et l'envoie à Malte, Chypre et Tripoli (Syrie de l'époque) pour observer les satellites de Jupiter. Lombard quitte Marseille le 30 décembre 1611 et écrit de Malte à "Monsieur de Peyresc" pour lui donner les résultats de certaines mesures : hauteur du Soleil, hauteur du pôle et la déclinaison de l'aiguille aimantée. Malgré toute la bonne volonté déployée, l'opération sera un échec à cause de l'insuffisance des connaissances et des moyens utilisés alors. Malgré cela, Peiresc restera toujours un partisan de l'observation qui fut si longtemps masquée par des considérations théoriques.

Il préfère se fier à l'observation plutôt qu'aux mathématiques. C'est ce qu'il écrit encore en 1636 au Père Anastase :

" .... Ne pouvant dissimuler que ce m'a esté une grande mortification de voir dans vostre lettre la protestation que vous me faictes de n'avoir jamais rien entreprins, de rien observé dans le ciel, mesmes directement, par aulcuns instruments grands ou petits, et que vous aimez mieux croire les mathématiciens en ce qu'ils disent de la longitude, latitude, grandeur des estoilles, et autres notices nécessaires, que de vous amuser à rien examiner de la vérité de leurs suppositions ou de l'incompatibilité d'icelles avec ce que la nature vous exhibe journellement et régulièrement, quelque irrégularité qui y puisse paroistre de temps à autre, ...".

La mesure des longitudes le poursuit. Il profite de l'éclipse de Lune du 28 août 1635 pour organiser un réseau d'observateurs ; lui-même à Aix, Gassendi à Digne, et des capucins au Moyen Orient. Il leur donne de nombreux conseils pour observer avec la lunette. Il tient à obtenir ensuite les observations sincères de chacun d'eux. Le Père Michelange tarde à lui envoyer ses observations, aussi Peiresc lui écrit :

" Je vous supplie donques de bien humblement de me vouloir faire part, s'il vous plaist, de tout le résultat de vostre observation de cette ecclipse du 28 aoust 1635, sans réserve quelconque, encores que vous y ayez eu quelque soubçon d'avoir pris équivoque, soit d'une estoille pour une autre, ou d'un degré pour un autrte de vos instruments. Car l'examen que nous ferons aura bientost esclairez le doubte, et mis toutes choses hors de regret. Vous asseurant que personne n'en verra rien que ce qu'il fault, et que vous aurez un jour de la consolation d'avoir esté instrument de belles conséquences qui s'en tireront à l'advenir."

Grâce aux mesures obtenues, Peiresc va pouvoir corriger la longueur de la Méditerranée, qui était admise depuis Ptolémée. Ainsi, cette mer sera raccourcie de près de 1000 km. Cette correction est parfois attribuée à Gassendi, mais comme les deux hommes travaillaient souvent en étroite collaboration, il est difficile de les dissocier.

Figure 6 : carte ancienne d'Eratosthène, utilisée jusqu'au 16ème siècle

Figure 7 : carte moderne

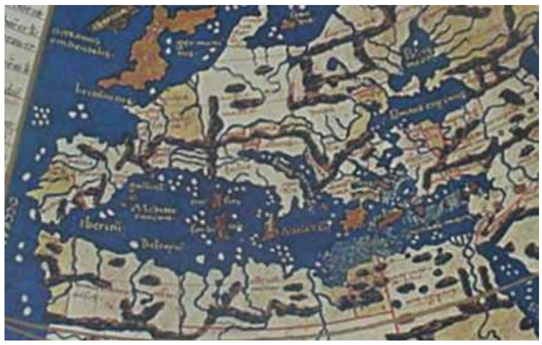


Figure 8 : carte de Ptolémée

Peiresc veut améliorer la méthode des mesures de longitudes. On utilisait alors les éclipses de Lune, et on ne disposait que de deux mesures de temps : l'une au moment de l'entrée de la Lune dans le cône d'ombre, l'autre au moment de sa sortie. L'observateur était parfois surpris par le début de l'éclipse. Peiresc eut l'idée de multiplier les mesures en repérant le passage de l'ombre sur différents points de la surface lunaire.
Excellente idée, mais à l'époque, il n'existait aucune carte de la Lune. Peiresc en entreprend la réalisation. Il va s'adresser à un peintre anversois, Fredeau, fixé en Provence, puis à l'auvergnat Salvat, mais les résultats ne seront pas satisfaisants. Heureusement que le célèbre graveur Claude Mellan (1598-1688) passa à Aix de retour de Rome. Peiresc demanda son concours. Mellan, aidé de Gassendi et Peiresc mit l'œil à la lunette et réalisa d'excellents croquis de septembre à décembre 1636. Peiresc et Gassendi commencèrent une nomenclature. Mellan s'occupa de la gravure en taille douce et, au début de 1637 furent exécutées trois planches (PL, PQ et DQ) de 21 cm de diamètre. La mort de Peiresc (soutien financier) ne permit pas de poursuivre l'œuvre. Un exemplaire de chacune de ces planches est conservé à la Bibliothèque Nationale.
Les premières cartes publiées furent donc celles de Langremus en 1645, de Jean Helveck dit Hévélius (1647) qui découvrit en 1657 la libration en longitude, et de Riccioli et Grimaldi (1650) à qui nous devons la nomenclature actuelle. Jean Dominique Cassini (1625-1722) organisateur de l'observatoire de Paris, en réalisa une de 54 cm de diamètre en 1679 ; elle resta inégalée jusqu'en 1800.
Peiresc et Gassendi vont s'intéresser aussi à la mesure des latitudes. Déjà en 1625, Gassendi avait mesuré la latitude de Grenoble 45°12'20" (45°11'12"). Sur les conseils de Wendelin, Peiresc et Gassendi essayèrent de refaire à Marseille la mesure de Pythéas (navigateur et astronome marseillais 325 av JC), en utilisant la hauteur du Soleil le jour du solstice. Ils utilisèrent l'église des Oratoriens, percèrent un toit et firent abattre un mur pour obtenir un gnomon de près de 18 mètres. Agarat, Gassendi et Peiresc firent des mesures soignées du 19 au 22 juin 1636 mais trop d'erreurs avaient été commises pour obtenir un résultat correct.

Mercure a également été l'objet de leurs observations. Gassendi fut le premier à observer le passage de la planète devant le Soleil le 7 novembre 1631. Mais c'est Peiresc qui l'observe le premier en plein jour. Il en fit de même pour Vénus, bien avant que Morin ne s'aperçoive en 1635 qu'Arcturus était visible après le lever du Soleil.

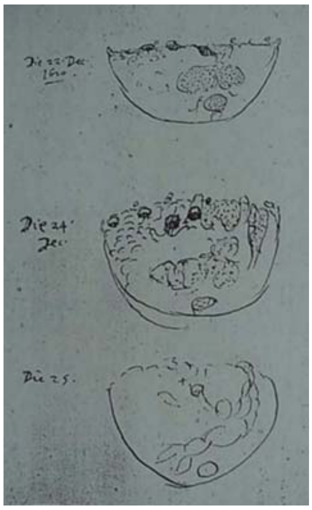


Figure 9 : Notez le remarquable dessin de la lune du 25 décembre 1610 représentant le fameux « lapin » si cher aux réunionnais

Si la découverte des taches solaires revient à Fabricius (1611), elles furent observées en mars 1611 par le ‘ Scheiner et en 1612 par Peiresc et Galilée, lequel dans une lettre à F. Cesi en mai 1612 prévoit toute l'importance de la découverte :
" je présume que ces nouveautés seront les funérailles ou plutôt la fin et le jugement dernier de la pseudo philosophie ; des signes en sont déjà apparus dans la Lune et le soleil. Et je m'attends à entendre à ce sujet de grandes choses proclamées par les péripatéticiens, pour maintenir l'immutabilité des cieux ; et je sais comment celle-ci pourra être sauvée et conservée."
Peiresc observa souvent le Soleil. En 1632, il communique à Gassendi des observations détaillées faites sur les taches solaires. Notons aussi que c'est Hévélius qui découvrit les facules (c'est lui qui, en hommage à son protecteur, Jean III Sobieski, donna à une zone de la Voie Lactée le nom d'Écu de Sobieski). C'est le jésuite

Scheiner qui expliqua l'aplatissement du disque solaire au coucher. Parmi les notes de Peiresc, on trouve une feuille datée du 3 septembre 1634, intitulée "comment voir le Soleil elliptique sur les conseils de Pierre Gassendi".
La découverte des phases de Vénus revient à Galilée, mais dès 1610, Peiresc note un croissant de Vénus (Venus corniculata). Il note également l'évolution du croissant de décembre 1610 à février 1611

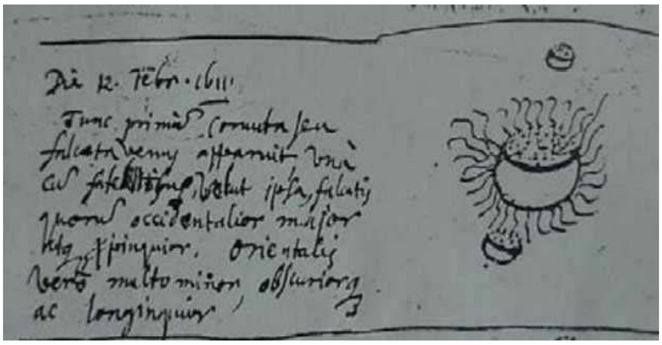


Figure 10 : Croissant de Vénus

. Sa lunette lui joue encore des tours ; il observe de part et d'autre de la planète deux satellites en croissant qu'il appelle Major et Minor.

Son observation de Saturne, le 3 novembre 1611, est d'ailleurs plus correct que ce qu'il "verra" par la suite : sa représentation est celle donnée à la figure 11.

Mais le 29 novembre, il adopte la planète triple de Galilée :

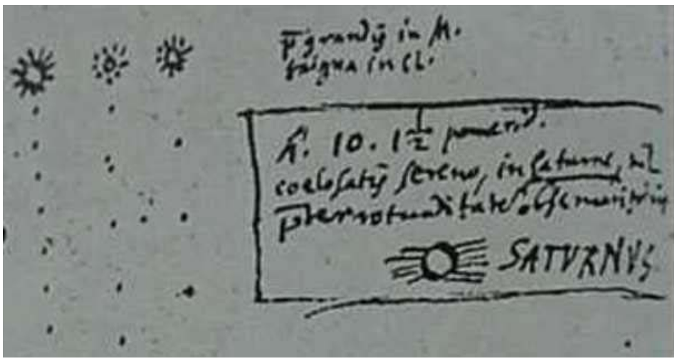


Figure 11 : Observation de Saturne le 3 novembre 1611

Il reprend avec Gassendi des travaux sur Saturne en 1633, 34 et 36, mais ils ne découvriront pas la nature de l'anneau, tout en se rapprochant le plus de la réalité. Il faudra attendre Huygens qui, en 1656, décrira correctement l'anneau, aidé par la réapparition de celui-ci en 1655.
Le 20 novembre 1610, Peiresc note avoir observé, dans la Voie Lactée appelée en langue d'Oc "Lou Camin de San Jacquo", des étoiles en nombre immense.
Un soir de 1611, en tournant sa lunette vers Orion, il découvre la nébuleuse (nebulaca). Dans "les Merveilles Célestes" (1897) Flammarion attribue la découverte à Huygens en 1656. Elle fut également attribuée à Cysatus qui l'avait vue en 1618.

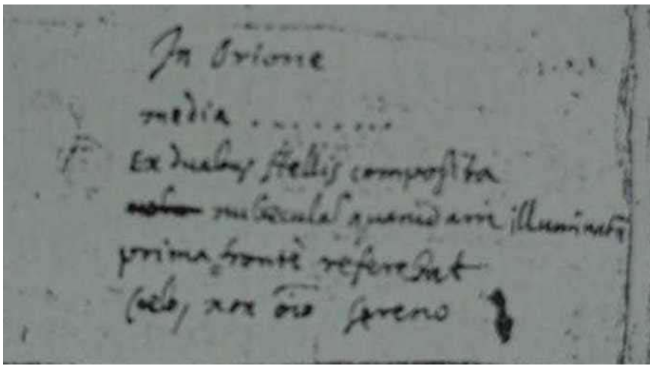


Figure 12 : Orion

En fait, c'est Peiresc qui l'a vue le premier le 26 novembre 1610, et il l'observa jusqu'au 10 décembre. Il semble que Peiresc n'ait pas pris conscience de sa découverte puisqu'il n'en parle pas à ses nombreux correspondants. Au vu de sa feuille d'observation, on peut hésiter entre les 26 et 29 novembre 1610 (avant-veille de son trentième anniversaire). Mais il semble que les observations des 27, 28 et 29 aient été rajoutées après. Remarquons que les premières notes étaient en français : "le 24 nov 1610 : M. Gaultier a cõmancé à voir les planètes Medicées, ..." ensuite Peiresc utilise le latin.
Peiresc fut donc le premier à observer une nébuleuse. C'est Simon Marius qui découvrit la "nébuleuse d'Andromède" le 15 décembre 1612. Dans ce domaine, les progrès seront lents puisqu'il faudra attendre 1715 pour la découverte de l'amas d'Hercule par Halley.

Voilà un ensemble de découvertes et d'observations qui semblent bien modestes aujourd'hui, mais il faut les replacer dans leur contexte. Peiresc n'a pas laissé une œuvre comme Galilée ou Kepler, mais il a participé avec ses moyens à l'évolution de l'astronomie. Grâce à ses nombreux correspondants, il a généralisé l'utilisation des lunettes, favorisé la recherche par l'observation, créé des réseaux d'observateurs. Sa fortune lui a également permis de soutenir de nombreux travaux. Il se comportait comme un mécène généreux.

Voilà un homme qui côtoya les plus grands de ses contemporains. Il fut admiré et célébré. S'il a écrit peu de livres, ses lettres sont innombrables. "… de toutes les nouveautez, soit choses naturelles ou d'affaires, il faisoit des discours et les faisoit imprimer à Aix et crier, …" Il était donc aussi un vulgarisateur.

Il a ranimé en Provence le culte de la Science, des Lettres et des Arts. Homme réservé, insatiable curieux (Gassendi l'appelait le prince des curieux), il sera toujours aux aguets et touchera à tous les sujets. Savant, épistolier, magistrat, artiste, il fut tout cela, un grand humaniste, toujours au service des autres.

Peiresc et Rubens

Lors d'un banquet, Peiresc fait la connaissance du jeune peintre Rubens, de trois ans son aîné ; une vaste correspondance marquera cette longue amitié de toute une vie

Rubens aussi est un érudit et un fin diplomate. Il vient à deux reprises en Provence rencontrer Peiresc, son ami et fidèle correspondant, pour expertiser des œuvres d'art de Saint-Maximin et de Fréjus. Rubens vient aussi visiter la fameuse bibliothèque et le cabinet de curiositez et d'etrangetez de Peiresc. Plus tard Rubens construira sa demeure, un palais de rêve, riche de trésors, en s'inspirant de ce cabinet. Fidèle en amitié, Peiresc s'entoure de deux portraits de son ami Rubens : l'un, sur toile, œuvre de Rubens lui-même (cet autoportrait a été retrouvé en 1985 par David Jaffé dans les greniers de l'*Australian National Gallery* à Camberra), l'autre, sur bois, peint par Van Dyck, son élève.

Pour bien comprendre sa vie et son œuvre, laissons-lui le mot de la fin :

"le principal but de toutes mes recherches ne tend qu'à en faire-part à ceux qui en peuvent être curieux, et qui en peuvent faire leur profit".

Bibliographie

- "Les Fioretti du quadricentenaire de Fabri de Peiresc" Académie du Var, Aubanel 1981
- "Peiresc, Le Prince des Curieux au temps du Baroque", Pierre Gassendi Belin 1992
- "Histoire abrégée de Provence et autres textes", Nicolas Claude Fabri de Peiresc ; édition intégrale annotée par Jacques Ferrier et Michel Feuillas Aubanel 1982
- "Un amateur Peiresc" Pierre Humbert, Desclée de Brouwer, Paris 1933

(1) http://www.peiresc.org/
(2) http://www.annot.org/contenu.htm

Histoire

La Plaisanterie

Pierre Lerich

Résumé : A quoi sert la Lune ? Peut-on plaisanter avec les points de Lagrange ? Laplace et Lagrange se sont amusés à discuter du bon choix de l'emplacement de la Lune. Vous découvrirez cette discussion brillante dans l'article de Pierre Lerich.

Mots-clefs : HISTOIRE – LUNE - MECANIQUE

Dans un mémoire présenté en 1772 à l'Académie des sciences, Lagrange a montré que chaque planète, en tournant autour du soleil, détermine dans l'espace cinq points qui accompagnent sa rotation, et qui sont des points d'équilibre : Un petit corps placé en l'un de ces points et «lancé» avec la vitesse et la direction convenables, graviterait autour du soleil avec la même vitesse angulaire que sa planète.

Toute la figure tournerait donc d'un seul bloc, comme les avions de la Patrouille de France, à ceci près qu'ici ce ne sont que des points géométriques qui peuvent être occupés ou vides. On a pu constater par la suite que certains de ces points sont justement occupés, et que Lagrange avait trouvé par le calcul un phénomène astronomique vérifiable au télescope. Dans le cas du point L2, par exemple, on peut comprendre intuitivement que l'attraction du soleil sur le petit corps C est un peu augmentée par la planète P et qu'il doit exister une distance où l'accélération centrifuge de C un peu augmentée elle aussi (pour une même vitesse angulaire autour de S) équilibrera exactement l'attraction totale du soleil et de la planète. Les ‘’points de Lagrange ‘’ sont étudiés en détail dans tous les traités de Mécanique céleste.

ACTE I

Vingt plus tard

Ne perdant pas une occasion de plaisanter à propos des ‘’causes finales ‘’, Laplace applique le calcul de son ami Lagrange au cas de la Lune. Si l'intention du ‘’Grand Architecte ‘’ avait été d'éclairer les hommes la nuit (c'est-à-dire toutes les nuits et pas seulement certaines nuits), il lui aurait suffi de placer la Lune au point L2 défini par Lagrange.Laplace a exprimé cette proposition dans son monumental *Traité de Mécanique céleste*, et aussi dans l'*Exposition du système du monde* (1796) :

'' Quelques partisans des causes finales ont imaginé que la Lune avait été donnée à la Terre pour l'éclairer pendant les nuits. Dans ce cas, la nature n'aurait pas atteint le but qu'elle se serait proposé, puisque souvent, nous sommes privés à la fois de la lumière du Soleil et de celle de la Lune Pour y parvenir, il eût suffi de mettre à l'origine la Lune en opposition avec le Soleil, dans le plan même de l'écliptique, à une distance de la terre égale à la centième partie de la distance de la Terre au Soleil ; et de donner à la Lune et à la Terre des vitesses parallèles proportionnelles à leur distance à cet astre. Alors la Lune sans cesse en opposition au Soleil eût décrit autour de lui une ellipse semblable à celle de la terre ; ces deux astres se seraient succédé l'un à l'autre sur l'horizon, et comme à cette distance la Lune n'eût point été éclipsée, sa lumière aurait constamment remplacé celle du soleil''

On pourrait objecter que le rapport de 100, racine réelle d'une équation du 5e degré, place la Lune à environ 1.500.000 km de la terre, environ quatre fois plus loin que la Lune réelle. Elle éclairerait donc seize fois moins. Certes, elle serait toujours pleine, mais pas plus efficace qu'une Lune actuelle de 4 ou 5 jours, bien avant le premier quartier.

La plaisanterie de Laplace est donc un peu gratuite et doit plutôt s'interpréter comme un coup de griffe en passant, dans la tradition de Voltaire, de d'Alembert et de l'Encyclopédie. Depuis plus d'un demi-siècle, les '' causes finales '' étaient un objet de dérision, immortalisé par Voltaire dans *Candide* :

'' …Les nez ont été faits pour porter des lunettes ; aussi avons nous des lunettes. Les jambes sont visiblement instituées pour être chaussées, et nous avons des chausses. […] et les cochons étant faits pour être mangés, nous mangeons du porc toute l'année ''

On pourrait écrire dans le même style : la Lune étant faite pour nous éclairer, nous avons de beaux clairs de lune. Seulement voilà, il y a aussi les nuits sans Lune, et Laplace avait bien raison de le faire remarquer.

ACTE II

(Cinquante ans plus tard)

Le ''Journal de Liouville'' était, au milieu du XIX^{e} siècle, un haut lieu de la science, présentant pour un public restreint, des recherches avancées sur des sujets de mathématiques et de physique. Liouville lui-même, qui en était le fondateur, y présenta en 1845 un article qui apportait un nouvel éclairage sur la plaisanterie de Laplace. Celui-ci en effet ne s'était pas posé la question de la stabilité d'un petit corps comme la Lune, placé au point L2.

Il n'ignorait pourtant rien des problèmes de stabilité : dans l'*Exposition du système du monde*, il définit très simplement les deux sortes d'équilibre, le stable et l'instable. D'autre part il a beaucoup approfondi la question très difficile (encore discutée aujourd'hui) de la stabilité du système solaire. Dans le cas de la Lune, il n'a pas jugé utile d'étudier cet aspect de la question : ce n'était jamais qu'une plaisanterie. Reprenant la question là où Laplace s'était arrêté, Liouville pose le problème en ces termes :

'' Trois masses étant placées non plus rigoureusement, mais à très peu près dans les conditions énoncées par Laplace, ou demande si l'action réciproque de ces masses maintiendra le système dans cet état particulier de mouvement ou si elle tendra au contraire à l' en écarter de plus en plus''.

Sa conclusion est que *''si la Lune avait occupé à l'origine la position que Laplace indique, elle n'aurait pu s'y maintenir qu'un temps très court''.*

Donc le ''Grand Architecte'' n'aurait pas pu éclairer la Terre toutes les nuits, à moins de changer les lois de la physique dans ce cas particulier, ou bien d'intervenir de temps en temps pour corriger la dérive du système : deux ''solutions'' totalement inacceptables pour Laplace, qui n'a jamais pardonné à Newton d'avoir suggéré un ''coup de pouce'' de Dieu de temps en temps pour remettre de l'ordre dans le système solaire dérangé par les perturbations mutuelles des planètes.

Parmi les cinq points de Lagrange, il n'y a que deux points d'équilibre stable : L4 et L5. C'est là qu'on trouve parfois des astéroïdes piégés. La Lune placée en l'un de ces points y resterait éternellement, mais elle serait alors 400 fois plus loin que la Lune actuelle : C'est dire qu'elle n'éclairerait plus rien du tout sur la Terre. On pourrait peut-être la voir avec de bonnes jumelles.

Dans son *Traité de Mécanique céleste* (1889), Tisserand consacre une page à cet épisode (plaisanterie de Laplace et objection de Liouville) à la fin du chapitre sur les points de Lagrange. A l'approche du XX^e siècle les « causes finales» étaient une vieille idée totalement oubliée, mais Tisserand a dû penser que l'épisode méritait d'entrer dans le folklore de l'astronomie au même titre que «et pourtant elle tourne» ou la pomme de Newton.

ACTE III

(Cent cinquante ans plus tard)

La question de savoir si la Lune aurait pu être mieux placée revient dans l'actualité vers les années 1990 avec les travaux de Jacques Laskar sur la stabilité à très long terme du système solaire. Une planète comme Mars, dépourvue d'un gros satellite, peut voir son axe de rotation basculer d'une manière imprévisible (chaotique), des régions froides devenant chaudes et vice-versa. Une forme de vie qui aurait commencé sur cette planète risquerait fort de disparaître dans un bouleversement climatique aussi radical. C'est là qu'on retrouve le ''Grand Architecte'', (ou la Providence, ou l'Etre Suprême, comme on disait du temps de Laplace), car si la Lune est mal placée pour nous éclairer, elle est au contraire très bien placée pour nous stabiliser. Il ne s'agit plus ici, comme dans le cas du clair de Lune, d'une simple commodité, mais d'une condition vitale de notre existence, au même titre que la distance et l'énergie du Soleil, source de toute vie. Alors que Laplace imaginait la Lune quatre fois plus loin, J. Laskar calcule qu'en s'éloignant seulement de 13% (sa distance passant de 60 à 68 rayons terrestres) la Lune cesserait de stabiliser l'axe de rotation terrestre, qui serait alors sujet à des cabrioles chaotiques. Cela se produira certainement à très long terme, puisque la Lune s'éloigne de la Terre lentement mais sûrement. Il est vrai qu'à une telle échelle de temps, celle des milliards d'années, l'éloignement de la Lune ne sera qu'un détail insignifiant par rapport à la fin inéluctable de tout le système solaire. En attendant, et pour très longtemps encore, la Lune continuera de garantir notre stabilité.

La plaisanterie de Laplace était donc de bonne guerre, mais il faudrait bien se garder de la prendre au sérieux : la Lune est certainement plus utile là où elle est que n'importe où ailleurs.

Bibliographie

- P.S LAPLACE : ''Exposition du système du monde - Librairie Arthème FAYARD (1984)
- IVARS PETERSON : ''Le Chaos dans le système solaire''.- Collection ''Sciences d'avenir'', Pour la science, diffusion BELIN (1995)

Avec Nos Elèves

Comment déterminer le diamètre de la Terre ?

Jean Ripert

Résumé :. Avant de faire réaliser la méthode d'Eratosthène pour la détermination de la circonférence de la Terre, j'aime bien proposer aux élèves la lecture de textes. Ceci permet de resituer le problème posé dans son contexte.
Les objectifs visés par l'ensemble du travail sont les suivants :
- proposer une expérience répondant à un objectif précis,
- utiliser les techniques de l'information et de la communication,
- trier les informations et les critiquer,
- utiliser la relation de proportionnalité,
- utiliser quelques notions simples de géométrie,
- échanger des documents par courrier électronique.

Mots-clefs : TRAVAIL PRATIQUE- TERRE - DIMENSION

Travail à faire à la maison

Lire les textes de documentation ci-dessous et répondre aux questions.

I. Texte d'Aristote (environ 350 av JC) : tiré de "Du Ciel. II, 14".

Une preuve nous est fournie par l'évidence sensible : sans cette sphéricité, les éclipses de Lune ne présenteraient pas les segments tels que nous les voyons. C'est un fait que si, dans les aspects qu'elle offre chaque mois, la Lune revêt toutes les variétés (puisqu'elle devient droite, bombée et concave ; dans les éclipses, la ligne qui la limite est toujours une ligne courbe, de sorte que, s'il est vrai que l'éclipse est due à l'interposition de la Terre, c'est la forme de la surface de la Terre qui, étant sphérique, sera la cause de la forme de cette ligne.
En outre, nos observations des astres montrent avec évidence, non seulement que la Terre est circulaire, mais que c'est un cercle qui n'est pas d'une grandeur considérable. En effet, il suffit que nous nous déplacions tant soit peu vers le Sud ou vers le Nord, pour amener une évidente modification du cercle de l'horizon, de sorte que les étoiles qui sont au-dessus de nos têtes sont tout à fait changées, et n'apparaissent plus les mêmes si nous nous déplaçons vers le Nord ou vers le Sud En effet, il y a des étoiles qu'on voit en Égypte et dans le voisinage de Chypre, et qu'on n'aperçoit pas dans Les régions situées au Nord ; et les étoiles qui, dans la région du Nord, n'échappent jamais à notre champ visuel, ont leur coucher dans les régions du Sud. Il résulte évidemment de ces faits que non seulement la forme de la Terre est circulaire, mais encore qu'elle est une sphère qui

n'est pas très grande, car autrement l'effet d'un si faible changement de position ne serait pas si vite apparent. C'est pourquoi ceux qui croient qu'il y a continuité de la région avoisinant les Colonnes d'Hercule et de la région de l'Inde, et que, de cette façon, il n'y a qu'une seule mer, ne semblent pas professer une opinion tellement incroyable. Ils en donnent encore comme preuve le cas des éléphants, dont l'espèce se rencontre dans chacune de ces régions extrêmes, ce qui tend à faire croire que c'est en raison de leur continuité que les régions extrêmes sont affectées des mêmes caractéristiques.

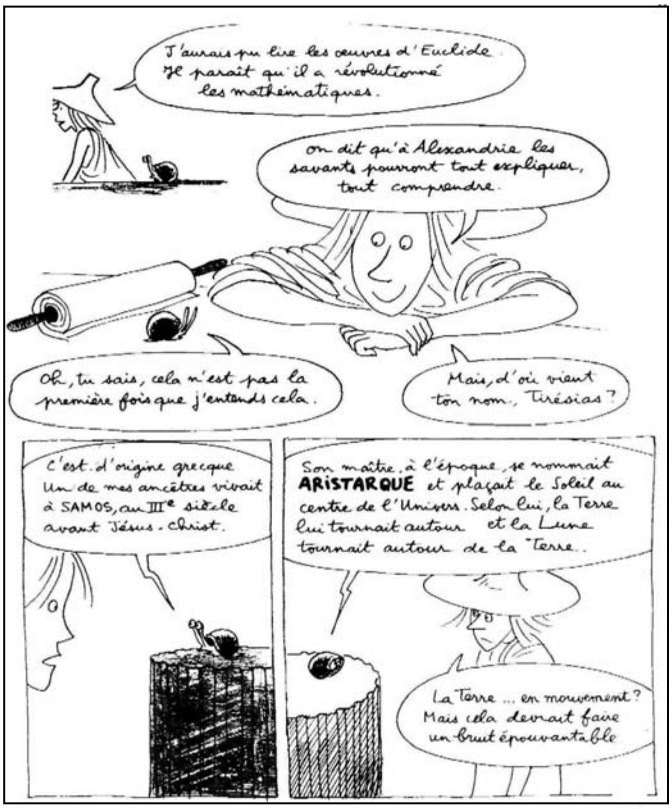
II. Texte sur Ératosthène

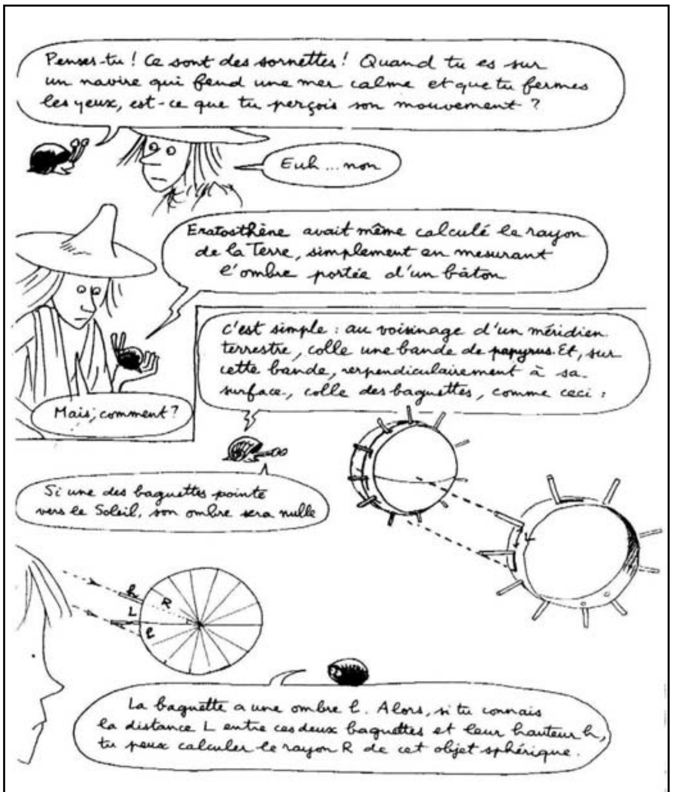
(extrait de la revue "Espace Information n°31 octobre 1985).

Ce 21 juin, un homme accroupi au centre de la grande place d'Alexandrie, un misérable cadran solaire à la main, se propose de mesurer les dimensions du globe terrestre.
Calculer la taille exacte du monde, quel rêve merveilleux, quelle arrogante ambition de la créature microscopique vivant sur la surface immense de la planète ! Et, hélas ! quelle entreprise futile. ....
A midi juste, en ce jour du solstice d'été, il va essayer de déterminer avec précision la grandeur du globe terrestre à l'aide d'un simple gnomon. Cet instrument peu élaboré ne pourra que lui donner l'angle sous lequel un objet vertical projette son ombre. Mais pour réaliser son dessein, Ératosthène compte surtout sur la richesse des renseignements qu'il a puisés dans la bibliothèque.
Une information amusante, mais sans aucune valeur scientifique apparente, doit servir de base à la méthode aussi simple qu'ingénieuse qu'Ératosthène a maintenant l'intention d'employer pour prendre la mesure de la Terre. II a lu quelque part que dans la Ville de Syène (aujourd'hui Assouan), où il n'est jamais allé, le Soleil de midi, le jour du solstice, est absolument perpendiculaire et ne projette aucune ombre. Des voyageurs rapportaient qu'à ce moment précis, on pouvait en regardant dans un puits très profond et étroit, y voir le Soleil se réfléchir d'aplomb. Tel n'était pas le cas à Alexandrie : même à midi, même un jour de solstice les rayons solaires n'étaient pas parfaitement verticaux.
Ératosthène était de ces savants de l'antiquité qui croyaient déjà que la Terre est une sphère. Cette théorie n'était pas universellement reconnue, loin de là. Ses adversaires avaient pour eux l'évidence quotidienne, ce que voient nos yeux, et les esprits scientifiques étaient entraînés à n'accepter comme vérité que ce qu'ils voyaient, la vérité telle que l'œil la perçoit étant indiscutablement que la Terre est plate.
Il y avait bien, naturellement, des phénomènes difficiles à concilier avec l'idée d'un monde plat ainsi l'apparition, à l'horizon, d'un navire dont on ne voit d'abord que le haut du mât, puis la voilure et enfin la coque. Certains philosophes en déduisaient une preuve de la courbure de la Terre, mais ils demeuraient une minorité.
Ératosthène, qui partageait ce point de vue, pensa que la sphéricité de la Terre pouvait expliquer cette différence entre les ombres de Syène et celles d'Alexandrie. Le Soleil est si éloigné que ses rayons arrivent parallèlement à la surface de la Terre. Mais à Syène située au tropique du Cancer. ils tombent verticalement, tandis que, plus au nord, les rayons atteignent Alexandrie sous un angle dû à la courbure de la Terre.
Une autre information retrouvée dans les livres de la bibliothèque, complétait la méthode d'Ératosthène : il avait lu que les caravanes partant de Syène mettaient cinquante jours pour arriver à Alexandrie en parcourant 100 stades (environ 16 km) par jour. II calcula donc que la distance entre les deux villes du Nil était de 5 000 stades (800 km). Fondée sur d'aussi maigres données, la première tentative connue de mesurer le globe terrestre commença à Alexandrie.
11 heures 50, le Soleil d'Égypte darde à plomb ses feux,. Ératosthène prépare son gnomon. 11 est 11 heures 59 ,… midi. Il mesure l'angle que l'extrémité de l'ombre forme avec la verticale du cadran : un cinquantième de cercle, ce qui équivaut à 7° 12'. Le savant bibliothécaire procède alors à un calcul d'une simplicité enfantine.

III. BD :

(extrait de Comic Story dans les aventures d'Anselme Lanturlu J.P. Petit (éd. Belin).





Questions.

1. - Souligne dans les textes, les mots, les expressions ou les phrases que tu ne comprends pas.

2. - Énumère les arguments avancés par Aristote en faveur de la sphéricité de la Terre et fais-en une critique.

3. - A partir de la bande dessinée et du texte de la revue "Espace et Information", fais un schéma représentant la méthode utilisée par Ératosthène. Sur le schéma doivent apparaître : le globe terrestre, les gnomons (tiges verticales) à Alexandrie et à Syène et les rayons du Soleil.

4. - A quelle heure doit être réalisée la mesure ?

5. - L'heure que tu cites est-ce celle de ta montre ? Justifie.

6. - Termine le texte de la revue "Espace et Information" en faisant le calcul réalisé par Eratosthène. Pour cela puise dans tes connaissances de géométrie vues au collège (parallèles et sécantes, périmètre d'un cercle). Pour t'aider, refais le schéma précédent et prolonge les supports des gnomons jusqu'au centre de la Terre.

7. - Propose une expérience, réalisable dans la cour pour déterminer le rayon de la Terre en utilisant la méthode d'Eratosthène.

L'ORIGINE DES MAGNITUDES

Georges Paturel
Observatoire de Lyon

Résumé : L'origine de la définition des magnitudes apparentes est rappelée. Elle est liée à la loi de Weber-Fechner, modifiée par Pogson. Ce rappel nous permet de préciser les unités physiques des flux lumineux mesurés et de donner les longueurs d'onde effectives des principaux domaines photométriques utilisés en astrophysique

Mots-clefs : HISTOIRE - PHOTOMETRIE - UNITE

Pour parler de l'éclat apparent des astres les astronomes parlent de « magnitude ». Quel est l'origine de ce nom et quel est le sens physique précis qui y est attaché. C'est ce que nous nous proposons de rappeler brièvement.

Les astronomes anciens avaient classé les étoiles en grandeur : les étoiles très brillantes étaient dites de première grandeur, les suivantes de deuxième grandeur, puis de troisième grandeur, etc. La classification s'arrêtait à peu près vers la sixième grandeur, qui est la limite accessible à l'œil nu. Notons au passage qu'il était possible de « gagner » une magnitude, sans système optique, en observant à travers un simple tube , afin de réduire la lumière parasite entrant dans l'œil.

Beaucoup plus tard, vers les années 1850, un physiologiste allemand du nom de Fechner énonça une loi (la loi de Weber-Fechner) qui dit que la sensation varie comme le logarithme de l'excitation. Comprenez par là que, si vous multipliez l'énergie d'un système quelconque par dix, vous n'aurez la sensation de ne l'avoir augmenté que d'une unité, « d'un ordre de grandeur » comme on dit plus précisément. Une autre formulation de cette loi dit que si les énergies varient selon une suite géométrique, les sensations varient, elles, comme une suite arithmétique.
C'est en appliquant cette loi qu'on est conduit à mesurer la puissance d'un son en décibel, ou à classer les tremblements de Terre ou la force du vent dans des échelles simples (échelle de Richter, échelle de Beaufort).

Mais revenons à nos magnitudes. Avec les progrès de la photométrie, il a été possible de mesurer les flux lumineux des étoiles dans des unités physiques bien définies. Arrêtons-nous un instant sur ces unités, car bien souvent il y a confusion. Une étoile émet des photons. Chaque photon représente une certaine quantité d'énergie. Donc, on mesure le flux énergétique d'une étoile comme une énergie par unité de temps, c'est-à-dire, des Joules par seconde, donc des Watts. Mais nous ne recevons pas toute cette énergie. Si l'étoile est à la distance D de notre œil, l'énergie rayonnée en une seconde traversera la surface d'une sphère immense de rayon D, et notre œil ne recevra que la petite fraction donnée par le rapport entre la surface de notre pupille (ou de la surface du miroir de notre télescope) et celle de cette grande sphère ; autant dire pas grand chose. Pour que la mesure de l'éclat apparent d'une étoile ne dépende pas de la surface collectrice (pupille ou miroir) il suffit de rapporter les Watts collectés à l'unité de surface, donc de mesurer en fait la densité surfacique de puissance, c'est-à-dire des Watts par mètre carré ($J.s^{-1}.m^{-2}$). C'est déjà compliqué mais ce n'est pas tout. Notre œil, ou plus généralement le récepteur utilisé n'est pas sensible à toutes les longueurs d'onde. Notre œil est très sensible à la longueur d'onde de 600 nm (le jaune de l'arc en ciel) mais il ne perçoit pas les photons en dessous de 350 nm ou au dessus de 800 nm. Nous perdons une bonne partie du flux des étoiles en ne percevant qu'un petit domaine du spectre. Il nous faut donc définir un flux F[1] pour chaque domaine de longueur d'onde, et plus précisément pour chaque type de récepteur.

Selon la loi de Fechner vue plus haut, nous devrions dire que notre sensation visuelle est S=log(F). Mais en 1856, l'astronome N.R. Pogson proposa de mettre le coefficient –2.5 devant le logarithme décimal pour retrouver, à une constante additive près, l'échelle des magnitudes des anciens. Le signe moins était fait pour que les petites « grandeurs » correspondent aux flux forts. Voilà comment on en est arrivé à la définition des magnitudes : $m = -2.5 \log(F) + K$.
La constante K est définie pour chaque système de magnitude. Elle règle le problème des unités. Expérimentalement, on n'utilise que les différences de magnitudes d'un même domaine spectral, ce qui fait disparaître K.
Les astronomes ont pris l'habitude de désigner les domaines spectraux par des lettres : U pour l'ultraviolet, B pour le bleu, etc. Cependant, l'amélioration de la précision des mesures oblige à être encore plus précis encore. Le « domaine » bleu est défini à l'aide d'un filtre coloré bleu. Si vous utilisez un filtre bleu un peu différent, vous n'aurez pas exactement le même système de magnitude. Vous trouverez ci-dessous les principaux systèmes de magnitudes attachés à différents filtres. La longueur d'onde effective (celle qui caractérise le mieux le filtre) est donnée pour chaque filtre.

Nom		λ_{eff}	domaine spectral
Landolt	U	337,2 nm	Ultraviolet
	B	440,4	Bleu
	V	542,8	Visible (Jaune)
	R	650,9	Rouge
	I	809.0	Infrarouge proche
UKIRT	J	1266,0 nm	Infrarouge
	H	1673,2	idem
	K	2215,2	idem
	L	3807,9	idem

Quand un astronome utilise un appareillage pour mesurer des flux F, il doit, dans les mêmes conditions expérimentales, mesurer quelques étoiles, dites standards, pour lesquelles la magnitude, m (standard), est connue pour le domaine spectral considéré. La constante K se déduit ainsi aisément. En principe une seule étoile suffit, mais il est préférable d'en mesurer plusieurs pour s'assurer que l'échelle de magnitude est également correcte (Δm (standard)/$\Delta m = 1$).

C'est un peu compliqué, mais réjouissons-nous de ne percevoir que le logarithme de ce qu'on voit ou de ce qu'on entend. Sans cela la vie serait aveuglante et assourdissante. En concluant, j'espère que vous avez compris plus que le logarithme de ce que j'ai voulu dire.

[1] Rigoureusement, le flux F est défini comme l'intégrale du flux monochromatique $F(\lambda)$ pondéré par la transmission spectrale $R(\lambda)$ du récepteur : $F=\int F(\lambda).R(\lambda).d\lambda$. Notons que l'intégrale peut être calculée de 0 à l'infini, mais en pratique R ne diffère de zéro que sur un intervalle limité de longueurs d'onde.

Remue-Méninges

Ouverture des anneaux de Saturne

Pierre Causeret

Mots-clefs : PLANETE – LUNE - OCCULTATION

Problème

Saturne est actuellement invisible puisqu'elle est en conjonction avec le Soleil le 24 juin. Mais nous avons pu l'observer à loisir le soir tous ces derniers mois et l'ouverture des anneaux était alors maximale.

Photo Alain Jaquot/SAB

Cette photo a été prise le 19 décembre 2002, deux jours après l'opposition de la planète, et montre la grande ouverture des anneaux.

Pourriez-vous calculer l'angle que forme le plan des anneaux avec la direction observateur - Saturne ?

Solution au problème du n°100

Voici les réponses aux quatre questions du dernier problème à propos de l'occultation de Saturne par la Lune :

1. Saturne et la Lune se déplacent toutes les deux devant le fond d'étoiles mais à des vitesses très différentes. Au cours d'une nuit, on peut considérer que Saturne est fixe alors que la Lune se déplace d'ouest en est, donc de droite à gauche ici. L'ordre des photos était donc B - C - A.

2. Pour calculer ensuite le temps écoulé entre chaque photo, il faut connaître la vitesse de la Lune, toujours par rapport aux étoiles. Elle effectue un tour en 27,3 jours ce qui donne un déplacement de 0,55° (33') par heure ou 0,55' par minute. C'est une moyenne puisque cette vitesse varie en fonction de la distance de la Lune.

On sait que le diamètre apparent moyen de la Lune est d'un peu plus de 30'. On peut le retrouver à partir de la photo B en déterminant d'abord le centre du disque lunaire à partir de tracés de médiatrices de cordes ou de perpendiculaires aux tangentes. On trouve ce centre sur la page de droite, ce qui donne un rayon de près de 11 cm. L'échelle est de 10' pour 69 mm soit 0,145' par mm. Le diamètre apparent de la Lune était donc de 32' environ ($0,145\times110\times2$).

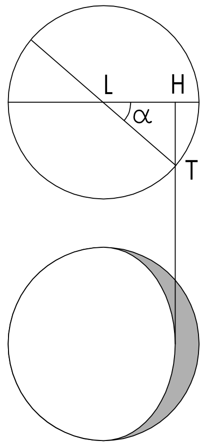
De la photo B à la photo C, la Lune s'est déplacée en gros de son diamètre apparent soit 32' et, à la vitesse moyenne de 33' par heure, il lui faut donc environ une heure.

De la photo C à la photo A, le déplacement de la Lune n'est que de 3 ou 4 mm environ soit 0,5'. Il ne s'est écoulé qu'une minute environ entre les photos C et A.

3. Le côté droit de la Lune commençant à être dans l'ombre, la photo a été prise peu de temps après la pleine Lune.

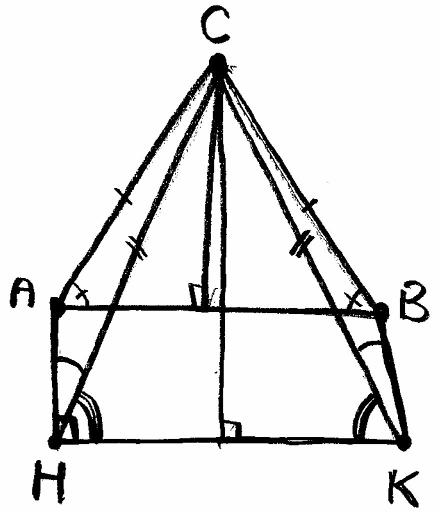
4. Côté droit, on mesure 16 mm de Lune dans l'ombre. Avec LT=110 mm pour le rayon de la Lune, on a donc LH = 94 d'où cos α = LH/LT

et $\alpha \approx 31°$. La lunaison durant 29,5 jours, l'angle α augmente en moyenne de 12° par jour ou 1° en 2 h. Avec 31°, on calcule que la pleine Lune est apparemment passée depuis 62 heures soit 2 jours et 14 heures. Les éphémérides donnaient 2 jours et 15 heures. Pas mal...



Comme Remue-Méninges, je vous propose un petit casse-tête qui pourra vous amuser pour les vacances. Il s'agit d'une démonstration géométrique prouvant qu'un angle droit est égal à un angle aigu. Voici l'énoncé.

On construit un segment de droite HK. On trace un segment AH perpendiculaire à HK en H. On trace ensuite un segment BK (voir figure) tel que BK=AH et tel que l'angle BKH soit un angle aigu.



On prend ensuite la médiatrice du segment AB et la médiatrice du segment HK. Ces médiatrices se coupent en un point C (voir figure).
Considérons les triangles CAH et CBK. Ils sont égaux (je ne sais pas si cette terminologie est encore en vigueur) car leurs trois côtés sont égaux (AH=BK par construction, CH=CK car le triangle CHK est isocèle, puisque C est sur la médiatrice de HK, et CA=CB car le triangle CAB est isocèle puisque C est sur la médiatrice de AB). Donc, les angles AHC et BKC sont égaux. Les angles CKH et CHK étant aussi égaux (triangle CHK isocèle), la somme des angles AHC+CHK est égale à la somme des angles BKC+CKH. On en conclut que l'angle droit AHK est égal à l'angle BKC, aigu par construction (CQFD). Troublant non ?

La réponse vous sera donnée au prochain numéro - **G. P.**

Curiosités

Les dates de Newton

Michel Toulmonde

Au début du 20e siècle, Marcel Proust a écrit dans ses *Chroniques* *"Les jours sont peut-être égaux pour une horloge, mais pas pour un homme"*

Mots-clefs : CALENDRIER - NAISSANCE

Newton est enterré à Westminster Abbey à Londres. Sur son tombeau, il est inscrit qu'il est né le 25 décembre 1642 et décédé le 20 mars 1726. Certains ouvrages et dictionnaires indiquent les dates suivantes : 1643-1727 ou 1642-1727 ou encore 1642-1726.

Qu'en est-il réellement ?

Il s'agit d'un problème de chronologie, de correspondance entre calendriers : le calendrier julien, encore en usage à l'époque en Angleterre, jusqu'en 1752, et le calendrier grégorien, appliqué en France dès la fin de 1582.
Pour se ramener au calendrier grégorien, trois corrections sont nécessaires :
- d'abord le décalage entre ces calendriers, de 10 jours en 1642, fait changer la date de naissance au 25 décembre 1642 + 10 j = 4 janvier 1643,
- puis un décalage de 11 jours en 1726, à cause du 29 février 1700 (Julien) qui n'a pas existé dans le calendrier grégorien, la date du décès est ainsi le 20 mars 1726 + 11 j = 31 mars 1726,
- mais il s'agit alors de l'année numéro 1726 en Angleterre où, à cette époque, l'année débutait le 25 mars, et non le 1er janvier, cela faisait déjà 3 mois, qu'en France, on était en 1727.

Selon le pays et le calendrier dans lequel on les exprime, les dates de Newton sont donc:
- en Angleterre: 25 décembre 1642 - 20 mars 1726 (calendrier julien anglais d'alors)
- en France: 4 janvier 1643 - 31 mars 1727 (calendrier grégorien français). Galilée est mort le 8 janvier 1642 (grégorien). Newton n'est donc pas né la même année que celle du décès de Galilée, même si seulement 361 jours séparent les deux dates.

On rencontre un cas semblable avec notamment les dates de Edmond Halley (et non pas Edmund). Il est né le 29 octobre 1656 (julien anglais), correspondant au 8 novembre 1656 (grégorien), et mort le 14 janvier 1742 (julien anglais). Cette date étant comprise entre le 1er janvier et le 25 mars, le changement du numéro de l'année et les 11 jours de décalage conduisent à la date du 25 janvier 1743 (grégorien).
Selon le pays et le calendrier, les dates de Halley sont ainsi :
- en Angleterre: 29 octobre 1656 - 14 janvier 1742 (calendrier julien anglais)
- en France: 8 novembre 1656 - 25 janvier 1743 (calendrier grégorien français).

Halley est décédé trois semaines après le centenaire de la naissance de Newton.

Pour des coïncidences numériques, on peut signaler les dates suivantes :

	né le	*mort le*	*calendrier*
Copernic	19/02/1473	24/05/15**43**	julien
Galilée	15/02/1564	08/01/16**42**	grégorien
Newton	04/01/16**43**	31/03/1727	id.
Halley	08/11/1656	25/01/17**43**	id.

Lectures pour la Marquise

1) Les étranges lunettes de monsieur Huette
2) Une logique robuste

1) Les étranges lunettes de Monsieur Huette - Actes Sud Junior, collection « Les grands livres », 2002, 15 euros.

En 1840, Jules, jeune Nantais âgé de 12 ans, entretient sa passion pour les voyages au long cours en flânant sur le port pour admirer les grands voiliers à quai. Sa curiosité le conduit chez Frédéric Huette, opticien de marine, qui l'initie aux secrets de la navigation astronomique et lui ouvre les portes de l'observatoire de Nantes.
Tel est l'argument de cet album pour enfants, magnifiquement illustré, dans lequel Olivier Sauzereau redonne vie à des personnages historiques qui nous font partager leur art et leur science, avec patience et rigueur. L'auteur, astrophotographe, est bien connu des amateurs d'astronomie nantais qui lui sont reconnaissants de sa récente découverte de l'observatoire de l'école d'hydrographie de Nantes sauvé, grâce à lui, de la destruction. Il connaît bien le jeune public puisqu'il est à l'initiative de classes de patrimoine astronomique qu'il anime. En 2000, il avait déjà livré aux adultes un remarquable *Nantes au temps de ses observatoires* (Coiffard éditeur). Nul doute que l'ouvrage qu'il nous offre aujourd'hui suscitera de nombreuses vocations chez les jeunes lecteurs, à l'instar du petit Jules dont les lecteurs ont sûrement deviné le célèbre patronyme.

Olivier Sauzereau

2) Une logique robuste - Un extrait du livre: "Une journée d'Ivan Denissovitch" (Soljenitsyne), qui parle de la Lune et des étoiles

Ce livre raconte la journée ordinaire d'un prisonnier ordinaire dans un camp stalinien. Ivan Denissovitch, dit Choukhov, est un homme du peuple. Il interroge son chef sur "la Lune", ou "les lunes". Sa logique, pleine de bon sens, pourrait nous dérouter. Que répondrions-nous à Choukhov ? Je vous laisse découvrir ce dialogue piquant (texte tiré de la traduction de L. et J. Cathala, chez Julliard).

Il se sentait si content, Choukhov, que tout ait bien marché, qu'il bourra les côtes au commandant :
- Écoute voir, commandant, dans vos idées de science, où elles vont, les vieilles lunes?
- Où vont-elles? Tu ne sais donc pas qu'il y a une période où la lune n'est pas visible.
Choukhov secoue la tête en rigolant :
- Du moment qu'on ne la voit pas, comment tu sais, toi, qu'elle existe?
Il en a un coin bouché, le commandant :
- T'imaginerais-tu que, chaque mois, c'est une autre lune qui naît?
- Pourquoi pas? Les gens, il en naît bien tous les jours. Pourquoi, alors, il naîtrait pas une lune toutes les quatre semaines?
Il l'a sec, le commandant :
- Je n'ai jamais encore rencontré de matelot aussi cancre! qu'il fait. Où iraient-elles alors, tes vieilles lunes?

- C'est tout juste ce que je te demandais.
- Où vont-elles, à ton avis?
Choukhov soupire et, tout bas, à cause que c'est un secret ;
- Chez nous, on dit que le bon Dieu les casse pour en fabriquer des étoiles.
...
- Pourquoi casserait-il la lune pour en faire des étoiles?
Choukhov hausse les épaules.
- C'est pourtant pas sorcier. Les étoiles, il en tombe; faut bien les remplacer

Si vous n'avez pas lu ce livre, je vous le conseille. Vous comprendrez que même une journée qui commence mal peut se terminer bien. –
G. Paturel

1) Projet pour les Cahiers-Clairaut
2) Instructions pour les auteurs
3) Le prix Camus-Waitz pour le CLEA

1) Quelques projets pour les prochains Cahiers-Clairaut.

Un collègue me disait dernièrement : « On trouve tout ce qu'on veut sur le web ». C'est vrai. « tout » et « n'importe quoi ». Les Cahiers-Clairaut doivent-ils se limiter à donner des adresses de bons sites sur le web ? Peut-être pas. Nous sommes en train de réfléchir à la façon d'apporter des informations originales, rares et utiles pour l'enseignement et l'étude de l'astronomie.

Une première idée vient de ce que dans les observatoires astronomiques nous avons accès à des documents très anciens (la plupart des observatoires français ont été créés il y a plus de cent ans), des documents originaux (les œuvres de Foucault, de Fizeau, de Poincaré, de Hubble et de bien d'autres savants sont disponibles), des documents rares (des notes personnelles de quelques savants sont archivées), des documents enfin qui ont fait date. L'idée est donc de publier les images de ces documents, sinon dans leur intégralité, du moins les passages les plus importants. Quel plaisir de lire les textes originaux. Ils sont parfois plus clairs que les résumés édulcorés qui en ont été tirés.

Une seconde idée vient de ce que quelques jeunes enseignants hésitent à « prendre le train en marche ». On entend parfois les réflexions suivantes : « Je ne sais pas assez de choses pour comprendre les Cahiers-Clairaut », « Il aurait fallu que je m'abonne depuis le début ».
Il est vrai que nous hésitons à publier des choses déjà dites dans le passé. On a parfois l'impression que tout a été compris, assimilé. Mais c'est là qu'il faut repenser à la phrase désormais célèbre de notre ami Victor Tryoën : « la répétition fixe la notion ! ». La seconde idée est donc de re-publier quelques articles fameux des premiers Cahiers Clairaut, en améliorant la typographie et le graphisme. Parallèlement nous donnerons accès aux archives des Cahiers Clairaut, via internet. La digitalisation des documents est en cours. Nous vous donnerons bientôt plus d'information sur le sujet.
Nous voulons même aller plus loin en publiant une série d'articles présentant l'astronomie et l'astrophysique, non pas de A à Z mais de 0 à l'infini, voire au-delà ! Cette nouvelle rubrique commencera en 2004.

Amies lectrices, amis lecteurs, si vous avez des idées ou des suggestions faites-en part à notre secrétaire. Il pourra éventuellement les publier dans la rubrique « courrier des lecteurs (et des lectrices) »:

Jean Ripert
Impasse des Moyracs
46090 Pradines
(jripert@ac-toulouse.fr)

Nous vous rappelons que les articles concernant la rubrique « Avec nos Elèves » doivent être envoyés à :

Frédéric Dahringer
Kervidoret
56310 Bubry
(frederic.dahringer@wanadoo.fr)

Les autres articles doivent être envoyés à :

Georges Paturel
Observatoire de Lyon
69561 Saint-Genis Laval
(patu@obs.univ-lyon1.fr)

Les instructions aux auteurs sont rappelées ci-dessous. –

G. Paturel

2) Instructions pour les auteurs

Préparez votre texte sans oublier :

Le titre
Votre nom et adresse postale et/ou électronique
Un résumé de quelques lignes
Les mots clés

L'idéal pour nous est un fichier écrit sous windows avec Word, les figures étant des fichiers séparés au format jpg ou tif ou gif.
Les jpg sont meilleurs pour les photographies. Les gif et tif sont meilleurs pour les graphiques en noir et blanc. La résolution conseillée est de 300 ppi.

Pour l'instant nous recommandons de ne pas faire de mise en page. Cependant il est préférable de choisir des marges :

Marges gauche et droite de 1,5 cm,
Marge haute de 2 cm,
Marge basse de 3 cm.

Choisissez si possible la police de caractères

Times New Roman de taille 12.

Vous pouvez mettre le texte spécial (par exemple les citations) en italique. Mais évitez les retraits ou les numérotations (puces) automatiques.

Pour les figures, indiquez simplement dans le texte l'emplacement que vous souhaitez, de manière bien lisible et de telle façon que nous puissions retrouver facilement le nom du fichier correspondant. Par exemple :

FIGURE 2 : fichier astrolabe.jpg

Si vous n'avez pas la possibilité de scanner les documents vous-mêmes vous pouvez nous envoyer un exemplaire de bonne qualité que nous digitaliserons nous-mêmes.

Vous pouvez nous envoyer le texte par courrier électronique (voir rubrique précédente) ou sur une disquette par courrier normal, voire même un exemplaire papier si vous n'avez pas d'autres possibilités.

Ces instructions ainsi que les mots clefs seront disponibles sur le site CLEA :

http://www.ac-nice.fr/clea

A vos claviers !
C. Petit

3) Le prix Camus-Waitz pour le CLEA

Le Conseil d'Administration de la Société Astronomique de France a décidé de récompenser l'activité du CLEA dans le domaine de l'astronomie en lui décernant le prix Camus-Waitz qui lui sera remis le 24 mai 2003 à 11h45, à l'Institut d'Astrophysique de Paris.

1) Naissances et Lune

2) La relativité restreinte va avoir 100 ans

1) Naissances et Lune

Suite à l'article paru dans les derniers Cahier Clairaut sur "naissances et Lune", j'ai reçu un courrier du Professeur Marcel Golay, ancien Directeur de l'Observatoire de Genève.

Il m'a adressé une thèse de médecine de 1963 accompagnée d'une lettre savoureuse. Je ne résiste pas à l'envie de partager avec vous certains passages.

"*Par hasard et malgré moi, je me suis intéressé au problème de l'effet (?) de la Lune sur les naissances. Le résultat fut une thèse en gynécologie.*

Je dois cependant préciser l'origine de ma participation. En 1956, la mode était de faire participer les futurs pères à l'accouchement de leur conjointe. Les cliniques offraient des cours pour que le mari sache aider sa femme au bon moment.

J'étais donc auprès de ma femme, en compagnie du gynécologue qui était aussi un de mes collègue à l'université (à cette époque, les universités des petites villes étaient si petites que tous les professeurs se connaissaient) et de la sage-femme. Durant le travail de ma femme, la sage-femme a signalé que la semaine suivante allait être très difficile à cause le la Pleine Lune. J'ai éclaté de rire et mon collègue s'est mis en colère en disant à la pauvre sage-femme de cesser de raconter de telles balivernes. Il m'a demandé d'expliquer mon point de vue à la sage-femme, ce que j'ai essayé de faire, tout le monde oubliant ma femme. Celle-ci, fort énervée a exigé (avec raison) l'arrêt de ce cours d'astronomie.

Le professeur de gynécologie me proposa de reprendre le sujet dans le cadre d'une thèse de médecine.

A la même époque, un physiologiste italien prétendait avoir découvert (ou supposé découvert) un effet de marée à l'intérieur de vaisseaux capillaires. Si cet effet était confirmé, il pourrait être un mécanisme déclencheur de l'accouchement.

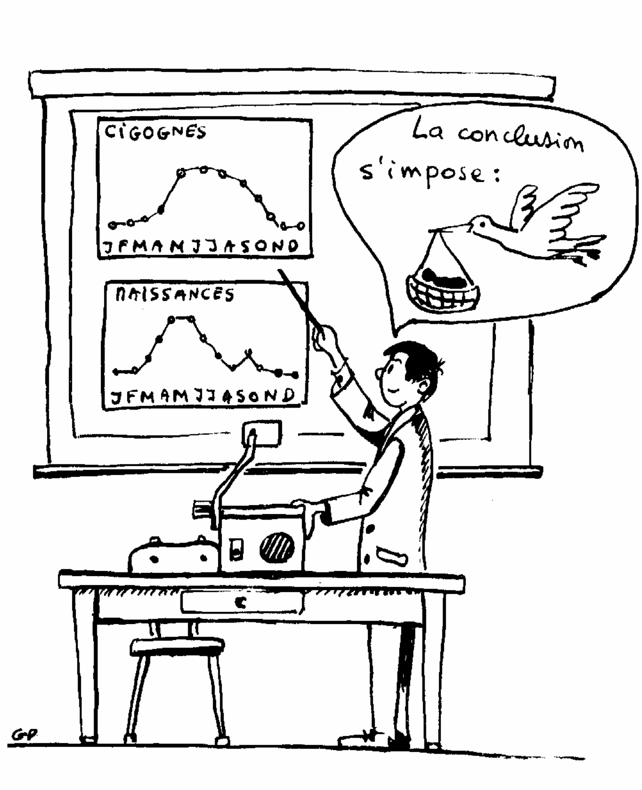
Le grand accélérateur du CERN était dans ces années là en construction à Genève. Il y avait des discussions sur de faibles inclinaisons de la grande plaque de molasse qui supporte l'accélérateur : effet de marée peut-être. On voyait donc des effets de marée un peu partout.

Une étudiante en médecine a donc préparé sa thèse sur le sujet. A l'époque, la collecte des données était fort laborieuse et nous ne voulions pas passer trop de temps avec ce genre de recherche qui néglige les perturbations apportées par la vie en société, les fêtes, les congés et en Suisse les dates de mobilisation militaire des citoyens.

En attendant la naissance de mes petits enfants dans la salle d'attente de la clinique, j'ai pu constater que les sages-femmes sont toujours aussi convaincues que la Pleine Lune favorise les *naissances et qu'il faut prévoir quelques lits supplémentaires. Je crois qu'à part les sages-femmes, la jeune génération ne s'intéresse pas au rôle de la Pleine Lune, mais, hélas, tient compte des signes astrologiques*."

Réponse :

Je ne suis pas aussi optimiste sur la nouvelle génération. Il suffit de voir le nombre de personnes ayant suivi des études "scientifiques" et qui s'intéressent de près aux pseudosciences. Je crois que notre enseignement scientifique ne répond pas à ce problème. Quand est-ce qu'un enseignant a le temps au lycée de parler de ces problèmes avec ses élèves. Où est l'esprit critique ? Où est la réflexion philosophique ? Quand parle-t-on du rôle de la science dans la société ?
Le secrétaire Jean Ripert



2) La relativité restreinte va avoir 100 ans

En 2005 nous commémorerons le cinquantenaire de la mort d'Albert Einstein et le centenaire de la publication de son fameux article « Sur l'électrodynamique des corps en mouvement ».
Nous avons reçu une très intéressante lettre de Pierre Magnien. Nous vous la laissons découvrir :

Au début de 1976 la commission internationale pour l'enseignement de la physique avait pris en considération que le 14 mars 1979 serait le centenaire de la naissance d'Albert Einstein. Il apparut alors à la commission qu'elle se devait de marquer cette date en prenant les initiatives appropriées. Il en résulta un ensemble de manifestations et autres opérations nombreuses et variées qui eurent beaucoup de succès.

Je n'apprendrai à personne qu'en 2005 nous allons fêter le cinquantenaire de la mort d'Albert Einstein et le centenaire de l'article fondateur de la relativité restreinte (avec d'autres également fondamentaux, comme celui sur l'hypothèse des quanta de lumière). Or nous sommes à moins de deux ans de ces dates anniversaire et, malgré des recherches sur Internet et dans la presse, il ne semble pas y avoir grand chose qui se mette en place au niveau français.

Je souhaiterais donc vivement que les associations nationales, comme le CLEA, impliquées dans la diffusion de la culture scientifique proche de la physique s'impliquent dans cette commémoration qui sera l'occasion d'aborder une personnalité et son oeuvre uniques dans notre histoire contemporaine.

Il est très important qu'il y ait des manifestations, en particulier dans l'enseignement qui est le domaine qui me concerne le plus. Aujourd'hui la CST est le plus souvent mis en rapport avec la vie quotidienne, le monde du travail, l'économie mondialisée...etc. et l'on cherche, en la développant, à intégrer la science dans le débat citoyen. C'est une bonne chose mais, au-delà de cette nécessité de lier l'activité scientifique à la société dans laquelle elle se développe, il me *paraît INDISPENSABLE de mettre en rapport, pour le public en général et les scolaires en particulier, la science et l'évolution de notre vision du monde qui permet d'aboutir, aujourd'hui, à un tableau tout à fait "extraordinaire" mais peu connu - hormis par une imagerie spectaculaire mais pas toujours bien comprise - de notre Univers.*

Dans l'éducation et la formation, la culture scientifique et technique doit également apporter un message d'ouverture à des points de vue profondément nouveaux et éloignés du sens commun permettant une meilleure compréhension de notre monde sur des échelles d'espace et de temps vertigineuses. Les sciences et les techniques ont bouleversé, depuis quelques siècles, notre vie quotidienne mais il ne faut pas oublier également ce qu'elles ont apporté pour faire évoluer le regard que nous portons sur le monde et sur nous-mêmes. Les premières réponses étaient essentiellement fondées sur la prise en compte des apparences au premier degré, puis sur l'interprétation, plus ou moins symbolique, de textes religieux. A partir du XVIII^e^ siècle a émergé, en particulier en Europe, une réflexion scientifique qui s'est petit à petit dégagée de la chronologie biblique pour aboutir aujourd'hui à une vue où les milliards ont remplacé les milliers pour compter les années, où la fixité des espèces a disparu au profit d'une évolution complexe et foisonnante, où l'unicité de notre planète s'est dissoute dans la pluralité immense des mondes peuplant très probablement notre Univers. L'acceptation de ce nouveau cadre a été particulièrement longue à s'imposer car tout ce qui est en dehors de notre expérience immédiate est très difficile à appréhender et totalement étranger à notre manière « naturelle » d'appréhender notre environnement quotidien.

Albert Einstein a été un de nos scientifiques qui a le plus oeuvré pour ouvrir ces nouvelles pistes. Je ne sais pas si le « service minimum » sera assuré au niveau national - je l'espère vivement mais je ne suis pas très optimiste - mais nous essayerons localement de monter quelque chose en s'appuyant sur les ressources universitaires et culturelles de notre région de Franche - Comté et, éventuellement, de la Suisse (n'oublions pas que Albert Einstein qui est devenu membre de la confédération helvétique en 1901 en a conservé la nationalité jusqu'à sa mort). Je pense que le CLEA pourrait, en particulier par l'intermédiaire des Cahiers-Clairaut, s'associer à cette commémoration en sollicitant ses adhérents pour produire des articles utiles à nos collègues qui voudront travailler sur le sujet avec leurs élèves.

Merci d'avance pour votre aide et vos informations et bien cordialement.

MAGNIEN Pierre (adhérent CLEA N° 1118)
Responsable Académique
CST Rectorat de l'Académie de Besançon

Réponse :

Nous souhaitons vivement nous associer à cette commémoration. La méthode la plus naturelle pour nous sera de publier des articles sur Einstein, l'homme, et sur son œuvre grandiose qui marque tant notre discipline. Nous allons nous concerter pour organiser ces publications. Merci d'avoir attiré notre attention sur cet événement.
Il est émouvant de penser que les plus vieux d'entre nous ont été contemporains de cet homme génial et que La Terre n'a même pas fait 100 tours autour du Soleil depuis la célèbre publication de « la relativité restreinte ».

Ce numéro a été réalisé grâce au concours de M. Bobin, F. Dahringer, J. Dupré, P. Merlin, C. Petit et, bien sûr, tous les auteurs d'articles

Transparents animés pour rétroprojecteurs

(8 €)

T1 Le TransSoluTe
(phases de la Lune et éclipses)

T2 Les fuseaux horaires

Filtres colorés

Six feuilles de filtres colorés et une feuille de réseaux (11 €)

CD Rom CLEA 2000

Sciences physiques en seconde
Programme 2000 (8 €)

DIAPOSITIVES

Chaque série de 20 vues avec son livret de commentaires (10 €)

D1 Phénomènes lumineux
D2 Les phases de la Lune
D3 Les astres se lèvent aussi
D4 Initiation aux constellations
D5 Rétrogradation de Mars
D6 Une expérience pour illustrer les saisons (série de 8 vues 5 €)
D7 Taches solaires et rotation du Soleil
D8 Comètes

Publications du CLEA

Il faut être adhérent pour se procurer les publications du CLEA. Les prix indiqués, en euros, le sont port compris

Toute commande de documents est à envoyer au siège du CLEA.
Laboratoire d'Astronomie, bât. 470
Université Paris Sud 91405 Orsay cedex

Chèques à l'ordre du CLEA.

Les fiches d'activités pédagogiques du CLEA

HS1 L'astronomie à l'école élémentaire (10 €)
HS2 La Lune niveau collège (10 €)
HS3 Le temps, les constellations, niveau lycée (10 €)
HS4 Astronomie en quatrième(10 €)
HS5 Gravitation et lumière, niveau terminale (12 €)
HS6 L'âge de la Nébuleuse du Crabe, niveau lycée, avec 4 diapositives et 12 jeux de 2 photographies (16 €)
HS7 Etude du spectre du Soleil (8 €)
HS8 Etoiles variables (12 €)

Numéros hors série des Cahiers Clairaut réalisés par le Groupe de Recherche Pédagogique du CLEA

Cours polycopiés d'astrophysique

Maîtrise de l'université
Paris XI Orsay

P1
Astrophysique générale (10 €)

P2
Processus de rayonnement (5 €)

P3
Structure interne
et évolution des étoiles (5 €)

P4
Astrophysique solaire (5 €)

CONDITIONS D'ADHESION ET D'ABONNEMENT POUR 2003

Adhésion au CLEA pour 2003	5 €
Abonnement aux CAHIERS CLAIRAUT n° 101 à 104	25 €

l'adhésion est indispensable pour tout achat de documents
y compris l'abonnement aux Cahiers Clairaut

Le numéro des Cahiers Clairaut	7 €

COLLECTIONS DES CAHIERS CLAIRAUT des années antérieures :
14 € par an du début (1978) à 1997 ; 17 € par an à partir de 1998.

Pour adhérer au CLEA et s'abonner aux Cahiers Clairaut, s'adresser à Béatrice Sandré, trésorière du CLEA, 11, rue Couperin 91440 BURES SUR YVETTE. Chèque à l'ordre du CLEA

CLEA Laboratoire d'astronomie, bât 470
Université de Paris Sud, 91405 ORSAY Cedex
Tél / Fax : 01 69 15 63 80
adresse électronique : clea.astro@astro.u-psud.fr
adresse du site du CLEA : www.ac-nice.fr/clea

Publications

FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAITRES EN ASTRONOMIE

1 - L'observation des astres, le repérage dans l'espace et le temps	7 €
2 - Le mouvement des astres	8 €
3 - La lumière messagère des astres	9 €
4 - Naissance, vie et mort des étoiles	10 €
6 - Univers extragalactique et cosmologie	9 €
7 - Une étape de la physique, la Relativité restreinte	16 €
8 - Moments et problèmes dans l'histoire de l'astronomie	10 €
9 - Le système solaire	14 €
10 - La Lune	10 €
11 - La Terre et le Soleil	12 €
12 - Simulation et astronomie sur ordinateur	8 €

Trois livrets (40 pages en quadrichromie), 1 CDrom et 1 DVD en exclusivité pour le CLEA :
- Livrets "Terre, Planète à Protéger" (par J. diMeglio, géophysicienne) et "L'univers Astronomique" (par A. Acker et J.Cl. Pecker) – Format A5 – Prix unitaire = 1,2 € HT
Livret "La Terre et son Univers en 7 animations " (par M. Dumas) - A4 - Prix unit.= 2,5 € HT
➡ Offre Spéciale = 36 € pour 10 de chacun des livrets (30 en tout) soit chaque livret à 1,2 € HT
- CDrom "Terre, planète à protéger" (avec animations sonores, videos et images) pour 8 € HT
- DVD "40 ans de l'ESO" (d'apès un film de 52 min) pour le prix exceptionnel de 4 € HT

(+TVA=5,5%). Merci de vous adresser à Laurence DEMOND/ APLF- Observatoire de Strasbourg
11, rue de l'université - 67000 Strasbourg (Fax 03 90 24 24 17) e-mail : aplf@astro.u-strasbg.fr

Directeur de la publication : Georges Paturel
Imprimerie Hauguel, 92240 Malakoff

dépôt légal : 1er trimestre 1979
numéro d'inscription CPPAP : 61660
prix au numéro : 7 €