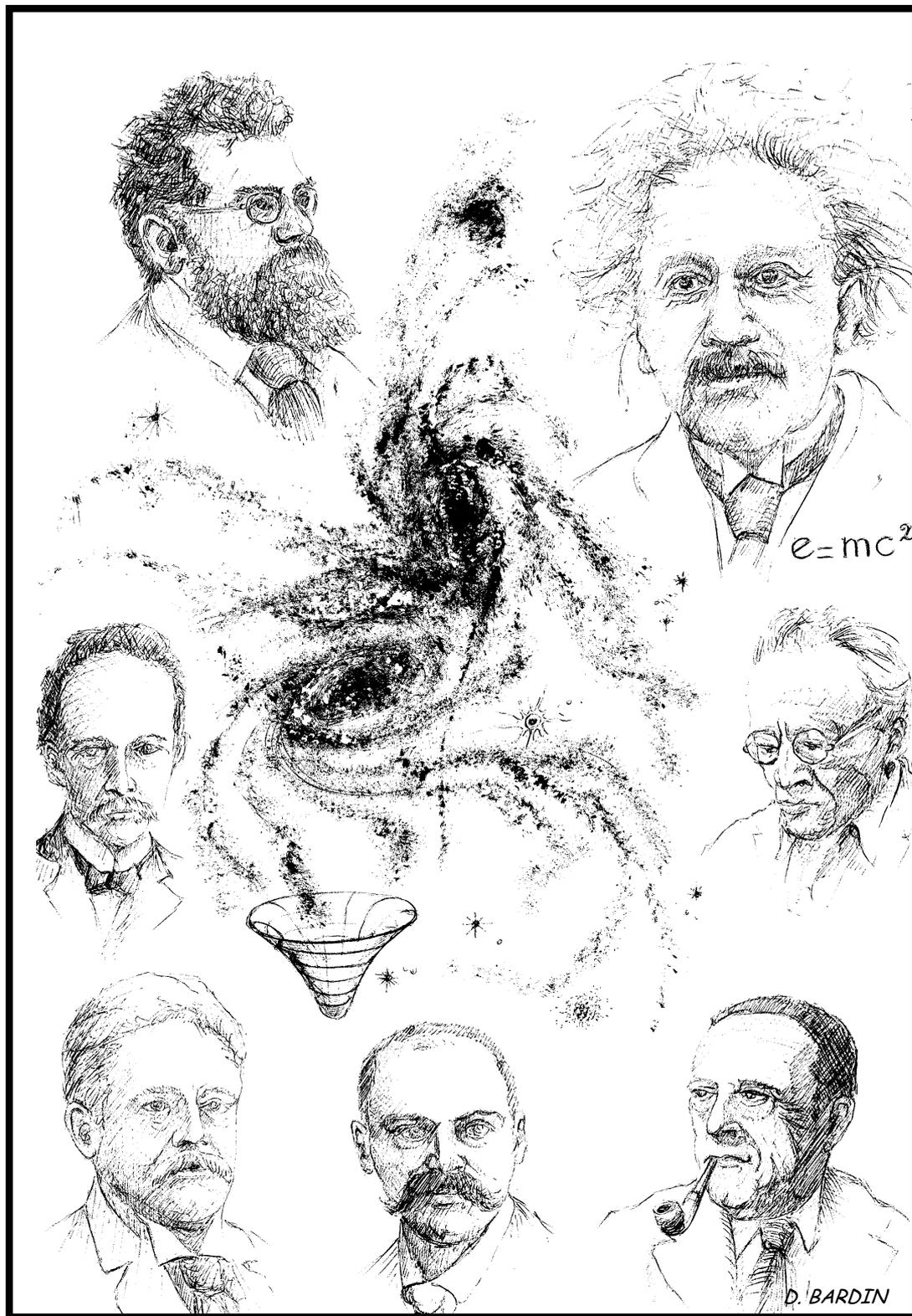


Les Cahiers Clairaut



Comité de liaison enseignants astronomes

Le CLEA

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

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

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

Le **CLEA** a mis en place une liste de diffusion afin de permettre des échanges rapides entre les abonnés. L'adresse est la suivante : C-L-E-A@yahooogroupes.fr.



Pour toute information s'adresser au siège du CLEA :

Laboratoire d'Astronomie, bât. 470

Université Paris Sud 91405 Orsay cedex

Tél./fax : 01 69 15 63 80

Adresse électronique :

CLEA : clea.astro@astro.u-psud.fr

Secrétaire : jean.a.ripert@wanadoo.fr

Le CLEA est présent sur internet à l'adresse :

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

Bureau du CLEA pour 2004

Présidents d'honneurs : Lucienne Gouguenheim,

Jean-Claude Pecker

Evry Schatzman

Gilbert Walusinski

Président : Georges Paturel

Trésorière : Béatrice Sandré

Trésorier Adjoint : Jacky Dupré

Rédacteur des Cahiers : Georges Paturel

Secrétaire : Jean Ripert

Secrétaire Adjointe : Cécile Ferrari

Responsable du site web : Francis Berthomieu

Rédacteurs Adjoints des Cahiers Clairaut

Daniel Bardin, Francis Berthomieu, Michel Bobin

Pierre Causeret, Frédéric Dahringer,

Charles-Henri Eyraud, Marie-Agnès Lahellec,

Christian Larcher, Chantal Petit, Jean Ripert,

Jean-Noël Terry, Daniel Toussaint

Associés de rédaction

Lucette Bottinelli, Jacky Dupré, Jean-Luc Fouquet,

Lucienne Gouguenheim, Colette Le Lay, Lucette Mayer

Philippe Merlin, Josée Sert

A PROPOS DE LA COUVERTURE

Deux galaxies entremêlées, en collision prochaine, sont distordues ; de plus, un "puit de gravitation", image relativiste bien connue, détourne quelques bras des spirales vers le bas. L'année 2005 célébrant l'essor de la physique en hommage à la publication du premier texte sur la Relativité en 1905, quelques portraits entourent le centre de l'image. Comme il était impossible de faire figurer "tous" les physiciens qui ont œuvré pour l'astronomie, il a fallu faire des choix. Qu'on veuille bien pardonner au dessinateur l'injustice de ces choix.

En partant d'Albert Einstein et en tournant dans le sens positif (à l'inverse des aiguilles des horloges), on trouve : Ludwig Boltzmann, Max Planck, Wilhelm Wien, Karl Schwarzschild, Edwin Powell Hubble, Erwin Schrödinger.

Daniel Bardin

Dessin de couverture : Daniel Bardin

Les Cahiers Clairaut

Printemps 2005 n° 109

EDITORIAL

Dans ce numéro nous abordons le dossier : "Année Mondiale de la Physique". Ce sera l'occasion de célébrer la mémoire d'Albert Einstein, ce physicien hors du commun, qui en 1905 publia quatre articles mémorables, portant tous en eux une révolution : l'invention du photon par l'interprétation de l'effet photoélectrique, la preuve de l'existence des atomes par l'analyse du mouvement Brownien, la nouvelle mécanique relativiste et la mythique relation $E=mc^2$, relation d'équivalence entre énergie et masse.

Dans ce premier dossier, nous referons la démonstration de la transformation de Lorentz, telle qu'Einstein la proposa.

Ce numéro est le premier réalisé avec l'aide des éditeurs adjoints.

La Rédaction
patu@obs.univ-lyon1.fr

Cours

Cours élémentaire d'astronomie et d'astrophysique

V – Les mouvements perturbés

G. Paturel p. 2

Avec nos élèves

Toutatis et le choc possible avec la Terre

G. Paturel p.5

Dossier AMP 2005

p. 7

L'Expérience de Michelson et Morley

Poincaré précurseur de la relativité

La transformation de Lorentz

L'expression de la physique

Avec nos Elèves

Référentiels et mouvements de satellites

II - Modélisation mathématique des traces orbitales

P. Le Fur p.14

Observations

Comment mesurer la hauteur du Soleil

J. Ripert. p.19

Observations

Quelques idées d'observations pour 2005
P. Causeret p.23

Histoire

Lecture de Képler
K. Mizar p.25

Avec nos élèves

Le Soleil, Vénus et l'avion
D. Bardin p.28

RUBRIQUES FIXES

p.31

- *Remue-méninges*
- *Lecture pour la Marquise*
- *Les potins de la Voie Lactée*
- *La vie associative*
- *Courrier des lecteurs*

Cours élémentaire d'astronomie et d'astrophysique : V- Les mouvements perturbés

Georges Patrel, Observatoire de Lyon

Résumé: *Dans ce cours, très bref, nous découvrirons les succès, les difficultés résolues et enfin les impossibilités plus fondamentales de la mécanique de Newton. Les difficultés proviennent de la portée infinie de l'attraction gravitationnelle, qui oblige à prendre en compte, en principe, toutes les masses pour calculer la trajectoire d'une seule d'entre elles.*

Introduction

Nous avons rencontré, lors des cours précédents, différentes lois physiques qui semblent gouverner le monde céleste, et même le monde tout court. Après Newton, il a semblé que tout pouvait être expliqué par quelques lois de mécanique, en l'occurrence les trois lois fondamentales du mouvement, plus l'expression de l'attraction universelle. Nous ferons un petit rappel de ces lois. Nous mettrons en lumière quelques-unes de leurs propriétés qui déboucheront sur des conséquences embarrassantes.

L'application de ces nouvelles lois de la mécanique n'était pas toujours facile. Les calculs étaient d'une telle complexité que parfois certains astronomes doutèrent de la validité de certaines lois. Pourtant, à force d'acharnement et d'habileté mathématique, tout parut valider ces lois newtoniennes. Les succès furent nombreux et brillants. Mais bientôt, quelques failles apparurent, qui obligèrent à une révision bouleversante.

Les lois de Newton

Nous avons déjà parlé des lois que Newton avait mises à la base de sa mécanique. Elles étaient au nombre de trois. Nous les rappelons :

Première loi : La Loi d'inertie. En l'absence de force extérieure, la quantité de mouvement (produit de la masse par la vitesse) d'un système demeure constante.

Deuxième loi : Relation fondamentale de la dynamique. Si une force agit sur un corps, le corps

accélère dans la direction de la force, sa quantité de mouvement changeant proportionnellement à cette force.

Troisième loi : Loi de la réaction. Les forces sont toujours mutuelles. Si un corps exerce une force sur un autre corps, ce dernier réagit sur le premier avec une force égale et opposée.

Newton, pour comprendre le mouvement de la Lune et retrouver les lois de Kepler, a dû postuler, en plus, que tous les corps s'attiraient mutuellement en raison inverse du carré de leur distance et proportionnellement au produit de leur masse. C'est la fameuse loi d'attraction universelle. Par des considérations cinématiques, Newton est parvenu à calculer l'accélération produite sur un corps par une force perpendiculaire à la direction de sa vitesse (voir le cours III du CC106).

Ces trois lois faisaient intervenir les concepts précis de "force", "quantité de mouvement" et "masse". La loi d'inertie de Galilée pouvait s'exprimer à partir de ce concept nouveau de quantité de mouvement. Deux de ces quantités, la masse et la quantité de mouvement, se conservent (demeurent constantes) malgré l'évolution du système :

La masse, qui mesure la quantité de matière d'un corps, se conserve. Ce n'est pas une notion aussi évidente que ce que l'on pourrait penser. On peut l'expérimenter avec un enfant qui pensera que la quantité de pâte à modeler dépend de la forme. Nous verrons bientôt, que cette notion de

conservation de la masse a été englobée dans une notion encore plus générale, celle de la conservation de l'énergie, par la célèbre relation d'Einstein $E=mc^2$.

La quantité de mouvement est une notion encore plus abstraite : le produit d'une masse par une vitesse ! Pourtant nous pouvons essayer d'imaginer une situation où cette loi peut se "ressentir". Imaginez que vous êtes sur une surface parfaitement glacée, sans frottement. Si vous poussez une personne, de même masse que vous, vous reculerez, chacun dans des directions opposées, avec une vitesse égale. Si au lieu de pousser une personne vous poussiez un mammouth (je dis mammouth plutôt qu'éléphant, à cause du sol gelé !) vous reculerez à grande vitesse alors que le mammouth resterait presque immobile. C'est la loi de la conservation de la quantité de mouvement.

Origine des lois de conservation

La mathématicienne Emmy Noether montra, par des considérations très générales, que ces lois de conservation résultent de propriétés de l'espace et du temps. La démonstration sort du propos de ce cours élémentaire, mais il est important de connaître l'origine profonde de ces lois qui nous gouvernent.



crédits : www.agnesscott.edu
Emmy Noether 1882-1935

La conservation de l'énergie (et indirectement de la masse) est liée au fait que le temps s'écoule de manière uniforme. N'importe quel instant peut servir d'origine. C'est l'uniformité du temps.

La conservation de la quantité de mouvement est liée au fait que tous les points de l'espace sont équivalents. N'importe quel point peut servir d'origine des positions. C'est l'homogénéité de l'espace.

Il existe une autre loi de conservation, applicable pour les systèmes en rotation, c'est ce qu'on appelle la conservation du moment cinétique et qui est liée

au fait que toutes les directions sont équivalentes. C'est l'isotropie de l'espace.

Quelques propriétés gênantes des lois de la mécanique

La loi de la gravitation universelle et la conservation de la quantité de mouvement avaient des propriétés qui portaient en elles des complications insoupçonnées.

L'expression même de la loi d'attraction universelle montre que si la distance entre les corps est nulle, la force d'attraction devient infinie. C'est une difficulté pour la microphysique mais pas pour l'astrophysique dont nous allons parler. C'est au contraire à l'opposé, quand la distance devient infinie, que nous rencontrerons des problèmes. La force tend vers zéro, mais il n'y a pas de limite à la portée de cette attraction. Tous les corps de l'univers agissent les uns sur les autres. Le moindre déplacement d'une masse quelque part dans l'univers doit, en principe, retentir sur tous les autres corps. Si par exemple je me déplace dans mon bureau, en toute rigueur la trajectoire des planètes doit en être modifiée. Evidemment, ma faible masse, comparée à celle des planètes, rend mon influence infime, mais pas nulle.

La conservation de la quantité de mouvement pose également un problème dans la définition du repère de référence. Expliquons un peu plus en détail. Tant que l'homme se croyait sur une Terre immobile, au centre de l'univers, il n'y avait pas de problème. Mais du fait de la conservation de la quantité de mouvement, la réalité est que le Soleil et la Terre tournent tous deux autour du centre de gravité commun. Si la Terre se déplace un peu, elle induit un petit déplacement du Soleil. La Lune en "tournant autour de la Terre" induit un petit mouvement à la Terre. Le plan de l'écliptique, ce plan si important pour les observations, n'est donc pas exactement le plan défini par l'orbite de la Terre, mais par celui, moins directement accessible, de l'orbite du couple Terre-Lune.

Notons que cette particularité a été mise à profit par M. Mayor et D. Queloz, pour réaliser la première détection de planètes extrasolaires (exoplanètes), en mesurant, pour des étoiles proches, les petits déplacements périodiques induits par ces planètes invisibles.

Les succès de la mécanique de Newton

Les premières analyses détaillées furent appliquées au mouvement de la Lune et aux planètes. La

trajectoire de chaque planète étant définie par les différents paramètres qui la caractérisent (voir le cours précédent), il était possible de prévoir précisément les positions de chacune d'elles, à tous moments.

En 1790, l'orbite de la planète d'Uranus fut calculée avec précision par Delambre. Cette planète, découverte par hasard neuf ans plus tôt par W. Herschell, ne semblait pas suivre exactement les prédictions. Les perturbations causées par Jupiter et Saturne n'expliquaient pas les écarts. Vers les années 1840, les désaccords entre observation et prédiction étaient de l'ordre de 2', donc très significatifs. Un jeune étudiant anglais, J.C. Adams, proposa que le désaccord provenait d'une perturbation par une planète inconnue, orbitant au-delà de l'orbite d'Uranus. Il calcula la position de cette hypothétique planète et alla voir son professeur, Sir G. Airy. Celui-ci n'accorda aucun crédit à cette prédiction. Un an plus tard, un astronome connu, Le Verrier, fit le même calcul que celui d'Adams et obtint une prédiction similaire. L'observation fut faite. La planète nouvelle fut découverte. Elle fut appelée Neptune. Airy remarqua que la prédiction de son étudiant, un an avant celle de Le Verrier, était correcte. Il eut l'honnêteté de le faire savoir, au risque de se discréditer. Justice fut ainsi rendue au jeune étudiant.

Les mesures qui ne rentrent pas dans le rang

La planète Mercure, la plus proche du Soleil, montrait un curieux phénomène. Le grand axe de son orbite dérivait de 574" par siècle ; il devait s'agir des perturbations des autres planètes. Les corrections étant faites, il restait encore une petite anomalie de 43" par siècle, les perturbations connues expliquant, à elles seules, 531"/siècle.

La première idée fut qu'une planète nouvelle devait exister, très proche du Soleil, qui pourrait expliquer les 43"/siècle. Cette mystérieuse planète reçut même un nom : Vulcain, dieu des Enfers. Mais cette planète ne fut jamais observée. Quand Einstein développa sa théorie de la Relativité Générale, il pensa que l'anomalie de Mercure s'expliquerait simplement par les nouvelles lois. En effet, Mercure est très près du Soleil. Le champ de gravitation y est très intense, et c'est là justement que les nouvelles lois devaient montrer une différence par rapport à la mécanique de Newton. Einstein fit le calcul de la correction impliquée par sa nouvelle mécanique. Le résultat était étonnant :

43"/siècle. Non seulement, il n'y avait plus besoin de Vulcain, mais une telle planète était même exclue.

Les faits à jamais inexpliqués

La portée infinie de l'attraction gravitationnelle pose un nouveau problème. Si on considère les petites planètes, ce qu'on appelle aussi les astéroïdes, les perturbations causées par l'ensemble des masses du système solaire peuvent devenir grandes, mêmes celles provenant de petites masses encore inconnues.

En d'autres termes, il devient impossible de prédire les positions des petites planètes. Dans le détail ultime, la trajectoire d'un corps céleste quelconque obéit à une trajectoire imprévisible.

A courte échéance, il est possible de prendre en compte les effets principaux, ceux résultant des grosses planètes mais aussi ceux produits par les petites planètes déjà identifiées. Mais au-delà d'un certain temps, les petites perturbations encore inconnues peuvent modifier suffisamment les positions, pour rendre impossible toute prédiction. Il n'est pas possible de connaître la trajectoire d'une planète avec une précision infinie. Dans le détail, les trajectoires planétaires sont dites chaotiques.

Pour les corps de petite taille, l'incertitude est très grande. C'est le cas par exemple de l'astéroïde "Toutatis", qui passe tous les quatre ans à proximité de la Terre et qui pourrait un jour la percuter. Nous proposons un exercice (voir l'article suivant) dans lequel nous essayons d'évaluer l'ampleur du séisme que provoquerait la collision de Toutatis avec la Terre. Le résultat est un peu effrayant, même si la probabilité de rencontre est faible.

Nos ancêtres les Gaulois avaient bien raison de se méfier ...

■ ERRATA

Dans le précédent Cours (CC108) nous avons commis deux erreurs, que nous avons oublié de corriger, en dépit de leur détection par P. Causeret :

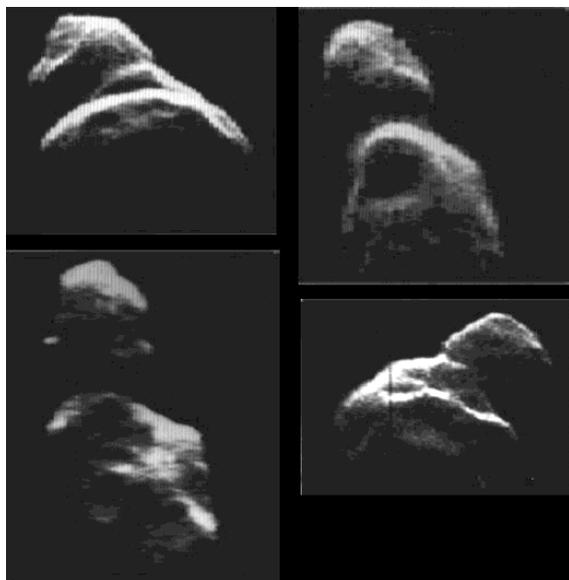
Page 7, colonne 1, ligne 1 : En hiver, les jours solaires vrais sont plus longs que les jours solaires moyens. En effet, le Soleil vrai avançant plus vite sur l'écliptique, il faut plus de temps pour que la rotation de la Terre sur elle-même nous fasse retrouver le Soleil au méridien.

Page 8 (encadré) : sur la figure, il faut lire périhélie (ou plus généralement périastre) et non aphélie.

Avec nos excuses pour cet oubli.

Toutatis et le choc possible avec la Terre

G. Paturel, Observatoire de Lyon
Stage DAFAP de Janvier 2004



Crédits : Steve Ostro, JPL

Le petit astéroïde Toutatis, vu sous différents angles, à partir de mesures en radio.

Toutatis, ce petit astéroïde, identifié en 1989 par Christian Pollas, depuis l'observatoire du CERGA, a une trajectoire très elliptique. Il y a quelques années, il est passé très près de la Terre, à 2,3 fois la distance Terre-Lune et, en 1989, il est passé à quatre fois la distance Terre-Lune. Sa période orbitale est de 3,98 ans. Tous les quatre ans, il passe à l'intérieur de l'orbite de la Terre. C'est un corps susceptible un jour d'entrer en collision avec notre Terre, mais cette possibilité n'est pas pour un avenir proche. Nous allons calculer quelle serait l'énergie de l'impact si un tel phénomène se produisait.

Enoncé du problème :

Les dimensions de Toutatis en kilomètres sont les suivantes : $4,6 \times 1,92 \times 2,29$. Sa densité est environ deux fois celle de l'eau (i.e. $d=2$). Calculer la masse de Toutatis en kilogrammes en l'assimilant à un parallélépipède rectangle. Le demi-grand axe de son orbite est $a=2,51$ UA (l'unité astronomique est égale au demi-grand axe de l'orbite terrestre). On rappelle que la vitesse V d'un petit corps orbitant autour d'une masse M est donnée par :

$$V^2 = G.M \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right), \text{ où } r \text{ est la distance entre le}$$

corps et la masse attractive et G la constante de gravitation universelle. On négligera l'excentricité de l'orbite terrestre et on prendra pour l'unité astronomique la valeur $a_T=150 \cdot 10^6$ km. Calculer la vitesse (en mètres par seconde) qu'aurait Toutatis au moment de l'impact avec la Terre. Calculer alors l'énergie cinétique minimum de la collision.

On rappelle que l'échelle des magnitudes sismiques de l'échelle de Richter est donnée par une loi linéaire du logarithme de l'énergie libérée. Sachant que l'énergie d'un séisme de magnitude 7 est trente fois plus forte que celle d'un séisme de magnitude 6 et que celle d'un séisme de magnitude 5 est environ l'énergie d'une bombe semblable à celle d'Hiroshima ($8,36 \cdot 10^{13}$ joules), trouver la relation liant la magnitude sismique dans l'échelle de Richter et l'énergie en joules du séisme correspondant.

Calculer la magnitude sismique minimum que provoquerait un impact de la Terre avec Toutatis. Quel serait le résultat si la vitesse au moment de l'impact était augmentée de la vitesse orbitale de la Terre (choc frontal)?

Correction du problème sur l'impact de Toutatis avec la Terre

Le volume de Toutatis est approximativement de $2 \cdot 10^{10} \text{ m}^3$. Pour une masse volumique de $2 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, la masse est $m=4,0 \cdot 10^{13} \text{ kg}$. Au moment de l'impact avec la Terre le rayon vecteur r serait d'une unité astronomique (a_T) et sa vitesse serait donnée par (M est alors la masse du Soleil) :

$$V^2 = G.M \left(\frac{2}{a_T} - \frac{1}{a} \right),$$

La vitesse orbitale de la Terre est donnée avec la même relation (en négligeant l'excentricité de l'orbite terrestre, $a \equiv a_T$) :

$$V_T^2 = G.M \left(\frac{2}{a_T} - \frac{1}{a_T} \right),$$

(V_T se calcule aisément sachant que a_T est de 150 millions de kilomètres et que la Terre met un an pour faire un tour complet autour du Soleil. On trouve alors $V_T = 30 \text{ km/s}$).

En faisant le rapport de ces deux relations on trouve : $V^2 = 1,6 V_T^2$, sans avoir à connaître G et M . D'où $V=38 \text{ km/s}$. C'est la vitesse relative minimale en cas de choc. L'énergie cinétique minimale est donc :

$$E = \frac{1}{2} m.V^2$$

Soit :

$$E = 2,9 \cdot 10^{22} \text{ joules}$$

(plus de 350 millions de fois l'énergie de la bombe atomique d'Hiroshima).

La relation entre magnitude sismique et énergie est de la forme (analogue à la relation définissant la magnitude apparente d'une étoile ou tout autre phénomène découlant de la loi de Fechner) :

$$m = k \log E + C$$

Soit E_6 l'énergie libérée par un séisme de magnitude 6. La relation entre les magnitudes 7 et 6 s'écrit alors simplement :

$$7 = k \log 30E_6 + C$$

$$6 = k \log E_6 + C$$

En soustrayant ces deux relations on tire :

$$1 = k \log 30$$

d'où :

$$k=0,68.$$

La dernière condition donnée dans l'énoncé (calibration) conduit à la relation :

$$5 = 0,68 \log(8,36 \cdot 10^{13}) + C, \text{ d'où } C = -4,47.$$

Donc finalement la relation cherchée est :

$$m = 0,68 \log(E) - 4,47$$

D'après cette relation approchée, la magnitude sismique minimale d'un impact de Toutatis sur la Terre serait de 10.8 sur l'échelle de Richter. En cas de choc frontal, la vitesse de Toutatis par rapport à la Terre serait augmentée de la vitesse orbitale de la Terre et l'énergie cinétique serait de $9,2 \cdot 10^{22}$ joules. La magnitude sismique atteindrait la valeur $m=11.1$. Par comparaison, le séisme de décembre 2004 en Asie avait une magnitude un peu supérieure à 9.

Deux conférences sur les sujets vus ci-dessus

L'Association du Planétarium du Collège Valéri, de la ville de Nice, organise un cycle de conférences. Les deux dernières conférences porteront sur les sujets évoqués dans le cours élémentaire (les exoplanètes) et dans l'exercice ci-dessus, C. Pollas étant le découvreur de l'astéroïde Toutatis. Renseignements : 04.92.09.09.24

Vendredi 8 avril 2005 à 20 heures : "A LA RECHERCHE DES EXOPLANETES"

Par M. Yves RABBIA, Astrophysicien à l'Observatoire de la Côte d'Azur.

Vendredi 20 mai 2005 à 20 heures : "QUOI DE NEUF DANS LA CHASSE AUX ETOILES ?"

Par M. Christian POLLAS, Ingénieur

2005 : L'année mondiale de la physique

G. Paturel, Observatoire de Lyon

Introduction

Après le dossier Vénus, qui nous a occupés pratiquement toute l'année 2004, voici un autre dossier, celui de l'année mondiale de la physique. Pourquoi une telle célébration ? Albert Einstein a publié son article mémorable introduisant la nouvelle mécanique, la mécanique relativiste, en 1905, le 30 juin pour être précis. L'anniversaire de sa mort, le 18 avril 1955, est une autre commémoration que l'on peut attacher à cette année 2005.

Les débuts difficiles

Einstein a profondément bouleversé la physique, dans de très nombreux domaines, et pourtant, les débuts de sa carrière furent particulièrement difficiles. A la fin de ses études en 1900, il ne put obtenir un poste auprès des physiciens qu'il avait sollicités (W. Ostwald et H. Kamerlingh-Onnes). Sa passion pour la physique - plus tard il se décrira lui-même comme un monomane de la physique - ne se démentit pas, malgré quelques moments de découragement. En 1901, il écrivit un premier article sur la capillarité, article qui fut publié dans la revue *Annalen der Physik*.

Avec son ami K. Habicht et un jeune Roumain, M. Solovine, qu'il rencontra lors de cours de physiques qu'il donnait pour survivre, il avait constitué en 1902 un petit cercle de discussions scientifiques, l'Académie Olympia, qui eut probablement une grande influence, en lui permettant de discuter des idées neuves. Cette période fut difficile sur le plan matériel, mais heureusement, il put, grâce au soutien du père de son ami Marcel Grossmann, obtenir un emploi, en juin 1902, au Bureau suisse des brevets, dans la ville de Berne. Nous aurons l'occasion de reparler de M. Grossman, qui joua encore un rôle important dans la carrière d'Einstein. Un autre ami d'Einstein vint travailler à

l'Office des brevets de Berne. C'était M. Besso. Celui-ci participa aux discussions au cours desquelles Einstein trouva la formulation finale de son article de 1905 sur la Relativité restreinte. 1905, c'est aussi l'année où Einstein vit sa thèse acceptée après deux refus.

1905, l'année décisive

Ce fut un moment de plus grande liberté d'esprit. En 1904, il avait déjà publié cinq articles scientifiques, acceptés par les *Annalen der Physik*, des articles portant essentiellement sur la thermodynamique. Puis vint l'année exceptionnelle de 1905. Einstein, cette année-là, publia quatre nouveaux articles, vite remarqués par les physiciens, dont Max Planck : le premier article lui valut le prix Nobel de Physique pour l'interprétation de l'effet photoélectrique, le second portait sur le mouvement Brownien, le troisième constituait les fondements de la Relativité restreinte (appelée *Special Relativity*, par les Anglo-saxons), cette nouvelle mécanique qui englobait celle de Newton, et le dernier article était celui qui portait en lui la relation emblématique de l'œuvre d'Einstein :

$$E = mc^2.$$

On aurait tort de penser que seuls les deux derniers articles étaient réellement importants. En effet, le premier article laissait entrevoir un lien entre la conception ondulatoire et la conception corpusculaire du photon, le second prouvait la réalité des atomes, à une époque où cette réalité était encore contestée.

On ne peut que s'émerveiller d'une telle productivité, seulement cinq ans après la fin de ses études. Cette productivité ne se démentira pas pendant toute sa carrière. Nous reviendrons sur les étapes marquantes de la vie d'Einstein pour explorer

sa deuxième grande théorie, la théorie de la relativité Générale.

Un savant fascinant

Einstein était une personne qui, sur bien des points, était exceptionnelle. L'homme avait un caractère affirmé, ce qui lui valut l'opposition de quelques-uns de ses professeurs. Mais il avait aussi une humanité profonde : son mépris pour la force des armes (il est injuste qu'il soit parfois perçu comme l'inventeur de la bombe atomique, lui le pacifiste convaincu) le poussa très jeune à abandonner sa nationalité, celle d'un pays jugé trop militariste à ses yeux. Plus tard, il utilisa sa notoriété pour aider ses compatriotes poursuivis par le nazisme. C'est ainsi qu'il écrivit ce petit livre exceptionnel dont nous avons déjà parlé : "*L'évolution des idées en physique*", en collaboration avec L. Infeld, pour aider financièrement ce dernier. Mais ce qui me paraît plus important encore, et particulièrement pour un scientifique, c'est son honnêteté foncière. Il ne savait pas mentir. Une anecdote est révélatrice. Il fut rapporteur ("*referee*" en anglais) pour un article d'un jeune physicien (je crois me souvenir qu'il s'agissait de Kaluza). Il refusa tout d'abord l'article. Mais deux ans plus tard, Einstein se ravisa et écrivit à l'éditeur pour dire qu'il s'était trompé et que l'article était acceptable.

Une autre facette de ce théoricien hors du commun était, on l'ignore souvent, un sens aigu du concret. Dans certains articles théoriques, Einstein n'hésite pas à donner des schémas techniques ; il eut l'occasion de prendre un brevet sur un principe de réfrigérateur, ses expériences de pensée (les trains, les ascenseurs) montrent aussi ce lien direct au concret.

Emotion personnelle

Einstein a fasciné plusieurs générations d'étudiants et l'importance de ses travaux se révèle encore aujourd'hui, avec les lasers, les lentilles gravitationnelles, les condensats dits de "Bose-Einstein", et bien d'autres choses de la physique moderne.

Permettez-moi d'évoquer brièvement une expérience personnelle qui peut éclairer sur les raisons, parfois curieuses, qui motivent un jeune pour la physique. Mon premier contact avec les nouvelles lois relativistes me fut donné par un camarade de classe, qui, pendant un cours de mathématiques, m'affirma qu'une montre dont le ressort était remonté (à l'époque, les montres électroniques n'existaient pas) était plus lourde

qu'une montre dont le ressort était détendu. Le professeur nous surprit en train de parler et nous réprimanda. Il ignorait que cette révélation choquante, venait de sceller pour toujours mon intérêt pour la relativité et son inventeur.

Depuis lors, ma fascination ne s'est pas démentie, ni pour l'œuvre, ni pour l'homme. Je ressens une émotion certaine à l'idée d'avoir été contemporain d'Einstein pendant une dizaine d'années. Je ne l'ai pas rencontré, bien sûr, mais j'ai rencontré quelqu'un qui l'avait rencontré, et qui tous les matins prenaient le même bus que lui, à Princeton. C'était B. Mandelbrot, l'inventeur des fractals. Il me raconta qu'Einstein, très âgé déjà, avait un siège réservé dans le bus.

Le programme de ce dossier

Tout au long de ce dossier, nous évoquerons les travaux d'Einstein, en suivant le fil chronologique. Mais l'année mondiale de la physique, c'est aussi la célébration de toute la physique et nous parlerons des travaux remarquables d'autres physiciens, H. Poincaré, L. de Broglie et bien d'autres.

Dans ce Cahier, nous commencerons par parler de l'expérience décisive de Michelson et Morley pour évoquer ensuite H. Poincaré, qui fut par certains aspects, un précurseur. Nous donnerons aussi la démonstration, telle qu'elle fut publiée par Einstein lui-même, de la transformation dite de Lorentz. La relativité a la réputation d'être une théorie, très mathématique, et donc très difficile. Nous débattons de la nécessité d'exprimer les théories physiques sous forme purement mathématique, à travers un texte de C. Larcher.

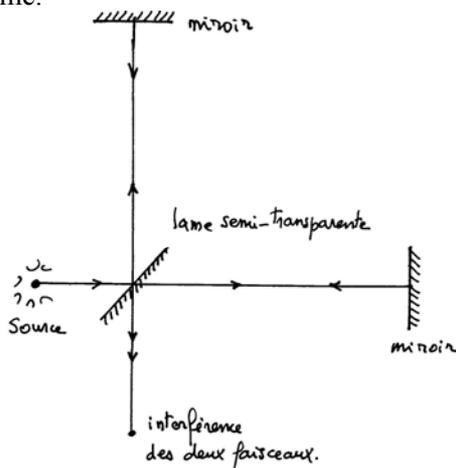
A lire, absolument !

Pour en savoir plus sur Einstein, sa vie, son œuvre, je vous recommande sans réserve le livre écrit par un de ses collaborateurs, Banesh Hoffmann avec la collaboration d'Helen Dukas, la propre secrétaire d'Einstein. Ce livre s'intitule : "Albert Einstein créateur et rebelle", publié aux éditions du Seuil. Ce livre se lit comme un roman.

Pour avoir accès à une sélection des meilleurs articles d'Einstein, il y a la série de livres "Albert Einstein, Œuvres choisies" éditée sous la direction de Françoise Balibar aux éditions du Seuil/CNRS. On y trouve les articles et les lettres les plus célèbres, commentées par des spécialistes. C'est un vrai bonheur de lire les écrits originaux d'Einstein, et d'y découvrir son approche de la physique.

L'expérience de Michelson et Morley

L'idée que la lumière ait besoin d'un support, l'éther, pour vibrer était très répandue. Pouvait-on mettre en évidence le mouvement de la Terre par rapport à ce support hypothétique ? Tel était l'enjeu de l'expérience. Michelson avait développé un interféromètre très précis. Le principe consistait à faire interférer deux faisceaux lumineux, issus d'une même source, après leur avoir fait parcourir des trajets aller-retour égaux, ou quasiment égaux, dans deux directions perpendiculaires. Les retours sont obtenus par des miroirs placés sur les deux bras du support (voir la figure). Si le chemin optique de la lumière varie sur un des bras, soit parce que celui-ci change de longueur, soit parce que la vitesse de la lumière varie, la figure d'interférence (anneaux ou franges, selon la configuration de l'appareil) se déforme.



Le chemin optique s'exprime comme le produit de la longueur du trajet par l'indice de réfraction (rapport de la vitesse de la lumière dans le vide à la vitesse de la lumière). Nous allons nous placer dans le référentiel de l'éther où la vitesse de la lumière est constante et égale à c . Nous n'aurons donc pas à considérer l'indice de réfraction, seule la longueur du trajet effectif devra être considérée. Calculons donc les trajets effectifs de la lumière, L_1 et L_2 , pour les deux directions considérées: parallèle à la translation de la Terre sur son orbite et perpendiculaire à cette même direction. Nous noterons v la vitesse de la Terre sur son orbite et L la longueur de chacun des bras de l'interféromètre. Nous adopterons un point de vue classique.

Pour la direction orientée dans le sens de déplacement de la Terre, la lumière doit parcourir à l'aller une longueur L , augmentée du déplacement du miroir de renvoi pendant cette partie du trajet. La

longueur effective est donc $L + v.t_1$, où t_1 est le temps $L/(c-v)$ que la lumière met pour atteindre le miroir. Pour le trajet de retour on a de même une longueur $L - v.t_2$, où t_2 est $L/(c+v)$, temps que la lumière met pour revenir à son point de départ, après réflexion sur le miroir. La longueur totale du trajet aller-retour est donc:

$$L_1 = 2L + \frac{vL}{c-v} - \frac{vL}{c+v} = \frac{2L}{1-\beta^2}, \text{ où } \beta=v/c.$$

La durée du trajet aller-retour pour le bras perpendiculaire à la direction de translation est plus compliquée à calculer. En effet, l'interféromètre se déplaçant, la longueur du trajet effectif de la lumière, dans le référentiel de l'éther, sera la composition de la longueur $L_2/2$ et du déplacement $v.t_2$, où t_2 est le temps aller (ou retour) de ce trajet, c'est-à-dire $L_2/2$. En utilisant le théorème de Pythagore, la longueur effective sera donc :

$$(L_2/2)^2 = L^2 + v^2 \frac{(L_2/2)^2}{c^2}, \text{ d'où l'on tire la}$$

longueur du chemin optique pour le deuxième bras :

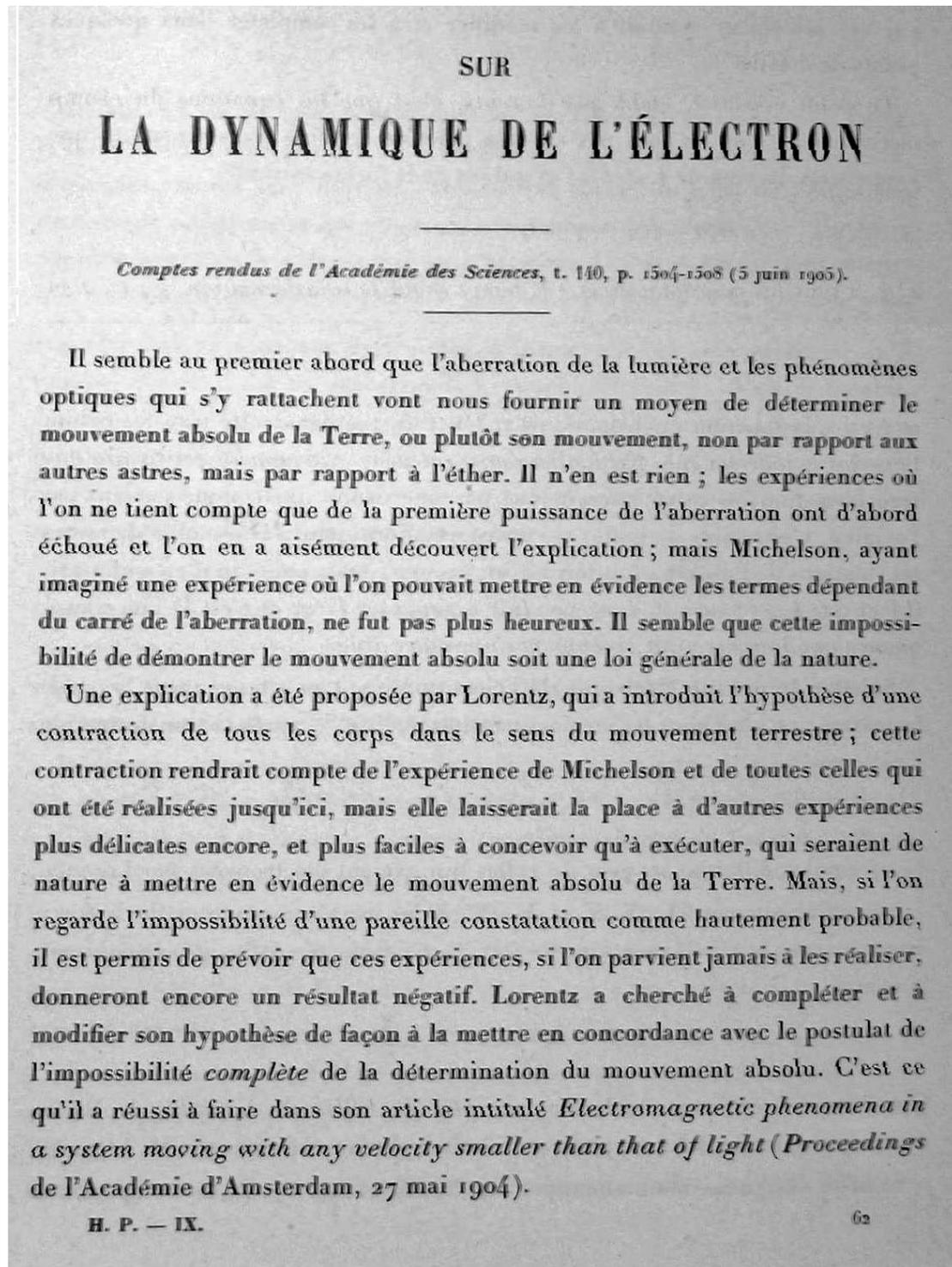
$$L_2 = \frac{2L}{\sqrt{1-\beta^2}}.$$

Notons que nous aurions pu faire le calcul dans le référentiel de la Terre au lieu de celui de l'éther. Le calcul aurait été un peu différent mais le résultat aurait été le même.

Le chemin optique des trajets n'est pas le même dans une direction et dans l'autre. Si donc on observe la figure d'interférence en faisant tourner l'ensemble de l'interféromètre, on devrait la voir se modifier, selon l'orientation des bras vis-à-vis de la direction de translation de la Terre. Or il n'en fut rien. L'éther était-il entraîné avec la Terre ; l'interféromètre subissait-il une déformation juste capable de compenser l'effet attendu ? Autant de questions qui plongèrent les physiciens dans la perplexité. On voit que si le chemin optique dans la direction de translation de la Terre se contractait d'un facteur : $\sqrt{1-\beta^2}$, les chemins optiques demeureraient identiques. C'est ce qu'ont proposé plusieurs physiciens, dont les auteurs de l'expérience ainsi que Fitzgerald et Lorentz. Cette contraction était certes *ad hoc*, mais c'était la seule qui pût réconcilier cette expérience avec la mécanique de Newton.

Poincaré, précurseur de la relativité

Poincaré semblait convaincu qu'aucune expérience ne pourrait mettre en évidence le mouvement de translation de la Terre (voir le texte ci-dessous). Il en avait déduit le principe de relativité, comme Einstein, et avait, dès 1905, obtenu l'expression correcte de la transformation qu'il nomma "*transformation de Lorentz*". Il n'eut malheureusement pas l'audace d'abandonner les idées classiques d'espace et de temps.

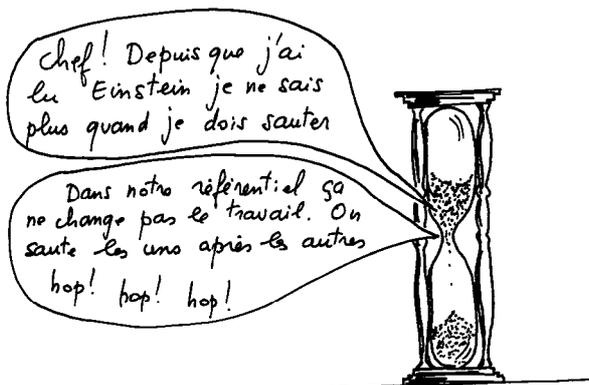


La transformation de Lorentz

Nous reproduisons ci-dessous la démonstration historique, établissant les fondements de la Relativité restreinte. En fait, la démonstration de 1905 était assez longue et difficile à suivre. Einstein a trouvé une démonstration plus simple en 1907. C'est celle que nous reproduirons, avec quelques compléments pour expliquer les calculs.

Dans l'article de 1905, Einstein définit tout d'abord les deux postulats de sa nouvelle théorie : 1) Le principe de relativité qui affirme qu'aucune expérience mécanique ou électrodynamique ne peut permettre de déceler un mouvement de translation uniforme. Comme nous l'avons vu, c'était une conviction pour Poincaré également. 2) La vitesse de la lumière dans le vide est constante indépendamment de la vitesse de la source émettrice. Einstein montrera que ces deux postulats ne sont pas incompatibles.

Einstein discute ensuite la notion de simultanéité et de relativité des longueurs. Il conclut qu'il n'est pas possible d'attribuer un sens absolu à la simultanéité ou à la longueur. Seules ont un sens précis les mesures faites dans un référentiel donné avec des horloges et des règles en repos par rapport à ce référentiel.



Einstein considère alors deux systèmes de coordonnées : l'un $S\{x,y,z,t\}$, l'autre $S'\{x',y',z',t'\}$. Ces deux référentiels sont supposés en translation uniforme l'un par rapport à l'autre, avec une vitesse uniforme v , de telle sorte que l'axe x de S coïncide avec l'axe x' de S' . Les grandeurs x, y, z, t fixent un événement relativement au système S . Ce même événement est fixé par les grandeurs x', y', z', t' , relativement au système S' . Il faut trouver les équations qui lient ces grandeurs entre elles. Les

équations cherchées doivent être linéaires du fait de l'homogénéité du temps et de l'espace. L'origine du temps dans les deux systèmes est choisie au moment où les origines des coordonnées coïncident. Lisons Einstein :

"De la position, maintenant connue, des plans de coordonnées de S' relativement à S , nous concluons immédiatement que les équations des couples suivants sont équivalentes :

$$\begin{aligned}x' = 0 &\Leftrightarrow x - vt = 0, \\y' = 0 &\Leftrightarrow y = 0 \text{ et} \\z' = 0 &\Leftrightarrow z = 0\end{aligned}$$

Trois des équations de transformation cherchées sont donc de la forme :

$$\begin{aligned}x' &= A(x - vt) \\y' &= B.y \\z' &= C.z.\end{aligned}$$

Comme la vitesse de propagation de la lumière dans le vide est égale à c par rapport aux deux systèmes, les deux équations :

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2$$

et :

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2$$

doivent être équivalentes. D'où l'on conclut, compte tenu des expressions qui viennent d'être trouvées pour x', y', z' et après un calcul simple que les équations de transformation cherchées doivent être de la forme :

$$\begin{aligned}t' &= \varphi(v) \cdot \beta \cdot \left(t - \frac{v}{c^2} x\right) \\x' &= \varphi(v) \cdot \beta \cdot (x - vt) \\y' &= \varphi(v) \cdot y \\z' &= \varphi(v) \cdot z\end{aligned}$$

où l'on a posé :

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Nous allons maintenant déterminer la fonction de v restée jusqu'ici indéterminée. Introduisons un troisième système de référence S'' , équivalent à S et S' , se déplaçant par rapport à S' à la vitesse $-v$

[...]; alors, en appliquant deux fois les équations auxquelles nous venons d'aboutir, nous obtenons :
[...]

$$\varphi(v) \cdot \varphi(-v) = 1.$$

Comme en outre la relation entre y et y' ne peut pas dépendre du signe de v , il vient :

$$\varphi(v) = \varphi(-v).$$

On a donc :

$$\varphi(v) = 1$$

et [donc] les équations de transformations[...]"

Un calcul simple, Monsieur Einstein !

Quand Einstein dit que les équations de transformation peuvent être établies par un calcul "simple", cela était sans doute vrai pour lui, mais pas pour nous. Sans faire précisément le calcul, donnons le moyen de parvenir au résultat:

On commence par noter que $C=B$, par raison de symétrie. Par ailleurs, nous choisissons d'écrire la constante A sous la forme : $A=B \cdot \beta$, où β sera une nouvelle constante à déterminer. Nous avons donc les équations de transformation :

$$\begin{aligned}x' &= B \cdot \beta (x - vt) \\y' &= B \cdot y \\z' &= B \cdot z.\end{aligned}$$

Ecrivons maintenant que t' se transforme linéairement en fonction des autres coordonnées x et t et posons :

$$t' = B \cdot \beta (\alpha t + \gamma x),$$

$B \cdot \beta \cdot \alpha$ et $B \cdot \beta \cdot \gamma$ formant les deux constantes de proportionnalité.

Reportons les expressions de x', y', z' et t' dans l'expression $x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2$ et regroupons les termes en x^2, y^2, z^2, t^2 et xt , puis identifions membre à membre avec l'équation $x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2$. Notons au passage que la constante B disparaît et reste indéterminée. C'est en fait la valeur $B = \varphi(v)$ de l'article d'Einstein.

L'expression devant le terme xt sera identiquement nulle puisqu'il n'y a pas de terme en xt , dans l'équation : $x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2$. L'expression devant le terme t^2 sera égale à c^2 , etc.

On obtient ainsi trois équations :

$$c^2 = (c^2 \cdot \alpha^2 - v^2) \beta^2, \text{ par identification avec le terme en } t^2,$$

$$1 = \beta^2 (1 - c^2 \cdot \gamma^2), \text{ par identification avec le terme en } x^2,$$

$$0 = v + \alpha \cdot \gamma \cdot c^2, \text{ par identification avec le terme inexistant en } x \cdot t$$

On peut tirer $\frac{1}{\beta^2} = \alpha^2 - \frac{v^2}{c^2}$ et $\frac{1}{\beta^2} = 1 - c^2 \gamma^2 = 1 - \frac{v^2}{c^2 \alpha^2}$

En égalant les deux expressions de $1/\beta^2$, on tire une équation du second degré en $X = \alpha^2$. On trouve quatre solutions : $\alpha = \pm \frac{v}{c}$ et $\alpha = \pm 1$. Les solutions en v/c sont dégénérées (elles conduisent à une transformation identiquement nulle en t' et x'). Des deux autres solutions, seule la solution $\alpha = 1$ est acceptable, pour que t et t' varient dans le même sens. A partir de là tout est vraiment simple. On trouve les expressions des différentes constantes et donc les équations de transformation.

L'expression de la physique

C. Larcher

A la suite d'un de mes messages sur les propos de Jean-Marc Lévy-Leblond (la relativité avec 12 guillemets), un collègue se demande en substance s'il est possible de parler des sciences modernes (relativité et physique quantique) en utilisant simplement des mots. Je vous soumetts une réflexion, non scientifique, mais dont le fondement me paraît assez fondamental.

La question de base pourrait être posée de la manière suivante : «Comment peut fonctionner la pensée humaine quand elle élabore une théorie scientifique ? » Se poser la question : « Comment pense-t-on ? » est un sujet typiquement philosophique mais c'est une question qui en science peut présenter de l'importance. Beaucoup de philosophes estiment que l'on ne peut penser que parce que l'on utilise des mots. Mais l'on pourrait aussi dire que l'on pense avec des images mentales. On trouve même des exemples dans l'histoire des sciences. Par exemple en physique, Maxwell pour établir les équations de l'électromagnétisme et Kékulé en chimie pour établir la formule du benzène. Sans parler, de façon encore plus saisissante, de l'astronomie. Enfin, avec la physique du XX^e siècle (relativité et physique quantique) nombre de scientifiques estiment que la pensée scientifique s'exprime presque ontologiquement en termes mathématiques.

Pour Galilée et bon nombre de physiciens, la Nature serait «écrite en langage mathématique» Autrement dit, est-ce que, aujourd'hui, l'unique méthode dont nous disposons pour décrire «la réalité» est d'écrire des équations ? Il semblerait actuellement que oui. Un collègue écrit sur la liste

«physchim» : « Une question n'est une question scientifique que si l'on est capable de mettre un processus «non verbal» pour y répondre. Si tout se passe seulement au niveau du langage, la question n'est pas scientifique».

La question que l'on peut logiquement se poser est la suivante : comment des notions mathématiques qui dépendent de l'esprit humain pourraient expliquer un réel qui, lui, n'en dépend pas ? On peut certes être étonné par ce que le physicien Eugène Wigner qualifiait de «déraisonnable efficacité des mathématiques», mais tout autant par les travaux de K. Gödel et A. Turing qui ont démontré «le caractère à jamais incertain des fondements mathématiques» in « La Recherche » N° 270 (l'Univers est-il intelligible ?) Je propose ce débat difficile, et pas nouveau, à la réflexion collective.



GP

■

Le point de vue de Einstein et Infeld

"Les idées fondamentales jouent un rôle essentiel dans la formation d'une théorie physique. Les ouvrages de physique sont remplis de formules mathématiques compliquées. Mais c'est la pensée, ce sont les idées qui sont à l'origine de toute théorie physique. Les idées doivent plus tard revêtir la forme mathématique d'une théorie quantitative, pour rendre possible la comparaison avec l'expérience." Citation tirée de : 'L'évolution des idées en physique', A. Einstein et L. Infeld, Petite Bibliothèque Payot, 1963 (Titre original : The Evolution of Physics, 1938).

GP.

AVEC NOS ELEVES

Référentiels et mouvement de satellites II -Modélisation mathématique des traces orbitales

Pierre LeFur

Pierre Le Fur, membre du Comité de Liaison Enseignants et Astronomes

Professeur en MPSI à

Institut Supérieur d'Electronique et du Numérique de Toulon

place G. Pompidou 83000 Toulon

pierre.le-fur@isen.fr

Pierre.Le-Fur@wanadoo.fr

Résumé : *Le problème des mouvements des satellites artificiels dans les référentiels géocentriques ou terrestres est abordé de manière progressive en utilisant des outils pédagogiques de complexité croissante : tout d'abord avec un bricolage sphère/carton, puis en utilisant un tableur illustrant une modélisation keplérienne simplifiée, afin d'exploiter pleinement divers logiciels de simulation « clefs en main ».*

Modélisation rigoureuse, dans le référentiel géocentrique (ou céleste)

Données "two lines"

Considérons des satellites dont la trajectoire sera supposée plane dans le référentiel géocentrique (céleste).

Les données numériques définissant l'orbite de satellites figurent dans de nombreux sites Internet. Si l'on désire en savoir plus sur les données numériques nécessaires au tracé d'orbite, un site Internet présente le contenu des fameuses "two lines" définissant le satellite et son mouvement, avec les dernières informations du NORAD. <http://celestrak.com/> (voir un exemple dans l'encadré ci-dessous).

En réalité les « deux lignes » sont trois car la première appelée ligne 0 correspond au nom de l'objet dans le catalogue de satellites du NORAD (réseau américain de surveillance radar).

La ligne 1 contient le numéro du satellite, la date de lancement, la date (en fraction de jours) à laquelle sont arrêtées les valeurs indiquées etc.

La ligne 2, que nous allons exploiter, donne

- en deuxième position l'inclinaison i de l'orbite en degrés
- en troisième l'ascension droite (opposé de la longitude céleste, origine point vernal) du nœud ascendant en degrés
- en quatrième l'excentricité (chiffres après la virgule)
- en cinquième l'argument du périégée (position angulaire par rapport au nœud ascendant)
- en sixième, l'anomalie moyenne (angle entre le nœud ascendant et la position du satellite à la date de référence)
- Puis le nombre de révolutions par jour solaire moyen, dans le référentiel géocentrique lié aux étoiles
- enfin le nombre de révolutions effectuées depuis le lancement jusqu'à l'époque de référence (le dernier chiffre est exclu).

La figure 1 traduit en coordonnées célestes, dites équatoriales, les données i et φ_n définissant la trace de l'orbite sur la sphère céleste, dans le référentiel géocentrique.

Les « two lines » donnent les valeurs $i = \text{angle}(CZ, CP)$ et $\varphi_n = \text{angle}(C\gamma, Cn)$ qui orientent l'orbite par rapport aux étoiles.

L'anomalie moyenne est l'angle $\alpha = (Cn, CS)$ à la date de référence, il positionne le satellite sur son orbite (ex.: NOAA14 ; 136,8816°). De même l'argument du périégée place ce point particulier sur l'orbite par rapport au nœud ascendant n (ex.: NOAA14 ; 223,1686°).

A un instant donné le satellite S est repéré par son ascension droite $ASC = -\varphi$ où φ désigne la longitude céleste et sa déclinaison λ (égale à la latitude terrestre survolée). Le plan de l'équateur céleste est confondu avec celui de l'équateur terrestre. Mais le point origine γ des ascensions droites $-\varphi$ est fixe par rapport aux étoiles (à l'échelle de quelques semaines) et tourne par rapport à la Terre en $T_0 = 86164s$.

Relation exacte déclinaison λ /ascension droite $-\varphi$

CP a pour coordonnées X, Y, Z (référentiel céleste géocentrique): $[0, -\sin(i), \cos(i)]$

CS a pour coordonnées: $[\cos(\lambda)\cos(\varphi_n - \varphi), \cos(\lambda)\sin(\varphi_n - \varphi), \sin(\lambda)]$

Or: **CP** est perpendiculaire à **CS** d'où $CP \cdot CS = 0$ soit

$$\sin(\varphi_n - \varphi) = \tan(\lambda) / \tan(i) \quad (R_3)$$

Voilà obtenue la relation déclinaison-ascension droite.

On remarque qu'en utilisant une projection céleste plane de type projection « aphylactique centrale » (ou gnomonique cf. partie 1, §1-b-), on obtient une courbe rigoureusement sinusoïdale d'équation :

$$R \cdot \tan(\lambda) = \tan(i) \sin(\varphi_n - \varphi)$$

$R \cdot \tan(\lambda)$ représentant la position sur l'axe des ordonnées (déclinaison) et φ l'axe des abscisses. Voir figure 2 de la partie 1-b- ; ou courbes de la figure 5 de la partie 1 §2-a-.

D'autre part la déclinaison maximale ou latitude la plus élevée survolée correspond à $\sin = 1$ soit :

$$\lambda_{\max} = i \quad (R_4)$$

Par exemple, la station spatiale « ISS » d'inclinaison $i = 51.6^\circ$ survole nos latitudes et le télescope spatial « HST », tel que $i = 28.5^\circ$ ne survolera jamais la France.

Notons que l'on peut écrire le produit scalaire **CS** · **Z** = $\sin(\lambda)$ d'où la relation:

$$\sin(\lambda) = \sin(\alpha) \sin(i) \quad (R_5)$$

Avec α l'anomalie $\alpha(t) = (Cn, CS) = \omega \cdot t + \alpha$ pour un satellite à orbite circulaire. ω est la valeur donnée par les éphémérides "two lines" à la date de référence, origine des t . si t est exprimé en jours, ω est le nombre de révolutions par jours, au facteur multiplicatif 360° près. Pour une orbite elliptique on approche $\alpha(t)$ par une relation numérique en t .

Relation approchée longitude terrestre Φ , latitude terrestre λ pour un point de l'orbite:

Si la Terre était immobile dans le référentiel géocentrique, la relation (R₃) s'écrirait en longitude terrestre Φ :

$$\sin(\Phi_n - \Phi) = \tan(\lambda) / \tan(i) \quad (R_6)$$

Mais la rotation de la Terre se traduit *approximativement* par une « réduction » de la période apparente de 360° pour φ° à A° pour Φ° . (voir figure 2).

Avec d donné par (R₂). Modifions (R₆) :

$$\sin[(\Phi_n - \Phi)360/A] \approx \tan(\lambda) / \tan(i) \quad (R_7)$$

Cette relation constituera un modèle de trace de trajectoire d'autant plus correct que l'excentricité de l'orbite sera faible et que la vitesse angulaire, par rapport aux étoiles, du satellite sera grande devant celle de la Terre (satellite d'orbite basse). Les figures 6 de la partie 1 §2-b- montrent bien les limites du modèle « sinusoïdal ».

Les résultats obtenus avec ce modèle simplifié permettent néanmoins d'obtenir une image satisfaisante de la réalité pour bon nombre de satellites (ISS, SPOT, HST, Soyouz, Navette etc...).

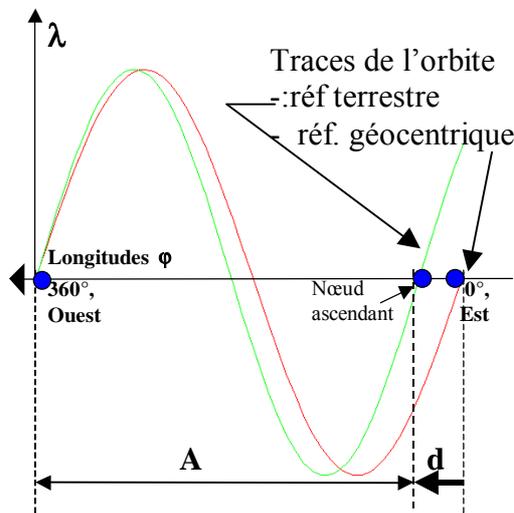


Fig. 2 : Réduction de la période angulaire A de l'orbite par passage du référentiel géocentrique, 360° , au terrestre, A° .

Précession du plan de l'orbite L'action du "bourrelet" équatorial

Jusqu'à présent nous avons supposé le plan orbital fixe par rapport aux étoiles. Le théorème du moment cinétique permet de démontrer cette propriété dans le cas où les forces exercées sur le satellite sont centrales (orientées vers C). Mais voilà, en réalité l'image d'un champ gravitationnel terrestre à symétrie sphérique, donc central, est incorrecte puisque la Terre présente un « bourrelet équatorial » symbolisant sa forme « ellipsoïdale ».

L'expérience de la toupie permet de matérialiser l'effet de ce bourrelet, modélisable par le théorème du moment cinétique [11]:

$$d\sigma/dt = \mathbf{M}(\text{forces})$$

Assimilons le plan de l'orbite et l'axe polaire orbital CP à une toupie. Le moment cinétique σ est porté par cet axe. Comparons le moment des forces de gravitation dues au bourrelet ($\mathbf{F}_{(b/S)}$) et le moment du poids (voir figure 3). Une évidence apparaît, l'axe CP≡OP orbital doit décrire un cône de précession comme celui de la toupie

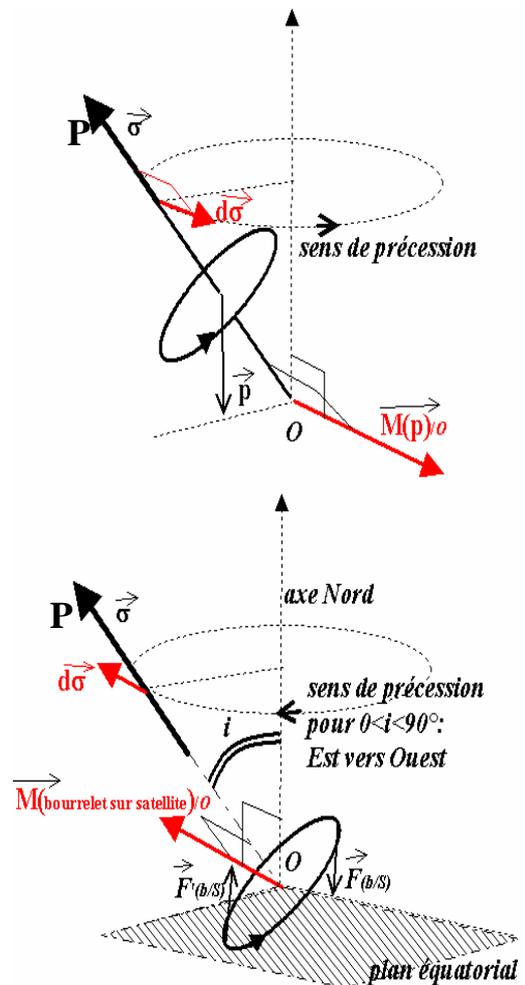


Fig. 3 : Schéma supérieur : pour la toupie d'axe passant par O, la variation du moment cinétique $d\sigma$ est dans la direction du moment du poids, horizontale, la projection verticale du moment cinétique est constante, l'axe de la toupie effectue un mouvement de précession.
Partie inférieure : de même pour l'orbite du satellite, son axe polaire portant σ tourne autour de l'axe des pôles de la Terre, le moment des forces exercées par le bourrelet étant dans le plan équatorial.

Donc le nœud ascendant n dérive en longitude de d' à chaque orbite parcourue. Pour une inclinaison habituelle $0 < i < 90^\circ$, le nœud n « précesse » à longitude terrestre Φ_n croissante, de l'est vers l'ouest. Cela réduit d'autant la période angulaire A du satellite dans le référentiel terrestre. La nouvelle période longitudinale A' devient :

$$A' = A - d'. \tag{R_8}$$

On démontre que

$$d'(^\circ) \approx 0,58462 (R_t/a)^2 \sin^2(i) \cos(i) \quad (R_9) \quad [1]$$

où R_t est le rayon terrestre moyen ($6,378.10^6$ m) et a le demi-grand axe de l'orbite, calculé à partir de la troisième loi de Kepler avec $G = 6,672.10^{-11}$ u.s.i et $M_{\text{terre}} = 5,974 .0^{24}$ kg (en effet la valeur de a n'apparaît pas explicitement dans les données « two lines »). Notons que (R_9) est le résultat d'un choix parmi les formules approchées possibles [11], [2].

On remarque que pour $i = 0$ -orbite équatoriale- ou $i = 90^\circ$ -orbite polaire- il n'y a pas de précession, ce qui est en accord avec un moment de forces nul dans ces conditions (voir figure 3).

Relation latitude, longitude, période, inclinaison

En utilisant les relations (R_9) , (R_8) , (R_1) , dans (R_7) , on obtient alors la relation complète latitude λ , longitude Φ (en $^\circ$, dans le repère terrestre):

$$\sin[(\Phi_n - \Phi) 360/A'] \approx \tan(\lambda)/\tan(i) \quad (R_{10})$$

Voilà obtenue la relation latitude-longitude terrestre, l'inclinaison et la période intervenant dans la période longitudinale terrestre A' . Elle permet de tracer une pseudo sinusoïde $\lambda(\Phi)$ à l'aide d'un tableur ou d'une calculette afin de représenter la trace du passage du satellite choisi ; Pour cela on fait varier Φ de -180 à 180° , on en déduit λ . La valeur de Φ_n , inconnue à ce stade, conduit à traduire cette sinusoïde le long de l'équateur terrestre.

Détermination de la longitude du nœud ascendant Φ_n

(R_{10}) ne peut être exploitable que si l'on dispose de la valeur de Φ_n [2].

Pour la première orbite suivant le tir du satellite, Φ_n est déterminé par la position géographique de la base spatiale B ou pas de tir $[\Phi_B, \lambda_B]$. En effet la première orbite doit survoler ce point (voir coordonnées des bases en annexe 1. Φ_n répond donc à l'équation :

$$\sin[(\Phi_n - \Phi_B) 360/A'] \approx \tan(\lambda_B)/\tan(i) \quad (R_{11})$$

A chaque orbite suivante, le nœud ascendant se translate en longitude de $d+d'$. Pour l'orbite numéro n° Orb (par exemple celui indiqué dans les « two lines » §I-1-a), la longitude $\Phi_{n^\circ\text{Orb}}$ du nœud correspondant vaut :

$$\Phi_{n^\circ\text{Orb}} = \Phi_n + (n^\circ\text{Orb}-1)(d+d'), \text{ modulo } 360^\circ \quad (R_{12})$$

On se propose maintenant d'exploiter ces relations, afin d'illustrer quelques mouvements satellitaires classiques.

Bibliographie :

- [1] : « Satellite héliosynchrone », Pierre Bonnet, B.U.P n°707-octobre 1988 p 1073.
- [2] « La calculette de l'astronome », Pierre Kohler, Daniel Ferro, Science et Vie 1982, p 124.
- [3] « Lanceurs et orbitographie, Solstice », Jean Cassanet, B. U. P. n°846, p1293, juillet-août-septembre 2002.
- [4] « Astronomie par Internet », Guy Bouyrie, B.U.P. n°840-janvier 2002 p 90.
- [5] « Et pourtant ils tournent... », Pierre Le Fur, B.U.P. n°860-janvier 2004 p 79.
- [6] « Le TP NASA », Pierre Le Fur, B.U.P. n°860-octobre 2003 n°857 p 1341.
- [7] http://spot4.cnes.fr/spot4_fr/orbite.htm
- [8] <http://www.eleves.ens.fr:8080/home/ollivier/carto3.html> (choisir projection quadratique).
- [9] « En suivant la lune... », Irène Tirapolsky, B.U.P.n°701-février 1988 p 222.
- [10] « ...l'équation du temps », Thierry Alhalel, B.U.P.n°838-novembre 2001 p 1559
- [11] « Mécanique spatiale : perturbations provoquées ou naturelles des systèmes Képlériens », Colonel Robert Genty, B.U.P.n°852-mars 2003 p 387.
- [12] « Eurosat®, un logiciel de simulation du mouvement apparent des satellites artificiels », Pierre Le Fur, B.U.P. n° 801, p 378-379, février 1998.
- [13] <http://www.heavens-above.com/whattime.asp?> ou <http://www.users.skynet.be/zmn/cab/tech/temps/TempsSideral2.htm> ou <http://www.bdl.fr>
- [14] « Initiation à l'astronomie », Agnès Acker p 34, Masson 1982
- [15] Annuaire du bureau des longitudes (éphémérides 1990), p40, chez Masson, 1989

OBSERVATIONS

Comment mesurer la hauteur du Soleil ?

Jean Ripert, Pradines

Résumé : *Le but de cet article est de répertorier les différents moyens simples qui peuvent être mis en œuvre avec les élèves pour mesurer la hauteur du Soleil.*

Introduction

Divers dispositifs, permettent de mesurer la hauteur du Soleil. La connaissance de celle-ci est intéressante lorsque l'on veut suivre la course du Soleil au cours d'une journée ou la position du Soleil dans le plan méridien au cours de l'année.

La mesure de la hauteur du Soleil, permet de déterminer la latitude du lieu ou la déclinaison du Soleil, comme le montre le **schéma 1**.

Sur le schéma, il est facile de voir que

$$90^\circ = h - \delta + L$$

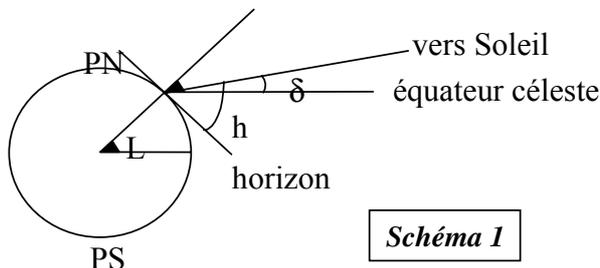


Schéma 1

avec :

h = hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon,
delta = déclinaison du Soleil, le jour de la mesure,
L = latitude du lieu.

Si on dispose de tables donnant la déclinaison **delta** du Soleil, à partir de la mesure de la hauteur **h** du Soleil à midi solaire (passage dans le plan méridien du lieu), il est possible de déterminer la latitude **L** du lieu.

Inversement, si on connaît la latitude **L** du lieu d'observation, la mesure de la hauteur **h** du Soleil, à midi solaire, permet de déterminer la déclinaison **delta** du Soleil.

Avec quels dispositifs peut-on mesurer la hauteur du Soleil ?

Rapporteur

Il suffit de placer une tige, perpendiculairement au plan du rapporteur, au niveau du centre de celui-ci.

Pour faire la mesure, placer le rapporteur dans le plan vertical contenant le Soleil et déplacer une tige sur le bord du rapporteur, parallèlement à la précédente, jusqu'à ce que l'ombre de la seconde arrive sur la première. Il suffit alors de lire la valeur de l'angle. Pour rendre la manipulation plus aisée, fixer le rapporteur sur une planchette. Au moment de la mesure, celle-ci doit être horizontale. (image 2). La précision de la mesure dépend de l'épaisseur des tiges.

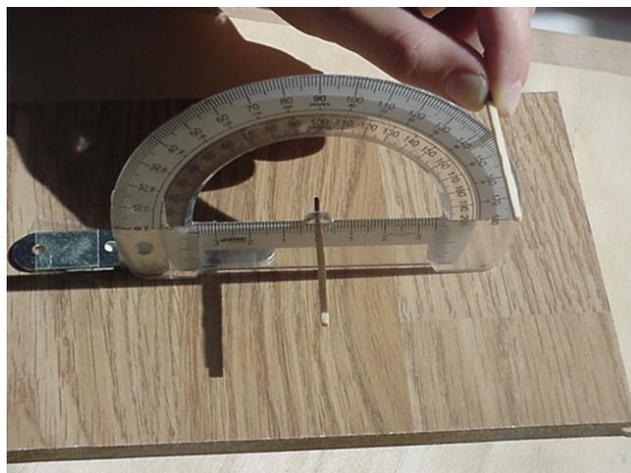


image 2

Si on souhaite mesurer la hauteur du Soleil au moment de sa culmination, il y a deux solutions. Soit on trace le méridien du lieu, on place le rapporteur dans le plan méridien et on attend que le Soleil soit dans ce plan pour faire la mesure. (voir CC n° 98, page 9, pour le tracé du méridien). Soit on fait la mesure à midi solaire, mais il faut alors savoir à quelle heure de la montre il est midi solaire. Sachant que l'heure civile est égale à l'heure solaire + longitude (avec son signe, négative vers l'Est) +

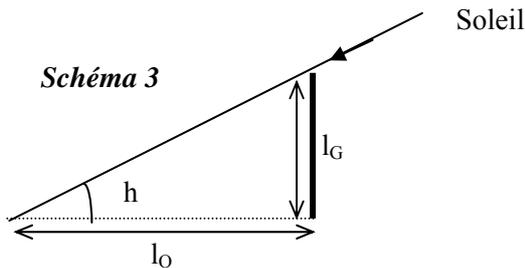
l'équation du temps (avec son signe) + 1h ou 2h ("été" ou "hiver").

Gnomon

La valeur de la hauteur h du Soleil se déduit de la mesure de la longueur de l'ombre l_O d'un gnomon dont on connaît la longueur l_G .

Le gnomon peut être une tige ou le côté d'une petite équerre en carton fixée sur une planchette. Le gnomon doit être **vertical** et l'ombre doit se projeter sur un **plan horizontal**.

Dans le plan contenant le Soleil, on a le schéma suivant (schéma 3).



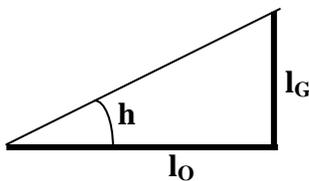
On a donc $\tan h = l_G / l_O$

l_G = longueur du gnomon et l_O = longueur de l'ombre.

Remarque : pour avoir une meilleure précision, on est tenté d'augmenter la longueur du gnomon (donc de l'ombre également), mais on se heurte alors à un autre problème : la détermination de l'extrémité de l'ombre (le Soleil n'étant pas une source ponctuelle, la pénombre rend le repérage difficile). On peut placer au sommet du gnomon une rondelle, le repérage de la tache lumineuse est plus aisé.

Suivant le niveau des élèves, on peut faire :

- calculer h à partir de la tangente, après avoir mesuré l_O , (l_G est connue par construction),
- tracer l_O et l_G perpendiculaires et à l'aide d'un rapporteur mesurer h ,



- faire un calcul préalable de l_O à partir de valeurs de h (de 2° en 2° par exemple) et donner directement la valeur de h sur le dispositif (image 4).

Cet étalonnage permet d'avoir directement la valeur de la hauteur.

Pour la mesure de la hauteur du Soleil à sa culmination, on a les mêmes possibilités et contraintes qu'avec le rapporteur.

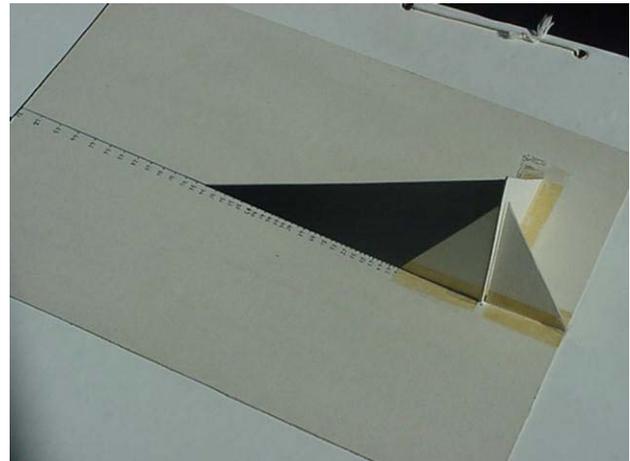


image 4

Si on ne connaît pas la position du méridien, il est possible de tracer sur la planchette des cercles centrés sur le gnomon, donnant les valeurs de la hauteur. Il suffit d'attendre que celle-ci soit minimale. (image 5).

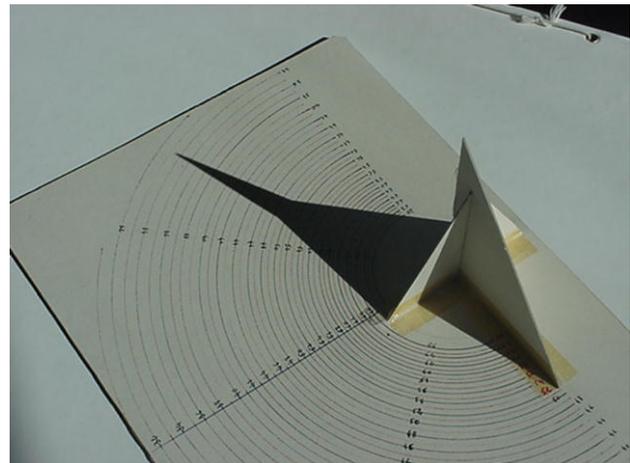


image 5

Toise enregistrreuse

Avant de continuer, faisons le point. Le matériel à utiliser est simple, mais il faut être attentif aux précautions à prendre : le dispositif doit être parfaitement horizontal (I); de plus pour la mesure de la hauteur à la culmination, il faut tracer avec soin le méridien ou calculer l'heure du midi solaire.

Supposons maintenant que l'on souhaite tracer la courbe donnant la hauteur du Soleil au cours d'une journée et reproduire ceci plusieurs fois dans l'année. Cela serait fastidieux, mais alors, il est possible de construire une toise enregistrreuse.

Il faut utiliser du papier sensible à la lumière : papier photographique ou mieux papier "ozalid" qui se développe aux vapeurs d'ammoniac. On trouve ce papier sous d'autres appellations dans les papeteries, soit en feuilles A4, soit en rouleau.

Ce papier est placé dans une boîte parallélépipédique (boîte à gâteaux), dont le couvercle est percé d'un trou sur un des bords (schéma 6).

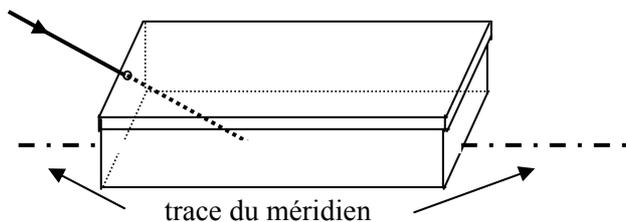


Schéma 6

A la fin de la journée, pour révéler, il suffit d'introduire dans la boîte un petit récipient contenant du coton imbibé d'ammoniaque.

Pour enregistrer la position du Soleil au moment de sa culmination, il faut placer l'ensemble parallèlement au méridien et bien repérer la position du papier dans la boîte (verticale du trou). Le plus simple est d'avoir un repère dans la boîte de manière à positionner les papiers toujours de la même façon.

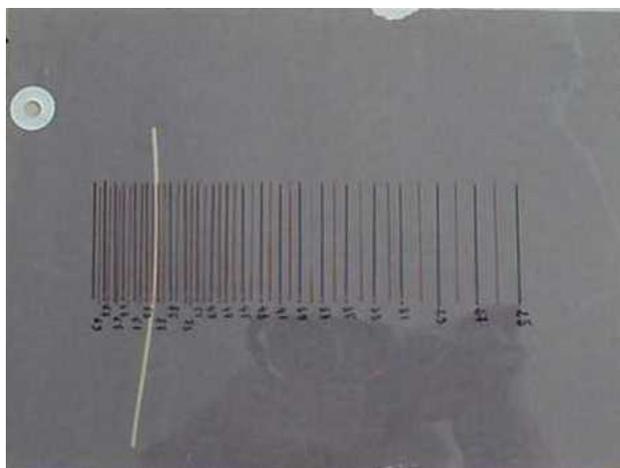


image 7

Après enregistrement et révélation, il suffit alors de placer sur le papier un transparent portant l'étalement des hauteurs (faire coïncider le zéro avec le point du papier situé sur la verticale du trou). (image 7).

On peut se passer du tracé du méridien. Il suffit de placer la boîte grossièrement dans la direction Nord-Sud.

Sur le transparent, l'étalement doit alors être réalisé par des cercles concentriques correspondants aux diverses hauteurs.

La hauteur du Soleil, au moment de la culmination, correspond à celle indiquée par le cercle tangent à la courbe. (image 8)

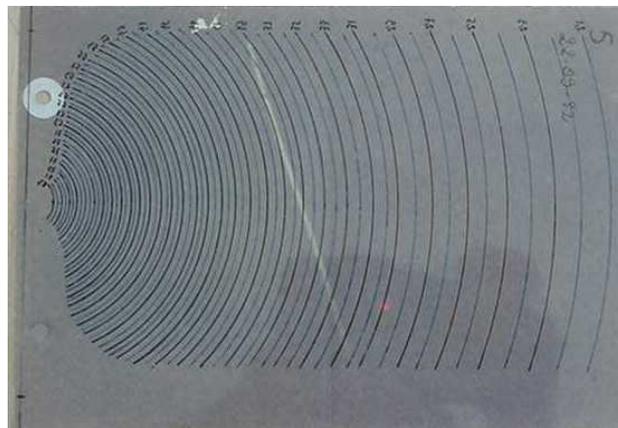
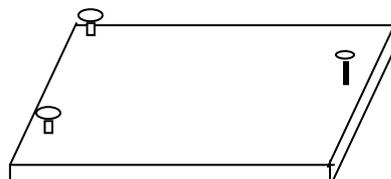


image 8

(1) Pour avoir un plan horizontal, dans une planche assez épaisse, placer une pointe sur le milieu d'un côté et deux vis sur le côté opposé. A l'aide d'un niveau et des deux vis, il est alors possible de régler l'horizontalité de la planche.



Toise à Soleil

Une planchette horizontale porte un tasseau vertical au sommet duquel est fixée une tige horizontale de longueur l_0 .

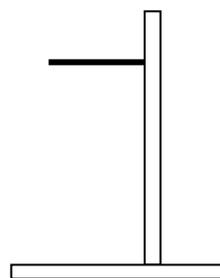


Schéma 9

Le schéma 9 permet de constater que dans ce cas, c'est la mesure de la longueur de l'ombre d'une tige horizontale qui permet de déterminer la hauteur.

L'ombre de longueur l_0 se projette sur le tasseau vertical.

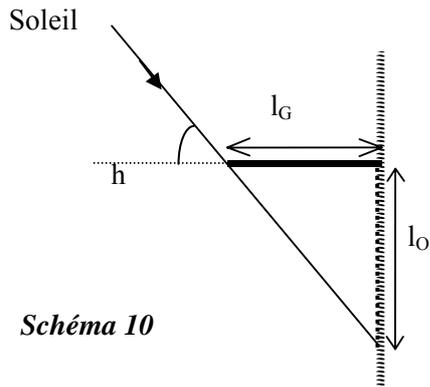


Schéma 10

Le schéma 10 permet de constater que :

$$\tan h = l_o / l_G .$$

Ce dispositif peut permettre de déterminer également l'azimut du Soleil au moment de la mesure de la hauteur.

Dans ce cas, il faut connaître la direction du méridien local et placer correctement le dispositif sur le méridien.

Il suffit alors de permettre au tasseau de tourner autour d'un axe vertical, un index fixé au tasseau donnera la valeur de l'angle sur un rapporteur placé sur la planchette (image 11).

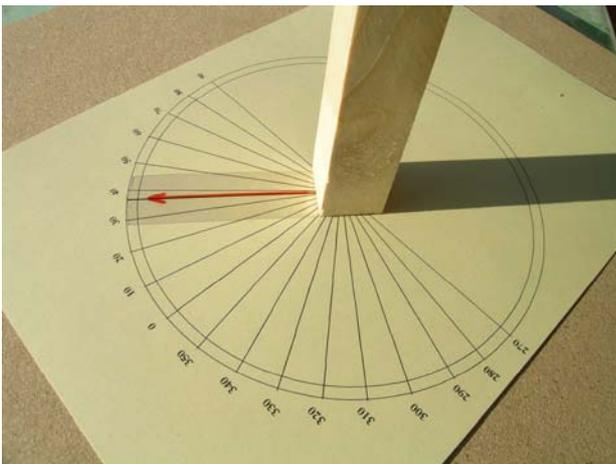


image 11

Théodolite simplifié

L'image 12 présente un théodolite simplifié qu'avait proposé Claude Piguet. Comme précédemment, l'objet doit être placé sur un plan horizontal.



Image 12

La direction du Soleil est repérée à l'aide du tube situé à la partie supérieure ; l'écran permet un bon alignement (image 13).



Image 13

La mesure de la hauteur se fait directement sur le rapporteur, en regard de la verticale. Il faut faire réfléchir les élèves sur la graduation du rapporteur (quand le tube est horizontal, la graduation "zéro" doit être sur la verticale).

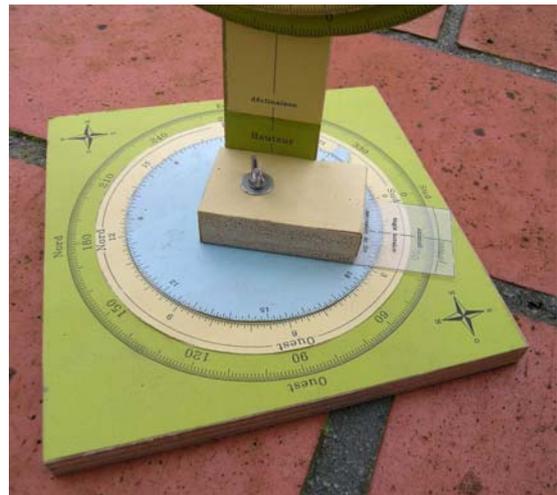


image 15

On peut déterminer l'azimut avec le même dispositif. Pour cela il faudra avoir la trace du méridien local (image 15).

OBSERVATIONS

Quelques idées d'observations pour 2005

Pierre Causeret,
pierre.causeret@wanadoo.fr

Résumé : L'actualité astronomique est source d'activités avec des élèves. Voici quelques propositions d'observations à faire en 2005 et quelques événements futurs à préparer. Nous reviendrons dans le prochain numéro sur l'éclipse de Soleil du 3 octobre.

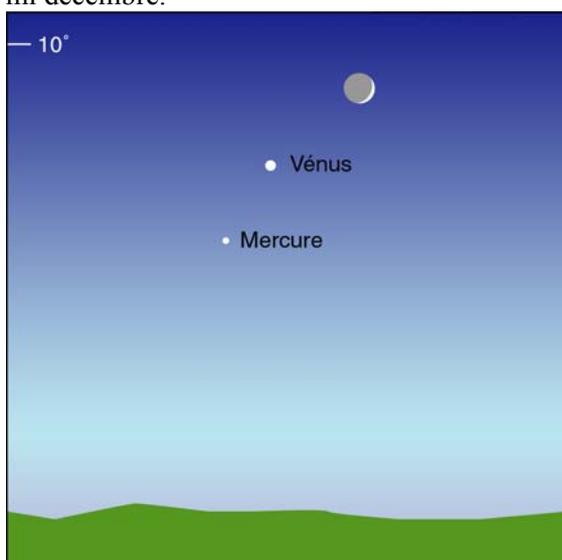
Les planètes

Mercurure

Une très bonne période pour l'observer le soir se termine, l'élongation maximale ayant eu lieu le 12 mars (18° est). Le 20 mars, on peut encore la trouver assez facilement : une demi-heure après le coucher du Soleil, Mercure est à près de 10° au dessus de l'horizon ouest et est visible à l'oeil nu. Une paire de jumelles est quand même bien pratique pour la localiser.

On pourra aussi la voir fin juin début juillet après le coucher du Soleil avec un rapprochement très serré Vénus-Mercure le 27 juin et un bel alignement Lune-Vénus-Mercure le 8 juillet.

Enfin, deux périodes assez propices pour l'observer le matin : fin août (pendant l'école d'été) et mi décembre.



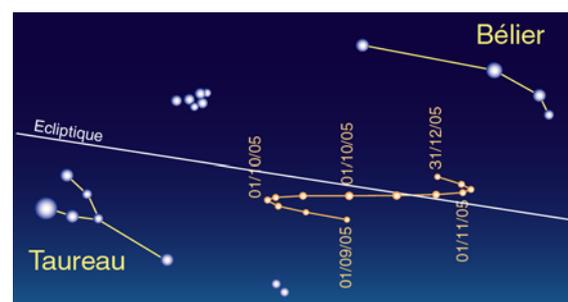
Le 8 juillet 2005 au soir, côté ouest, à la fin du crépuscule civil (Soleil à -6°)

Vénus

Vénus passe derrière le Soleil le 31 mars (conjonction supérieure). Elle redeviendra visible comme astre du soir à partir de mai et sera resplendissante à l'automne 2005. Elongation maximale Est le 3 novembre 2005 à 47° puis conjonction inférieure le 13 janvier 2006.

Mars

Actuellement, la planète rouge se lève le matin au sud-est peu avant le Soleil. Elle va augmenter régulièrement d'éclat jusqu'à sa prochaine opposition qui aura lieu le 7 novembre 2005. La rétrogradation de Mars se déroulera des premiers jours d'octobre 2005 au 10 décembre environ dans la constellation du Bélier.



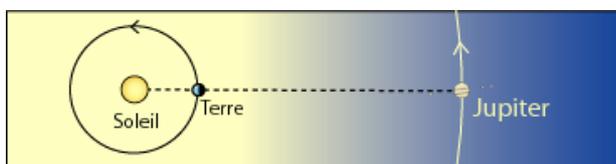
La rétrogradation de Mars à l'automne 2005

On peut remarquer que Mars se trouve au sud de l'écliptique en septembre, le traverse en novembre et termine sa rétrogradation au nord. On obtient ainsi une sorte de Z qui vient du fait que le plan de l'orbite de Mars fait un angle de 2° environ sur l'écliptique et que Mars traverse la ligne des noeuds en novembre. D'autres rétrogradations prennent la forme d'une boucle.

Il s'agit d'une "bonne" opposition de Mars, même si elle n'est pas aussi exceptionnelle que celle de 2003. Au plus près de la Terre en novembre, Mars sera à moins de 70 millions de km et apparaîtra comme un disque d'un peu plus de 20" (contre 25" lors de la précédente opposition). De plus, elle montera plus haut au-dessus de l'horizon et la turbulence atmosphérique sera moins gênante pour les photos.

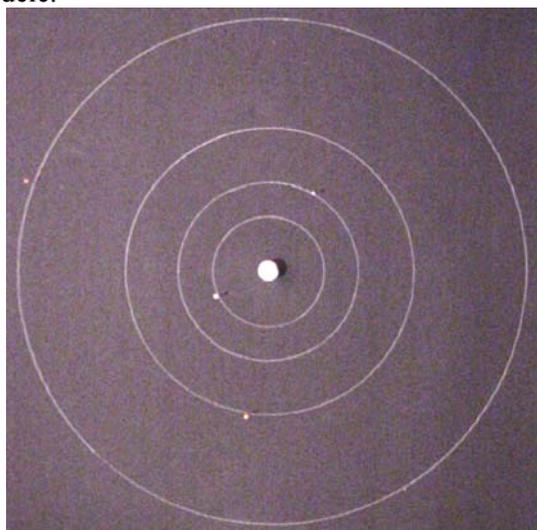
Jupiter

La planète géante passe à l'opposition le 3 avril 2005. Elle sera alors visible toute la nuit, au plus près de la Terre, et aura son éclat maximum. Profitez du printemps pour l'observer à l'oeil nu, aux jumelles et au télescope.



Opposition de Jupiter le 3 avril 2005 : vue depuis la Terre, la planète géante est située à l'opposé du Soleil. Elle se lève quand le Soleil se couche et se couche quand le Soleil se lève.

Il est intéressant de suivre le mouvement des satellites de Jupiter comme Galilée l'a fait en 1610. Mais il n'est pas facile de retrouver leurs orbites. On peut opérer à l'envers, représenter la position des satellites sur une maquette à l'échelle puis voir si l'observation correspond bien au modèle.



Maquette représentant la position des satellites de Jupiter à un instant donné.



Vue de profil, la maquette donne l'image des satellites tels qu'on les observe depuis la Terre.

Saturne

Elle termine sa rétrogradation fin mars et reste encore dans les Gémeaux tout le printemps. Observez ses anneaux au télescope. Profitez-en, ils sont encore bien ouverts. D'année en année, ils apparaîtront de plus en plus fins jusqu'en 2009 où ils seront vus par la tranche et deviendront alors invisibles pour les terriens.

Vous pourrez aussi observer Titan comme un petit point lumineux à proximité de Saturne. Mais n'espérez pas voir la sonde Cassini...

Conjonctions avec la Lune

On peut en profiter pour faire de belles photos ou pour mesurer la distance de la Lune (à condition d'opérer avec un autre observateur éloigné). Voici quelques conjonctions :

11 avril 2005 : La Lune en mince croissant à moins de 2° des Pléiades.

13 avril 2005 : La Lune en croissant et bêta Taureau (magnitude 1,7) à 1°.

19 mai 2005 : La Lune gibbeuse et Jupiter à moins de 1°.

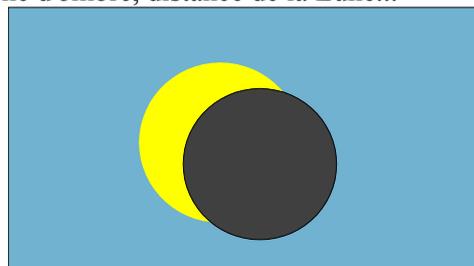
20 mai 2005 : La Lune et Spica à 1°.

13 juillet 2005 : Rapprochement Lune-Jupiter.

Eclipses de Soleil

Le 3 octobre 2005, nous aurons droit à une éclipse partielle de Soleil en France. Le Soleil sera éclipsé à 62% à Dijon. Elle sera annulaire en Espagne (Madrid, Valence).

Beaucoup de calculs sont envisageables pour une éclipse de Soleil même partielle : longueur du cône d'ombre, distance de la Lune...



L'éclipse du 3 octobre vue depuis Dijon

Six lunaisons plus tard, le 29 mars 2006, aura lieu une nouvelle éclipse de Soleil, partielle en France mais totale en Afrique, Turquie, Russie.

Eclipses de Lune

Il faudra attendre le 3 mars 2007 pour voir une éclipse de Lune digne de ce nom...

Bonnes observations !

Lecture de Kepler

K. Mizar

Résumé : Lire ou plutôt relire Kepler, est-ce vraiment intéressant ? Le sujet n'est-il pas connu, analysé, exploré dans tous ses détails depuis les travaux entre autres, de Koyré (1) ou le livre captivant de Gérard Simon (2) ? On peut prétendre que non : il est toujours instructif de revenir sur les premiers pas de la science moderne, avec ceux qui lui donnèrent son élan, son style, sa manière de chercher, d'équilibrer théorie et observation ou expérience. C'est aussi à partir de ces premiers temps que s'institue le fructueux dialogue entre savants aux conceptions diverses ; confrontations qui font de l'histoire des sciences un patrimoine d'une extrême richesse. Tout comme celui des arts, patrimoine qui est bien celui de l'humanité toute entière.

Relisons¹ donc Kepler, Galilée, Descartes et tous les autres peut-être moins glorieux. Mais les grands textes de Kepler ne sont pas de lecture facile, longs et pas toujours limpides. Les traductions du latin en français par Jean Peyroux (3), seules disponibles pour le moment, aussi méritoires qu'elles soient, ne sont pas à l'abri de réserves de la part de spécialistes. Et puis les grands ouvrages, "Astronomie nouvelle" et L'Harmonie du Monde" sont si volumineux qu'il faut, objecteront certains collègues, être à la retraite pour s'y plonger ...

Bref, j'avouerai ma prédilection pour deux textes courts dans lesquels la vivacité de l'esprit de Kepler me paraît plus immédiatement sensible. L'un, "L'Étrenne ou la neige sexangulaire" (4), à partir de l'observation des cristaux de neige, donne les réflexions de Kepler sur la structure de la matière. Aussi originale que soit cette approche, alors que la théorie atomique est encore loin de prendre sa forme moderne, cette "Étrenne" nous éloignerait trop de l'astronomie. Je me contenterai, pour le plaisir, de citer quelques lignes de la dédicace du livre à l'Empereur :

"Je ne suis pas sans savoir combien vous aimez le Rien ... Quel que soit l'objet qui vous agrée comme évocation du Rien ; il faut qu'il soit de mince importance, de petite taille, de prix minime, et qu'il ne soit guère durable, c'est-à-dire qu'il soit presque Rien."

¹ Article, saisi par Jean Ripert et paru en 1983, dans le CC n° 23, p. 7 sous la plume de Gilbert Walusinski, alias K. Mizar.

Pour justifier une recherche sur ce fragile cristal de neige, voici une forme d'humour sans doute assez rare dans les mémoires scientifiques. Quelle serait la réaction de la Cour des Comptes à la lecture d'un rapport du CNRS sur Rien ?

Revenons plutôt à l'astronomie ; la "Conversation avec le messager céleste" nous y ramène, et de la meilleure façon (5). Texte savoureux, écrit au fil de la plume en cinq jours et dans l'enthousiasme provoqué, chez Kepler, par la lecture du "Sidereus Nuncius" de Galilée. Le texte de Kepler est admirablement traduit et annoté par un éminent spécialiste de l'histoire des sciences, Edward Rosen, professeur à la City University of New York. Malheureusement pour nous, Rosen a traduit l'original latin en anglais et je ne connais pas de traduction en français.

C'est à ce texte anglais que je me référerai dans la suite, en essayant d'en traduire quelques citations. Puissè-je faire sentir au lecteur des Cahiers Clairaut la vivacité des réactions de Kepler devant le texte de Galilée qui lui, est plus facilement accessible au lecteur français (6). En suivant cette "Conversation" par écrit, c'est un peu comme si nous assistions à un séminaire et qu'après l'exposé de Galilée, ce soit la réplique de Kepler que nous écoutons. Ce n'est pas tous les jours qu'on peut assister à un dialogue entre deux savants de cette taille.

Les circonstances

Nous sommes donc en 1610. Kepler occupe la chaire de "mathématicien impérial" à Prague, à la cour de Rodolphe II. Un prince qui, à la mode du

temps, s'intéresse un peu aux sciences et qui a eu le grand mérite d'accueillir et de protéger Tycho Brahé, puis Kepler, quand l'un et l'autre devaient trouver refuge contre la persécution. Il était donc tout naturel que Kepler lui ait dédié son "Astronomie nouvelle" et tout dernièrement son "Etrenne".

Pendant ce temps, Galilée a commencé à observer le ciel avec ses nouveaux instruments ; il a découvert des merveilles ; il a publié vite et bien ce "Sidereus Nuncius" qu'il faut traduire "message céleste" avec une trace de galanterie.

Le premier exemplaire, destiné à l'Empereur, parvient à son destinataire au début d'avril 1610. Rodolphe demande aussitôt à Kepler de lui dire ce qu'il en pense. Mais Galilée est encore plus impatient de connaître l'avis de Kepler ; il charge l'ambassadeur de Toscane à Prague de remettre un exemplaire en mains propres à Kepler, ce qui est fait le 8 avril ; et le 13, l'ambassadeur presse Kepler de lui donner sa réponse le 19, jour de départ du courrier pour Florence.

Kepler est bousculé mais il réagit bien et en cinq jours il rédige cette lettre à Galilée, cette "Conversation avec le Messager céleste", parce que, de toute évidence, il éprouve un grand plaisir à dialoguer avec un savant comme Galilée.

Cela n'empêche pas quelques petits mouvements d'humeur. Kepler était en effet impatient d'avoir l'avis de Galilée sur son "Astronomie nouvelle". Mais, déjà en 1595, il lui avait adressé son "Mystère cosmographique" et Galilée n'avait jamais répondu. De même, et c'est plus surprenant, aucune réaction devant l'"Astronomie nouvelle". Cependant, aujourd'hui (en avril 1610), ces petites rancœurs d'amour-propre sont vite balayées, les découvertes annoncées par Galilée sont trop importantes pour n'être pas examinées et discutées très attentivement par un homme comme Kepler qui en mesure bien la portée.

Le texte

Kepler est d'autant plus heureux de lire le "Sidereus Nuncius" que ce qu'on lui avait raconté des découvertes de Galilée, le déconcertait. Ne parlait-on pas de quatre nouvelles planètes ? Or son ingénieux système des polyèdres réguliers exposé dans le "Mystère cosmographique" ne permettait l'existence qu'à six planètes. Il faut se méfier des informations de seconde main. Au contraire, on peut faire confiance à Galilée qui n'est pas homme à dire autre chose que ce qu'il a dûment observé. Son témoignage est valable, son livre participe au bon combat contre la doctrine figée des traditionalistes.

D'ailleurs l'idée des quatre satellites de Jupiter, l'idée, non l'existence, enchante Kepler. La Lune, satellite de la Terre, n'est plus un cas unique dans le système solaire. Pourquoi ne découvrirait-on pas des satellites autour de Saturne, de Mars et de Vénus ? Le cardinal Nicolas de Cusa et Giordano Bruno n'ont-ils pas avancé l'idée de la pluralité des mondes ?

Si j'avais une lunette, ajoute Kepler, peut-être découvrirais-je deux satellites à Mars et six ou huit à Saturne ... un peut-être à Vénus et à Mercure. On notera le curieux pronostic des deux satellites de Mars, idée reprise par Swift au XVIII^{ème} siècle ; Kepler serait donc, sur ce point, le premier à avoir prédit juste !

Ceci dit, suivons pas à pas l'analyse de Sidereus telle que la mène Kepler.

La lunette

La première partie du Sidereus Nuncius traite de la lunette, à quoi correspond la partie IV de la "Conversation". Les parties I, II et III racontent les circonstances résumées ci-dessus et expliquent pourquoi Kepler s'est finalement résolu à éditer sa lettre à Galilée ; c'était une façon commode de donner à tous ceux qui le lui demandaient, son avis sur le SN.

Tout d'abord K rappelle que dans son optique (les "Compléments de Vitellion" ont paru en 1604), il donne tout ce qui permet d'expliquer le fonctionnement de la lunette. Il a en effet dégagé la notion de rayon lumineux émis par la source lumineuse et non par l'œil qui le perçoit, rayon qui se propage en ligne droite, aux réfractions près.

"Je ne cite pas ces références à mes propres travaux, ajoute-t-il, pour diminuer le mérite de l'inventeur de la lunette [qu'il soit Della Porta ou qui d'autre] je suis bien conscient de la différence qu'il y a entre la spéculation théorique et l'expérience visuelle, entre la discussion de Ptolémée sur les antipodes [non, dit Rosen, ce n'est pas dans Ptolémée, mais Plin] et la découverte du Nouveau Monde par Christophe Colomb et, de même, n'importe quel tube à deux lentilles et l'instrument avec lequel vous Galilée, avez percé les cieux."

Lui-même, quand il avait appris l'invention de Della Porta, il avait imaginé de s'en servir pour observer le ciel mais une idée a priori l'en avait empêché : il pensait que l'air était dense et d'autant plus bleu qu'on regardait plus loin ce qui devait déformer les images. Idée curieuse, car, enfin, à l'œil nu les étoiles sont bien visibles ! Kepler admire donc Galilée d'avoir osé tourner la lunette vers le

ciel et reconnaît rétrospectivement que l'air est incroyablement ténu ; en 1618, il écrira que l'espace qui nous sépare des étoiles est vide (son argument : si l'éther avait la moindre densité, la lumière des astres lointains serait éteinte et ne pourrait nous parvenir).

Kepler discute de la possibilité de corriger les aberrations, soit par une autre taille des lentilles, soit par l'adjonction de lentilles supplémentaires. Il y a deux pages un peu techniques qui intéressent les historiens de l'optique.

Kepler en arrive aux utilisations astronomiques de la lunette. Il rappelle sa discussion avec Johannes Pistorius (7) qui pensait qu'un jour on trouverait le moyen d'améliorer la précision des mesures de Tycho Brahé. Lui, Kepler, ne le croyait pas, la précision atteinte par Tycho lui paraissait indépassable. Aujourd'hui, il doit reconnaître que Pistorius avait en partie prédit vrai. Avec le sextant de Tycho, Kepler avait pu montrer qu'à son coucher, le Soleil était relevé de 34' (première évaluation de la réfraction atmosphérique). Avec la lunette, dit Kepler, on doit pouvoir faire mieux.

Il imagine aussi qu'en mesurant avec plus de précision la portion de Lune assombrie lors d'une éclipse, il pourra améliorer les données sur les distances et les dimensions du Soleil et de la Lune. Ceci devait figurer dans un ouvrage intitulé "Hipparque", consacré à l'histoire de l'astronomie et que Kepler laissa inachevé à sa mort.

Avec la lunette, Kepler aurait pu mieux voir le transit de Mercure devant le Soleil qu'il prétendit avoir observé le 28 mai 1607. Galilée le conteste sans doute avec raison ; Kepler a dû confondre Mercure avec une tache solaire. On sait que la première observation d'un transit de Mercure fut obtenue par projection, avec une lunette, par Gassendi en 1631.

Enfin Kepler pense qu'avec une lunette, on pourrait mesurer la parallaxe des comètes, ce qui résoudrait, pense-t-il, le problème de la nature de ces objets, astres extérieurs à notre atmosphère ou météores ; à l'époque, on était loin d'être fixé (8).

Ceci dit, Kepler entreprend de discuter point à point les découvertes astronomiques

annoncées par le Sidereus Nuncius. Si cela ne vous lasse pas, nous y reviendrons dans le prochain CC.

Notes :

- (1) Alexandre KOYRE : "la Révolution astronomique", Copernic, Kepler, Borelli ; 528 p, format 14/21cm, broché ; édition Hermann, Paris 1961.
- (2) Gérard SIMON : "Kepler, astronome astrologue", coll. Bibliothèque des Sciences humaines 488p, format 14/22 cm, broché ; éditions Gallimard, Paris 1979.
- (3) Jean KEPLER : "Astronomie nouvelle" 452p, format 20,5/29 cm, broché ; "L'Harmonie du Monde", 428p, même format, broché ; éditions Blanchard, Paris 1979.
- (4) Johann KEPLER ; "L'Etrenne ou la neige sexangulaire", traduction du latin en français par Robert Halleux ; 170p, format 13,5/21,5 cm, broché, éditions Vrin, Paris 1975.
- (5) Edward ROSEN : "Kepler's conversation with Galileo Sidereal Messenger", traduction du latin en anglais, avec notes ; 164p, format 14/22 cm, relié ; éditions Johnson reprint corporation, New York 1965.
- (6) GALILEE : "Sidereus Nuncius, le message céleste" ; traduction du latin en français par Emile Namer ; 128p, format 13,5/21 cm, broché ; éditions Gauthiers-Villars, Paris 1964.
- (7) Johannes PISTORIUS (1546-1608) était un savant pragois, plutôt orienté vers l'histoire et la théologie. Catholique militant, il eut de nombreux échanges avec Kepler qu'il aurait voulu convertir. Curieux esprit, ce Pistorius ; il écrivit un gros livre d'astrologie, il était fort versé sur la Cabale et il écrivit plusieurs ouvrages de médecine. Ne serait-ce que par ses interventions auprès de l'Empereur Rodolphe en faveur de Kepler, il méritait que nous citions son nom.
- (8) Voir en particulier sur ce sujet le beau livre "The controversy on the comets of 1618" qui contient des textes de Galilée, de Horatio Grassi, de Mario Guiducci et de Kepler traduits du latin en anglais par S. Drake et C.D. O'Malley ; 380p, format 14/21 cm, relié ; éditions University of Pennsylvania Press, Philadelphia 1960.

■

AVEC NOS ÉLÈVES

Le Soleil, Vénus et l'avion

Daniel Bardin
Marseille



*Photo prise avec un objectif Nikon E.D de 600 mm de focale (5,6) muni d'un doubleur Nikon T.C.301, en 1/500^{ème} de seconde
Film diapositif 100° ISO Fuji et filtre mylar Baader*

Introduction

Le 8 Juin 2004, un avion a traversé un court instant le disque du Soleil pendant l'observation du passage de Vénus.

Heure de la prise de vue : 8h36 T.U.

Hauteur du soleil : 45°.

Diamètre apparent du Soleil : 1891".

Diamètre de Vénus : 58".

L'avion, de l'avis d'un ami connaisseur, est probablement un Airbus A320-200, mais peut-être

aussi un A310. Leurs silhouettes et leurs dimensions sont très voisines, nous prendrons celles du premier, soit : pour la longueur : 37,57m et pour l'envergure : 33,91m. Le cliché a été pris depuis l'observatoire SIRENE à 1100 m d'altitude.

Observatoire SIRENE ; ZL 12 – D34 ;
84400 LAGARDE D'APT.
Tél. 04 90 75 04 17.
E-mail : sirene@obs-sirene.com
http://www.obs-sirene.com

Questions :

- 1°) Quelle distance sépare l'observateur de l'avion ?
- 2°) A quelle altitude se trouvait l'avion ?

Remarque : Le problème est complexe à cause de la position a priori quelconque de l'avion par rapport à l'observateur. On est donc amené à faire des hypothèses simplificatrices, comme tout physicien, pour approcher la réalité.

Première résolution

On considère que le fuselage de l'avion est horizontal et perpendiculaire à la ligne de visée. Il apparaît alors en vraie grandeur, sans effet de perspective, à l'observateur.

Faire un schéma montrant les angles représentatifs des diamètres angulaires du Soleil et de l'avion. Soit L_A la longueur réelle de l'avion se trouvant à la distance D_A et L'_A la grandeur qu'il aurait s'il était à la distance L_S , distance Terre-Soleil.

On a : $\alpha_A(\text{rad}) = \tan \alpha_A = L_A / D_A = L'_A / D_S$.

Si L_S est le diamètre réel du Soleil,

on a : $\alpha_S(\text{rad}) = \tan \alpha_S = L_S / D_S$.

Le rapport L'_A / L_S est égal au rapport l'_A / l_S des grandeurs mesurées sur la photographie.

Montrer qu'on obtient alors : $D_A = L_A \cdot l_S / \alpha_S \cdot l'_A$

On obtient une valeur de l'ordre de 14 000 m (NDLR : on pourra se reporter à un exercice semblable paru dans les CC N°101).

Résolution plus précise

En réalité, l'image de l'avion est déformée par la perspective et les longueurs mesurées sur le cliché ne sont pas les longueurs réelles comme on l'a supposé précédemment.

Le cliché aurait pu être exploité directement et sans corrections dans trois situations seulement :

1°) L'avion vole horizontalement et sur une trajectoire localement rectiligne (ce que nous supposons toujours dans cet article) et la photo est prise lorsqu'il passe au zénith de l'observateur : le plan principal de l'avion et celui du film seraient parallèles, l'image serait conforme ; (fig.1).

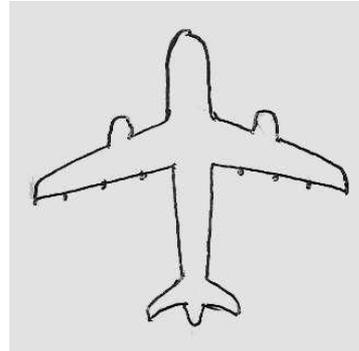


fig 1

Mais cela n'est pas possible ici, puisque le Soleil ne peut pas être au zénith à Marseille.

2°) L'avion est passé (ou passera) par le zénith, son fuselage étant dans un plan vertical qui contient l'observateur : le fuselage semblerait d'autant plus raccourci que l'avion serait loin du zénith, mais l'envergure de l'avion ne subirait pas de déformation perspective et permettrait donc une mesure sur le cliché ; (fig.2).

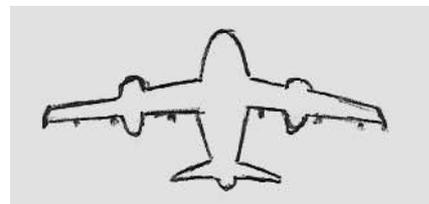


fig.2

3°) Un cas similaire se présente lorsque la trajectoire est effectivement perpendiculaire à la ligne de visée ; le fuselage serait vu en vraie grandeur ce qui permet de faire une mesure, alors que les ailes seraient raccourcies.

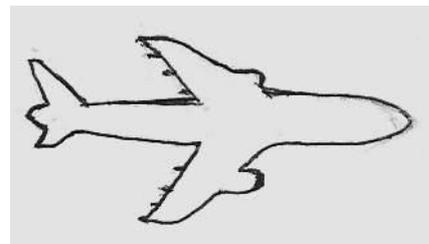


Fig 3

Le 8 Juin 2004, la position de l'Airbus est quelconque. La longueur apparente du fuselage ou celle de l'envergure doivent être corrigées.

Pour effectuer les calculs, il nous manque plusieurs paramètres concernant la trajectoire, les inclinaisons des plans, des azimuts, etc. Nous n'avons pas ces données et, de plus, les élèves (et peut-être les professeurs, NDLR !) auraient bien du mal à maîtriser le problème (comparable, par exemple, aux calculs relatifs aux comètes) et à résoudre ce qui ne doit rester qu'un jeu.

Nous allons donc restituer raisonnablement la longueur frontale du fuselage par un dessin en perspective.

Dans la suite de l'exposé, nous supposons que les extrémités des ailes et celles du fuselage de l'aéronef se trouvent dans un même plan, ce qui n'est pas trop erroné.

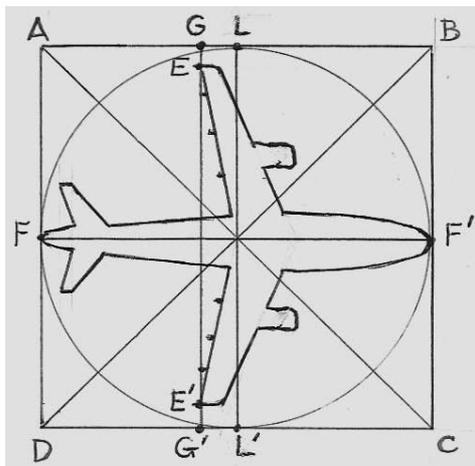


Fig.4

Sur la figure 4, la construction autour du plan schématisé de l'avion comporte les repères suivants : FF' trace la longueur du fuselage, (soit 37,57 m sur l'avion) ; EE' relie les extrémités des ailes, sa mesure est celle de l'envergure (33,91m sur l'avion). Le carré ABCD a pour côté la même mesure que FF'. De plus, la longueur de GG' (qui est égale à FF') représente 1,108 fois la mesure de EE' (37,57 divisé par 33,91). Le cercle inscrit dans ABCD a pour diamètre FF' ; l'autre médiane est LL'.

Il nous faut reporter ce plan sur la photo, en gardant les mêmes lettres, dans l'ordre suivant : tracer EE' et prolonger de 1/20^{ème} sa mesure à chaque bout (puisque GG' mesure environ 1/10^{ème} de plus que EE'). Tracer deux parallèles à GG' passant respectivement par F et F' et, de même, deux parallèles à FF' passant par G et G'. En bonne logique, le losange obtenu devrait être légèrement déformé puisque ses côtés sont des fuyantes convergentes sur l'horizon. L'erreur est sans conséquence pour la suite. Ce quadrilatère

contient une ellipse, image perspective du cercle qui passe par les points L, F, L' et F'.

Tout professeur d'arts plastiques sait tracer cette ellipse à la main (et devrait donner des cours aux autres professeurs, NDLR !). Le grand axe de l'ellipse PP' indique alors la mesure restituée et frontale de la longueur du fuselage ; (fig.5).

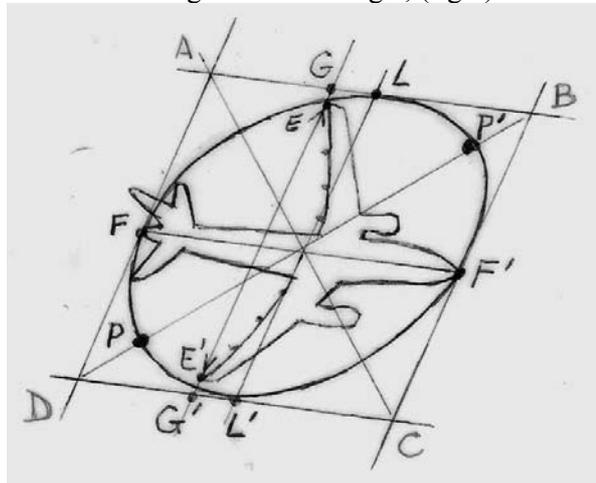


Fig.5

Nous pouvons dorénavant calculer la suite : sur les documents fournis à l'imprimeur, le Soleil a pour diamètre 177 mm et le tracé de PP' a environ 60 mm de long ; la valeur de l'angle α sous-tendu par PP' vaut alors :

$$\frac{1891 \times 60}{160} = 641''$$

soit 10' 41''.

C'est le diamètre angulaire qu'aurait le fuselage de l'Airbus s'il était vu de manière frontale. La distance entre l'observateur et l'avion vaut :

$$\frac{37,57}{\tan \alpha} = 12090m$$

L'altitude de l'avion sera obtenue en tenant compte de la hauteur du Soleil au dessus de l'horizon et de l'altitude de l'observatoire où la photo a été prise : $h = d \sin 45$

La hauteur angulaire de l'avion est la même que celle du Soleil, soit 45° ; l'altitude de l'avion par rapport à l'observateur est $12\ 090 \sin 45^\circ$, soit 8550 m. L'observateur se trouvant à 1100 m d'altitude, celle de l'avion se situe donc vers 9650 m par rapport à la mer, ce qui doit approcher de l'altitude de croisière de cet avion. Ces résultats, bien qu'obtenus par une méthode approximative, semblent cohérents et réalistes. ■

REMUE-MENINGES

Conjonction Vénus Jupiter du 5 novembre 2004

Le 5 novembre dernier, les deux planètes Vénus et Jupiter se sont frôlées. Ou plutôt, elles semblent s'être frôlées puisque, évidemment, Jupiter est beaucoup plus éloignée que Vénus. Mais sauriez-vous calculer combien de fois ? Vous pouvez aussi chercher quelle planète apparaissait la plus grosse au télescope.

Les données :

Rayon des orbites, en millions de km

Vénus : 108 ; Terre : 150 ; Jupiter : 778 (on considère les orbites circulaires).

Elongation de Vénus (et de Jupiter) ce jour-là (angle Soleil Terre Vénus) : 34°

Vénus apparaissait gibbeuse au télescope

Le diamètre de Jupiter vaut 12 fois celui de Vénus.

P. Causeret



La conjonction Vénus Jupiter du 5 novembre au matin. Vénus est l'astre le plus lumineux, Jupiter est à sa droite.

Au fil des perles des enseignants et des astronomes

Nous vous proposons quelques belles phrases, bien réelles

Lors d'une table ronde de discussion entre scientifiques et philosophes, l'un de ces derniers écrivait : "*Chez Heidegger la portée ontologique du chiasme est liée au fait que cette figure de pensée est directement accordée à la thématique de la différence ontologique et, partant, à la problématique d'une temporalité donatrice originare.*"

Lors d'une conférence à l'IUFM de Lyon, un organisateur déclarait : "*Eduquer, c'est permettre l'émergence de l'altérité dans une relation de parité asymétrique.*"

Ces phrases auraient pu être publiées dans la rubrique "remue-méninges". Personnellement je trouve dans ces phrases la preuve qu'il y a deux façons de parler : l'une pour être compris, l'autre pour ne pas être compris.

G.P.

¹Au cours de cette même table ronde un astronome, J. Schneider, déclarait : "*Le problème du rayonnement à 3K est un problème brûlant.*"

LECTURE POUR LA MARQUISE

Pourquoi tu t'appelles la Grande Ourse ? de Cecilia Scorza de Appl, chez Ataria Verlag, Heidelberg 2002, Allemagne - ISBN 3-936765-03-0

Le sous-titre du livre est : "Les plus belles légendes des étoiles racontées aux enfants".

Ce livre, écrit initialement en allemand a été traduit par Agnès Venard. Il présente les histoires mythologiques attachées aux constellations principales : la grande Ourse, le Corbeau, la Lyre, Hercule, Andromède, Orion et le Cocher, suivant ainsi les quatre saisons qui s'y rapportent : le printemps, l'été, l'automne et l'hiver. Le livre est illustré des différentes figures mythologiques sur lesquelles sont superposées les étoiles marquantes qui en permettent l'identification.

Les histoires sont racontées très simplement et très brièvement en une quarantaine de pages. Il s'agit là essentiellement d'un livre pour les jeunes enfants, visant à leur faire découvrir le ciel au travers de ces contes fantastiques, où les jeunes filles (Callisto) peuvent être changée en ours (la grande Ourse) et où Zeus, en personne, peut prendre l'apparence d'une belle jeune femme (Artémis) pour approcher par la ruse la belle nymphe Callisto. Le ciel, avec toutes ses constellations, est représenté dans les pages de garde. Les étoiles principales y sont dessinées comme elles nous apparaissent, plus ou moins brillantes. La nuit, à la lueur d'une lampe de poche, ces pages peuvent servir de première carte du ciel pour les tout-petits.

Il y a longtemps que je rêvais de trouver un livre qui raconte le ciel comme Victor Tryoëne ou Danièle Maurel savent le faire. Je vais pouvoir essayer avec mes petits-enfants.

G.P.

Histoire des idées sur la lumière, de l'antiquité au début du XX^e siècle

De Christian Bracco, Gisèle Krebs, Rodolphe Charrier et Florence Albrecht. Edition CRDP de l'académie de Nice. ISBN : 2-86629-387-8, (Prix 39 €).

La lumière a joué un rôle moteur primordial en physique. L'avancée de la science est jalonnée par

les conceptions nouvelles que nous avons de la lumière. C'était une très bonne idée de faire une synthèse sur le sujet.

Ce CD-ROM invite à suivre l'évolution des idées sur la nature de la lumière en montrant la succession des modèles bâtis par les scientifiques au cours des siècles. La découverte du CD-ROM se fait par trois entrées : *histoire*, *laboratoire* et *philosophie*.

"Les auteurs s'appuient sur des expériences d'optique qui illustrent, avec les moyens actuels, des expériences historiques. Chaque expérience est présentée par un schéma animé, accompagné d'un texte explicatif, de photos de montage et, le plus souvent, de vidéos. L'entrée "histoire", se référant à des textes originaux choisis parmi les plus représentatifs, donne le cadre de cette évolution que des compléments philosophiques (entrée "philosophie") permettent de situer dans un contexte plus vaste."

Personnellement, j'ai trouvé ce CD-ROM passionnant. L'entrée *histoire* explore toutes les époques depuis l'antiquité jusqu'à Einstein, avec des extraits de textes originaux. Les expériences de laboratoire constituent sans aucun doute l'apport le plus original de ce document. Dix-huit rubriques sont proposées, chacune présentant souvent plusieurs expériences couvrant tous les domaines de l'optique physique. Les expériences sont magnifiquement présentées, d'abord avec un schéma explicatif commenté, puis, avec des images réelles ou des vidéos, montrant l'expérience en cours de réalisation. L'entrée "philosophie" n'est pas non plus sans intérêt. Elle montre en tous cas que, dans ce domaine au moins, les plus grands philosophes sont les physiciens.

Nous aurions bien aimé offrir ce CD-ROM à nos abonnés, mais nous n'en avons pas les moyens financiers. Néanmoins, le texte complet de ce remarquable CD sera peut-être disponible à nos adhérents, grâce à l'aimable proposition de Christian Bracco.

G.P.

LES POTINS DE LA VOIE LACTÉE

Succès pour la mission Cassini - Huygens

La sonde Cassini, qui faisait partie de la mission Huygens (mission conjointe de l'ESA et de la NASA), s'est posée sans encombre sur Titan le 14 janvier 2005, après avoir traversé son atmosphère. Titan est le plus gros satellite de Saturne. D'une densité de 1,9, il est essentiellement constitué de glaces, comme la plupart des satellites des planètes géantes gazeuses. Par contre, il se distingue par la présence d'une atmosphère riche en azote et en méthane, qui engendre une pression au sol de 1,5 bar. Cette atmosphère pourrait donc être très semblable à celle de la Terre primitive, d'où l'intérêt porté à ce satellite.

La sonde Cassini a transmis une grande quantité de données, dont 350 images prises pendant la descente et au sol. Ces images confirment la composition chimique de l'atmosphère et révèlent la présence de nuages d'hydrocarbures à environ 20 km d'altitude, qui auraient engendré des pluies de méthane peu de temps avant l'arrivée de la sonde. Le sol, composé de glaces d'eau et de méthane « sale », s'avère plus sombre que prévu. La température y est de -180°C.

Cette mission est aussi remarquable par la médiatisation qui l'a accompagné. Le public a pu accéder aux images brutes en même temps que les astronomes professionnels. Nul doute que ces derniers auront également à cœur de communiquer les résultats de leurs analyses au fur et à mesure de leurs découvertes sur cette lune mystérieuse ...

Les petites étoiles sont plus lourdes que prévu ...

L'un des paramètres-clés dans l'étude des étoiles est leur masse, et celle-ci est particulièrement difficile à déterminer.

Avec la caméra NACO (NAOS/CONICA, Nasmyth Adaptive Optics System / Near Infrared Camera), installée sur l'une des unités du Very Large Telescope (VLT), une équipe américano-européenne conduite par Laird M. Close (Steward Observatory) a pu mesurer la masse d'une naine brune en orbite autour d'une étoile géante (AB Dor). La naine brune a une masse d'environ 90 fois celle de Jupiter, alors que les théoriciens prédisaient une masse d'au plus 50 fois celle de Jupiter. Cette découverte pourrait avoir un impact important sur le nombre estimé de naines brunes, qui devrait être revu à la hausse.

Formation des étoiles et des galaxies spirales

A partir d'observations effectuées pendant 2 ans avec plusieurs instruments du VLT, une équipe franco-germano-chinoise conduite par François Hammer (Observatoire de Paris) a pu reconstituer le lien entre l'histoire de la formation stellaire et l'évolution morphologique des galaxies. Les galaxies infrarouges lumineuses, découvertes à la fin des années 1990 et supposées être particulièrement actives en terme de formation d'étoiles, apparaissent beaucoup plus nombreuses dans le passé (il y a 4 milliards d'années ...). Au moins la moitié des étoiles actuellement observées s'y seraient formées il y a entre 4 et 8 milliards d'années, et la plupart des galaxies spirales (dont la galaxie d'Andromède ... mais pas la nôtre) résulteraient de la fusion de ces galaxies. D'autres observations sont prévues pour tenter de valider ce nouveau scénario.

Eric Josselin

LA VIE ASSOCIATIVE

Cette année fut exceptionnelle avec deux AG, dont l'une pour des changements de statuts, ce qui arrive pour la première fois dans la vie du CLEA. Il faut noter également un nombre important de participants, phénomène favorisé par la possibilité d'être représenté. Ces deux AG ont été organisées, pour la partie accueil et intendance par Marie-Agnès Lahellec que nous remercions. Elles se sont déroulées dans les locaux de l'Ecole Alsacienne.

Compte rendu de l'AG extraordinaire - Paris, le 28 novembre 2004

Cette AG sur les modifications de statuts avait été préparée par des échanges entre les membres du Conseil et lors de la réunion de ce même Conseil le 27 novembre à Paris.

Le but était de mettre les statuts en accord avec les pratiques, sans renier l'essence même du CLEA.

Étaient présents ou représentés 118 adhérents : ALLIX Colette, ANGLES Jean Claude, ARNAUD Ludovic, BALIN Dominique, BARDIN Daniel, BERLIOUX Jacques, BERLON Jacques, BERNARD Dominique, BERTHELLOT, BERTHOMIEU Francis, BIGOT Christian, BIRON Madeleine, BOBIN Michel, BOTTINELLI Lucette, BOURGEOIS Daniel, BOUST Dominique, BOUTEVILLE Gilles, BOUTOLLEAU Jean-Luc, BRENDERS Pierre, BREMOND Alain ; BURRET Bernard ; CADAS J Pierre ; CARMONA Emile, CAUCHOIS Michel, CAUSERET Pierre, CHAMBON Guy, CHANAL Daniel, CHARRON Laurent, CHAUVIN J Pierre, CHEVALY André, COLLET-Billon, COLLONGUES Daniel, CONON Karine, CONVERS Jean Pierre, COTTEROT, DALLA TORRA Jean, DARHINGER Frédéric, DEBARBAT Suzanne, DELMAS Francette, DROUET Nicole, DUMONT Simone, DUMONT Michel, DUPRÉ Jacky, DURAND RAUGEL M-C, DURAND Gaston, DURIEUX Bernadette, DUVAL Marie France, EPAMINONDAS, EYRAUD Charles Henri, FAIVRE Marie, FINET Cécile, FOUQUET Jean-Luc, FRECHET Isabelle, GAGNIER Jean, GAUTIER Bernadette, GAUDRAIN Joël, GENTRIC Jean, GERBALDI Michèle, GOUGENHEIM Lucienne, GOUTVERG Philippe, GROS Monique, HADAMCIK Edith, HESS Gérard, HEULIN Jacques, HUMBERT Monique, JANDOT Pierre, JOSSELINE Eric, KOBER Gilles, LAGIEWKA Gérard, LAHELLEC Marie Agnès, LARCHER Christian, LAULANET, LAVAL Annie, LECOQ Catherine, LE COUTEUX Gilles, LE LAY Claire, LE GUILLOU Nicole, LENDORMI René, LYDOIRE Catherine, MARQUET J-Michel, MAUREL DANIELE, MATHIEU Alain, MAYER Lucette, MILLAN, MINOT Francis, MULLER Lionel, OUDENOT Gérard, PACCOUD Germaine, PALA Jean-Luc, PATUREL Georges, PASQUET, PASKOFF Marie-claude, PAULHIAC Michel, PAUPART Daniel, PEYBERNARD Michelle, PENARD Jean-Pierre, PETIT Jean, PETIT Annie, REY Danielle, RODES François, ROMIEU Françoise, ROUGET Jean-Yves, RICHELMI Roger, RUYTMANN Alain, RIPERT Jean, ROUSSELET Jean-paul, SANDRE Béatrice, SEMERJIAN Claudine, SEMERJIAN Jean-Pierre, TAKVORIAN Renelle, THOREL Jean Claude, TOUSSAINT Daniel, VALORGE Céline, VARANNE Eric, VIGNAND Michel, VIGNON Catherine, VILAS Liliane, WEIL Laurent.

Tous les articles modifiés, l'ont été par un vote à l'unanimité.

Voici ces nouveaux articles :

Article 2 – Le CLEA a pour but de promouvoir l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux de l'enseignement, dans les organismes de culture populaire et, en particulier, dans le cadre de la formation initiale et continue des enseignants et des animateurs d'associations culturelles.

Article 4 – Le CLEA est ouvert :

Aux membres de l'enseignement public et privé sous contrat, en activité de fonction, en congé ou en retraite,
Aux astronomes professionnels en activité de fonction, en congé ou en retraite,
Aux personnes physiques ou morales ayant manifesté par leurs activités leur intérêt pour l'enseignement de l'astronomie. Seules les personnes physiques sont électrices et éligibles.

Article 5 – Pour faire partie du CLEA, il faut verser la cotisation annuelle. La qualité de membre se perd : par la démission ou par la radiation prononcée par le Conseil pour le non-paiement de la cotisation ou pour motif grave (prosélytisme religieux, politique, non-respect du principe de laïcité,

Article 6 – Les ressources de l'association comprennent :
- Les cotisations, les ventes aux adhérents, les dons, ainsi que tous les autres revenus autorisés par la loi.
- Les subventions versées par l'Union Européenne, l'Etat, les collectivités territoriales et locales ou les organismes culturels.

Article 7 – Le CLEA se réunit en Assemblée Générale une fois par an au moins, cette réunion étant convoquée un mois à l'avance. L'Assemblée Générale est formée des membres présents et représentés du CLEA. Tout représentant doit être membre du CLEA et ne peut disposer de plus de cinq pouvoirs.

L'ordre du jour de l'Assemblée Générale est fixé par le Bureau ; il est porté à la connaissance des membres du CLEA avec la lettre de convocation ; toute question proposée par un dixième au moins des membres du CLEA est inscrite à l'ordre du jour. Cet ordre du jour comporte obligatoirement : le rapport moral du président, le rapport financier du trésorier, la fixation du taux annuel de cotisation et l'élection à bulletins secrets du Conseil du CLEA.

Article 9 – Les Cahiers Clairaut réservent une partie de chacun de leurs numéros aux activités du CLEA. L'abonnement aux Cahiers est indépendant de la cotisation du CLEA. Le Bureau du CLEA est représenté dans le comité de rédaction des Cahiers Clairaut. L'assemblée est levée à 9h55.

Compte rendu de l'AG-Paris, le 28 novembre 2004

Dans la foulée, l'AG ordinaire commença. Pendant les débats, arrivée de deux adhérents : Agnès Acker et Philippe Malburet. Soit 120 présents ou représentés.

Jean Ripert fait part des messages reçus de la part de celles et ceux qui ne pourront pas participer à l'AG pour diverses raisons : Jean-Claude Pecker, Cécile Ferrari, Josée Sert, Dominique Bernard, Daniel Toussaint, René Cavaroz.

Rapport moral de notre président Georges Paturel.

- Rajeunissement des cadres et sécurisation

Le Président encourage les jeunes à s'impliquer dans la vie de l'association. Ceci permettrait de multiplier les compétences. Il y a risque lorsqu'une activité ne repose que sur une personne (gestion du serveur de gestion, rédaction des Cahiers Clairaut, ...). Il serait bon de prévoir la relève, simplement par le fait que plusieurs personnes mettent la main à la pâte dans certains domaines.

- Correspondants académiques

Le CLEA possède un tissu national très vivant, ce qui devrait permettre la promotion de l'enseignement de l'astronomie.

Il en incombe plus particulièrement aux Correspondants académiques qui devraient centrer leurs activités sur les points suivants : - faire connaître le CLEA dans l'Académie, lors de stages ; contacter les IUFM et/ou les collègues ; faire de la pub au moment de l'annonce de l'École d'Été d'Astronomie. Ils pourront avoir à leur disposition des dépliants, des bons d'abonnement, des documents de démonstration et d'autres à distribuer (Cahiers Clairaut, HS, diapos, ...)

Toutes les académies n'ont pas de correspondant académique : il serait souhaitable que des collègues s'engagent pour combler ce vide.

- Stages, regroupements

Lors de stages, de regroupements ou d'AG d'autres associations, certains membres du CLEA sont amenés à faire des animations au nom du CLEA, il serait bon que le Bureau du CLEA en soit informé. Christian Larcher veut bien centraliser toutes ces informations (larcher2@wanadoo.fr).

- Digitalisation des Cahiers Clairaut

Avec l'aide de quelques membres du CLEA et son équipe de Lyon, Georges Paturel a numérisé l'ensemble des Cahiers Clairaut. Pour l'instant nous disposons des images de chaque page, l'ensemble pouvant être placé sur un DVD (Rem. : aux dernières nouvelles, tout pourrait tenir sur un CD). Après passage par un logiciel de reconnaissance de caractères, certains articles pourront être repris.

- Réalisation d'un document CLEA@

Le CLEA s'est engagé à réaliser un document à mettre en ligne. Pour cela il a obtenu des subventions du ministère et de l'opération LUNAP. Georges a présenté un projet de plan pour cet ensemble. Pour chaque point, il y aura une présentation théorique et surtout des documents pédagogiques. Lucienne Gougenheim pense qu'il faut

illustrer le document par les activités CLEA qui sont très riches (voir les nombreuses pages du site CLEA sur l'Académie de Nice). L'aspect technique au niveau de la réalisation sera vu en concertation avec Francis Berthomieu. Afin de repérer rapidement les articles intéressants des Cahiers Clairaut, Jean Ripert s'engage à faire un index général des CC (dernières nouvelles : avec l'aide de Michel Paulhiac, cet index est terminé).

- Année mondiale de la physique

Dans le cadre de l'année mondiale de la physique, Georges a l'intention de monter l'expérience de Cavendish qui pourra circuler dans certaines académies (projet de l'Académie de Nice).

- Rééditions

Certains numéros des CC, de Hors Série et des diapositives étant en rupture de stock, leur réédition est programmée.

- Mise en commun de moyens avec autres associations

Depuis quelques mois, des discussions sur un possible rapprochement des moyens d'édition entre la SAF et le CLEA se sont déroulées (possibilité d'inclure 4 fois par an les CC dans l'Astronomie). Lors de la dernière réunion du Conseil, la majorité des membres a souhaité ne pas donner suite à ce rapprochement de peur de perdre son âme (une association sans bulletins n'est plus vivante). Les Cahiers Clairaut continuent donc, aidez-nous à les faire vivre.

Rapport financier de notre trésorière Béatrice Sandré

Celle-ci présente le bilan financier

Avoir Novembre 2003

Compte postal : 35 095,67 ; Livret A : 43 068,12 ; Total : **78 163,79**

Dépenses de Novembre 2003 à Novembre 2004

CC Impression (104-105-106-107) : 17607,95 ; CC Routage (103-104-105-106-107) : 1089,56 ; CC Affranchissements (104-105-106) : 1001,87

A.G + Association : 1117,26 ; timbres : 1636,02 ; éditions : 954,05 ; assurance MAIF : 470,75 ; tenue de comptes : 26,00 ; bureautique : 6 742,20 ; école d'été : 4827,62

Soit un total de **35 473,28 €**

Recettes de Novembre 2003 à Novembre 2004

Subvention LUNAP : 27 000 ; Subvention Ministère : 10 000 ; Cahiers Clairaut (622 abonnés à 25 €) : 15 550 ; Adhésions(778 adhérents à 5 €) : 3 890 ; Intérêts livret A (non précisés) ; Starlab (15 semaines à 76 €) : 1 140 ; Ventes : 7 256,86.

Soit un total de **64 836,86 €**

Avoir Novembre 2004

Compte postal : 64 459,25 et Livret A : 43 068,12 ; Total = **107 527,37 €**

Les finances sont saines, mais si on ne tient pas compte des subventions (37000€), les dépenses sont supérieures aux recettes de 7600€ environ. Les dépenses pour les CC ne sont pas équilibrées par les recettes des abonnements et des adhésions.

Le quitus est donné à l'unanimité à notre trésorière.

Après discussion et n'ayant pas encore toutes les informations, il est choisi de repousser à un peu plus tard dans la journée, la décision sur les prix de l'adhésion et de l'abonnement.

Le président remercie vivement Catherine Vignon qui a été trésorière et qui a fait pendant plusieurs années les envois des commandes. Il remercie également Béatrice Sandré pour son efficace travail de trésorière.

Une pause est alors accordée à l'assemblée, ce qui permet aux membres de profiter des douceurs et des boissons apportées par Marie-Agnès.

Compte rendu de l'Ecole d'Eté d'astronomie 2004 par Jean Ripert

Après avoir rappelé le faible nombre de participants (32 présents avec les animateurs), l'excellente ambiance (cela permet de repartir rempli d'enthousiasme), la présence de Florence Durret et Georges Paturel comme astronomes, Jean projeta les diaporamas réalisés par les stagiaires et les animateurs pour marquer la fin du stage. Ainsi l'assemblée a pu partager quelques instants de bonheur et de rires.

Les Cahiers Clairaut : bilan et perspectives par Georges Paturel

Georges qui supporte seul une grande partie de l'édition des Cahiers Clairaut rend hommage à Martine Bobin qui a mené la rédaction durant plusieurs années. Il souligne la pression constante et le travail considérable qui repose sur une personne, ce qui n'est pas très sûr en cas de problème. Il propose de répartir le travail afin d'alléger la charge, de porter les différents rouages à la connaissance du plus grand nombre, d'améliorer la qualité (on a plus d'idées à plusieurs).

Pour ne pas perdre de temps, une structure est proposée et qui fonctionnera à partir du numéro 109 :

- des Editeurs Adjoint collecteront les articles de la rubrique qu'ils animeront.
- le Contenu du Cahier sera préparé en concertation longtemps avant le travail effectif.
- les articles reçus seront répartis entre les Editeurs Adjoint selon les rubriques.
- les Editeurs adjoints devront mettre les articles en forme (format CC).
- les articles seront collectés à Lyon pour le montage final.

Pour les principales rubriques des CC, les Editeurs Adjoint suivants sont volontaires : "avec nos élèves" : M.-A. Lahellec + F. Dahringer ; "observations" : P. Causeret + J. Ripert ; "articles de fonds" : F. Crifo + A. Acker + G. Paturel ; "histoire": Charles-Henri Eyraud ; "reportages" : Charles-Henri Eyraud ; "les potins de la Voie Lactée" : Eric Josselin ; "réflexions et débats" : C. Larcher ; "courrier des lecteurs" F. Berthomieu ; "Réalisations" : G. Paturel.

La discussion revient sur les tarifs des abonnements. Le constat est fait que les tirages des CC par notre imprimeur sont chers. Au cours de la discussion certains points émergent : problème du prix, avoir de la couleur

(sans que cela ne vienne égaler certaines revues, ce n'est d'ailleurs pas ce que cherchent les lecteurs des CC), service rendu par notre éditeur (transport des CC au routage, stockage de certains HS). Le problème n'est pas simple car il faut également tenir compte de certains points techniques (type de fichier à fournir). La décision est donc prise de rencontrer l'imprimeur pour négocier les prix¹.

En ce qui concerne les tarifs, lors de l'AG 2003, il avait été décidé que l'adhésion au CLEA resterait à 5€ et que l'abonnement aux Cahiers Clairaut passerait à 30€. Certains pensent que l'augmentation est forte. Allons-nous obtenir une baisse du prix du tirage ? 30€ n'est-ce pas trop pour de jeunes collègues ? Béatrice Sandré fait remarquer que ceux qui se réabonnent en retard, c'est-à-dire après l'équinoxe de printemps, reviennent cher à l'association. Finalement la décision a été prise par un vote des présents.

L'adhésion reste à 5€, l'abonnement passe à 28€ et 30€ pour ceux qui se réabonneront en retard.

Le site web par Francis Berthomieu

Le site comporte maintenant plus de 330 pages dont 150 à 200 sont utilisables directement par les enseignants. Cette année a été particulièrement active avec le passage de Vénus. Le site a largement bénéficié des travaux de Pierre Causeret. Par contre il y a eu moins de contributions concernant la pub pour les articles paraissant dans les CC. Francis pense que le site connaît 1000 consultations par mois. Les questions posées (par des élèves ou des enseignants) sur le site sont régulièrement renvoyées vers la liste de diffusion du CLEA.

Francis souhaite avoir rapidement les dates de la prochaine Ecole d'Eté d'Astronomie, des informations sur les stages ou animations se faisant dans les académies.

Il nous faudra également faire un effort pour présenter des documents afin de préparer l'éclipse de Soleil du 3 octobre 2005, partielle en France, mais annulaire en Espagne.

Communications des groupes régionaux

Suzanne Debarbat (Paris) présente l'exposition de l'Observatoire de Paris "Au-delà de la Terre, l'Europe explore le système solaire". Missions sur Mars et Saturne, cycle de conférences

Renelle Takvorian (Marseille) qui travaille à l'Isle-sur-Sorgues présente (photos et vidéo) le travail réalisé lors du passage de Vénus. Le projet a amené une cinquantaine d'élèves à l'Observatoire de Haute-Provence pour déterminer les instants précis des 4 contacts en utilisant le sidérost et relever la position de Vénus et des taches solaires sur une image du Soleil de 1,5m de diamètre. De plus sur le terrain, toutes les demi-heures, l'azimut et la hauteur du Soleil étaient relevés. Les élèves étaient encadrés par des professeurs, des surveillants et des membres du club d'astronomie. Les résultats ont été très satisfaisants et ils ont été présentés pour la Fête de la Science dans le lycée. Les élèves des établissements voisins ont pu aussi en profiter. Une conférence sur la

détection des planètes extra-solaires a clôturé ce projet. Renelle déborde toujours d'enthousiasme, elle a terminé en disant "On recommence en 2012".

Pierre Causeret (Dijon) est revenu sur le passage de Vénus. Il a décrit la méthode utilisée que vous aviez pu lire dans les CC et le protocole CLEA qui fut utilisé. Ce protocole simple était utilisable à partir du collège. Nous avons pu voir les photos de nos adhérents Thérèse Derolez (La Réunion), Gilles Dodray (au Spitzberg avec l'atelier d'astronomie de son lycée) et Pierre Causeret à Dijon. Ce fut du bel ouvrage dont il faudra se souvenir dans huit ans.

Catherine Lidoire et Céline Valorge (Lyon) ont participé pour la première fois cette année à une école d'été. Elles ont rejoint le CLEA et à l'AG nous ont présenté l'atelier qu'elles animent dans leur lycée. Catherine avait assisté à un stage animé par Liliane Sarrazin-Vilas à Bordeaux et Céline avait animé un club d'astronomie. Et puis le passage de Vénus a tout accéléré. Elles ont préparé le passage de Vénus à l'Observatoire de Lyon, ont fait un dossier auprès de l'UNAP. Cela a commencé par un travail en arts plastiques en liaison avec l'astronomie (section Arts Plastiques dans l'établissement).

Les élèves avaient été préparés en travaillant sur la périodicité, l'ellipse, les lois de Kepler, les différentes méthodes de détermination de l'unité astronomique et la prise en main d'un logiciel de traitement d'images. Le 8 juin tout était prêt pour faire des relevés au solarscope, des photos avec un téléobjectif de 135 mm et à la webcam. L'image (sur disquette) était rapidement traitée en salle de calcul.

Cette année, elles ont déjà mis en œuvre de nombreuses activités découvertes à l'EEA de Gap. Nous leur souhaitons bonne chance pour le bonheur de leurs élèves.

Les Journées de l'APMEP

Lors des journées de l'APMEP (Association des Professeurs de maths de l'enseignement public) à Orléans, nous avons tenu un stand CLEA. Peu de ventes (9 hors-séries seulement) mais plusieurs rencontres et des propositions que je vous soumetts :

1. 6° salon de la culture et des jeux mathématiques, du 2 au 5 juin 2005 de 10h à 20h, place St Sulpice. La personne qui organise ces jeux (et dont je n'ai pas noté le nom) trouve que le CLEA y aurait bien sa place, même si l'Observatoire de Paris est déjà représenté. Ils ont envie de voir quelque chose autour de astronomie-maths-physique. Il y a énormément de public curieux de sciences, en particulier des professeurs, et des classes qui passent le jeudi et le vendredi. Les stands payants sont chers mais c'est gratuit pour faire des animations (sans vente, mais les publications du CLEA pourraient être vendues au stand association). C'est aussi un gros travail (4 fois 10 heures). Pour les professeurs, ils peuvent demander

Après l'excellent repas pris sur place, nous avons assisté à la conférence de Patrick Cheinet du SYRTE de l'Observatoire de Paris "Mesure absolue de l'attraction terrestre par interférométrie atomique et application à une nouvelle définition de l'unité de masse". Patrick Cheinet présenta ce sujet difficile avec beaucoup de clarté et d'aisance. Un résumé sera proposé dans un prochain CC.

Renouvellement du Conseil

Lors de la pause et après, les adhérents votèrent. Sur 120 personnes présentes ou représentées, il y eut 102 votants, 102 bulletins exprimés et 102 voix pour :

ACKER Agnès, BALIN Dominique, BARDIN Daniel, BERNARD Dominique, BERTHOMIEU Francis, BOBIN Michel, BOTTINELLI Lucette, BOUTEVILLE , Gilles, BRAHIC André, CAUSERET Pierre, DAHRINGER Frédéric, DUPRE Jacky, DUVAL Marie France, EYRAUD Charles-Henri, FERRARI Cécile, FOUQUET , Jean-Luc, GERBALDI Michèle, GLATZ Dominique, GOUGUENHEIM Lucienne, GROS Monique, JOSSELIN Eric, LAHELLEC Marie-Agnès, LARCHER Christian, MAUREL Danièle, MAYER Lucette, PATUREL Georges, PECKER Jean-Claude, PETIT Annie, PETIT Jean, PINCAUT Annie, RIPERT Jean, SANDRE Béatrice, SANGLERAT Nicole, SARRAZIN VILAS Liliane, SCHATZMAN Evry, SCHIANO Michel, SEMERJIAN Claudine, SERT Josée, TRYOËN Victor, VIGNAND Michel, VIGNON Catherine, WALUSINSKI Gilbert.

J. Ripert, Secrétaire du CLEA ■

¹ Nous vous donnons une information récente : Notre imprimeur, Mr. Hauguel, a accepté de nous faire les huit pages centrales en couleur pour le prix du noir et blanc. Nous l'en remercions. Le prix d'impression des Cahiers Clairaut redevient à un niveau acceptable pour notre budget.

pour nous un ordre de mission. Les animations prévues doivent être courtes (10 minutes maxi). Qu'en pensez-vous ? Il faudrait se décider assez rapidement. Je serai partant si on est assez nombreux.

2. Publimaths est une base de données sur les publications en maths pour les professeurs et les élèves. Ils nous proposent de mettre dans leur base les hors-série et les Cahiers Clairaut. Dans ce cas, il faudrait pour chaque hors-série un résumé, le sommaire et les mots-clés. Même chose pour chaque article des Cahiers Clairaut. Cela peut être intéressant pour les professeurs ou les élèves cherchant de la documentation en TPE par exemple. Ce n'est pas trop difficile pour les hors-séries mais pour chaque numéro, cela demande plus de travail. On peut commencer par les hors-séries. Je veux bien en faire quelques-uns.

Pierre Causeret

"Catch a Star"

Au début de Mars, l'EAAE a tenu son assemblée générale au siège de l'ESO, à Garching, près de Munich.

A cette occasion ont été proclamés les résultats de l'opération « Catch a Star » 2004 ; organisée par l'ESO et l'EAAE, le soutien financier de l'ESO étant important et essentiel.

Dans l'opération « Catch a Star », un groupe d'au plus 3 élèves, accompagnés ou non d'un professeur, font une recherche documentaire et expérimentale sur un objet, librement choisi, de l'Univers astronomique. Le compte-rendu de leurs travaux, écrit en anglais et en HTML, est transmis par Internet au jury.

Plus de 250 rapports ont été envoyés.

50 de ces rapports ont été primés, le premier prix étant un voyage au Chili, à l'Observatoire de l'ESO. Les résultats ainsi que ces 50 rapports seront publiés sur le site de l'EAAE, auquel vous pouvez accéder par un lien à partir du site du CLEA ou directement : www.eaae-astro.org

Vous pourrez constater que l'activité demandée est très proche de ce que l'on demande pour les T.P.E. Un travail expérimental complet, avec observations, mesures, calculs, conclusions, sera expressément demandé pour le concours 2005.

Les participants de l'opération en 2004 sont souvent des élèves de 17, 18 ans, mais rien n'interdit à des élèves de collège de faire des projets !

Encouragez-les ! et bon plaisir !

Frédéric Dahringer

Liste de diffusion.

En décembre 2003, nous avons ouvert sur Yahoo une liste de diffusion réservée aux adhérents du CLEA et dont Christian Larcher est le modérateur. Au bout d'un an, il avait 145 inscrits.

Quel est l'intérêt d'une telle liste ? Elle permet un contact entre tous les membres du CLEA, il est ainsi possible d'être informé rapidement entre deux Cahiers Clairaut. Chacun peut également poser une question et avoir la réponse par retour (je m'avance beaucoup, mais jusqu'à présent c'est ce qui s'est passé).

Quel est l'intérêt d'ouvrir un compte ? Le fait d'ouvrir ce compte permet d'avoir accès à tous les services ; en plus de recevoir les messages, il est possible de voir les anciens messages, les fichiers et photos déposés, la liste des inscrits, les signets et l'agenda.

Après l'AG 2004, j'ai proposé l'inscription à tous ceux qui le souhaitaient. Il y a actuellement 183 inscrits. Mais la campagne d'information n'a pas atteint son but, sur 320 messages (19 fausses adresses), il y a eu 12 réponses négatives et 66 réponses positives. Il devrait donc y avoir 211 inscrits actuellement, cela signifie que certains qui étaient d'accord, ne se sont toujours pas inscrits.

Nous allons donc changer de stratégie. Je propose à tous les adhérents qui souhaitent être inscrits sur cette liste de m'envoyer un message à l'adresse suivante : jripert@ac-toulouse.fr.

Ils recevront en retour un fichier d'aide pour ouvrir un compte. N'hésitez pas, j'attends vos messages.

Jean Ripert, secrétaire du CLEA

LE COURRIER DES LECTEURS

Recherche des repères géodésiques historiques.

Nous avons reçu un courrier de notre collègue Ch-H. Vigouroux au sujet des repères géodésiques historiques. Nous vous livrons son texte pour réflexion :

"Je suis retourné en Aveyron en juin 2004 sur des lieux de mon adolescence et je vous envoie ci-joint quelques photos : la stèle de la Méridienne de

Rodez (que s'est-il passé à ce sujet en 1864 et en 1955 ?...) située sur des terrains de boules près du lycée Monteils, dans le quartier de Camonil (à l'origine si j'en crois mon souvenir, il y avait une petite pièce de laiton au centre de la face horizontale, avec un trait gravé et "Méridien 0°14' EST" qui m'intriguait vers 12-14 ans : pourquoi ce méridien qui n'est même pas un nombre rond, alors que juste à côté il y a aussi un autre méridien, et partout d'autres méridiens ?...).



La stèle de la méridienne de Rodez.

Le "repère géodésique" du mont Lagast, dans le Lézou à une trentaine de kilomètres au sud de Rodez, reconstruit et didactisé en 2002, est situé maintenant sur un sentier de randonnée.



Le signal de la Gaste (alt. 928m).

Ne serait-il pas intéressant de lancer via la liste CLEA (ou même les Cahiers Clairaut) une recherche de tous les repères géodésiques "historiques" en France, sujet sans doute intéressant pour des scolaires ou des collégiens d'un site concerné et de créer une banque photos ? Cela susciterait peut-être aussi des réhabilitations...

Charles-Henri Vigouroux
Mably (près de Roanne, Loire)

C'est une excellente idée. L'appel est lancé. Nous sommes prêts à recevoir les photos et un court texte donnant les caractéristiques du repère (altitude, longitude, latitude,...).

GP.

Srinivasa Ramanujan et pi

Voici un message à propos de la formule approchée de π , que nous donnions dans le précédent Cahier $\pi = (2143/22)^{1/4}$

"A propos de la formule approchée de π donnée dans le Remue-Ménages du dernier Cahier Clairaut, pourquoi ne pas dire qu'elle est due à l'idole des jeunes intellectuels indiens, Srinivasa Ramanujan, génial et énigmatique mathématicien qui passa la plus grande partie de sa courte vie souffreteuse dans la solitude intellectuelle absolue ? Il est né en 1887 (200 ans après la parution des 'Principia' de Newton – il fallait bien qu'il y ait un lien avec l'astronomie – et meurt en 1920 à l'âge de 32 ans.

Ces informations sont parues dans "Pour la Science" en 1987 (centenaire de sa naissance) sous la plume de deux grands mathématiciens contemporains, Jonathan et Peter Borwein largement impliqués dans le calcul de Pi. Ramanujan a publié sa formule (et des tas d'autres, toutes plus géniales les unes que les autres) dans un article intitulé : "Modular equations and approximations to Pi", paragraphe 12, page 366 – dans "The Quarterly Journal of Pure and Applied Mathematics", Vol. 45, 1914, devenue depuis la prestigieuse revue : "American mathematical Monthly". Mais si c'est Monsieur Paturel qui l'a redécouverte, bravo ! il faut le dire aussi !

Re-meilleurs vœux pour 2005 !

Daniel Pascal

Institut d'Electronique Fondamentale
Université Paris Sud

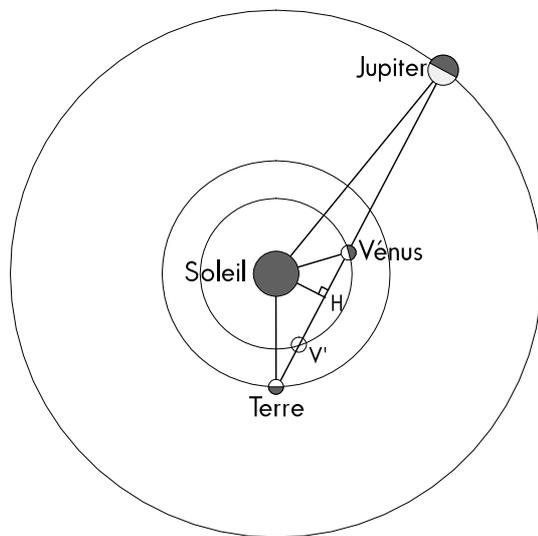
J'ai eu connaissance de cette excellente approximation de π par une personne dont j'ai perdu le nom et l'adresse. Cette personne m'avait écrit, à l'Observatoire, il y a bien longtemps (1975 environ) en me disant qu'elle avait trouvé en jouant avec sa calculatrice, une formule donnant π , "exactement". Avec les moyens de calcul de l'époque, la vérification n'était pas facile. Je m'y suis attelé, à la main. J'ai pu répondre à la personne que, à défaut de fournir une valeur exacte (!), la formule trouvée était une remarquable approximation. Malheureusement, je n'ai pas gardé les coordonnées de cette personne, qui n'était pas Srinivasa Ramanujan (sinon je m'en souviendrais).

En tous cas, merci à Daniel Pascal de nous avoir apporté ces informations sur le calculateur indien génial. Je regrette évidemment de n'avoir pas gardé trace de ce courrier ancien. "Tant pi".

GP.

Solution du remue-méninges du n°108

A propos de la conjonction Vénus-Jupiter du 5 novembre, on cherchait combien de fois Jupiter était plus éloignée de la Terre que Vénus.



Le schéma n'est pas à l'échelle.

Données :

$$ST = 150, SV = 108, SJ = 778, \widehat{STV} = \widehat{T} = 34^\circ$$

Pour une élongation de 34° , il y a deux positions possibles pour Vénus mais il faut éliminer V' puisqu'on la verrait alors en croissant.

On peut faire les calculs niveau classe de 3e avec SH, la

hauteur du triangle SHV. Sinon, on utilise la relation $\frac{SV}{\sin \widehat{T}} =$

$$\frac{ST}{\sin \widehat{V}} = \frac{VT}{\sin \widehat{S}}$$

dans le triangle STV qui permet de déterminer \widehat{V} puis \widehat{S} puis TV et on recommence dans le triangle JST pour avoir JT.

$$\text{Calculs avec SH : } SH = ST \sin \widehat{T} = 150 \sin 34^\circ \approx 83,9$$

$$TH^2 = ST^2 - SH^2 \text{ d'où } TH \approx 124$$

$$VH^2 = SV^2 - SH^2 \text{ d'où } VH \approx 68$$

$$JH^2 = JS^2 - SH^2 \text{ d'où } JH \approx 773$$

Ce qui donne environ 192 pour TV et 897 pour TJ : Jupiter était donc presque 5 fois plus éloignée que Vénus. Mais comme son diamètre est 12 fois plus grand, c'est bien Jupiter qui apparaissait la plus grosse au télescope, plus de 2 fois Vénus ! Cela peut paraître surprenant puisque Vénus était de loin la plus brillante mais elle reçoit 25 fois plus de lumière du Soleil, étant 5 fois plus proche...

P. Causeret

Articles à venir

Cours élémentaire d'astronomie et d'astrophysique V ; Les ondes gravitationnelles ; Pendule de Foucault en carton ; La détermination de la distance de la galaxie M31 ; Référentiels et Satellites III ; Les étoiles variables ; Mesure absolue de l'attraction terrestre par interférométrie atomique et application à une nouvelle définition de l'unité de masse. La rétrogradation de Mars. Autour du mot Mars.

Remerciements: Nous remercions Michel Bobin, Jean-Noël Terry et Marie-Agnès Terry, pour la relecture de ce Cahier ainsi que Chantal Petit pour son assistance.

Les fiches 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"	
4 diapositives et 12 jeux de 2 photographies	16 €
HS7 Etude du spectre du Soleil	8 €
HS8 Etoiles variables	12 €
HS9 Mathématiques et Astronomie	12 €

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

Documents édités par le CLEA

Transparents animés pour rétroprojecteurs	8 €
T1 le Transsolute (phases de la Lune et éclipses)	
T2 Les fuseaux horaires	
Filtres colorés	11 €
Six feuilles de filtres colorés et une feuille de réseaux	
CD ROM CLEA	8 €
Astronomie et Astrophysique Programme de seconde, collège, TPE	
CD ROM Collection des Cahiers Clairaut	30 €
du numéro 1 au numéro 108 avec index de recherche	
Documents photographiques CLEA-Belin	5 €
20 exemplaires des 8 documents (phases de la Lune spectres de Rigel, Saturne, Arcturus, 69 Pisces, etc)	

Publications du CLEA

Les publications ne peuvent être vendues qu'aux adhérents du CLEA (loi de 1901). Prix franco de port.
Toute commande de documents est à envoyer à :

CLEA - Laboratoire d'Astronomie, Bât. 470 – Université Paris Sud – 91405 Orsay cedex

En joignant un chèque à l'ordre du CLEA.

Fascicules pour la formation des maîtres en astronomie

F1 L'observation des astres, le repérage dans l'espace et le temps	7 €
F2 Le mouvement des astres	8 €
F3 La lumière messagère des astres	9 €
F4 Naissance, vie et mort des étoiles	10 €
F6 Univers extragalactique et cosmologie	9 €
F7 Une étape de la physique, la relativité restreinte	16 €
F8 Moments et problèmes dans l'histoire de l'astronomie	10 €
F9 Le système solaire	14 €
F10 La Lune	10 €
F11 La Terre et le Soleil	12 €
F12 Simulation et astronomie sur ordinateur	8 €

Cours photocopiés 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 €

Diapositives

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

D1 Les 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	

CONDITIONS D'ADHESION ET D'ABONNEMENT POUR 2004

Adhésion au CLEA pour 2005	5 €
Abonnement aux CAHIERS CLAIRAUT n° 109 à 112	25 €
<i>L'adhésion est indispensable pour tout achat de documents y compris l'abonnement aux Cahiers Clairaut</i>	
Le numéro des Cahiers Clairaut	7 €
COLLECTIONS DES CAHIERS CLAIRAUT des années antérieures :	
. du début (1978) à 1997	14 €/an
. à partir de 1998	17 €/an
COLLECTION COMPLETE DES CAHIERS CLAIRAUT SUR CD-ROM du n° 1 au n° 108	30 €

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

Trois livrets (40 pages en quadrichromie), 1CD 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.C. Pecker, astrophysiciens) – 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 1,2 € HT par livret**
- CD "Terre, planète à protéger" (avec animation sonores, vidéos et images) pour 8 € HT
 - DVD "40 ans de l'ESO" (d'après un film de 52 minutes) 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 Haugel, 92240 Malakoff

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