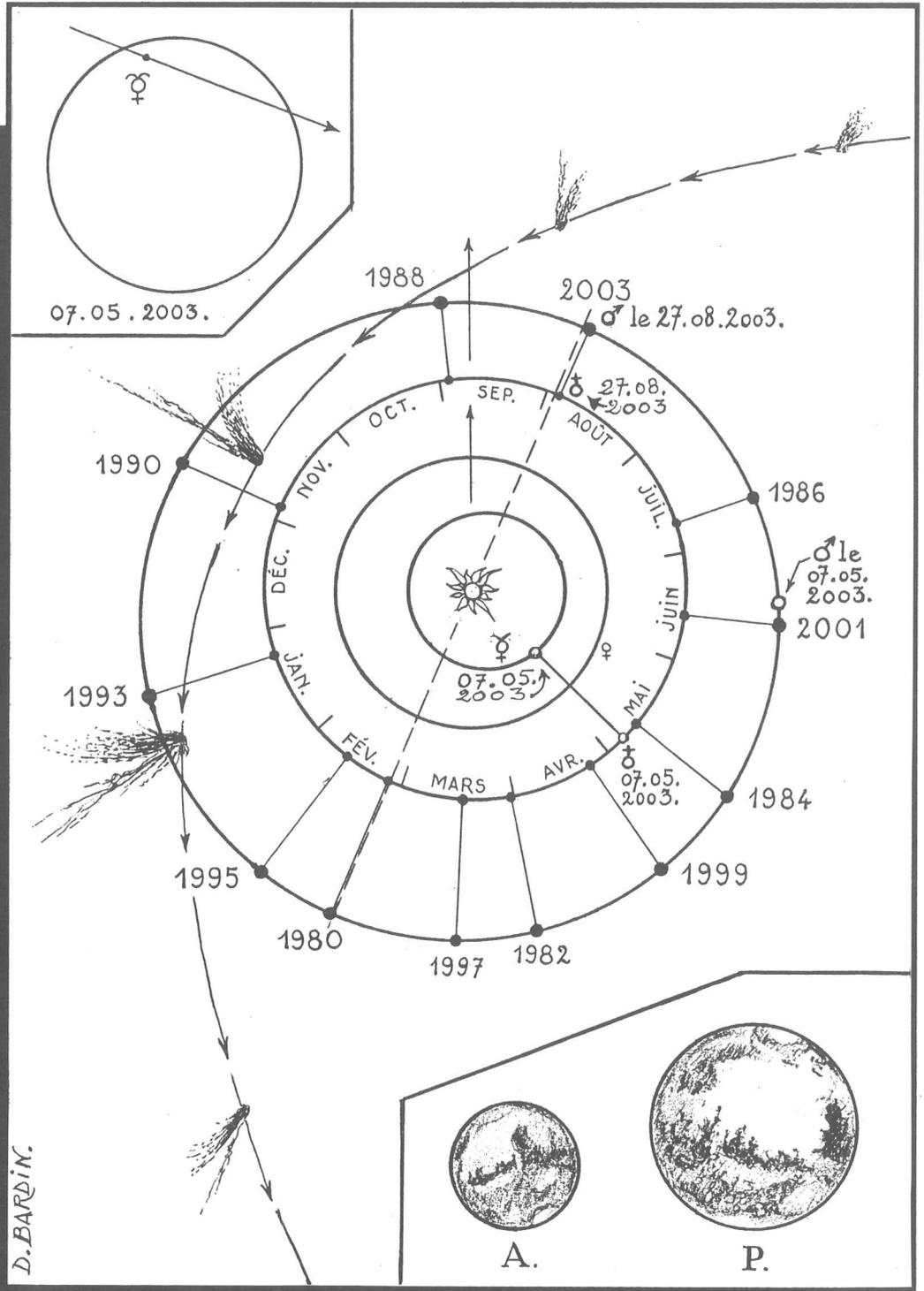


Les Cahiers Clairaut

Lect
pour
et se
HIS
Ré
d'o
Ar
fo
Réfle
deb
Info
élève
Vie
Tex
exerc
Articles



Les potins de la Voie lactée

Comité de liaison enseignants astronomes

Le CLEA

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

agissent dans le cadre de la formation initiale et continue des enseignants.

Le CLEA organise des stages nationaux (universités d'été) et régionaux dans le cadre des MAF-PEN. Ces stages sont ouverts aux enseignants de l'école primaire, du collège et du lycée. On s'efforce d'y conjuguer information théorique et travaux pratiques (obser-

vations, travaux sur documents, mise au point de matériels didactiques et recherche du meilleur usage de ces matériels, etc).

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



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

Bureau du CLEA pour 2003

Présidents d'honneurs

Lucienne Gouguenheim,
Jean-Claude Pecker, Evry Schatzman
et Gilbert Walusinski

Président

Georges Paturel

Trésorière

Béatrice Sandré

Trésorier Adjoint

Jacky Dupré

Rédacteurs des Cahiers

Martine Bobin
Frédéric Dahringer

Secrétaire

Jean Ripert

Comité de rédaction des Cahiers Clairaut

Daniel Bardin
Francis Berthomieu
Martine Bobin
Michel Bobin
Lucette Bottinelli
Pierre Causeret
Frédéric Dahringer
Jacky Dupré
Charles-Henri Eyraud
Jean-Luc Fouquet
Lucienne Gouguenheim
Marie-Agnès Lahellec
Colette Le Lay
Lucette Mayer
Georges Paturel
Jean Ripert
Josée Sert
Daniel Toussaint
Gilbert Walusinski

Les Cahiers Clairaut

Automne 2003 n° 103

EDITORIAL

Ce cahier est le deuxième produit depuis la disparition de Martine. Il souffre sans doute encore de quelques imperfections mais nous allons progressivement améliorer notre organisation.

Nous demandons aux auteurs de nous envoyer les articles bruts, sans fioritures, sans couleur (pour l'instant la couleur n'est utilisée que de manière exceptionnelle). Les figures doivent être données séparément, chacune sous forme d'un fichier JPEG (pour les photos) ou GIF ou TIF (pour les dessins au trait). Nous pensons bientôt mettre à la disposition des auteurs un document modèle qui leur permettra de produire leurs textes dans le style de la publication.

La Rédaction
patu@obs.univ-lyon1.fr

Article de fond

Les aurores polaires
Christian Larcher
p. 2

L'expérience de Cavendish II –
Marie-Laurence Spagnol
p. 10

Avec nos élèves

La lune tombe t-elle comme une pomme ?
Valérie Donius
p. 17

Diamètre apparent du Soleil
Roger Marical
p.19

Notre position dans la Voie Lactée
Jean-Noël Terry
p.23

Observations

Evènements astronomiques en 2003-2004
Pierre Causeret
p.28

Travaux Pratiques

Le logiciel solarium de P. Dallet
Charles-Henri Eyraud
p. 33

Remue-méninges

Eclipse de Soleil matinale
Pierre Causeret
p.35

Lectures pour la Marquise

p.36

Vie associative

p.38

Courrier des lecteurs

p.40

Les aurores polaires

Christian Larcher

CLEA

Résumé : Les aurores polaires sur Terre résultent d'une interaction entre les particules chargées portées par le vent solaire et les atomes ou ions situés dans la haute atmosphère. Ces effets sont régis par le champ magnétique terrestre et l'activité solaire.

Nous allons donner successivement quelques caractéristiques du champ magnétique terrestre, du champ magnétique solaire, du vent solaire avant de retourner à l'explication du phénomène des aurores boréales avec un petit détour vers les mécanismes d'émissions lumineuses. Nous indiquerons ensuite quelques autres effets de l'activité solaire.

Mots-clefs : ARTICLE DE FOND - ATOME - SOLEIL - VENT CHAMP MAGNÉTIQUE-

Le champ magnétique terrestre et ses caractéristiques

1- Qu'appelle-t-on champ magnétique d'un aimant et champ magnétique terrestre ?

Un champ magnétique est une zone de l'espace où se font sentir des interactions magnétiques.

A la surface de la Terre, on sait depuis le 12^{ème} siècle qu'une boussole donne approximativement la direction du nord Géographique. Le pôle « magnétique » n'est cependant pas strictement superposé au pôle « géographique », et la distance au pôle « géographique » varie avec le temps.

On sait que deux pôles nord magnétiques se repoussent alors que un pôle nord magnétique et un pôle sud magnétique s'attirent. En fait, la Terre se comporte donc à peu près comme un

immense aimant dipolaire comportant un « pôle sud magnétique » actuellement près du « pôle nord géographique » (défini par l'axe de rotation de la Terre) et un « pôle nord magnétique » près du « pôle sud géographique » puisque c'est le pôle nord magnétique d'une boussole qui s'oriente vers le pôle nord terrestre.

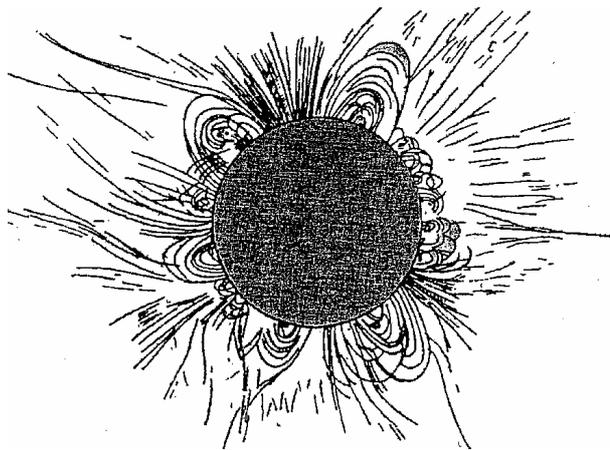
L'usage est cependant d'appeler « pôle magnétique » nord celui qui est du côté du « pôle géographique » nord et « pôle magnétique » sud celui qui est du côté du « pôle géographique » sud, distinguant ainsi un pôle géographique et un pôle magnétique de part et d'autre de la Terre.

De façon générale on représente un champ magnétique par un réseau d'une infinité de lignes de champ telles que l'aiguille d'une boussole soit tangente à chacun des points de ces lignes. Par convention, les lignes de champs d'un aimant vont d'un pôle nord magnétique de l'aimant vers le pôle sud magnétique de l'aimant à l'extérieur de l'aimant. Plus les lignes de champs sont serrées plus le champ est intense.

On peut matérialiser (visualiser) les lignes de champ magnétique d'un petit aimant droit à

l'aide de limaille de fer : on colle un aimant droit sous une plaque de verre et on saupoudre celle-ci de limaille. Chaque grain de limaille se comporte comme une mini boussole. On constate que beaucoup de lignes de champs sont fermées et qu'elles convergent en se resserrant vers les pôles de l'aimant.

Le schéma 1 montre l'aspect du « spectre » d'un aimant constitué par les lignes de champ magnétique pour la Terre.



2- Quelques caractéristiques du champ magnétique terrestre

Le pôle magnétique nord de la Terre est le lieu où une boussole, libre de tourner aussi bien dans le plan vertical que dans le plan horizontal, pointe perpendiculairement vers le sol. On peut utiliser une aiguille suspendue en son milieu par un fil sans torsion.

Ce point se déplace au cours des années et même au cours d'une journée (il décrit une petite courbe fermée).

Actuellement, le pôle « nord » magnétique est situé au Groenland à environ 79° de latitude Nord et 69° de longitude ouest ; il se trouve à peu près à 1 900 km du pôle nord géographique.

Le pôle magnétique « sud » se trouve dans l'hémisphère sud à environ 2 600 km du pôle sud géographique : il est situé en Terre Adélie.

Les deux pôles magnétiques de la Terre ne sont pas aux antipodes l'un de l'autre et la droite qui les joint ne passe pas par le centre de la Terre :

elle est inclinée de $11,04^\circ$ par rapport à l'axe de rotation de la Terre.

Le champ magnétique terrestre a une intensité qui diminue régulièrement. Il est représenté par un vecteur \mathbf{B} situé dans le plan du méridien magnétique (plan passant par l'axe des pôles magnétiques et contenant l'aiguille de la boussole au point considéré).

L'angle d'inclinaison I est l'angle que fait le champ \mathbf{B} avec le plan horizontal : à Paris, on a par exemple, $I \approx 64^\circ$.

– L'angle de déclinaison D est l'angle du méridien magnétique avec le méridien géographique : à Paris, on a par exemple, $D \approx 6^\circ$.

– Ainsi, à Paris, l'intensité du champ magnétique terrestre (dont l'unité est le Tesla noté T) est $B \approx 4,5 \cdot 10^{-5}$ T. La composante horizontale B_0 est telle que :

$$B_0 = B \cos I = 4,5 \cdot 10^{-5} \cos 64^\circ = 2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

3- Quelle est l'origine de champ magnétique terrestre ?

On admet actuellement qu'au centre de la Terre, dont le rayon est approximativement 6 400 km, il y aurait un noyau métallique fluide d'environ 2900 km constitué d'un plasma de fer et de nickel. Un plasma est un milieu fluide contenant des ions à haute température, électriquement conducteur mais neutre c'est-à-dire contenant autant d'espèces chargées positivement que négativement.

Ce plasma dont la température est de l'ordre de $5\,000^\circ\text{C}$ tournerait autour d'un cœur solide appelé « graine » de 1 200 km de rayon composé également de fer et de nickel (densité environ 16), le tout formant un « noyau ».

Ce plasma fluide conducteur circulerait par convection thermique dans le noyau. Il formerait ainsi l'équivalent d'un courant électrique lequel engendrerait un champ magnétique selon le principe de la dynamo à disque de Faraday.

4- Qu'est-ce qu'une dynamo ?

Une dynamo électrique est un dispositif qui génère du courant **continu**. Au sens précis du terme, la « dynamo » de bicyclette n'est pas une véritable dynamo... mais un alternateur qui produit du courant alternatif.

En effet quand un fil est parcouru par un courant continu, il donne naissance à un champ magnétique ; l'expérience de Oersted consistait à observer la déviation de l'aiguille d'une boussole à proximité d'un fil électrique parcouru par un courant continu. Mais inversement quand le champ magnétique varie, il crée un courant variable dans un conducteur électrique. C'est ainsi qu'un aimant droit tournant devant une bobine crée un courant alternatif dans la bobine ; c'est le principe des générateurs EDF.

La Terre se comporterait comme une dynamo autoexcitatrice analogue à la dynamo à disque de cuivre de Faraday.

Le disque tournant est analogue au plasma en mouvement dans le noyau de la Terre.

On ne connaît pas l'origine de ce processus : ce peut être un champ initial ou un courant continu initial ... c'est le célèbre problème de l'œuf et de la poule.

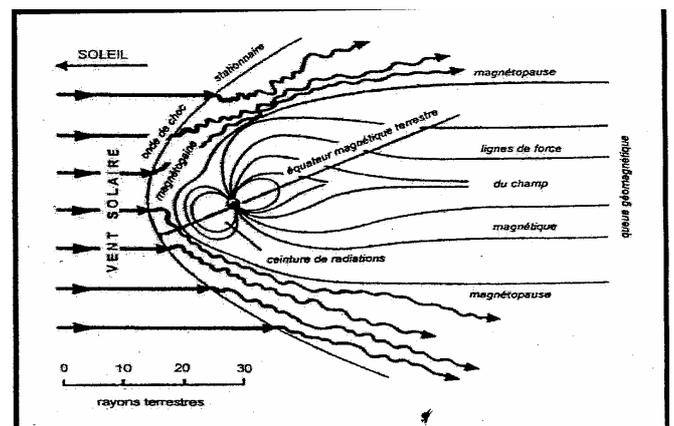
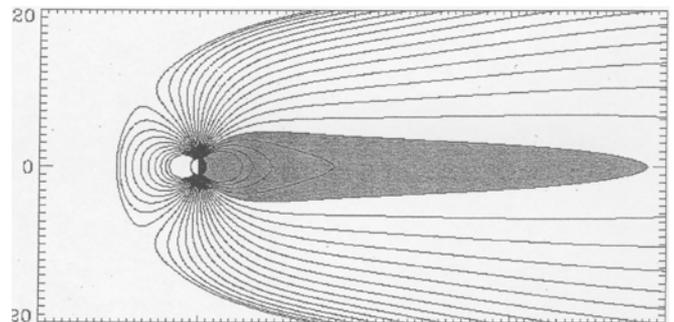
Toujours est-il qu'à partir du moment où un courant circule dans une bobine, elle crée un champ magnétique et que ce champ magnétique engendre des courants induits dans le disque en mouvement (courants de Foucault). Les courants induits donnent naissance à des forces qui tentent de s'opposer au mouvement (principe des freins électromagnétiques). C'est un peu le contraire d'une « roue de Barlow » dont le mouvement est produit par les forces qui s'exercent sur le disque lorsqu'on y fait passer un courant. La roue de Barlow est l'ancêtre du moteur électrique.

Dans la Terre, l'énergie provient des énormes masses de plasma en mouvement de convection autour du noyau.

5- La magnétosphère

Depuis qu'on a envoyé dans l'espace de nombreux satellites, on a pu étudier les lignes de champ géomagnétique dans l'espace environnant la Terre. Ce qu'on appelle « magnétosphère » de la Terre est l'espace où s'exerce le champ magnétique. Elle constitue une sorte de bouclier magnétique qui nous protège contre les particules (électrons,

protons, ions) venant du Soleil. Elle ralentit et divise en effet ce « vent solaire » constitué de particules électrisées.



La forme de cette magnétosphère ressemble à l'onde de choc qui se produit à l'avant d'un bateau en mouvement sur l'eau : l'eau est comprimée par l'étrave à l'avant du bateau. A l'arrière, au contraire, l'eau forme une longue traînée. La structure est un peu analogue à celle des comètes lorsqu'elles sont près du Soleil. La magnétosphère terrestre présente toujours sa traînée à l'opposé du Soleil quelque soit l'heure ; les lignes de champ s'ouvrent et se ferment lorsqu'elles passent du côté jour au côté nuit du fait de la rotation de la Terre.

Les particules électrisées sont guidées par les lignes de champ magnétique, elles tourbillonnent autour de ces lignes, le plus grand nombre est dévié et la Terre ainsi protégée. Certaines, environ 10%, peuvent s'engouffrer dans les « cornets » polaires nord ou sud. Ces « cornets » délimitent un ensemble de lignes de champ fermées du côté du Soleil et un ensemble de lignes de champ ouvertes à l'opposé du Soleil. Ces cornets sont les défauts de la cuirasse.

Certaines particules voyagent d'un pôle à l'autre parfois plusieurs fois. Chaque « bond »

de dure environ 5/10 s pour un électron et 20 secondes pour un proton. Ces particules jouent au ping-pong entre les pôles magnétiques dans ce qu'on appelle les « ceintures de Van Allen » constituées par les lignes de champ fermées.

Ainsi, les particules du vent solaire suivent les lignes de champ, un grand nombre se retrouvent aux pôles magnétiques et donnent les aurores polaires que l'on voit parfois dans ces régions à hautes latitudes. En général, ces aurores apparaissent simultanément au pôle nord et au pôle sud.

6- L'inversion du champ magnétique terrestre

Comme on l'expliquera dans un prochain paragraphe le champ magnétique solaire s'inverse avec une période régulière. Qu'en est-il pour la Terre ?

Dès 1906 on découvrit que, dans le passé, le champ magnétique Terrestre s'était inversé plusieurs fois.

Lorsque de la lave d'un volcan sort de la Terre elle contient des petits cristaux d'oxyde magnétique qui s'orientent librement dans le sens du champ magnétique existant à l'époque de la coulée.

Les laves en se refroidissant figent en quelque sorte ces petits aimants : les laves fossilisées ont conservé le sens et la valeur du champ magnétique de cette époque.

On pensait que le dernier retournement avait eu lieu il y a 700 000 ans. Des recherches assez récentes semblent indiquer un retournement beaucoup plus proche datant d'environ 30 000 ans. Attendons une confirmation indiscutable ^(cf) de ce résultat.

Par contre on constate à l'heure actuelle que l'intensité du champ magnétique terrestre diminue chaque année. Certains chercheurs estiment que l'on pourrait atteindre une valeur nulle dans 2 à 3000 ans. Cette absence de champ magnétique dipolaire ne serait pas sans conséquence pour la vie sur Terre.

L'activité du Soleil

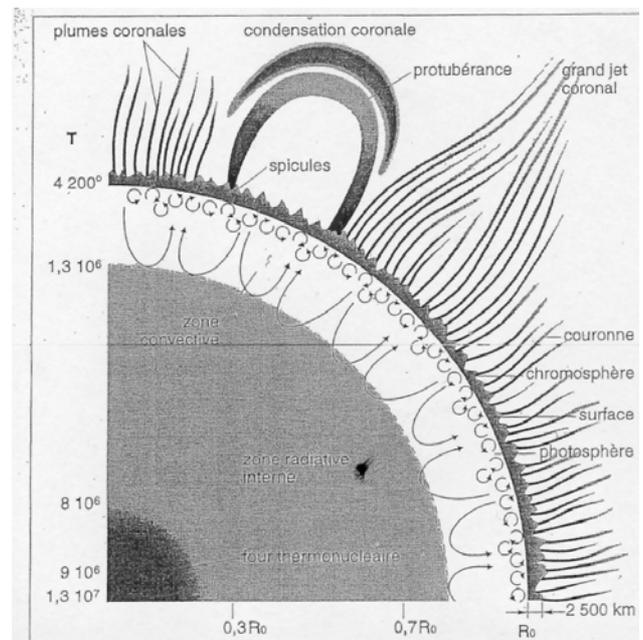
1- activité interne du Soleil

Au cœur du Soleil il y a une sorte de four thermonucléaire dont la température est de l'ordre de 15 millions de degrés et la pression de l'ordre de 200 milliards de fois la pression atmosphérique terrestre.

Dans ce four, 564 millions de tonnes d'hydrogène sont transformées chaque seconde en hélium.

Une partie de la masse est transformée en énergie (environ 4 millions de tonnes par seconde selon la relation d'Einstein : $E = mc^2$). Cette énergie est rayonnée sous forme de photons.

Ces photons arrivent dans la zone radiative située près de la surface du Soleil



Dans cette zone radiative la température décroît de 9 millions de degrés à 1 million de degrés. Dans cette zone les photons sont absorbés et réémis un très grand nombre de fois. Progressivement, s'approchant de la surface, ils perdent un peu de leur énergie et se transforment partiellement en photons X puis en photons ultraviolets enfin en photons visibles. On estime à plusieurs millions d'années le temps nécessaire pour que les photons arrivent à la surface du Soleil.

Pour cela ils ont encore à traverser la *zone convective* qui débute environ 200 000 km sous la surface du Soleil. Dans cette zone se forment d'énormes bulles de gaz chaud ; ces bulles se déplacent selon des mouvements de convection qui suivent des « tubes de convection » et viennent éclater en surface. Ces sections de tube de convection sont visibles sous forme de tâches brillantes sur les photographies prises de la Terre et constituent ce qu'on appelle des « granules » ou « grains de riz » ; elles sont de la taille de la Terre.

Elles correspondent aux bulles en mouvement ascendant, les espaces intergranulaires sont plus sombres et correspondent à des mouvements descendants de la matière. La durée de vie de ces granules est de quelques minutes.

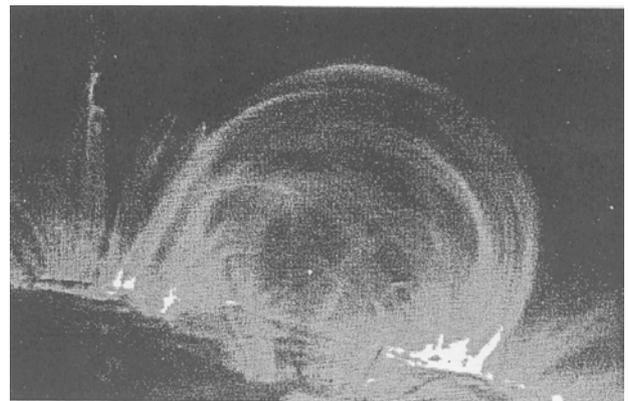
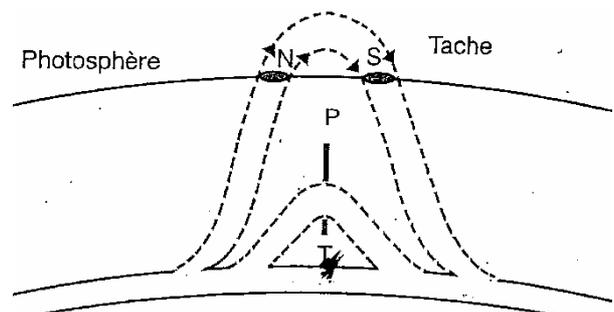
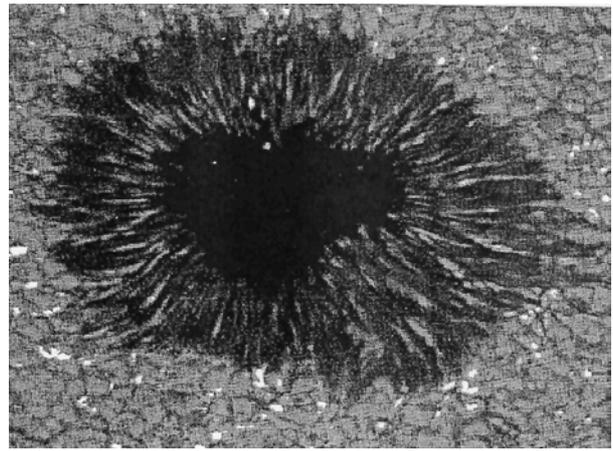
2- La photosphère

On appelle photosphère la sphère qui est usuellement visible quand on observe le Soleil. Elle a un rayon de 700 000 km par rapport au centre du Soleil et son épaisseur est d'environ 500 km au delà de la zone convective. Sa température est de l'ordre de 6 000 degrés.

Sur la photosphère, on observe parfois des taches. Ces taches, dont la taille est de l'ordre de grandeur de notre planète (voire plus), sont des zones un peu plus froides (4 000 à 5 000 degrés). Ces taches ont été redécouvertes par Galilée en 1613 mais en fait les Chinois avaient déjà dressé une liste complète d'évolution des taches en l'an - 28 ; elles apparaissent souvent deux par deux. Le champ magnétique au cœur de ces taches est très intense, de l'ordre de 8 à 10 000 fois l'intensité du champ magnétique terrestre. On évalue ces champs à partir du dédoublement par effet Zeeman des raies spectrales des radiations émises par le Soleil.

On admet aujourd'hui que ces taches seraient des sections de boucles de courants qui émergent de la photosphère en venant des zones inférieures.

A côté de ces taches, on voit apparaître des zones plus lumineuses que le reste de la photosphère appelées « facules ». Cette surintensité compense la moindre intensité lumineuse des taches.



3- La chromosphère solaire

La chromosphère n'est visible que lors des éclipses ou avec un coronographe.

C'est une mince couche (quelques centaines de km) de gaz de couleur rose violet (émission d'une radiation à 656,3 nm), transparente à la lumière blanche. Elle s'étend sur environ 2 500 km autour de la photosphère. Elle contient de nombreux filaments lumineux appelés spicules. Ces spicules sont visibles avec un filtre H α ; ils sont dus à des jets de matière qui s'élèvent avec des vitesses de l'ordre de 25 km.s⁻¹ et peuvent atteindre 5000 à 10000 km puis retombent.

en 5 à 10 minutes. On aperçoit également des fibrilles qui sont des bandes de gaz horizontales et sinueuses situées à proximité des centres actifs.

C'est dans cette zone qu'on peut observer les éruptions solaires. De brusques augmentations de brillance des zones situées à proximité des taches sont parfois observées.

Les éruptions solaires se détectent dans tous les spectres (gamma, X, radio, UV, visible avec des filtres, infrarouge). Elles ont pour effet d'accélérer les particules électrisées provenant du Soleil. Elles peuvent en plus arracher de la matière coronale (matière appartenant à la couronne solaire, voir paragraphe suivant) et provoquer à la fois de fortes perturbations dans les circuits électriques et de magnifiques aurores polaires.

4- La couronne solaire

C'est la région la plus externe du Soleil : elle s'étend sur plus de 2 millions de km. Sa température est très élevée ; elle peut atteindre 2 millions de degrés.

Si on observe la couronne à l'aide d'un spectrographe recueillant les rayons X issus du Soleil, on remarque des zones sombres qui correspondent à des zones où le rayonnement X est moins intense : ces zones sont « les trous coronaux ». C'est à partir de ces trous coronaux que les particules les plus rapides du vent solaire s'échappent et se répandent dans le système solaire (à environ 700 km/s). A cause du vent solaire le Soleil perd une masse d'environ 1 million de tonnes par seconde.

Les trous coronaux se situent aux endroits où les lignes de champ magnétique du Soleil s'ouvrent vers l'infini, en particulier aux pôles solaires que la sonde spatiale Ulysse a survolés en 1994 et 1995.

5- La périodicité de l'apparition des taches sur la photosphère

Les observations de Schwabe (1789-1875) montrèrent que l'apparition des taches suivait un cycle dont la valeur moyenne est de 11 ans.

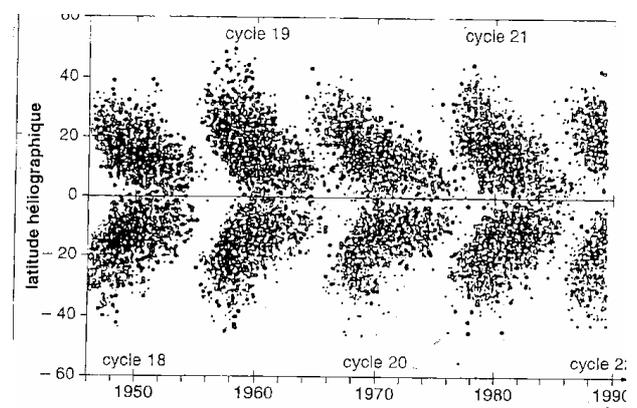
Au bout de 11 ans, le cycle des taches recommence mais on observe une inversion des pôles du Soleil. Le pôle magnétique nord est devenu un pôle magnétique sud et réciproquement.

Pour retrouver une même configuration, il faut attendre 22 ans environ : c'est le cycle de HALE (1868-1938).

Ces taches ont un mouvement d'ouest en est sur la surface du Soleil. Elles apparaissent en générale aux latitudes moyennes vers 35 à 40° de latitude dans l'hémisphère nord ou sud. Cette zone est appelée « zone royale ».

Les taches apparaissent souvent par groupe de deux. La tache de tête, dans le sens de la rotation, est un peu plus proche de l'équateur que la tache de queue. Chaque tache est un pôle magnétique nord ou sud. La tache de tête a le même pôle (nord ou sud) que l'hémisphère dans lequel elle se trouve. Par exemple, si dans l'hémisphère géographique nord, le pôle magnétique est nord, alors la tache de tête est nord et la tache de queue sud.

Pour l'autre hémisphère on trouve une situation symétrique avec des polarités inversées. Le diagramme donnant la latitude héliocentrique en fonction du temps des taches successivement observées ressemble aux ailes d'un papillon : on l'appelle diagramme papillon (ou diagramme de Maunder).



Si l'on étudie l'apparition des taches au cours de l'histoire, on constate une absence presque totale de taches de 1645 à 1715, c'est-à-dire durant quasiment tout le règne du Roi Soleil ... Le règne de Louis XIV est par ailleurs associé à un petit âge glaciaire au cours duquel les hivers furent très rigoureux (particulièrement en 1709).

On retrouve ces minima d'activité grâce à la dendrochronologie. A partir des cernes successifs de la section d'un tronc d'arbre il est possible de les dater. L'étude de la largeur des cernes donne également des indications sur les

conditions climatiques de l'époque. Les résultats obtenus corroborent les informations données par l'étude du carbone 14.

6- La dynamo solaire et la formation des taches

L'enveloppe du Soleil ne tourne pas comme un solide indéformable. Un point de l'équateur du Soleil a une période de rotation plus courte qu'un point situé à une latitude plus élevée ; l'équateur tourne environ 40% de fois plus vite que les pôles. Ainsi :

- à l'équateur, la rotation se fait en environ 25 jours ;
- aux pôles, la rotation se fait en environ 29 jours.

On dit que le Soleil a une rotation différentielle. On estime que cette rotation différentielle peut initier un phénomène de dynamo qui est à l'origine du magnétisme des taches solaires.

Il semble que l'apparition des taches corresponde à des zones où les lignes de champ magnétique sont étirées, enchevêtrés, entortillés et où l'énergie stockée s'accumule lentement.

A la fin ces lignes de champs sont tellement tortueuses et étirées qu'il se forme des sortes de hernies qui viennent exploser à la surface en formant des taches solaires.

Les effets de l'activité solaire

Récapitulons les différents éléments présentés plus haut pour reconstituer les effets de l'activité solaire.

1-Qu'est-ce qui provoque les aurores polaires ?

C'est le vent solaire, constitué de particules chargées (électrons, protons, ions), éjectées du Soleil par les trous coronaux. Ces particules arrivent sur Terre en 1 ou 2 jours et sont fortement freinées par le champ magnétique terrestre.

Certaines sont déviées vers la queue de la magnétosphère, d'autres sont piégées et subissent des oscillations dans la zone de Van Allen. Elles

rebondissent sur 2 points miroirs dits magnétiquement conjugués. Enfin, certaines pénètrent dans l'atmosphère terrestre par les cornets polaires qui séparent les lignes de champ magnétique fermées (du côté de la Terre où il fait jour) des lignes de champ magnétiques ouvertes (celles qui sont du côté nuit), dirigées vers la queue de la magnétosphère.

Les particules chargées décrivent des hélices autour des lignes de champs et viennent percuter les molécules et surtout les ions situés dans l'ionosphère de la Terre, c'est à dire une zone située entre 100 et 500 km de la Terre.

Il en résulte les belles couleurs, des « aurores », aux pôles magnétiques de la Terre.

Ces aurores peuvent parfois être visibles à nos latitudes. Ce fut le cas le 6 avril 2000 à l'Uranoscope de Gretz-Armainvilliers (77) où furent prises de belles photos rouge vif. On a choisi historiquement le terme d'aurore car ces lueurs dans le ciel ressemblent aux premières lueurs du jour. Aurore était la déesse romaine du crépuscule du matin. Par définition l'aurore est le moment qui suit l'aube et qui précède le lever du Soleil.

La Terre n'est pas la seule planète qui a le privilège d'engendrer des aurores polaires. On en trouve aussi sur Jupiter et ses satellites (en particulier sur Io et Ganymède), sur Saturne ...

Il n'est pas nécessaire que ces planètes ou satellites aient une atmosphère dense, par contre ces astres doivent générer un champ magnétique puissant.

2- A quoi sont dues les couleurs des aurores polaires ?

L'ionosphère est une région où l'on trouve des molécules, des atomes, mais surtout des ions. Ces ions résultent de l'action des rayons γ , X et UV du Soleil sur des molécules de diazote ou de dioxygène. Ils constituent une sorte de plasma globalement neutre constitué d'électrons de protons et de noyaux d'hélium.

L'aurore polaire fonctionne un peu comme un tube luminescent au néon (enseignes lumineuses rouges).

Lorsqu'on envoie une décharge électrique des atomes de néon passent de leur état normal à

un état excité qui dure très peu de temps (environ 10^{-9} s). En revenant à leur niveau initial ils émettent des photons dans la zone de perception du rouge. Dans le tube il apparaît une belle teinte rouge.

Dans les aurores polaires on observe particulièrement à l'œil nu deux couleurs verte et /ou rouge car l'œil humain est plus sensible aux radiations correspondantes ; elles correspondent à l'émission de l'oxygène à partir d'un état excité dont la durée de vie est longue de l'ordre de 0.90 s à 110 s. En effet à cette altitude (environ 100 km) la densité de l'air est très faible ; elle est telle que le libre parcours moyen (c'est à dire la distance moyenne parcourue par une particule entre deux collisions) entre deux collisions est très élevé ce qui autorise des durées de vie importantes des atomes ou des molécules à l'état excité. L'oxygène atomique à cette altitude donne en particulier une raie verte à 557,7 nm et vers l'altitude de 250 km une raie rouge à 630,3 nm, la masse volumique de l'air étant d'environ 10^{-8} g/m³ à ce niveau.

Il existe beaucoup d'autres raies enregistrées par les récepteurs. Ces transitions qui se produisent avec émission de lumières colorées correspondent à des raies que l'on ne peut pas obtenir au laboratoire car on ne peut pas y reproduire les mêmes conditions physiques.

3- La poésie des aurores boréales

Pour ceux qui supportent mal les explications un peu scientifiques ou pour ceux qui veulent ressentir la féerie du spectacle voilà ce qu'un Américain en expédition en Sibérie orientale notait en 1865 :

« Tout l'univers semblait en feu. Une arche immense composée des couleurs brillantes du prisme traversait la voûte céleste d'Est en Ouest - comme un gigantesque arc en ciel - avec une longue frange de filets rouge cramoisi et jaune s'étirant depuis le bord convexe - parallèles à l'arche - s'élevaient soudain du côté Nord de l'horizon et montaient à son zénith - à intervalle de une à deux secondes - des bandes larges - et les cieux avec une majesté prompte et constante - comme de longs brisants de lumière

phosphorescente - déferlaient dans l'océan d'espace sans limites »

4- Le bruit des aurores polaires

Des observateurs disent avoir entendu des bruits d'arcs électriques, de léger grésillement lors des activités aurorales les plus fortes. Ces bruits apparaîtraient quand le champ électrique est d'au moins 1500 volts par mètre.

5- Les effets des orages magnétiques du Soleil

Les orages magnétiques du Soleil provoquent parfois de gros dégâts sur Terre. Par exemple le 13 mars 1989 au Québec vers 3 h du matin un violent orage magnétique a créé de forts courants induits dans tous les réseaux conducteurs de faibles résistivités électriques (voies ferrées, gazoducs et lignes à hautes tensions).

Des surcharges se produisent dans les enroulements des transformateurs qui disjonctent. Six millions de Canadiens furent privés de courant électrique pendant 9 heures. Les communications radios et le système GPS furent perturbés.

Ces orages peuvent aussi détruire les systèmes électroniques embarqués dans les satellites.

6- Des effets de l'activité solaire sur le climat ?

Au delà des aurores polaires et des orages magnétiques, l'activité du Soleil a-t-elle d'autres effets sur la Terre ?

De nombreuses études ont été réalisées pour chercher des corrélations entre activité solaire et données météo. Rien n'est, pour l'instant, parfaitement établi.

Cependant on constate que durant le règne de Louis XIV il n'y avait pratiquement pas d'activité solaire et que cela correspondait à un mini âge glaciaire. Est-ce un épiphénomène ?

Bibliographie : Sun, Earth and sky Kenneth R. Lang Editions Springer.

Petite mise au point sur les "aurores polaires"

Petite mise au point sur "Les aurores polaires"

Nous avons reçu un courrier de M. Fehrenbach au sujet de l'article de C. Larcher: « Les aurores polaires ». La lettre est intéressante car elle apporte des précisions complémentaires d'une grande finesse. Nous ne donnons pas la lettre *in extenso* mais nous donnons les passages les plus à même d'intéresser le lecteur.

M. Fehrenbach a eu la gentillesse de nous donner aussi une petite bibliographie sur le sujet. Nous la reproduisons intégralement.

Nous remercions notre collègue pour l'intérêt qu'il témoigne ainsi à notre revue. Voici donc l'essentiel des remarques avec quelques commentaires ajoutés à la suite d'un entretien téléphonique avec M. Fehrenbach:

Le champ magnétique terrestre

I-1 La partie est terminée par une figure qui n'est pas celle du champ magnétique terrestre,

Effectivement, la figure 1 donne l'aspect d'une couronne solaire qui n'a rien à voir avec le champ magnétique terrestre. C'est une erreur d'identification de fichier de notre part. La figure correcte du champ magnétique terrestre était donnée plus loin dans le texte.

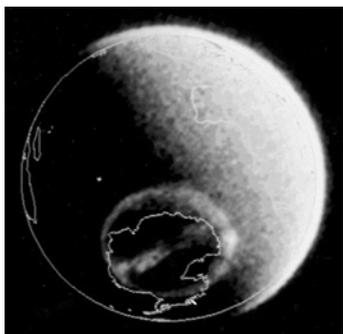
I-2 Il n'est pas donné de date pour les positions des pôles, Celles notées ne sont pas les actuelles.[...]

Effectivement, la position des pôles magnétiques varie au cours des années. La position actuelle du pôle magnétique nord, selon "Ressources naturelles Canada", est de 82,3°N de latitude et 113,4°W de longitude. (La position du pôle magnétique sud est approximativement 65°S de latitude et 138°E de longitude).

Section I-5 Le début est correct, mais lorsque l'auteur se met à parler des « cornets » [...] on retrouve les mots « défauts de cuirasse » sans explications. [...] On termine par une [...] erreur en positionnant les aurores au pôle. Elles existent bien au pôle mais ce n'est pas là qu'elles sont les plus intenses, c'est sur l'ovale auroral [...]

Les lignes de force du champ magnétique, même si elles n'étaient pas déformées par le vent solaire, présenteraient deux cônes (cornets) aux pôles magnétiques, par où les particules pourraient pénétrer. Mais, la section efficace de ces cornets est extrêmement faible et l'essentiel des particules qui sont responsables des aurores polaires arrivent, en fait, par un mécanisme compliqué (et semble-t-il encore mal connu) via des zones précises

entourant les pôles magnétiques, les ovales auroraux, connus depuis fort longtemps (19^{ème} siècle). Les ovales auroraux passent à 700 km ou 800km des pôles. Nous donnons ci-dessous une reproduction d'une photographie en ultraviolet réalisée par le satellite Dynamic Explorer (NASA) montrant l'ovale auroral sud (photographie disponible sur le site de l'Institut Astrophysique Spatiale:www.ias.fr).



Les effets de l'activité solaire

Section III-2 [...] pour les durées de vie ce n'est pas « de l'ordre de 0.90 à 110 s » mais très exactement de 0,7 s pour la raie verte de l'oxygène à 557,7 nm émise autour de 100 km, et de 110 s pour la raie rouge de l'oxygène à 630,0 nm, et 636,4 nm émise autour de 250 km, la valeur notée de 600,3 nm étant fausse.

La précision est importante car il y a deux valeurs possibles et non pas une plage de valeurs.

Petite bibliographie sur les aurores

- *Introduction à l'étude de la Luminescence Atmosphérique et de l'aurore Polaire* de D. Barbier
- *Introduction élémentaire à la physique cosmique et à la physique des relations Soleil-Terre* de JP Legrand, TAAF
- *International Auroral Atlas*, UGGI
- *Majestic Light* de Robert H. Eather, AGU
- *The Northern Light* de A..Brekke et A. Egeland, Springer-Verlag
- *Aurora* de Alister Vallance et Jones, Reide,
- *Atmospheric Emissions*, Nato Study 1968
- *Physics and Chemistry of Upper Atmosphere* de B.M. McCormac, Reidel, 1972
- *Exploration of the Polar Upper Atmosphere* de C. S. Deehr J. A. Holtet, Reidel
- *Aurora and Aiglow* de Chamberlain, Reidel
- *Histoire solaire et climatique* de E. Nesme-Ribes et G. Thuillier, Belin pour la science 2000

- *Du soleil à la terre* de J. Liliensten et P.L. Blelly, EDP Sciences 2000
- *Aurores boréales et australes* de M.Fehrenbach, G.Dawidowicz et R.Marion, GNLG-Pôles d'images 2001
- *Sous les feux du soleil* de J.Liliensten et J.Bornarel, EDP Sciences 2001
- *Les Aurores* de Gérard Thuillier, revue L'Astronomie 2001 vol. 115.

Liste des principaux sites

- <http://www.geo.mtu.edu/weather/aurora/>
- <http://climate.gi.alaska.edu/curtis/curtis.html>
- <http://www.oulu.fi/~spaceweb/textbook/auroras.html>
- <http://gedds.pfrr.alaska.edu/aurora/>
- http://www-lpg.obs.ujf-grenoble.fr/photos_tromso.html



Différents aspects d'aurores polaires ©2000
Laboratoire de Planétologie de Grenoble – France
(CNRS/UJF)

C'est l'astronome Pierre Gassendi qui donna le nom d'aurore polaire aux lueurs qu'il put observer depuis la région de Digne en 1621 ! Marie-France Duval nous signale que l'activité solaire de ces derniers mois a donné lieu à des aurores polaires visibles de la région marseillaise.

L'expérience de Cavendish

II- Les expériences de Henry Cavendish et de Sir Charles Vernon Boys.

Marie-Laurence Spagnol
Observatoire de Lyon

Résumé : Suite au premier article paru dans les cahiers Clairaut n°102, nous allons décrire l'expérience de Henry Cavendish, qui est la première vérification expérimentale de la théorie de la gravitation énoncée un siècle auparavant par Newton. Il détermine la valeur de la constante de la gravitation universelle G sans en avoir le but initial. Par la suite, C. V. Boys reprend cette expérience. Il montre l'intérêt de réduire les dimensions du système pour obtenir de meilleurs résultats et confirme ceux obtenus par H. Cavendish.

Mots-clefs : GRAVITATION – HISTOIRE - EXPERIENCE

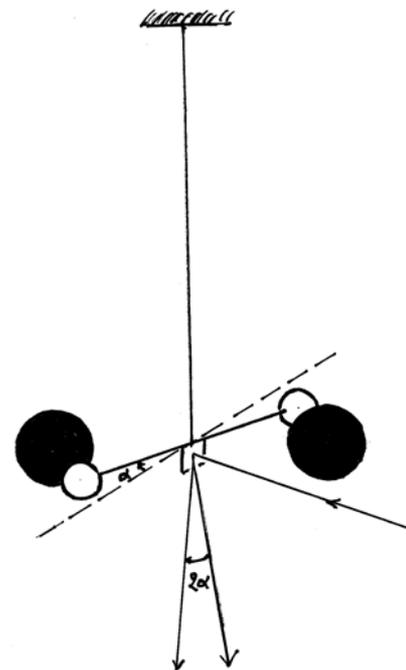
Le principe de la balance de torsion

Les deux expériences que nous allons vous présenter, sont basées sur le principe de la balance de torsion.

Charles Augustin Coulomb (1736-1806) fut l'un des premiers à utiliser ce système. Pour démontrer que la force entre deux sphères chargées est en $1/R^2$, il utilise une balance qui établit l'équilibre entre la force électrique et la force de torsion. Pour les expériences de Cavendish (1798) et de Boys (1895), c'est l'attraction gravitationnelle qui est compensée par la force de torsion. Ce phénomène entraîne une torsion du fil qui maintient le système en équilibre.

Initialement, les grandes sphères sont dans une position stable. Lorsque l'on approche les grosses sphères des plus petites, la force d'attraction gravitationnelle entre les deux types de sphères va produire un couple tendant à faire tourner la tige. Les petites sphères s'approchent

des plus grosses jusqu'à ce que la torsion du fil équilibre le couple gravitationnel.



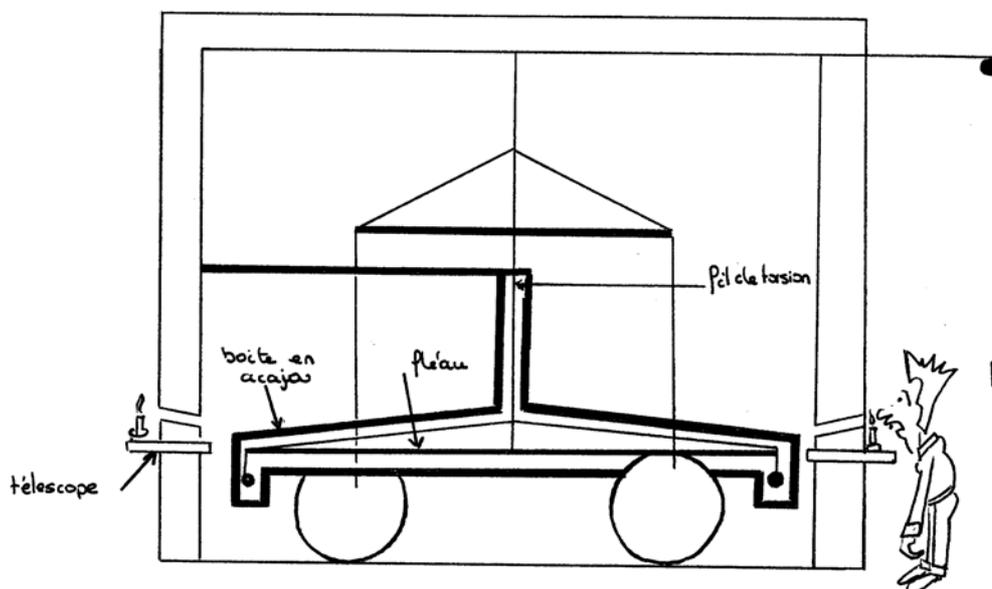
A la nouvelle position d'équilibre, il y a égalité entre le moment du couple de torsion et le moment provoqué par la force d'attraction. Cette condition va permettre d'obtenir une relation qui sera utilisée pour la détermination de la valeur de G . Lors du changement de positions des grosses sphères, le fléau, va passer d'un état d'équilibre à un autre. Il y aura rotation du fléau. La mesure de l'angle de rotation permettra de remonter au couple de torsion. Cependant ce couple fait intervenir les caractéristiques mécaniques du fil de suspension. Pour déterminer ces caractéristiques, il suffira de mesurer la période d'oscillation de la balance. Ainsi, la mesure de la période d'oscillation et la mesure de l'angle de rotation du fléau permettent d'obtenir la force d'attraction.

Pour déterminer l'angle de rotation du fléau, Cavendish faisait une mesure du déplacement d'une des extrémités. Boys utilisait un petit miroir solidaire du fléau. La déviation d'un faisceau optique réfléchi par le miroir permettait de mesurer l'angle avec une grande précision car la déviation du faisceau est double de celle du miroir (méthode de Poggendorf). De plus, du fait de l'utilisation de deux sphères attractives, utilisées dans un sens et dans l'autre, un gain supplémentaire d'un facteur quatre en résultait.

La première mesure de la constante de la gravitation par Henry Cavendish

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, Cavendish n'a pas pour but initial de déterminer la valeur de la constante de gravitation universelle. Il veut calculer la densité moyenne de la Terre, ce qui est à l'époque une des grandes préoccupations. Pour réaliser ces mesures, il va utiliser une balance de torsion.

John Michell développe un instrument de mesure capable de mettre en évidence l'attraction de petites quantités de matières. Son instrument n'est pas parfaitement opérationnel et malheureusement, il meurt avant de pouvoir achever son projet. A sa mort, l'appareil est remis au révérend Francis John Hyde Wollaston, professeur à Cambridge, qui n'apporte pas de modification au montage car il n'a pas les commodités pour réaliser les expériences. C'est ainsi que Cavendish récupère l'appareil et le perfectionne afin de réaliser ses expériences. La rigueur et la précision qu'il apporte à ce montage sont remarquables pour l'époque et vont lui permettre d'obtenir de très bons résultats.



Dispositif utilisé par H. Cavendish

Une des balances de torsion utilisée par Cavendish est constituée d'un fléau de bois long de 2 mètres, léger et renforcé par un fil d'argent formant un triangle. Le fléau est suspendu horizontalement en son milieu, par un fil de torsion de 1 mètre, en cuivre argenté, maintenu à l'extrémité d'un support horizontal solidement fixé au mur. A chaque extrémité du fléau est suspendue une petite sphère de plomb de 5 centimètres de diamètres et pesant 730 grammes. Le tout est confiné dans une boîte en acajou pour protéger le dispositif des éventuelles perturbations venant de l'extérieur. Deux grandes sphères en plomb de 30 centimètres de diamètre et pesant 158 kilogrammes, sont suspendues à un système en bois et en cuivre. Elles sont positionnées à l'extérieur de la boîte en acajou. Le système de suspension est relié à un dispositif constitué de poulies, que l'on peut actionner de l'extérieur, permettant la modification de la position des grandes sphères. On démontre ainsi, l'existence de la force de gravitation entre deux masses comme l'avait prédit Newton.

Les forces engendrées sont si faibles (de l'ordre du micro newton), que l'expérience doit être protégée des éléments extérieurs. Cavendish doit isoler au maximum le dispositif. En plus de la partie confinée dans le coffrage en acajou, le montage entier est enfermé dans une pièce. Pour effectuer les mesures, il lui faut un dispositif permettant l'observation et le relevé des mesures de l'extérieur sans influencer la manipulation. Pour cela, il installe deux télescopes dans des trous creusés dans le mur de chaque côté de la pièce, ainsi que des lampes. L'extrémité du fléau se déplace devant une petite échelle en ivoire graduée permettant, avec un vernier solidaire du fléau, d'obtenir l'angle de torsion avec une grande précision. La lecture des mesures se fait à l'aide des télescopes et des lampes.

Lors de ses expériences, il amène les grosses sphères au plus proche des petites, confinées dans le coffrage, afin qu'elles subissent l'attraction gravitationnelle. Il y a un changement de la position d'équilibre et les deux centres de masse sont séparés de 22,5 centimètres. Il réalise la même opération lorsque les positions des

grosses sphères sont inversées. Il obtient l'angle de torsion et peut en déduire la valeur de G.

Il réalise deux séries de mesures avec deux fils de torsion de diamètres différents et garde les autres paramètres identiques. Le premier fil de torsion est en cuivre argenté, de 1 mètre de longueur et de $0,0341 \cdot 10^{-3}$ mètre de diamètre. La période d'oscillation est de 15 minutes. En réalité, le fil est trop fin et donc pas assez rigide. Cela pose un problème car l'attraction des masses fait légèrement dévier les petites sphères vers le bord de la boîte. De plus un fil trop souple rend l'appareil trop sensible aux perturbations. Il réalise quelques mesures avec ce fil de torsion, afin d'étalonner son expérience. Il fait une deuxième série de mesures avec un fil de torsion qui possède les mêmes caractéristiques que le premier mais de diamètre $0,05 \cdot 10^{-3}$ mètre. La période d'oscillation est alors de 7 minutes.

Cette expérience met en jeu une force de très faible intensité et nécessite beaucoup de précision pour obtenir une mesure acceptable. Lors de ses expérimentations Cavendish doit faire face à des contraintes qui perturbent ses mesures. Il doit adapter son dispositif aux effets extérieurs, comme les courants d'air ou les vibrations du sol. De plus, il remarque que les oscillations continuent longtemps après l'expérience. Il étudie ce phénomène et constate que cela provient d'une différence de température entre les grandes sphères et le coffrage en acajou. Ce gradient de température entraîne des courants de convection. Il faut donc enfermer le système dans une enceinte ayant des dimensions les plus petites possible. Cela permet aussi de limiter les variations de température au cours de la journée. Il doit prendre en compte les caractéristiques du fil de torsion afin d'optimiser ses mesures. La période d'oscillation doit être longue pour obtenir une bonne mesure, mais cela implique une augmentation des perturbations sur le système. Pour pallier ce problème, il se contente de prendre les trois premiers extremums et d'en déduire la position d'équilibre.

Le résultat de ses travaux

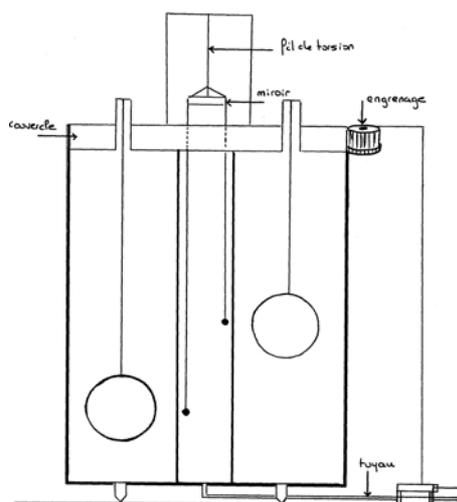
Par ce mode expérimental, il réussit à obtenir une valeur de la constante de la gravitation universelle $G = 6,754 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$. Cette valeur est obtenue avec une grande précision par rapport aux autres expériences de l'époque. Elle est comparable à la valeur du système international actuel car elle n'en dévie que de 1,2%. La force d'attraction est de l'ordre de $1,54 \cdot 10^{-7} \text{ N}$. La faible intensité de cette force, entraîne une très faible déviation du fléau. En utilisant la condition d'équilibre des moments, on obtient la valeur de l'angle de torsion de $0,247^\circ$ avec le premier fil et avec le second fil, l'angle est de $0,05^\circ$. Ceci nous permet de juger de la difficulté de cette expérience, à travers ces mesures très faibles de grande précision.

Comme nous l'avons dit le but initial de Cavendish est de «peser la Terre», ce qu'il entreprend en comparant la force engendrée entre les deux masses, M et m , à l'attraction exercée par la Terre sur la même masse m , c'est à dire son poids mg . Cette comparaison lui permit d'exprimer la masse de la Terre sans avoir explicitement déterminé la valeur de G . Il trouve la masse de la Terre égale à $5,98 \cdot 10^{27}$ grammes. Il calcule sa masse volumique, en utilisant le volume de la Terre de $1,09 \cdot 10^{27}$ centimètres cubes. Il en conclut que la densité de la Terre est de 5,48. Cette valeur est une véritable surprise, à l'époque, mais elle sera confirmée par les mesures modernes qui donnent la densité de la Terre à 5,54.

Les améliorations apportées par Sir Charles Vernon Boys

Contrairement à Cavendish, Boys ne désire pas mesurer la densité de la terre mais il considère comme capitale la détermination de la constante de gravitation universelle. Selon ses dires, «*Etant donné le caractère universel qui s'attache à la constante G , il me semble que c'est descendre du sublime au ridicule que d'annoncer les expériences dont je vais parler comme étant destinées à mesurer la masse de la Terre ou encore, avec moins de précision, le poids de la Terre.*»

Il base ses expériences sur le même principe que celui utilisé par Cavendish. Il étudie les caractéristiques du fil de torsion. Il remarque que plus la constante de torsion C est petite plus l'angle de torsion est grand. Or C varie avec le diamètre à la puissance quatre. Il en déduit l'avantage qu'il y a à réduire les dimensions du dispositif. En effet, l'utilisation de sphères plus petites, va lui permettre de faire une balance avec un fil de torsion de diamètre plus petit. Bien que cette modification entraîne une diminution de la force et par conséquent des couples que l'on cherche à mesurer, elle va permettre d'obtenir un angle de rotation plus grand et donc une mesure plus précise.



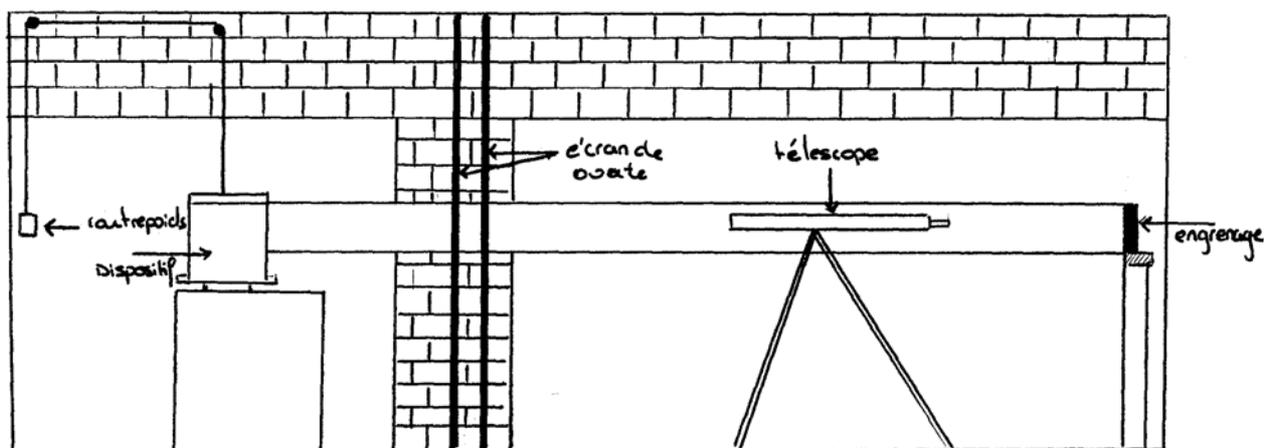
Dispositif utilisé par C. V. Boys

Il place son dispositif dans une caisse en laiton fermée par un couvercle. Un engrenage extérieur constitué d'un système de poulies avec des cordes permet de faire tourner, de l'extérieur, le couvercle qui supporte les grosses sphères. Dans un tube central, il place la balance de torsion. Le fléau est un miroir de 2,3 centimètres qui doit être léger et avoir une définition optique parfaite. Il le fixe sur un support en cuivre doré en forme de croix. A chaque extrémité s'accrochent les fils de suspension des petites sphères. Au départ les quatre masses sont dans le même plan. Il n'y a donc pas de couple de torsion agissant sur le fléau.

Ce fléau est suspendu à l'armature par un fil de quartz de 1 mètre et de 0,002 centimètre de diamètre. Il porte deux petites sphères en or de 2,7 grammes. Elles sont suspendues de chaque côté et positionnées de façon à ce que leur centre de masse corresponde à celui des grosses sphères. Boys fabrique lui même les deux types de sphères, pour qu'elles soient parfaites et homogènes. Les deux grosses sphères de 7,5 kilogrammes en plomb sont suspendues au couvercle par des fils

de bronze phosphoreux. Boys ajoute un système de contrepoids pour alléger le couvercle et limiter les frottements lors de la rotation. Les sphères situées de chaque côté du fléau ne sont pas suspendues à la même hauteur pour réduire l'attraction parasite de la sphère opposée et ne pas engendrer d'erreurs supplémentaires.

Comme Cavendish, Boys constate de fortes perturbations causées par une variation de la température en différents points de l'appareil. Pour pallier cette difficulté, il isole le système dans une double caisse de bois. Elle possède des parois remplies de ouate et des fenêtres en mica qui permettent de faire les mesures sans produire un déplacement de l'image. De plus, il effectue ces manipulations dans un souterrain dépendant du Clarendon Laboratory à Oxford, où il isole le système du reste du souterrain par des écrans de feutre.



Laboratoire installé dans un souterrain

Boys procède à des mesures minutieuses de la distance entre les fils qui supportent les deux types de sphères, de la masse des grosses sphères, de l'angle de déviation du fléau et de la durée des oscillations pour différentes conditions initiales.

Pour ne pas perturber le système, toutes les manipulations s'effectuent de l'extérieur. Les observations sont réalisées avec deux télescopes,

l'un utilisé pour la lecture des angles de déviation et l'autre pour lire la rotation du couvercle. Il installe une lampe qu'il peut déplacer derrière une échelle transparente afin de lire les mesures.

Pour être sûr de trouver la balance dans un état stationnaire et de permettre au système d'avoir une température uniforme, il attend trois jours avant de faire ses mesures. Il a pratiquement

étudié tous les paramètres qui sont susceptibles d'augmenter les erreurs. Mais il y en a un qu'il ne peut pas maîtriser; ce sont les vibrations du sol. Pour pallier ce problème, il réalise les mesures la nuit et le dimanche. Il réalise les meilleures mesures pendant la grève des charbonnages, durant laquelle les trains sont arrêtés. Son dispositif est tellement sensible que lors d'une de ces mesures, il observe une grande variation sans pouvoir l'expliquer. Il apprend plus tard que cela est dû à un tremblement de terre dont l'épicentre est situé en Roumanie.

Boys donne une valeur de la constante de gravitation universelle : $G = (6,663 \pm 0,007) \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$. Il confirme ainsi la valeur déduite des mesures de Cavendish et montre par sa précision l'intérêt qu'il y a à diminuer les dimensions.

L'intérêt de la réduction des dimensions du dispositif

L'égalité entre les deux moments s'écrit (d étant la demie longueur du fléau et R la distance entre les sphères qui s'attirent):

$$C\alpha = 2GMmd/R^2.$$

De plus, on peut calculer la période d'oscillation à partir du moment d'inertie J et de la constante de torsion :

$$T^2 = 4\pi^2 J/C.$$

C'est à dire (si on assimile le moment d'inertie à celui des deux petites sphères.):

$$C = 8\pi^2 md^2 / T^2,$$

A partir de ces formules, on déduit que l'angle à mesurer est :

$$\alpha = GMT^2 / (4\pi^2 d R^2)$$

On voit bien que plus la période sera grande plus l'angle α sera grand. Le fait de diminuer les dimensions va entraîner une diminution de la constante de torsion C, car elle est proportionnelle au diamètre à la puissance quatre. Par conséquent, il y a une augmentation de la période, ce qui permet d'obtenir un angle de déviation plus grand. Les mesures sont facilitées et on obtient des résultats plus précis.

En reprenant la valeur de G trouvée par Boys, on peut déterminer la valeur de la force entre les sphères attractives: $F = 2,398 \cdot 10^{-10} \text{ N}$. Les conditions d'équilibres étant les mêmes que celles

définies pour la manipulation de Cavendish, Boys obtient un angle de torsion de $0,72^\circ$, alors qu'avec le dispositif de Cavendish, on aurait obtenu un angle de $0,009^\circ$. Il y a donc un grand intérêt à diminuer les dimensions.

Boys, valide les résultats de Cavendish, qui paraissaient surprenants à l'époque. Il détermine une valeur de la constante de la gravitation universelle avec une grande précision et conclut que la densité moyenne de la Terre est de 5,527.

Les mesures modernes

Depuis la première expérience réalisée par Cavendish, puis celle de Boys, la technique n'a jamais cessé d'être améliorée. En 1942, Heyl réalise la première mesure moderne. Il détermine la période du pendule pour deux positions différentes des masses attirantes. En 1969, une autre expérience est faite par R. D. Rose. Sur le même principe que celui de Cavendish. Un système permet à l'ensemble du montage de faire une rotation autour d'un axe vertical correspondant à l'axe de torsion. Les deux grosses masses tendent à faire bouger le pendule de torsion. Un mécanisme fait tourner l'appareil en sens inverse, de manière à annuler la déviation du pendule de torsion. Le fil de torsion est soumis à une accélération que l'on mesure pour déterminer la valeur de G. En 1986, on fixe la valeur officielle de la constante de gravitation universelle :

$$G = 6,67259 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}.$$

Cette valeur est encore au cœur de discussions scientifiques, depuis que des scientifiques allemands ont annoncé avoir trouvé que la valeur de la constante de gravitation G était fautive de près de 0,6 %. Afin de vérifier ces propos, des scientifiques ont réactualisé l'expérience. Trois expériences ont été réalisées par différentes équipes de recherche, utilisant des méthodes modernes. Pour chaque expérience, ils obtiennent des valeurs de G très précises, qui sont en accord avec la valeur du système international et ne confirment pas les travaux allemands.

La loi de la gravitation universelle est validée pour des systèmes à grandes distances mais est-elle validée à des petites distances ?

Pour le vérifier, des mesures ont été réalisées à des distances différentes. Selon la

théorie de Newton, la loi en $1/R^2$ est universelle, donc toujours valable pour deux objets éloignés d'une distance quelconque. Les valeurs de G obtenues présentent une légère variation par rapport à la valeur officielle du système international. Si on tient compte des incertitudes de ces valeurs, on ne peut pas conclure avec certitude que cette loi est valide pour des petites distances. Des mesures faites plus récemment, avec des technologies de pointe, laissent fortement

à penser que cette valeur est constante pour toutes les valeurs de la distance entre deux objets.

La théorie de la gravitation universelle et la constante G font encore l'objet de recherche. Afin de bien se rendre compte de la difficulté de l'expérience justifiant la théorie de Newton, nous avons refait l'expérience telle que H. Cavendish en 1798 ou C. V. Boys en 1895 l'avaient réalisée. **Dans le prochain numéro nous commencerons la description de la réalisation de cette expérience.**

La constante G de la gravitation universelle varie-t-elle ?

L'idée de départ vient de l'hypothèse des grands nombres de P. Dirac.

Il remarque que pour des particules élémentaires de masse m et de charge e, le rapport entre une force électrique et une force gravitationnelle est égal à un nombre sans dimension de l'ordre de 10^{-40} .

Il réussit à obtenir un nombre sans dimension aussi grand en combinant deux quantités physiques: τ , le temps de traversée d'une particule avec la vitesse de la lumière dans le vide c, et T, l'âge de l'univers, le plus grand temps possible.

Cette coïncidence numérique donne une expression reliant les constantes fondamentales : c, G ainsi que T, e et m. L'âge de l'univers varie au cours du temps. Par conséquent, au moins une de ces grandeurs devrait varier. Selon Dirac, La charge élémentaire e est bien définie, de même que la masse m. Il en déduit que c ou G sont susceptibles de varier au cours du temps. La valeur de c imposant trop de remises en cause, il pense donc que G n'est pas une constante. Elle serait alors inversement proportionnelle à l'âge de l'univers.

Cette idée de variation des constantes fondamentales a récemment été rediscutée après les mesures de John Webb sur des quasars lointains, mesures selon lesquelles la constante de structure fine $\alpha = \mu_0 e^2 / 2h$ aurait variée.

La Lune tombe-t-elle comme une pomme ?

Valérie Donius

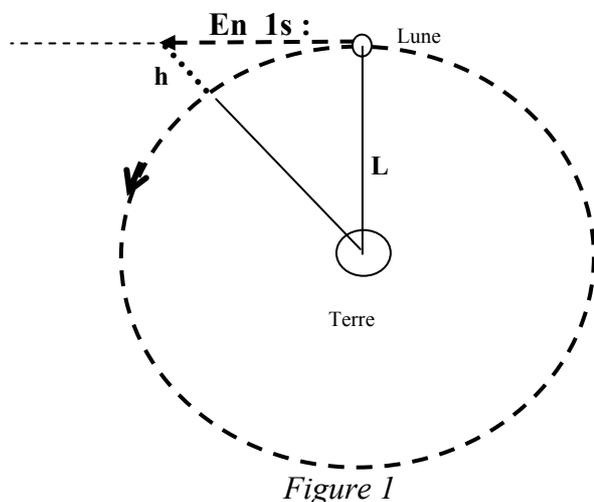
Centre International de Valbonne, Sophia Antipolis

Résumé : Nous proposons deux petits exercices sur la gravitation universelle. Newton affirmait que la Lune tombe, alors que l'observation quotidienne montre le contraire. Comment comprendre ?

Un nounours a autant d'effet que Mars. Les astrologues vont devoir réviser leurs calculs.

Mots-clefs : EXERCICE – LUNE - GRAVITATION

EXERCICE 1 : Répondre à la question du titre



Les questions intermédiaires sont les suivantes :

1) En vertu du principe d'inertie ou 1^{ère} loi de Newton, quelle serait la trajectoire de la Lune si la Terre n'était pas là ?

2) La Terre est bien présente. Repérer sur la figure la hauteur de chute.

3) L vaut 380 000 km environ. Estimer la vitesse V de la Lune, sachant qu'elle effectue un tour autour de la Terre en $T = 27,7$ j.

4) En 1s, la Lune aurait parcouru la distance V en ligne droite. En utilisant le théorème de Pythagore, calculer la hauteur h_{Lune} dont tombe la Lune en une seconde.

5) Réaliser une petite expérience afin de déterminer de quelle distance h_{pomme} chute une pomme (ou une balle) en 1 seconde à la surface de la Terre.

6) Comparer L au rayon terrestre de 6380 km ; puis comparer h_{Lune} à h_{pomme}

CORRECTION :

Vitesse de la Lune sur sa trajectoire : $V = 2.\pi.L / T$
 $= 2 \times \pi \times 380\,000.000 / (27,7 \times 3600 \times 24)$

D'où $V=997 \text{ m.s}^{-1}$ c'est à dire $V \approx 1000 \text{ m.s}^{-1}$

En 1s, la Lune aurait parcouru la distance V en ligne droite. Calculons h ...

Avec Pythagore : $V^2 + L^2 = (L + h)^2$
d'où $V^2 + L^2 = L^2 + h^2 + 2.h.L$

Hypothèse : h^2 négligeable, à vérifier a posteriori.

D'où

$$V^2 \sim 2.h.L$$
$$h \approx V^2 / (2L) = (10^3)^2 / (2.380\,000.10^3) = 1,3.10^{-3} \text{ m}$$

$$h \approx 1,3.10^{-3} \text{ m}$$

A posteriori on vérifie que: $h^2 \ll V^2 \ll L^2$

Donc, La Lune tombe de $h_{Lune} = 1,3 \text{ mm}$ en 1 s ! ou $1,3.10^{-3} \text{ m/s}$.

Or on vérifie qu'une pomme à la surface de la Terre tombe de $h_{pomme} = 5 \text{ m}$ en 1 s ..

$$L / R_{Terre} = 3,8.10^8 / 6,38.10^6 \sim 60 \quad L / R_{Terre} \sim 60$$
$$\text{Et } h_{pomme} / h_{Lune} = 5 / 1,3.10^{-3} \sim 3800 \approx 60 \times 60$$

Donc: la Lune, qui est 60 fois plus loin du centre de la Terre que ne l'est la pomme, est attirée (60.60) fois moins ! On confirme ainsi la loi de l'interaction gravitationnelle en $1/d^2$ établie par Newton! Ce génie a vu le premier ce qu'il était impossible de voir !

EXERCICE 2 : Effet comparé de Mars et d'un nounours



Une petite fille (F) de 50 kg tient son vieux nounours (N) de 0,5kg, situé à 5 cm d'elle. Comparer la force exercée par le nounours sur la petite fille à celle exercée par la planète Mars M sur la petite fille. Conclure.

Données : Constante universelle de la gravitation : $G = 6,67.10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$. - Expression de la force d'interaction gravitationnelle entre deux masses m_A et m_B situées à la distance d_{AB} l'une de l'autre :

$$F_{A/B} = G. m_A.m_B / d_{AB}^2 \quad . - \text{Masse de la planète Mars : } 6.10^{23} \text{ kg} . - \text{Distance minimum de la planète Mars à la Terre : } 55.10^6 \text{ km}..$$

CORRECTION :

$$F_{M/F} = G.M_M.M_F / MF^2 = 6,67.10^{-11} . 6.10^{23} . 50 / (55.10^9)^2$$

$$F_{M/F} \sim 0.661.10^{-6} \text{ N}$$

$$F_{N/F} = G.M_N.M_F / NF^2 = 6,67.10^{-11} . 0,5 . 50 / (5.10^{-2})^2$$

$$F_{N/F} \sim 0.667.10^{-6} \text{ N}$$

La force d'attraction du nounours est la même que celle de la planète Mars.

Un « horoscope fiable » devrait tenir compte de tous les nounours !!!

Diamètre apparent du Soleil

Roger Marical

« Le puits » - 76116 Saint-Denis le Thibault

Résumé : Une méthode simple et précise est proposée pour mesurer le diamètre apparent du Soleil tout au long de l'année. Les graphiques obtenus permettent d'intéressantes discussions sur les durées d'ensoleillement, les saisons, les variations de distance Terre - Soleil.

Mots-clefs : SOLEIL

Introduction

Pourquoi tenter une telle démarche en club d'astronomie au collège ?

Le 6 octobre 2001, Guy Artzner¹, Président de la Commission du Soleil, présente une méthode de mesure qu'il a suivie auprès d'étudiants de Grandes Ecoles dans le cadre des TPE. Il suggère l'idée de reprendre ce même travail mais au Lycée ou au Collège. Il s'agit de mesurer au cours de l'année le diamètre apparent de notre étoile afin de mettre en évidence sa variation annuelle. Chacun sait que la variation relative de ce diamètre n'excède pas 1,5%. Il faudra donc travailler avec soin en limitant toutes les sources d'erreurs.

Comme j'anime le Club d'Astronomie du Collège de Fleury Sur Andelle, je tente l'expérience en gardant l'objectif fixé, mais en adaptant le matériel, la méthode d'acquisition pour faciliter l'exploitation des mesures. Il faut faire simple, avec du matériel grand public ce qui permettra peut-être de constituer une activité astronomique conduite de jour dans le but de répondre à une question : est-il possible avec de petits moyens, de savoir quand la Terre est au plus près, ou au plus loin du Soleil ?

Le problème à résoudre

Si on pose la question du pourquoi des saisons, la réponse spontanée qui relève presque de l'évidence, fait souvent appel à une question de distance. En classe de quatrième nos élèves hésitent entre ' Terre plus ou moins penchée ou Terre plus ou moins éloignée' alors que les saisons ont été étudiées à l'école élémentaire...

Cette réponse est induite par les schémas classiques où l'orbite de la Terre se trouve déformée dans une vue en perspective. Les variations de distance, Soleil Terre, apparaissent exagérées. Pour celui qui oublie la bonne explication, il est tentant de reconstruire une justification à priori cohérente.

Dans la mesure où le doute existe, on peut rechercher, l'époque de l'année où le Soleil serait plus gros, parce que plus proche ce qui validerait l'été. Pour ce faire il faut mesurer l'angle sous lequel la lumière venant des bords diamétralement opposés du Soleil parvient dans notre œil. On définit alors le diamètre apparent d'un objet, notion qui ne figure plus au programme du Collège.

1

Comment mesurer cet angle avec précision ?

La mesure directe se révèle insuffisante:

Il est intéressant de rappeler l'existence du bâton de Jacob, utile pour estimer de grands écarts angulaires : queues de belles comètes ou étendue d'une constellation. Ici on se situe autour du demi degré...

Même la chambre noire que l'on peut ressortir des collections ne peut convenir. Elle garde cependant son utilité lors des phases partielles d'éclipses de soleil, pour celui qui ne dispose pas de lunettes filtrantes spéciales. Avec un 'sténopé' de un mètre de longueur, la reproduction du Soleil ne dépasse pas neuf millimètres. Ce dispositif peu lumineux, manque de netteté sur les bords car on n'a pas une image avec conjugaison au sens de l'optique géométrique. Nous devons utiliser une lunette astronomique qui offre ici les meilleures ressources.

La méthode choisie

On opère par projection sur un écran perpendiculaire à l'axe optique de l'instrument qui reste fixe sur un support stable. Le déplacement 'rapide' de l'image projetée surprend toujours quiconque l'observe pour la première fois. On 'voit' la Terre tourner... Elle accomplit, avec une grande régularité, un tour sur elle-même en un peu moins de 24 heures, soit une rotation d'environ 15 degrés par heure. En une minute de temps elle tourne de un quart de degré...

Ainsi en chronométrant avec soin, la durée du défilement de l'image solaire sur l'écran on peut remonter à un angle puisque l'on compose une vitesse angulaire bien définie avec une durée.

La formule approchée

Elle fait intervenir le cosinus de la déclinaison de l'astre qui se définit comme l'équivalent de la latitude terrestre mais transposée au repérage en astronomie. Les élèves de collège découvrent les lignes trigonométriques à partir de la classe de

quatrième.². L'angle apparent α (en minute d'angle) se déduit de la durée t (en seconde de temps) et de la déclinaison avec la relation :

$$\alpha = (t/4)\cos\delta$$

Cette relation fonctionne à 3 /1000 par défaut.

La mise en oeuvre

La qualité du résultat final va dépendre de celle du chronométrage. Pour cela il faut optimiser toutes les étapes de l'acquisition.

- l'image projetée ne doit pas être trop petite ni trop grande : 6 à 8 cm de diamètre est le bon compromis, avec les petits instruments.
- La lunette d'initiation type 60/800 doit être installée sur un support azimutal très stable à réglage micrométrique en hauteur. (photo 1). Les montures du commerce vibrent trop facilement au moindre souffle de vent.



1- La lunette de mesure et sa monture.

² On peut faire remarquer qu'au moment des équinoxes la relation se simplifie grandement : il suffit de diviser la durée par quatre pour connaître l'angle recherché en minutes d'arc. La déclinaison étant nulle, le cosinus correspondant vaut un.

- La médiane ‘verticale’ de l’écran sera tracée avec un trait de cutter sur un carton fixé sur l’écran support. Cette entaille étroite est trois fois moins large que le trait de crayon le plus fin. (photo 2).



2 - Projection du Soleil avec le trait médian.

- Une loupe de visée de focale 10 cm, servant en soudage électronique, oblige l’œil à fixer la médiane repère. De plus on profite de son grossissement pour apprécier l’instant précis où le soleil tangente la trace fine du cutter.
- On travaille autour du midi vrai local, le Soleil culmine, il traverse de part en part l’écran sans avoir besoin de l’orienter. On pratique 3 à 5 mesures, si la météo le permet, pour calculer la durée moyenne de défilement.

Précautions d’usage avec le Soleil

Le Soleil est un astre dangereux pour l’œil et le matériel. Il faut toujours accompagner les élèves pour prévenir toute maladresse lors de l’orientation de la lunette. Elle se fait dos au Soleil grâce au jeu d’ombre d’une vis du collier supérieur sur un mini écran associé au collier inférieur. (photo 3)



3 - Visée du Soleil avec l’ombre d’une vis.

L’oculaire à choisir doit avoir un verre de champ de diamètre suffisant pour recevoir l’image au foyer. De plus il faut le choisir en laiton et non en matière plastique qui fond dès qu’il y a décentrage. Depuis plus de 20 ans je travaille avec deux oculaires d’initiation de type Huygens de 12 ou 20 mm de distance focale. Par sécurité on peut travailler en ouverture réduite lors des premiers réglages pour s’assurer que tout fonctionne bien.

dates	Durée moyenne t en s	Déclinaison δ à midi	Angle apparent de calcul
21 sept. 01	127,7	00	31' 55''
05 octobre	128,2	- 4°52'	31' 56''
11 octobre	129,6	- 7°	32' 09''
02 novembre	133,7	- 14°51'	32' 18''
21 novembre	138,3	- 21°	32' 16''
07 décembre	141,15	- 22°38'	32' 34''
17 décembre	141,6	- 23°22'	32' 29''
30 décembre	141,6	- 23°08'	32' 33''
28 janvier 02	136,7	- 18°10'	32' 28''
15 février	132,8	- 12°38'	32' 23''
27 février	130,3	- 8°22'	32' 13''
24 mars	128,4	- 1° 27'	32' 05''
14 avril	128,9	+ 9°22'	31' 47''
03 mai	132,2	+15°43'	31' 48''
08 mai	132,25	+17°07'	31' 35''
02 juin	136,4	+22°12'	31' 34''
16 juin	137,5	+23°21'	31' 33''
27 juin	136,0	+23°19'	31' 22''
14 juillet	135,4	+21°40'	31' 27''
27 juillet	134,5	+19°11'	31' 45''
28 juillet	133,5	+18°57'	31' 33''
13 août	130,4	+14°37'	31' 32''

Résultats et exploitation graphique

Il est instructif de conduire deux représentations graphiques. L'une concernant t en fonction de la date et l'autre étant le but de notre étude, à savoir t au cours des mois.

Sur le deuxième graphique il est utile de définir les barres d'erreur ou intervalle de confiance sur le diamètre apparent. Malgré toute l'attention accordée, il arrive souvent qu'avec des mesures de temps faites en groupe d'élèves la dispersion totale des résultats dépasse la seconde. Aussi par sécurité en prenant $\pm 0,7$ seconde comme incertitude absolue, l'incertitude relative moyenne annuelle étant de $5/1000$, on peut raisonnablement tabler sur $\pm 10''$ d'arc comme barre d'erreur. Cela lisse la courbe annuelle à tracer. Il arrive parfois qu'une mesure aberrante survienne par manque de concentration ou difficulté pratique. C'est le cas de la mesure de fin juillet faite hors temps scolaire par l'auteur de ce propos.

Interprétation des courbes

La courbe représentant la durée t au cours de l'année fait apparaître une variation semi annuelle avec un maximum absolu en fin décembre. L'autre maximum moins accusé se situe sur la fin de juin. Les minima pointent les périodes autour des équinoxes. Ce premier graphique dégage les saisons, mais il ne répond pas à notre question concernant le diamètre apparent de notre étoile.

La seconde courbe, malgré quelques points dispersés, montre la variation annuelle de l'angle sous lequel le Soleil nous éclaire. C'est au début de l'été que le soleil apparaît le plus petit : il est donc un peu plus lointain qu'en hiver.

En été la durée d'ensoleillement est plus grande, car le soleil monte plus haut et de plus son rayonnement est plus efficace. Tout cela est la conséquence de l'inclinaison de l'axe terrestre comme on le dit rapidement...

La comparaison de 'pic' à 'creux' montre un écart maximum, de près de dix pour cent pour les variations de la durée, alors que pour le diamètre apparent cela est trois fois moindre sur le cours de l'année.

L'examen du deuxième graphe montre que le diamètre apparent du Soleil varie peu au cours de l'année. La Terre se meut pratiquement sur un cercle avec le Soleil en son centre. C'est l'occasion de tracer un planétaire de Copernic. C'est l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport à la normale au plan de l'écliptique qui entraîne le phénomène des saisons.

Conclusions

Avec de petits moyens, judicieusement mis en œuvre, il est possible de répondre à une question, pas facile à résoudre, à condition d'optimiser toutes les étapes d'une chaîne de mesure. Il est bon de privilégier les protocoles les plus accessibles au niveau des élèves pour qu'ils y trouvent alors du sens. Manipuler correctement des chronomètres manuels est déjà une découverte pour les jeunes collégiens...

Si la motivation est moyenne, on peut se limiter aux deux périodes correspondant à celle du périhélie puis à celle conduisant à l'apogée en toute fin d'année scolaire.

Avec des lycéens, disposant d'un filtre solaire visuel pleine ouverture et d'un oculaire réticulé à cercles concentriques, une étude semblable pourrait être entreprise selon le protocole évoqué en début d'article. La multiplication des mesures en vue de réduire l'écart type apporterait un autre enjeu.

Cependant, quels que soient l'approche et son développement, on découvrira que réaliser une mesure absolue reste une entreprise délicate et qu'il faut montrer de la persévérance. On touche ici, une des difficultés auxquelles les chercheurs sont confrontés au quotidien.

Relever un challenge de ce type, doit être pour nos jeunes le moyen de grandir, avec la satisfaction d'avoir mené à son terme une démarche à caractère expérimental.

Notre position dans la Galaxie: Lecture d'un article historique de Harlow Shapley en 1918.

Jean-Noël Terry

Observatoire de Lyon

Résumé : Ce n'est qu'à partir de l'utilisation des lunettes (Galilée en 1610), que la Voie Lactée perdit son nom! En effet, elle apparaît alors composée d'une multitude d'étoiles.

En 1750, l'astronome anglais Thomas Wright (1711-1786) proposa une Voie Lactée en forme d'un disque d'étoiles, près du centre duquel se trouverait le système solaire.

En 1800, William Herschel reprit cette idée.

Mots-clefs : BIOGRAPHIE, HISTOIRE, PUBLICATION ANCIENNE, TRAVAIL DIRIGÉ, AMAS, CENTRE GALACTIQUE, HALO, VOIE LACTÉE, ANALYSE DE DONNÉES, COORDONNÉES.

Introduction

Il s'agit ici de reprendre un « article historique » de l'astronomie, et de le relire sous forme de travail dirigé, à faire pour soi ou avec des élèves. Les solutions sont proposées. Si cela vous intéresse, nous pourrions continuer dans cette voie.

En 1981, Harlow Shapley, dans un article paru dans « Contributions from the Mount Wilson Solar Observatory », étudia la répartition des amas globulaires ; il montra que le Soleil n'est pas situé au centre et il détermina une distance nous séparant de ce centre. C'est une lecture active de cet article historique qui est proposée ici. Ceux qui veulent retrouver l'original peuvent, via Internet, le télécharger à partir du site :

http://cdsads.u-strasbg.fr/article_service.html

(ADS Journal Query Page) et ses références sont : Astrophysics Journal, n°48, pages 154 à 181.

Rappelons, pour brosser le paysage, que les amas globulaires sont des concentrations de quelques milliers à un million d'étoiles qui se répartissent avec une symétrie sphérique autour du centre de la Galaxie, dans ce qui est appelé le halo de la Galaxie. La Galaxie elle-même a une structure de spirale dans un plan avec, au centre, un noyau dense et lumineux.

Sont ici nécessaires juste un peu de trigonométrie, la notion de barycentre et... de la matière grise !

I- La démarche de Harlow Shapley

En décembre 1917, Harlow Shapley termine un article "The distances, distribution in space, and dimensions of 69 globular clusters".

Dans une partie de l'article, la distance d'un certain nombre d'amas globulaires est déterminée par différentes méthodes qui ne sont pas le thème qui nous intéresse ici (par la méthode des Céphéïdes, par la parallaxe dérivée de la magnitude et par le diamètre des images photographiques).

L'article décrit en détail comment ont été obtenues les données utiles: 300 photos d'amas furent prises dans les 3 ans qui précédèrent!

Ce sont 69 amas qui furent retenus par H. Shapley comme amas globulaires, et dont il étudia la répartition spatiale.

II- Les données

Les données sont, dans l'article, deux tableaux, ceux des pages 161 (28 amas) et 165-166 (41 amas). Ces deux tableaux sont mis bout à bout ci-dessous.

Tout système de repérage des objets astronomiques entraîne un choix un peu arbitraire, en fonction du côté pratique que nous y trouvons. Ici, la Galaxie sera privilégiée, par définition ! Ce sont donc des coordonnées galactiques que va utiliser Shapley : le système solaire appartient au plan de la Galaxie, un objet sera repéré par sa longitude et sa latitude galactiques exprimées en degrés, relativement à un pôle choisi dans la direction du centre (voir la figure 1 qui illustre ce système).

Un objet de latitude galactique nulle sera donc dans le plan galactique. Bien entendu, comme toujours en astronomie, la quantité manquante, ... et vitale, est la distance qui nous sépare de cet objet et qui doit être déterminée de façon indépendante.

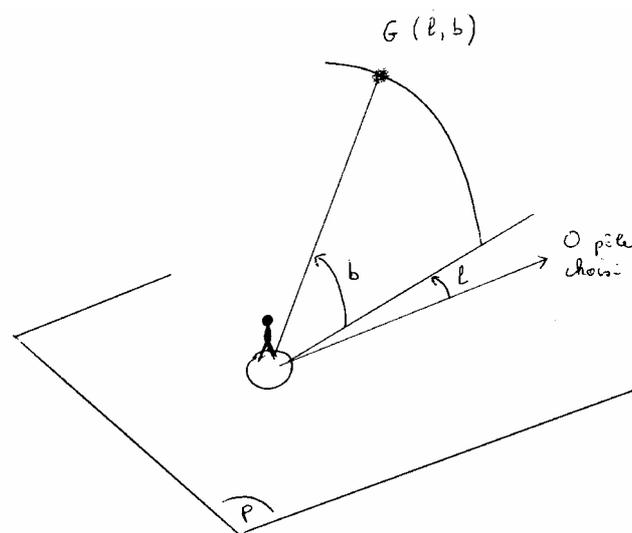


Figure 1

Numéro du catalogue NGC	Longitude galactique en °	Latitude galactique en °	Distance (unité 100 parsecs)
104	272	-44	68
362	268	-46	152
1261	238	-51	256
1851	211	-34	172
2298	213	-15	244
2808	249	-11	170
3201	244	+10	147
4372	269	-9	114
4590	268	+37	161
4833	271	-8	164
5286	279	+11	196
5634	309	+49	303
5897	311	+30	149
5986	305	+13	208
6101	284	-15	213
6144	319	+15	244
6171	331	+22	161
6235	326	+13	500
6266	320	+7	152
6273	324	+9	159
6284	325	+10	370
6287	327	+11	435
6293	325	+8	263
6304	323	+5	322
6316	325	+5	526
6352	308	-7	227
6362	293	-17	130

6388	312	-7	278
6397	304	-12	83
6441	321	-5	455
6541	316	-11	147
6584	309	-16	263
6624	330	-8	286
6637	329	-11	213
6652	328	-12	312
6681	329	-13	182
6715	333	-16	161
6723	327	-18	127
6752	303	-26	88
6809	335	-24	100
7006	32	-20	667
288	214	-88	189
1904	195	-28	256
4147	227	+78	526
5024	307	+79	189
5139	277	+16	65
5272	8	+77	139
5904	333	+45	125
6093	320	+18	200
6121	319	+15	114
6205	26	+40	111
6218	344	+25	123
6229	41	+39	435
6254	343	+22	120
6333	334	+9	250
6341	35	+34	123
6356	335	+9	385
6402	349	+14	233
6626	336	-7	185
6638	335	-8	345
6656	338	-9	85
6712	353	-6	312
6779	30	+7	250
6864	348	-28	455
6934	20	-20	333
6981	3	-34	294
7078	33	-29	147
7089	22	-37	156
7099	356	-48	172

(Rappel : 1 parsec est environ 3.26 années-lumière)

III- Activité proposée

Etude de la répartition en longitude

Il s'agit simplement de faire un histogramme en comptabilisant les amas sur des intervalles de longitude d'amplitude 15° .

On peut déjà faire des remarques. Lesquelles ?

L'histogramme (voir figure 2) présente un vide de 45° à 145° et, par contre, une concentration vers 315° - 345° . Ces deux zones sont, de plus, séparées d'environ 180° .

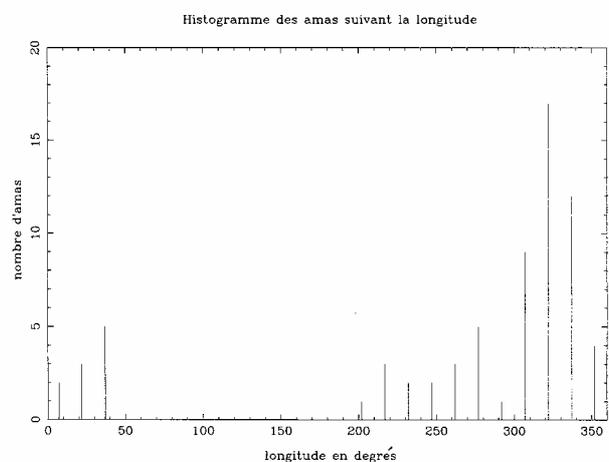


Figure 2

Quelle remarque peut-on faire ? Si les amas sont répartis de façon uniforme dans le halo galactique, nous pouvons penser que le Soleil n'est déjà pas proche du centre du système. En effet, nous observons un volume d'espace plus grand vers la longitude galactique 315° - 345° que vers 45° - 195° , le Soleil est donc sans doute décentré dans cette direction (voir figure 3).

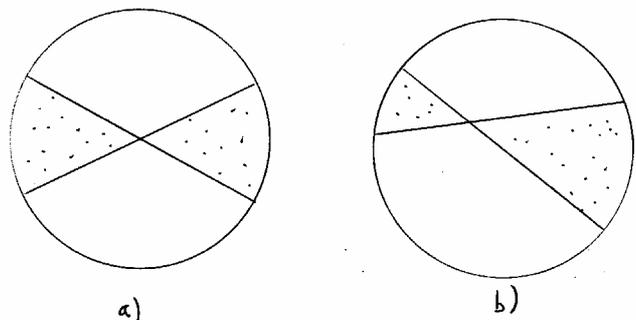


Figure 3

Projection sur un nouveau plan

Shapley projette donc sur le plan perpendiculaire au plan galactique contenant le plan de longitude 235° , que nous venons de mettre en évidence.

Ce plan est représenté sur la figure 4.

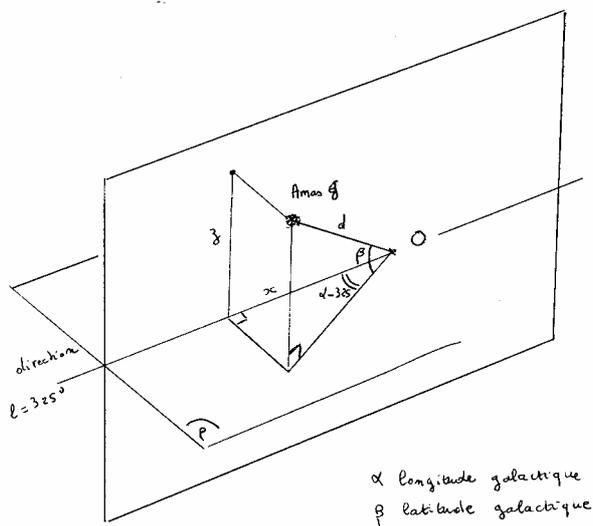


Figure 4

Si d est la distance nous séparant de l'amas, si x est la coordonnée en direction de la longitude 325° , et z celle destinée à compléter le repère de ce plan, en notant lon la longitude et lat la latitude, on a :

$$z = d \cdot \sin(\text{lat}) \quad \text{et} \quad x = d \cdot \cos(\text{lat}) \cdot \cos(\text{lon} - 325)$$

Le travail consiste donc à placer dans un repère d'unité 100 parsecs, les points de coordonnées x et z .

Et à faire des remarques...

X	z	x	z	x	z
29,4	-47,2	57,5	-109,3	8,4	-198,9
-58,0	-96,2	-88,3	-63,2	40,4	-32,4
22,6	25,5	63,0	-17,8	70,0	96,9
95,5	-22,8	133,7	37,4	191,1	228,7
125,2	74,5	190,4	46,8	155,3	-55,1
234,4	63,2	148,5	60,3	487,1	112,5
150,3	18,5	157,0	24,9	364,4	64,2
426,7	83,0	260,4	36,6	320,6	28,1
524,0	45,8	215,5	-27,7	105,4	-38,0
268,9	-33,9	75,8	-17,3	452,2	-39,7
142,5	-28,0	243,0	-72,5	282,1	-39,8

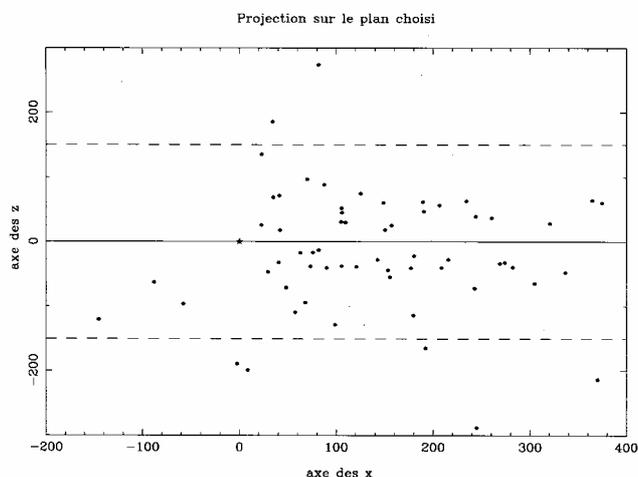
208,6	-40,6	304,8	-64,9	176,9	-40,9
153,3	-44,4	120,7	-39,2	73,3	-38,6
90,0	-40,7	244,9	-288,1	-2,4	188,9
-145,3	-120,2	-15,2	514,5	34,3	185,5
41,8	17,9	22,9	135,4	87,5	88,4
189,5	61,8	109,5	29,5	41,2	71,3
105,4	52,0	81,8	273,8	105,8	45,0
243,9	39,1	34,9	68,8	374,5	60,2
206,5	56,4	180,2	-22,5	336,5	-48,0
81,8	-13,3	274,0	-32,6	104,9	30,5
369,8	-213,6	179,5	-113,9	192,1	-164,4
48,2	-71,3	67,9	-93,9	98,7	-127,8

La figure 5 nous servira pour faire quelques observations.

Remarquons tout d'abord que le plan galactique est un plan de symétrie. C'est plutôt rassurant !

Une bande d'épaisseur 4000 parsecs correspond au disque de la galaxie, on n'y voit très peu d'amas (zone où z est compris entre +20 et -20 en unités de 100 parsecs).

Le Soleil a une position excentrique (noté par une étoile sur le graphique) dans l'ensemble des amas globulaires. Nous ne sommes donc pas au centre de la Galaxie !



Où se trouve ce centre par rapport au Soleil ? C'est l'isobarycentre des amas. Nous pouvons calculer simplement ses coordonnées dans le plan que nous avons privilégié.

Pour suivre l'article de Shapley, nous ne garderons que les amas situés à moins de 15000 parsecs du plan galactique : c'est la bande délimitée par les pointillés. Le but est d'obtenir une population aussi complète que possible.

Nous obtenons alors avec les 59 amas restants les coordonnées suivantes:

$$x=160.4 \text{ et } z=-2$$

IV- En conclusion

Ainsi le centre de la galaxie se trouve à la longitude galactique 325° , à la latitude galactique 0° (c'est la direction du Sagittaire) et à une distance d'environ 16000 parsecs (160×100 parsecs).

La direction déterminée par Shapley était exacte, mais la distance actuelle au centre de la Galaxie est aujourd'hui estimée à 28000 al, soit environ 8600 parsecs. Soit environ moitié moins.

Shapley reconnaissait lui-même qu'il fallait plus d'amas pour une meilleure détermination. Mais le principal problème vient de l'absorption de la lumière par le gaz et la poussière qu'elle rencontre sur son trajet. Ce n'est que vers 1930 que cet effet fut vraiment compris, et le problème

A propos de Harlow Shapley

H. Shapley est né dans une ferme de Nashville dans le Missouri, le 2 novembre 1885. Il va à l'école du village, puis à Pittsburgh, dans un cours orienté vers les affaires. A 16 ans, il est reporter à Chanute (Kansas), à 17 ans à Joplin (Missouri). En 1907, il entre à l'université du Missouri. Comme l'école de journalisme n'ouvre pas ses portes cette année- là, il doit choisir un cours.

La légende raconte que, ne pouvant prononcer le premier mot de la liste des cours ouverts: archéologie, il prend le deuxième: astronomie !! En tout cas il obtient son diplôme en physique et mathématiques en 1910 et un poste de professeur à l'Observatoire Lows. En 1911, il reçoit une bourse et va étudier, à Princeton, les étoiles binaires à éclipses, avec Norris Russell (1877-1957). Il y termine son doctorat, après avoir effectué près de 10000 mesures de polarisation de la lumière des étoiles au télescope de 60 cm de l'université. Il démontre que les céphéides ne sont pas des binaires à éclipses, mais des étoiles dont le volume et la température changent périodiquement.

Grâce à Russell, il rencontre George Hale (1868-1936) qui lui offre un poste à l'Observatoire du Mont Wilson. Il s'y rend en 1914 après un séjour en Europe. Il épouse Martha Betz, qui aidera son mari et deviendra experte en étoiles doubles à éclipses. Ils auront 5 enfants. Au Mont Wilson, Shapley étudie les amas globulaires.

de l'absorption reste tout à fait d'actualité, qu'il s'agisse de l'absorption dans notre Galaxie, ou de celle qui se produit quand on observe à l'intérieur d'une autre galaxie.

Il existe des catalogues d'amas globulaires plus récents. J'ai refait l'expérience avec le catalogue de R. Monella (1985). Il peut être téléchargé via le site du Centre de Données Astronomique de Strasbourg (<http://cdsweb.u-strasbg.fr>) à la rubrique catalogue (VII/103 : catalogue of galactic globular clusters). Nous avons les coordonnées et la distance de 143 amas. Le même travail donne $x=71$ et $z=-7$. Soit une distance du centre galactique d'environ 7100 parsecs. Ce qui n'est pas un mauvais résultat compte-tenu de la simplicité de la méthode.

L'idée de base de Shapley reste très intéressante, elle montre, une fois de plus, comment la réflexion permet de mesurer et franchir des espaces inaccessibles...

C'est à cette occasion qu'il montre, en 1918, que le Soleil n'est pas au centre de la Galaxie.

En 1917, il émet l'hypothèse qu'Andromède est à 1 million d'années-lumière de nous. Mais il renonce devant les mesures de son ami Adriaan van Maanen, car cela aurait donné une vitesse de rotation ahurissante. Or les mesures n'étaient pas bonnes. Il se rangera ensuite à la nature extragalactique de cette "nébuleuse".

Après la mort de Pickering (1846-1919), il devient directeur du Harvard College Observatory en octobre 1921. Il modernise rapidement l'équipement de cet observatoire. Ces activités lui prennent du temps. Il s'intéresse aussi à la distribution spatiale des galaxies proches, découvrant des galaxies naines dans les constellations du Sculpteur et de Fornax.

Au moment de la guerre de 39-45, il donne asile, dans cet observatoire, à de nombreux scientifiques européens et à leurs familles. Après la deuxième guerre mondiale, son statut le conduit à des responsabilités plus médiatiques au sein d'associations scientifiques. En 1945, il est délégué des USA pour élaborer la charte de l'UNESCO. Il se retire de son poste de directeur en 1952, continuant la recherche jusqu'en 1956. Ecrivain prolifique, il a publié des livres de vulgarisation: Stars Clusters (1930), Galaxies (1943), The Inner Metagalaxie (1957), Of stars and men (1958).

A 85 ans, sa santé périclute, il meurt deux ans plus tard, le 20 octobre 1972.

Évènements astronomiques en 2003 - 2004

Pierre Causeret

pierre.causeret@wanadoo.fr

Résumé : On trouve de nombreuses éphémérides astronomiques, mensuelles dans les revues d'astronomie, annuelles dans certains ouvrages et même à plus long terme sur Internet. Il nous a paru intéressant de donner dans les Cahiers Clairaut, non pas tous les évènements astronomiques de l'année à venir, mais ceux qui peuvent donner lieu à des travaux avec les élèves. Les évènements ne sont pas classés par ordre chronologique, mais par rubrique. Toutes les heures sont données en Temps Universel. Pour avoir l'heure légale, il faut donc rajouter 1 h (heure d'hiver) ou 2 h (heure d'été). C'est la première de cette rubrique, n'hésitez pas à envoyer vos critiques ou commentaires. Si elle vous intéresse, nous pourrions recommencer l'année prochaine.

Mots-clefs : OBSERVATIONS – ÉPHÉMÉRIDES - TEMPS

Les principaux évènements de cette année seront deux éclipses de Lune (en novembre et mai) et surtout le fameux transit de Vénus devant le Soleil du 8 juin prochain.

1. Phases de la Lune

NL	26/09/03	3h10	25/10/03	12h51	23/11/03	23h00	23/12/03	9h44	21/01/04	21h06
PQ	02/10/03	19h10	01/11/03	4h25	30/11/03	17h17	30/12/03	10h04	29/01/04	6h04
PL	10/10/03	7h28	09/11/03	1h14	08/12/03	20h38	07/01/04	15h41	06/02/04	8h48
DQ	18/10/03	12h32	17/11/03	4h16	16/12/03	17h43	15/01/04	4h47	13/02/04	13h41

Passages au périhélie : 28/09/03, 26/10/03, 23/11/03, 22/12/03, 19/01/04, 16/02/04

NL	20/02/04	9h19	20/03/04	22h42	19/04/04	13h22	19/05/04	4h53	17/06/04	20h28
PQ	28/02/04	3h25	28/03/04	23h49	27/04/04	17h33	27/05/04	7h58	25/06/04	19h08
PL	06/03/04	23h15	05/04/04	11h03	04/05/04	20h34	03/06/04	4h20	02/07/04	11h09
DQ	13/03/04	21h02	12/04/04	3h47	11/05/04	11h05	09/06/04	20h03	09/07/04	7h34

Passages au périhélie : 12/03/04, 08/04/04, 06/05/03, 03/06/04, 1/07/04

A partir de ce tableau, on pourra :

- rechercher la durée moyenne de la lunaison
- noter les irrégularités dans les phases lunaires et faire le lien avec la distance de la Lune, les phases

se déroulant plus vite autour du périhélie (3ème loi de Képler oblige).

- vérifier qu'il n'y a pas davantage de naissances autour de la pleine Lune...

Curiosités :

- La pleine Lune de mars 2004 aura-t-elle lieu le 6 ou le 7 ? (c'est le 6 en TU et le 7 en heure légale...)
- Les pleines lunes de novembre et décembre 2003 montreront un diamètre apparent de 29,5' contre 33,4' pour celle de juin 2004, les premières ayant lieu à l'aphélie et la dernière au périhélie. L'écart est de plus de 10% !

On peut obtenir ces renseignements sur le site de l'IMCCE (Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides, anciennement Bureau des Longitudes) à l'adresse :

<http://www.bdl.fr/Granpub/Promenade/pages4/441.html>

2. Eclipses de Lune

Nous aurons droit à deux belles éclipses de Lune cette année. La première est à observer le matin de 23h32 à 3h04, ce n'est pas une heure très facile mais c'est le week-end, dans la nuit du samedi 8 au dimanche 9 novembre. La deuxième est à une heure idéale pour observer avec des élèves, de 18h48 à 22h12, le mardi 4 mai 2004 (heures TU). Pour certains, la Lune se lèvera partiellement éclipsée le 4 mai.

De nombreuses activités sont possibles, en maths et en physique en particulier sur les éclipses. On peut, par exemple, observer la forme de l'ombre de la Terre pour comprendre que notre planète est une sphère plus grosse que la Lune (à moins que ce ne soit un cylindre ?), observer la couleur de la Lune pendant la totalité et chercher ce que verrait un habitant de la face visible de la Lune observant la Terre (il verrait le Soleil occulté par la Terre, celle-ci étant entourée d'une fine couche d'atmosphère rouge). On peut aussi calculer la longueur du cône d'ombre de la Terre, les horaires de l'éclipse (à partir de quelques données), la distance de la Lune à partir d'une photo de la phase partielle... Vous trouverez diverses idées dans les hors séries des Cahiers Clairaut n° 2 (la Lune niveau collège), n° 5 (gravitation et lumière) et n° 9 (mathématiques et astronomie, sortie en octobre 2004). Le tableau qui suit est un extrait de ce dernier hors série :



Date de l'éclipse	8 et 9 novembre 2003	4 mai 2004
Entrée dans l'ombre	23h33	18h48
Début de la totalité	01h06	19h52
Maximum de l'éclipse	01h19	20h30
Fin de la totalité	01h31	21h08
Sortie de l'ombre	03h05	22h12
Distance Terre Soleil (km)	148 200 000	150 900 000
Distance Terre Lune (km)	406 000	361 000
Diamètre apparent de la Lune (')	29,46	33,07
Longueur du cône d'ombre (km)	1 361 000	1 385 800
Rayon de l'ombre à la distance de la Lune (km)	4470	4710
Vitesse de la Lune (km/h)	3220	3620

3. Conjonctions avec la Lune

Mesurer la distance de la Lune par la méthode des parallaxes est tout à fait à la portée d'un amateur. Il suffit de faire deux photos de notre satellite devant

un fond d'étoiles depuis deux lieux éloignés de la Terre. On peut d'ailleurs remplacer les étoiles par les planètes, leur distance étant très grandes par rapport à celle de la Lune. Vous trouverez le principe ainsi que les calculs décrits dans le n° 92 des Cahiers Clairaut (hiver 2000-2001) ou sur le

site Internet du Rectorat de Dijon (www.ac-dijon.fr, cliquer sur action culturelle, activités, astronomie, dossiers, lune, site réalisé lors d'un parcours).

Pour avoir sur la même photo la Lune et une étoile, il faut que cette dernière soit suffisamment brillante. Pour pouvoir ensuite mesurer un déplacement entre les deux photos prises depuis deux lieux éloignés, il faut un grossissement suffisant. Il faut donc faire des photos derrière télescope tout en ayant dans le même champ la Lune et un astre brillant, étoile ou planète. Voici donc quelques conjonctions proches entre la Lune et un astre assez lumineux pour tenter de mesurer la distance de notre satellite.

6 octobre 2003: Lune Mars à environ 3° au coucher du Soleil

25 novembre, juste après le coucher du Soleil, Lune Vénus à 3°

26 novembre 17h : Lune et sigma du sagittaire (magnitude 2) à $1,5^\circ$

25 décembre, si vous avez un moment, Lune Vénus à 3°

24 janvier 2004, Lune Vénus, un peu plus de 3°

23 février, Lune Vénus, moins de 3°

25 février, autour de 23h, Lune Mars, 3°

2 mars, 21h, Lune Pollux (mag 1,2) 2°

6 mars au soir, Lune Jupiter, 3°

24 mars, Lune Vénus, 2°

25 mars, 23h, belle conjonction Lune Mars à 1° (à leur coucher)

27 mars, Lune, bêta Taureau, 3°

2 avril, Lune Jupiter, 3°

5 avril, Lune Spica, 3° (mais pleine Lune)

23 avril, Lune Mars, 2° avec Vénus à 5°

21 mai, la Lune occulte Vénus en plein jour (11h-12h)

22 mai, Lune, Mars et Saturne dans un champ de 4°

23 mai, Lune Pollux (mag 1,2) à $2-3^\circ$

23 juin, Lune Jupiter, 3°

La conjonction du 25 mars est intéressante car les astres étant proches, on peut utiliser un fort grossissement (focale de 1m à 1,5m). Il suffit alors que les deux photographes soient éloignés de quelques centaines de km (mais plus on est loin, plus c'est précis).

Les 23 avril et 22 mai, on a deux astres brillants en plus de la Lune, ce qui aidera grandement au problème d'orientation des photos. Mais la conjonction n'étant pas très serrée, on utilisera une focale plus courte (300 mm par exemple). Mais dans ce cas, il faut trouver un partenaire beaucoup plus éloigné (1000 km au minimum).



4. Eclipses de Soleil

Deux éclipses de Soleil cette année :

Une totale, le 23 novembre 2003, visible depuis l'Antarctique.

Une partielle, le 19 avril 2004, à voir aussi depuis l'Antarctique.

Les manchots sont des veinards...

Il faudra attendre le 3 octobre 2005 pour la prochaine éclipse de Soleil visible partiellement en France.

Eclipse du 23 novembre 2003 :

Distance Terre Soleil : 147 700 000. Distance Terre Lune : 356 800

On peut, avec ces données, calculer la longueur du cône d'ombre et vérifier qu'il peut atteindre la Terre. Il suffit de connaître le rayon du Soleil (696 000 km) et celui de la Lune (1740 km).

Si on fait les mêmes calculs avec l'éclipse du 3 octobre 2005, on peut s'apercevoir que le cône d'ombre n'atteint pas la Terre. Il s'agira d'une éclipse annulaire.

Eclipse du 3 octobre 2005

Distance Terre Soleil : 149 700 000. Distance Terre Lune : 396 100 km

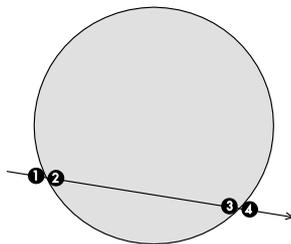
5. Passage (ou transit) de Vénus devant le Soleil

Ce sera l'évènement principal de cette année 2003-2004. Le dernier passage de Vénus devant le Soleil s'est produit le 6 décembre 1882. Le prochain aura lieu le 6 juin 2012. Ces passages étaient suivis par les astronomes pour mesurer la distance du Soleil. Un certain nombre d'enseignants sont déjà sur le coup pour refaire une expérience de ce genre. Vous trouverez de très nombreux renseignements sur le principe des transits en général et celui du 8 juin en particulier sur le site de l'IMCCE (BdL) à l'adresse <http://www.imcce.fr/ephem/passage/html/passage.html>

Si vous avez envie de faire une manip, allez voir sur le site du CLEA à l'adresse : <http://www.ac-nice.fr/clea/MercureVenus/Mercure01.html> ou envoyez un mail à Francis Berthomieu (berthomi@ac-nice.fr) qui collectera les propositions pour que l'on puisse s'organiser.

Les horaires :

Premier contact 5h13
Deuxième contact 5h33
Maximum 8h20
Troisième contact 11h07
Quatrième contact 11h26

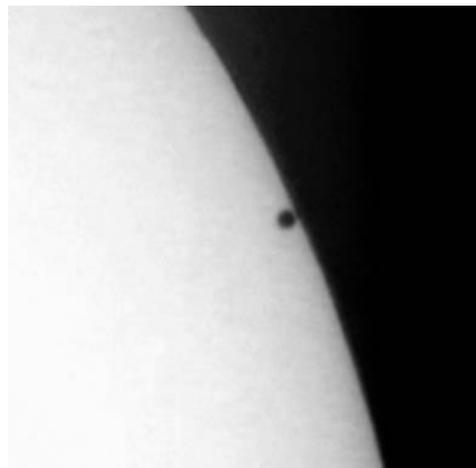


Ce passage pourra être suivi en entier depuis toute la France, le Soleil se levant le 8 juin à 3h46 à Dijon, à 3h50 à Paris, à 4h19 à Brest et à Bordeaux et à 4h27 à Biarritz

6. Visibilité des planètes

Mercure

Sa meilleure période de visibilité sera fin mars 2004, le soir. Elongation maximale le 29 (19° est). Elle est assez facile à repérer à l'oeil nu dans ces conditions, à l'ouest, après le coucher du Soleil mais on peut s'aider de jumelles.



Vénus

Elle sera visible le soir dès la fin 2003 et jusqu'à fin mai 2004. Elle est toujours très lumineuse (magnitude comprise entre -3,9 et -4,5) et comme d'habitude, certains la prendront pour un OVNI. On la retrouvera en planète du matin à partir de fin juin.

Quelques dates :

Conjonction supérieure : 18 août 2003

Elongation maximale : 29 mars 2004 (46° est)

Conjonction inférieure : 8 juin 2004 (tiens, le même jour que le transit !)

Mars

Après son opposition exceptionnelle de la fin août, la planète rouge s'éloigne et diminue d'éclat toute l'année tout en restant visible le soir.

Début octobre, elle est dans le Verseau, de magnitude -2, passe dans les Poissons en décembre (mag -0,3), dans le Bélier en février (mag 0,8), dans le Taureau en Mars (mag 1,2) puis dans les Gémeaux en mai (mag 1,7).

Jupiter

C'est le 4 mars que Jupiter passe à l'opposition, dans la constellation du Lion. Avant cette date, elle se lève après le coucher du Soleil. Début janvier par exemple, il faut attendre 23 heures pour l'observer.

A partir de mars, elle sera visible dès le début de la soirée. Elle reste toute l'année dans le Lion. Magnitude -2,5 à l'opposition.

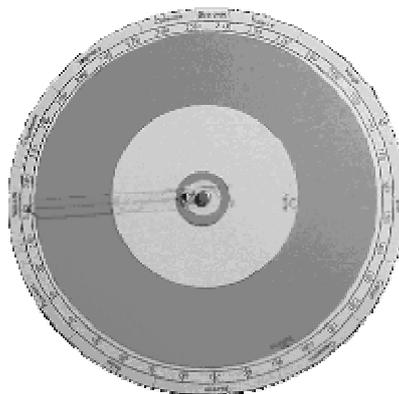
Saturne

Opposition de Saturne le 31 décembre 2003 (magnitude -0,3). L'hiver sera donc la meilleure période pour l'observer. Saturne passe aussi l'année dans la même constellation, les Gémeaux. Conjonction supérieure de Saturne le 8 juillet.

Uranus et Neptune

La première est dans le Verseau, la deuxième dans le Capricorne. On pourra les trouver en soirée tout l'automne.

planétaire (plans de planétaires disponibles sur le site www.ac-dijon.fr, action culturelle, activités, astronomie, dossiers, planètes).



7. Réglez votre planétaire

Voici les longitudes écliptiques héliocentriques des planètes en 2003-2004 pour régler votre

Date	Saturne	Jupiter	Mars	Terre	Vénus
1/09/2003	95	150	337	338	168
1/10/2003	96	152	356	8	216
1/11/2003	97	154	16	38	266
1/12/2003	99	157	34	68	313
1/1/2004	100	159	51	100	2
1/2/2004	101	161	68	132	52
1/03/2004	102	164	83	161	98
1/04/2004	103	166	98	192	149
1/05/2004	104	168	112	221	197
1/06/2004	105	171	126	251	247
1/07/2004	107	173	140	280	294
1/08/2004	108	175	152	310	344
1/09/2004	109	178	167	339	33

8. Divers

18 novembre 2003 : maximum prévu de l'essaim des Léonides. Il était particulièrement actif les années précédentes mais aucune tempête n'a été prévue pour 2003. A surveiller néanmoins, malgré la Lune en dernier quartier dans la constellation du Lion ce jour-là.

Mai 2004 : Une comète C/2001 Q4 (NEAT) passera à 50 millions de km de la Terre autour du 7 mai avant de passer au périhélie le 15 et pourrait être visible à l'oeil nu.

9. Adresses utiles

Ces éphémérides sont évidemment très incomplètes. Vous pourrez trouver de nombreux renseignements sur Internet. Voici quelques adresses :

Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides : www.imcce.fr

Société Astronomique de France : www2.iap.fr/saf

Le guide du ciel : www.leguideduciel.net

Le Logiciel Solarium de Pierre Dallet

Charles-Henri Eyraud

Résumé : Pierre Dallet, membre de commission des cadrans solaires de la Société Astronomique de France, a mis à disposition des enseignants et du grand public, le logiciel Solarium, fruit d'un travail de plus de vingt ans. Les performances uniques de Solarium en ce qui concerne le tracé de cadrans solaires de tout type, ne doivent pas rebuter les néophytes car la version simplifiée permet une prise en main rapide, en particulier en utilisation « Carte du ciel » ou « tracé de cadrans solaires plans ». La prise en main rapide qui suit a été utilisée lors de stages d'Enseignants du premier et du second degré en formation initiale ou continue à l'IUFM de Lyon.

Mots-clefs : TRAVAIL PRATIQUE – ORDINATEUR - CADRAN

I - Installer le logiciel sur votre ordinateur

- 1 - Créer un dossier Solarium sur votre disque dur
- 2 - Télécharger le fichier Solarium_zip.exe à l'adresse:
<http://www.ens-lyon.fr/RELIE/Cadrans/index.html>
- 3 - Sur la page d'accueil ci-dessus, cliquez sur l'image en haut à droite "Gnomonique de Pierre Dallet" et Télécharger le Logiciel Solarium. Enregistrer le fichier *Solarium_zip.exe* dans le dossier Solarium qui vient d'être créé.
- 4 - Ce fichier auto-extractible se décompresse en 4 fichiers par double clic (dans le dossier Solarium...)
- 5 - Cliquer ensuite sur *Setup.exe*: le logiciel Solarium s'installe automatiquement
- 6 - Pour créer un raccourci sur votre bureau cliquez sur *Démarrer/Programmes/Solarium* et

clic droit sur *Solarium*: Créez un raccourci que vous déplacez sur le bureau

II - Utiliser Solarium pour obtenir la carte du ciel

- 1- Cliquer sur votre raccourci de Solarium
- 2 - Sous le mot "*Version 1*" cocher la case, de façon à lire "Version simplifiée" (la version complète concerne les cadrans solaires sur d'autres surfaces que les surfaces planes) puis cliquer dans le rectangle rose de droite surmonté du mot "*Suite*"
- 3 - Ecran "*Sommaire*": Cliquer sur la flèche "*Carte du ciel*"
- 4 - Choisir le lieu ou bien écrire ses coordonnées géographiques; Choisir "*peu de noms d'étoiles*" ou "*beaucoup de noms d'étoiles*" ou alors cocher "*nom des constellations*"

5 - Dans les onglets du haut de l'écran, choisir "demi-ciel en perspective selon l'azimut" ou "demi-ciel autour du Zénith".

Exemples d'applications

A l'étape 4 précédente Cliquer sur "Coordonnées des astres" puis choisir "Étoiles" ou "Planètes". Vous pourrez par exemple: **dessiner** le ciel vu vers le Sud à une heure donnée. pour le jour même, **déterminer** l'heure solaire vraie de votre lieu d'observation, **donner** l'heure de Lever/Coucher des planètes visibles à l'œil nu ou de la Lune et du Soleil, **trouver** les astres que vous pourrez observer avec une classe ce soir, **savoir** si la Lune est haute ou non lors du passage au méridien.

III- Utiliser Solarium pour tracer des cadrans solaires

Solarium permet le tracer de nombreux types de cadrans (une documentation détaillée se trouve sur le site de téléchargement). Nous étudierons uniquement dans cette partie le cadran référencé « Type 70 ».

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

Fournitures des coordonnées primaires :

Chercher dans une carte au 1/25 000 les coordonnées géographiques du lieu où sera placé votre cadran. Indiquer alors:

La latitude (positive au Nord, négative au Sud)

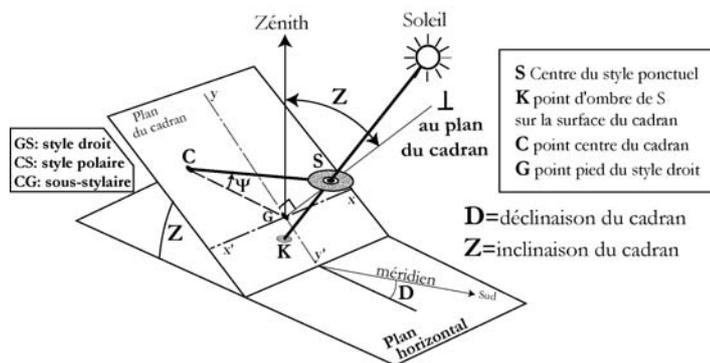
La longitude (positive à l'Ouest, négative à l'Est)

Puis donner :

La déclinaison gnomonique (0° au Sud, 90° à l'Ouest, 180° au Nord, 270° à l'Est)

L'inclinaison du plan du cadran. (ces deux dernières quantités peuvent être mesurées par la

méthode « de la planchette » selon la notice *Mode_Emploi.doc*).



Cliquer sur le rectangle en haut à gauche marqué "Coo. Primaires affichées" pour valider.

Valeur de l'unité: c'est la longueur du style droit (prendre 40 mm par exemple pour une impression sur un format A4 d'un cadran vertical méridional à la latitude 45°).

Choix des indications à tracer

Cliquer sur la flèche pointant vers la droite³ dans le rectangle rose. On obtient alors l'écran "Indications"

Cliquer sur 30: *Heure vraie* (angle horaire en heure) puis sur le rectangle violet "Tracés"

Choisir "0" pour n'avoir que les heures rondes.

Choisir "limiter par les arcs de solstices" pour limiter les droites horaires : on obtient en Page 5 le tracé

Imprimer

Choisir d'abord l'imprimante dans l'onglet "Imprimante-configurer", puis cliquer sur le rectangle vert "Imprimer".

³ La flèche pointant à gauche permet d'obtenir d'autres tracés (arcs de déclinaisons, déclinaisons extrêmes de la lune) en reproduisant la procédure ci-dessus. Il est conseillé de ne pas en demander trop pour avoir un cadran lisible...

Eclipse de Soleil matinale

Pierre Causeret

Pierre.causeret@wanadoo.fr

Mots-clefs : EXERCICE - SOLEIL – LUNE

Nouveau problème

Avez-vous vu le lever de Soleil le 31 mai dernier ?
En voici une photo. Je n'ai pas regretté de me lever
tôt ce samedi-là.

Pourriez-vous dire, à partir de cette photo, quel
était le diamètre apparent de la Lune (celui du
Soleil était de 31,5') ?

En étant bien placé sur la Terre, aurait-on pu voir
une éclipse totale ?



1) Entretiens sur la multitude du monde

2) Devenez sorciers devenez savants

1) Entretiens sur la multitude du monde

de Thibault Damour et Jean-Claude
Carrière. (Edition Odile-Jacob)

Ce livre a d'abord attiré mon attention par le nom de ses auteurs : un cinéaste et un physicien. Je n'ai compris son titre étrange qu'après l'avoir terminé (opposition de « multiplicité » et « d'unicité » et référence probable au livre bien connu sur la « multitude des mondes habités »).

J'avais adoré la pièce « La controverse de Valladolid » de J.-C. Carrière, pétillante d'intelligence et j'ai une grande admiration pour TH. Damour, un des plus brillants physiciens, spécialiste de la Relativité Générale. Avoir ces deux personnes réunies pour un entretien autour d'un sujet touchant à notre discipline (physique et astrophysique) promettait un régal. Ce fut un régal. Mais, j'ai découvert bien plus. Certes le livre présente les idées modernes sur la description du monde, mais il parle d'enseignement des sciences, de développement de la recherche.

Le livre se termine sur un ton un peu pessimiste. Il essaye de comprendre la désaffection générale pour les disciplines scientifiques : la difficulté de la démarche, la « réputation démoniaque » attachée à certaines applications (bombes atomiques). Il montre que cette évolution facilite le développement de

« l'astrologie, la numérologie, les croyances de toutes sortes ». J'ai reconnu dans ces propos quelques uns des points que nous soulevions avec L. Gouguenheim dans un précédent numéro des Cahiers-Clairaut (CC100).

Thibault Damour dit qu'il faudrait faire « l'éloge de la difficulté ». Je pense aussi que la jeunesse n'est pas nécessairement rebutée par la difficulté et peut même s'y valoriser.

Mais revenons rapidement sur l'objet principal du livre. Après les nécessaires discussions **sur le temps** (dont l'écoulement n'est peut-être qu'une illusion construite par notre propre mémoire), **sur l'espace** (qui est intimement lié au temps par la vitesse de la lumière) et **sur toutes les idées que j'appellerai « classiques »**, le livre présente une vision nouvelle visant à rendre compatibles les théories de la Relativité Générale et de la mécanique quantique. L'idée majeure est que le monde, tel que nous le percevons, ne serait qu'une réalisation combinant toutes les réalisations possibles (d'où le titre du livre). L'analogie est faite avec la lumière. Tous les rayons lumineux passant simultanément par tous les chemins optiques possibles interfèrent pour ne laisser subsister que le rayon unique que nous percevons quand nous l'isolons par une ouverture.

Cette généralisation de la matière, localisée et omni-distribuée, amène Thibault Damour à présenter la théorie des « cordes » susceptible de

réaliser ce mariage si longtemps cherché entre gravitation et mécanique quantique. Les promesses et les difficultés de cette théorie y sont expliquées. Un aperçu de la super-théorie des super-cordes est alors esquissé. Leur force est d'expliquer le monde connu, sans avoir recours à des paramètres arbitraires. Je ne suis pas sûr que la théorie des cordes ou des super-cordes soit aussi contrainte que le laisse entendre le livre. Un spécialiste m'a même affirmé le contraire. Il n'empêche que cette théorie suscite un immense espoir pour faire l'unification dont nous parlions.

Le livre est beaucoup plus clair et « coloré » (vous comprendrez pourquoi je dis cela en le lisant) que ne pourrait le laisser penser mon condensé. Vous, lecteurs des Cahiers-Clairaut, aurez le plaisir de découvrir la mention faite au « remarquable travail de Clairaut [qui] fut peut-être une première dans l'histoire de la science moderne ».

1) Devenez sorciers devenez savants.

de Georges Charpak et Henri Broch
(Edition Odile-Jacob, sciences)

Je dois avouer que ce livre a attiré mon attention, même si je ne suis pas passionné par l'ésotérisme, à cause du nom d'un de ses auteurs : Georges Charpak. Son livre autobiographique « La vie à fil tendu », référence à l'invention par le même auteur du détecteur de particules construit avec des fils tendus, m'avait bien plu.

Le but du livre est très louable : éclairer le public sur les mystifications dont il peut être victime. L'idée générale est qu'il est très facile de faire passer pour un phénomène nouveau, voire paranormal, ce qui n'est que supercherie. Il y a des coïncidences apparentes qui sont simplement des événements possibles. Il suffit d'avoir une réalisation du phénomène pour que le surnaturel y trouve pour certains une validation éternelle.

Donnons quelques exemples tirés du livre. Les auteurs tentent de tordre le cou à l'astrologie en montrant que, du fait de la précession des équinoxes, les signes du zodiaque changent. Ainsi, les natifs du Lion sont désormais sous le signe de

l'Ecrevisse. Les qualités dominatrices du Lion ne sont plus justifiées. Le livre démonte aussi les trucs des fakirs qui se percent la langue, marchent sur le feu ou flottent dans les airs. Un autre exemple est celui du visage apparaissant au milieu d'une image complexe (une tache sur un mur, un panache de fumée, etc.). Un tableau m'a bien amusé dans le livre. Il vous permet de parler couramment la langue de bois en construisant facilement plus de quatre mille phrases creuses. Nul doute que quelques mauvais politiciens pourront s'en inspirer.

Néanmoins, mon impression est que ces quelques démonstrations vont paraître bien naïves pour les rationalistes et peut-être bien légères pour les crédules. Il est si difficile de faire changer les convictions des uns ou des autres ! Le meilleur moyen n'est-il pas de former les gens à la réflexion et de leur faire trouver la solution par eux-mêmes ?

Pour conclure, le livre met clairement l'accent sur la nécessité d'une information *neutre* et *responsable*. Ce point est évoqué à propos d'orientations cruciales pour notre pays ou notre planète, comme par exemple le choix des sources d'énergie.



- 1) Les Ecoles d'été du CLEA
- 2) L'univers à portée
- 3) La prochaine Assemblée Générale du CLEA
- 4) Nouveaux produits
- 5) Opération digitalisation

Les dates de la prochaine école d'été ont été fixées du **20 au 27 août 2004**. Le site magnifique du col Bayard près de Gap est toujours le site retenu, pour la qualité de ses aménagements et de son confort.

1) Les Ecoles d'été du CLEA

Les écoles d'été du CLEA constituent un grand moment de notre association. L'école d'été d'astronomie 2003 à Gap vient juste de s'achever au moment où nous écrivons ces lignes. Ce fut un grand succès pour les animateurs et pour les stagiaires. Le ciel a été particulièrement clair, ce qui a permis de faire des observations nombreuses: repérage des constellations, pointage des objets astronomiques les plus spectaculaires (M31, M13, Mars etc.), initiation à la mise en station d'un télescope, pointé aux coordonnées. Les cours ont permis de fixer quelques notions fondamentales (repérage, nature réelle des objets astronomiques, mesure des distances) mais surtout les travaux dirigés et les ateliers ont permis aux stagiaires de faire un travail pratique concret. Il y eut quelques grands moments, comme la préparation des observations du transit de Vénus pour le mois de Juin 2004 (nous aurons l'occasion d'en reparler dans les prochains Cahiers-Clairaut), les commentaires sur l'expérience de Cavendish qui vous sera également décrite très prochainement dans ces colonnes, sans oublier le procès de Galilée ou la soirée de « revue ».

2) L'univers à portée

Le CLEA était présent à la réunion organisée par P. Encrenaz et J.Y. Daniel sous l'égide de l'Académie des Sciences et de l'Inspection Générale de l'Education Nationale. L'objectif de cette réunion était de faire en sorte que les différentes associations ayant, comme le CLEA, des buts éducatifs en science puissent répondre aux appels d'offre du Ministère de manière coordonnée. Le Comité National Français d'Astronomie (CNFA) pourrait gérer cette coordination. Cette opération s'appelle « l'univers à portée ».

Une des préoccupations actuelles du Ministère est d'enrayer la désaffection des jeunes pour les disciplines scientifiques. L'astronomie qui jouit toujours d'une forte cote d'amour et qui touche à presque toutes les branches des sciences physiques et mathématiques peut jouer un rôle important.

Les écoles d'été du CLEA prouvent que la flamme n'est pas morte. Le travail de formation des formateurs que le CLEA poursuit concrètement depuis 25 ans semble être une bonne direction.

3) La prochaine Assemblée Générale du CLEA

La prochaine Assemblée Générale du CLEA aura lieu à **La Rochelle, le 23 novembre 2003**. Comme d'habitude elle sera précédée, la veille, de la réunion du Conseil du CLEA.

Cette AG se déroulera dans les locaux de l'E.C.O.L.E. de la mer. La conférence sera donnée par le professeur Guy Boistel et portera sur « l'Histoire de l'astronomie nautique aux 18^e et 19^e siècles ». Il paraît que lorsque l'écran de projection est relevé on voit directement l'aquarium aux requins (apporter masques, palmes et tubas). L'organisation sera assurée par Lucette Mayer et Jean-Luc Fouquet.

Il faudra penser à trouver un lieu pour accueillir l'AG 2004. Commencez d'y réfléchir.

4) Nouveaux produits

Notre secrétaire général, Jean Ripert, nous signale que dans les produits vendus par le CLEA, il y a la « documentation photographique des fiches CLEA-Belin ». Pour plus de renseignements contacter le CLEA à Orsay (clea.astro@astro.u-psud.fr ou téléphone 01 69 15 63 80).

5) Opération digitalisation

Une opération de digitalisation des Cahiers-Clairaut a été lancée. En fait cette opération se fait sous deux formes :

1) Digitalisation sous forme d'images. Le volume, en termes de nombre de caractères, est important. Cette opération vise à stocker l'ensemble de la collection sous sa forme originelle. Elle pourrait être distribuée, à terme, sous forme de quelques CD's.

2) Digitalisation avec reconnaissance de caractères (ou parfois saisie manuelle) pour les articles les plus intéressants. Ce format très compact offre l'avantage de pouvoir offrir des textes modifiables. Les utilisateurs peuvent ainsi adapter les textes à leurs besoins.

Si vous souhaitez participer à cette opération vous êtes les bienvenus. Afin de coordonner le travail il est fortement conseillé de demander à notre secrétaire (jripert@ac-toulouse.fr) si l'article que vous projetez de saisir n'a pas déjà été traité par un collègue.

ARTICLES A VENIR

Nous avons plusieurs articles en préparation. Nous vous donnons la liste de ceux qui sont les plus avancés. N'hésitez pas à nous faire savoir ceux que vous aimeriez voir publier rapidement. Nos priorités seront les vôtres

- 1) Histoire : A propos des heures planétaires
- 2) Reportage : L'horloge astronomique de Stralsund
- 3) Curiosités : Un calendrier perpétuel et mental
- 4) Article de fond : Les ondes gravitationnelles
- 5) Article de fond : La réalisation de l'expérience de Cavendish
- 6) Histoire : Arago et la Lune rousse
- 7) Avec nos élèves : La mesure des paramètres du Soleil
- 8) Travaux pratiques : La fabrication d'un petit pendule de Foucault en carton
- 9) Travaux pratiques : La détermination de la distance de la galaxie M31

En 2004 nous commencerons un cours élémentaire d'astronomie et d'astrophysique.

1) Une réalisation du pendule de Foucault-Charron

2) Errare humanum est !

1) Une réalisation du pendule de Foucault-Charron

Jean-Luc Boutolleau nous a envoyé la photographie du pendule de Foucault-Charron réalisé par son club d'astronomie. Ce pendule est semblable à celui que nous décrivions dans le CC 98. Nous publierons bientôt les astucieux systèmes qui permettent de faire les alignements si importants pour le bon fonctionnement du pendule : point d'attache du fil, centre de l'anneau de Charron, masse pendulaire au repos et électro-aimant.

2) Errare humanum est !

Notre collègue Christian Larcher nous a signalé quelques petites erreurs dans l'article sur Newton, dans le CC102 : La date de décès de Képler est 1630 et pas 1601. L'expérience faite par Galilée et dite « de la tour de Pise » n'a peut-être jamais eu lieu selon certains historiens, pas plus que l'histoire de la fameuse pomme de Newton. Enfin, Christian nous rappelle que depuis 15 ans au lycée on utilise la lettre a pour désigner l'accélération, et pas la lettre γ .

Pour conclure, nous donnons une partie du texte de Christian : « En règle générale on voudrait faire croire que les sciences furent une

longue suite de découvertes... et on reconstruit l'histoire des sciences... En réalité ce fut plutôt une longue suite d'erreurs... »

Ce texte très juste nous fait accepter les fautes d'hier et même celles de demain



Transparents animés pour rétroprojecteurs

(8 €)

T1 Le TransSoluTe
(phases de la Lune et éclipses)

T2 Les fuseaux horaires

Filtres colorés

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

CD Rom CLEA 2000

Sciences physiques en seconde
Programme 2000 (8 €)

DIAPPOSITIVES

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

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

Publications du **CLEA**

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



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

Chèques à l'ordre du CLEA.

Les fiches d'activités pédagogiques du CLEA

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

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

Cours polycopiés d'astrophysique

Maîtrise de l'université
Paris XI Orsay

- P1**
Astrophysique générale (10 €)
- P2**
Processus de rayonnement (5 €)
- P3**
Structure interne
et évolution des étoiles (5 €)
- P4**
Astrophysique solaire (5 €)

CONDITIONS D'ADHESION ET D'ABONNEMENT POUR 2003

Adhésion au CLEA pour 2003 5 €
Abonnement aux CAHIERS CLAIRAUT n° 101 à 104 25 €
l'adhésion est indispensable pour tout achat de documents
y compris l'abonnement aux Cahiers Clairaut

Le numéro des Cahiers Clairaut 7 €
COLLECTIONS DES CAHIERS CLAIRAUT des années antérieures :
 14 € par an du début (1978) à 1997 ; 17 € par an à partir de 1998.

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

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

Publications

FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAITRES EN ASTRONOMIE

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

Trois livrets (40 pages en quadrichromie), 1 CDrom et 1 DVD en exclusivité pour le CLEA :

● Livrets "Terre, Planète à Protéger" (par J. diMeglio, géophysicienne) et "L'univers Astronomique" (par A. Acker et J.Cl. Pecker) – Format A5 – Prix unitaire = 1,2 € HT

Livret "La Terre et son Univers en 7 animations" (par M. Dumas) - A4 - Prix unit. = 2,5 € HT

→ **Offre Spéciale = 36 € pour 10 de chacun des livrets (30 en tout) soit chaque livret à 1,2 € HT**

● CDrom "Terre, planète à protéger" (avec animations sonores, vidéos et images) pour 8 € HT

● DVD "40 ans de l'ESO" (d'après un film de 52 min) pour le prix exceptionnel de 4 € HT

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

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

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