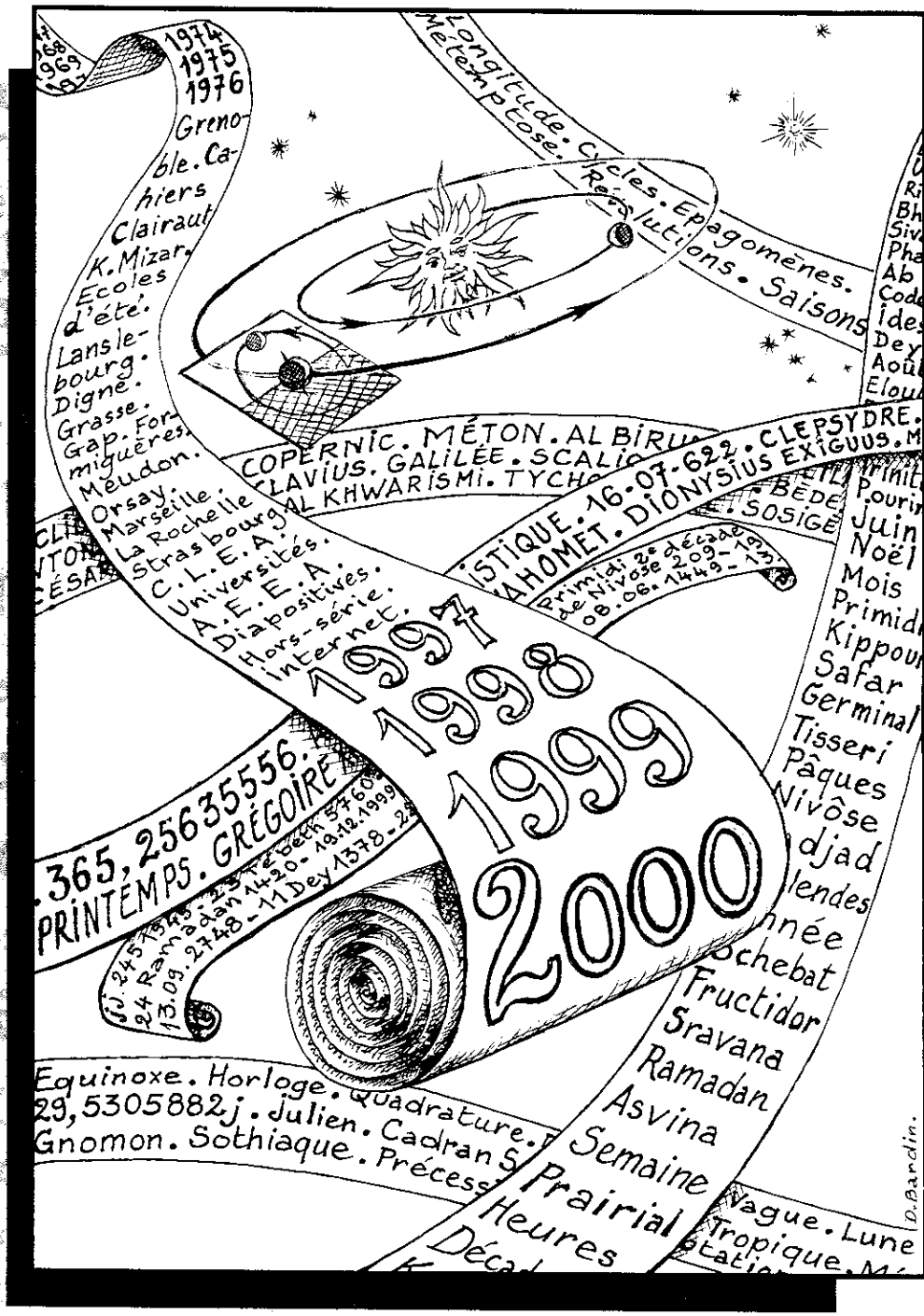
Les Cahiers Clairaut

bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes



numéro 92 - HIVER 2000-2001

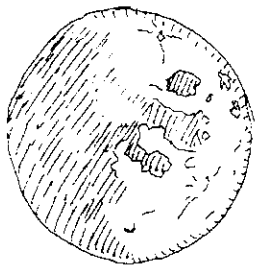
ISSN 0758-234X

Le CLEA

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

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

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



Pour toute information s'adresser au siège du CLEA
Laboratoire d'Astronomie, bât. 470
Université Paris Sud 91405 Orsay cedex
Tel / Fax : 01 69 15 63 80
Le CLEA est présent sur Internet à l'adresse :
http://www2.obs-nice.fr/clea

Bureau du CLEA pour 2000

Présidents d'honneur
Jean-Claude PECKER
Evry SCHATZMAN

Présidente
Lucienne GOUGUENHEIM

Vice-Présidents
Agnès ACKER
Marie-France DUVAL
Jean RIPERT
Josée SERT
Gilbert WALUSINSKI

Rédactrice-Secrétaire
Martine BOBIN

Trésorière-Secrétaire
Catherine VIGNON

Comité de rédaction des Cahiers Clairaut

Daniel Bardin
Francis Berthomieu
Martine Bobin
Michel Bobin
Lucette Bottinelli
Pierre Causeret
Jacky Dupré
Michèle Gerbaldi
Lucienne Gouguenheim
Christian Larcher
Georges Paturel
Jean Ripert
Jean-Paul Rosenstiehl
Daniel Toussaint
Michel Toulmonde
Gilbert Walusinski

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

les Cahiers Clairaut

Hiver 2000-2001 n° 92

EDITORIAL

Ce numéro est à nouveau très riche en expériences pédagogiques, que nous ont communiquées Gérard Frizet, l'infatigable Pierre Causeret, les élèves de Jacky, et Marie-Agnès Lahellec : elles intéressent tous les ordres d'enseignement, de l'école élémentaire au lycée, en passant par le collège. Nous sommes aussi heureux d'avoir reçu plusieurs articles historiques : merci à Colette Le Lay pour ses recherches érudites sur la façon dont on racontait jadis l'astronomie aux dames ; on se réjouit beaucoup du retour de K. Mizar avec sa petite histoire des taches solaires ; et Francis Berthomieu nous a trouvé une nouvelle légende, africaine, cette fois-ci.

Un dessin en dit souvent plus qu'un long discours : on se reportera donc à la pomme et au couteau qui la pèle de Daniel Toussaint pour illustrer un voyage en avion à cap de direction fixe. Et au sauteur de Georges Paturel qui rend lumineux l' "effet tunnel".

Des découvertes astronomiques récentes, avec l'article de fond de Florence Durret sur les amas de galaxies et les potins de la Voie lactée où Lucienne Gouguenheim nous présente la découverte toute récente d'une naine brune de seulement 12 millions d'années : un véritable bébé dans le monde des étoiles !.

Rien pour la Marquise cette fois-ci. L'abondance des autres rubriques, le retard des lectures. Il lui faudra, à elle comme à nous, attendre le printemps !

Ce prochain numéro de printemps rendra aussi compte de l'Assemblée générale du CLEA de Toulouse. Mais sachez déjà que le cédérom du CLEA consacré à l'astronomie du programme de physique de seconde, et qui est la grande vedette de l'Assemblée, est disponible : vous pouvez le commander (cf. p. 35).

Bonne fin de millénaire à toutes et tous.

La rédaction

Article de fond

Les amas de galaxies p. **2**

Avec nos élèves

Une formation en deux ans en S (niveau lycée) p. **8**

L'éclipse de Lune du 9 janvier 2001 (niveau collège et lycée) p. **12**

Calcul de la distance de la Lune (niveau collège et lycée) p. **16**

Un cadran solaire en CM_2 (niveau primaire) p. **20**

Les lois de Kepler en TS (niveau lycée) p. **23**

Histoire

Les livres d'astronomie pour les dames p. **28**

Sur l'histoire des taches du Soleil p. **32**

Les "Enfants du Soleil" p. **34**

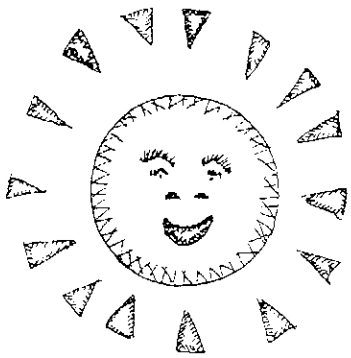
Curiosités

Devinettes pour les apprentis voyageurs p. **36**

L'effet tunnel en images p. **37**

Remue-méninges p. **38**

Les potins de la Voie lactée p. **39**



ARTICLE DE FOND

Les amas de galaxies

Florence Durret, I.A.P.

Les amas de galaxies sont les plus grandes structures connues dans l'Univers qui soient liées par la gravitation. A ce titre, ils intéressent les astronomes, à la fois en ce qui concerne leur étude particulière, et aussi pour les applications qu'ils peuvent avoir en cosmologie (étude de l'Univers dans son ensemble). Nous allons présenter leurs principales propriétés, telles que les puissants instruments d'observation nous les révèlent aujourd'hui.

Aperçu historique

C'est l'astronome suisse Zwicky qui a découvert les amas de galaxies dans les années 1930. Il a tout d'abord constaté que dans certaines régions du ciel les galaxies semblaient se regrouper par dizaines, voire par centaines. Bien sûr, il pouvait s'agir de superpositions fortuites dans le ciel, mais l'obtention de leur décalage spectral a révélé que dans la majorité des cas la plupart des galaxies d'une concentration - ou amas - avaient le même décalage spectral. Ceci a conduit a définir un amas comme un ensemble de galaxies situées toutes à la même distance de nous, et donc interagissant les unes sur les autres par l'attraction gravitationnelle. Zwicky a ensuite découvert que les décalages spectraux des galaxies d'un même amas étaient presque égaux, mais pas tout à fait. Ceci a été interprété comme dû au fait que les galaxies étaient en mouvement les unes par rapport aux autres à l'intérieur de l'amas. Mais les vitesses relatives mesurées étaient alors beaucoup trop grandes pour que l'amas garde sa cohésion. Il devait donc exister dans les amas de la matière invisible dont on ne pouvait deviner l'existence que par ses effets gravitationnels : la matière dite noire ou sombre.

En 1958, Abell a publié le premier grand catalogue d'amas de galaxies, obtenu en observant à la loupe les plaques du relevé photographique du ciel du Mont Palomar. Certains des amas d'Abell sont en fait des superpositions sur le plan du ciel de galaxies sans rapport entre elles, mais en majorité ce sont des amas réels, et ce catalogue est encore très utile à l'heure actuelle.

Dans la fin des années 1960 ont été lancés les premiers satellites d'observations en rayons X. Comme ce type de rayonnement est absorbé par l'atmosphère terrestre, il n'était jusqu'alors pas accessible aux astronomes. Et là, surprise : on a détecté des rayons X en provenance de l'amas de galaxies Coma, un amas très riche et relativement proche ! Ce rayonnement X a ensuite été étudié par des satellites de plus en plus perfectionnés : Ariel V, Einstein, ROSAT, ASCA, et tout récemment Chandra et XMM-Newton, pour citer quelques exemples. On a pu obtenir des images de plus en plus détaillées des amas, ainsi que des spectres ; ces derniers ont permis d'interpréter physiquement ce type de rayonnement comme provenant d'un gaz très chaud et très peu dense. Nous y reviendrons ci-dessous.

L'image des amas de galaxies depuis les années 1970 est donc la suivante : quelques dizaines à quelques centaines de galaxies, distribuées dans du gaz chaud, et de la matière noire, nécessaire pour que les amas gardent leur cohésion. Nous allons

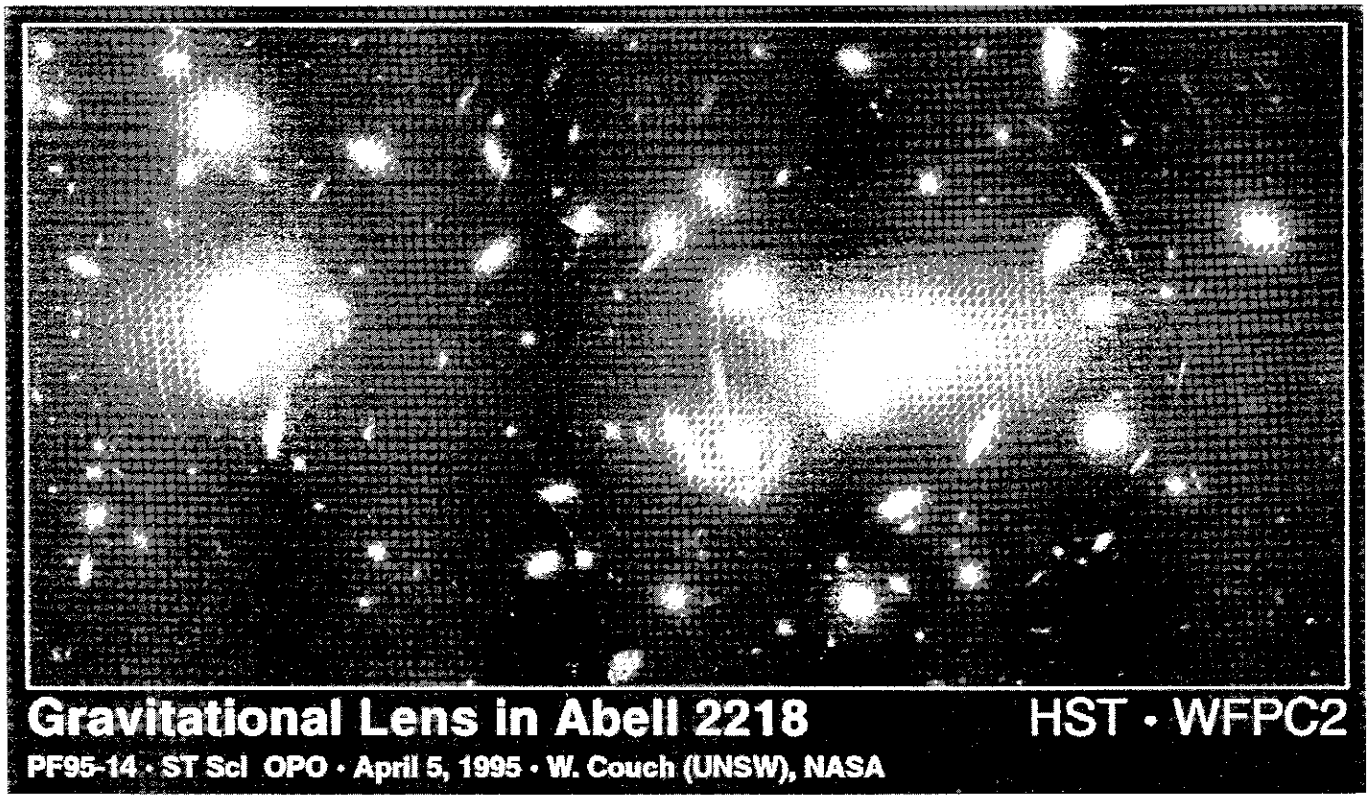


Fig1:Image de la région centrale de l'amas de galaxies Abell 2218 prise avec le télescope spatial Hubble.
On peut y voir un grand nombre de galaxies, ainsi qu'une multitude de petits arcs plus ou moins centrés sur la galaxie la plus brillante vers la droite de la photo.

maintenant préciser les modes d'étude et les propriétés physiques de chacune de ces composantes.

Les galaxies

L'image de la région centrale de l'amas de galaxies Abell 2218 prise avec la caméra à grand champ du Télescope Spatial Hubble est montrée dans la figure 1 ci-dessus. On y voit de nombreuses galaxies, ainsi que des structures en forme d'arcs sur lesquelles nous reviendrons par la suite.

Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, si ce sont des images du ciel qui ont permis la découverte des amas de galaxies, l'apport de la spectroscopie a été crucial dans leur étude. En effet, des galaxies situées à des distances très différentes peuvent apparaître dans des directions très voisines dans le ciel, sans pour autant avoir de rapport physique les unes avec les autres. On doit donc obtenir des spectres de toutes les galaxies pour s'assurer qu'elles sont bien au même décalage spectral.

Le principe de la mesure du décalage spectral $z = (\lambda-\lambda_0) / \lambda_0$, où λ est la longueur d'onde d'une raie mesurée dans le spectre de la galaxie et λ_0 celle de la même raie au repos est le suivant.

Si le spectre de la galaxie présente des raies d'émission comme c'est le cas du spectre montré figure 4, on peut mesurer la position de ces raies sur le spectre et par comparaison avec la longueur d'onde λ_0, on détermine ainsi z.

Pour les galaxies les plus nombreuses, dont les spectres ne présentent que des raies d'absorption, on mesure de combien on doit décaler le spectre obtenu pour pouvoir le superposer au spectre d'une galaxie proche de décalage spectral bien connu, par exemple celui de M31 utilisé comme référence. On peut constater que ces deux spectres se ressemblent beaucoup, mais que les raies d'absorption du premier sont décalées vers la droite (c'est à dire vers le rouge) par rapport au second. Ceci permet de mesurer la différence des décalages spectraux et d'en déduire celui de la galaxie considérée. Ce décalage z est lié à la composante radiale de la vitesse de la galaxie par la relation suivante : $v = c\,((1 + z)^2-1) / ((1+z)^2 + 1)$, où c est la vitesse de la lumière, relation qui est établie dans le cas où la composante radiale de la vitesse n'est pas petite devant c alors que la composante transverse est petite devant c.

Notons que dans le où z est petit devant 1, la relation devient simplement $v = cz$; on retrouve la formule utilisée dans le cas où la vitesse radiale est petite devant c.

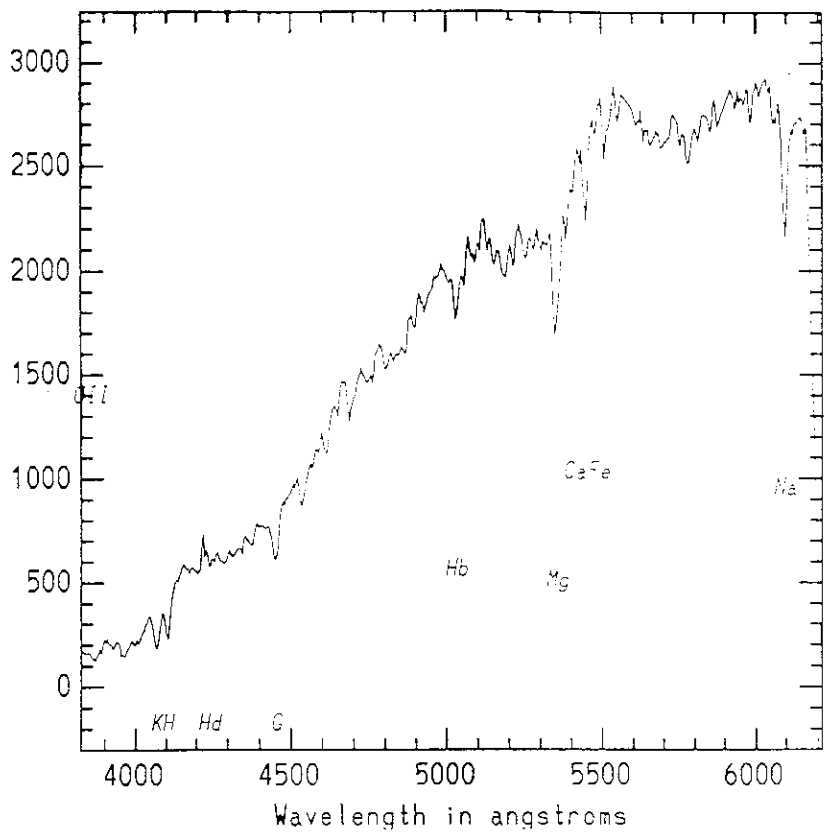
La composante radiale de la vitesse de la galaxie est la somme de sa vitesse dite "cosmologique", qui traduit l'expansion de l'Univers, et de la composante radiale de sa vitesse particulière.

L'intérêt de la spectroscopie des galaxies n'est pas seulement de confirmer leur appartenance à l'amas parce que les z sont voisins, mais aussi de pouvoir

Fig. 2 : spectre d'une galaxie de l'amas Abell 85 dont on cherche à déterminer le décalage spectral.

On constate que les raies d'absorption notées H et K se placent de part et d'autre de la longueur d'onde 4100 A

cz (galaxie) - cz (M31) = 10 583 +/- 20 km / s.



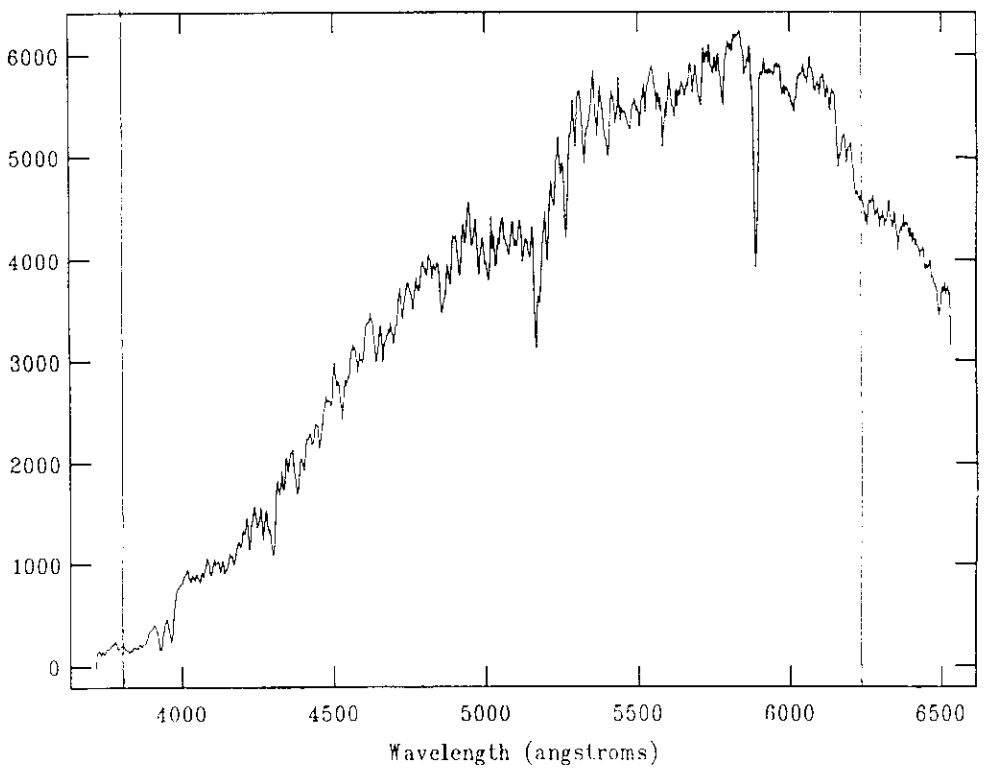


Fig.3 : spectre de référence de la galaxie M 31, qui n'est pas décalée vers le rouge.

Cette fois, les raies H et K tombent en dessous de 4000 A.

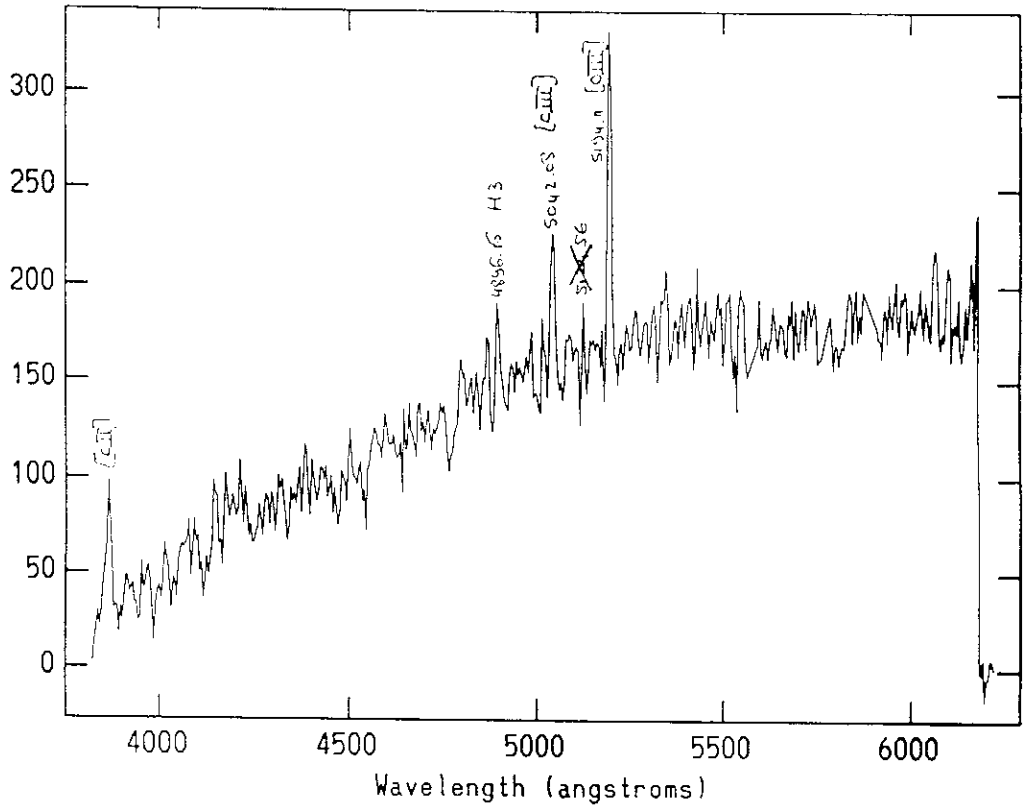


Fig. 4 : spectre d'une galaxie à raies d'émission.
On a identifié 4 raies : de gauche à droite une raie de [OII] (oxygène une fois ionisé), la raie de Balmer Hβ de l'hydrogène et deux raies de [OIII] (oxygène deux fois ionisé)

étudier leurs mouvements les unes par rapport aux autres. C'est ainsi que l'on a pu soupçonner l'existence de matière noire dans les amas.

On peut également étudier la manière dont se distribuent les galaxies à raies d'émission par rapport à celles dont le spectre ne présente que des raies d'absorption. On s'aperçoit ainsi que les galaxies à raies d'émission, qui sont le plus souvent des galaxies spirales, sont souvent situées à la périphérie des amas. Au contraire, les galaxies elliptiques, qui ne présentent quasiment jamais de raies d'émission, sont davantage concentrées au centre des amas. Ceci peut s'expliquer de manière naturelle dans l'hypothèse où les galaxies elliptiques sont formées par fusion de galaxies spirales. Les rencontres de galaxies étant plus probables dans les régions centrales plus denses des amas, il est alors normal d'y observer plus de galaxies elliptiques, tandis que les galaxies spirales sont plutôt dans les régions périphériques.

Depuis une dizaine d'années des spectrographes dits "multi-objets" sont disponibles sur plusieurs télescopes de la classe des 4 mètres (et vont l'être sur celle des 8 mètres). Ils permettent d'obtenir non plus le spectre d'une galaxie à la fois, mais ceux de plusieurs dizaines, voire maintenant de plusieurs centaines de galaxies à la fois. L'étude observationnelle des propriétés dynamiques des amas s'est donc considérablement développée depuis dix ans.

Il ne faut pas pour autant oublier l'imagerie (toujours en lumière visible). En effet, on dispose maintenant depuis une vingtaine d'années de détecteurs très sensibles, numérisés (fournissant donc des données pouvant être traitées directement par ordinateur) et linéaires (c'est à dire donnant une mesure directement proportionnelle à la quantité de lumière reçue) : les CCD (Charged Coupled Devices). Ces détecteurs sont utilisés à la fois en imagerie et en spectroscopie.

Des images obtenues avec des caméras CCD lors de poses courtes avec des télescopes de taille modeste, de l'ordre de 2 mètres de diamètre, permettent grâce à l'emploi de filtres d'analyser les propriétés des galaxies et leur distribution dans l'amas. Si par exemple on fait une pose avec un filtre bleu, puis une pose avec un filtre rouge, on pourra déterminer quelles galaxies sont plus riches en étoiles bleues (chaudes et relativement jeunes) et quelles galaxies sont plutôt riches en étoiles rouges (plus froides et plus vieilles). Ceci peut nous renseigner sur la formation d'étoiles dans les diverses galaxies, et éventuellement sur l'influence que peut avoir le gaz chaud sur cette formation d'étoiles.

L'imagerie est un moyen d'obtenir des catalogues de galaxies susceptibles d'appartenir à des amas ; ce type de catalogue sert ensuite de base pour des observations spectroscopiques.

Avec un catalogue de galaxies dans la direction d'un amas, il est possible par exemple, de tracer la "fonction de luminosité", ce qui consiste à compter

le nombre de galaxies par intervalle de magnitude. C'est un moyen important de connaître la distribution des galaxies dans les amas.

On peut en particulier comparer la forme des fonctions de luminosité pour différents amas, et aussi la comparer à celle des galaxies dites "de champ" (c'est à dire n'appartenant pas à un amas).

Enfin, l'imagerie dite "profonde", c'est à dire obtenue avec des télescopes de la classe des 4 mètres avec des temps de pose de l'ordre d'une à plusieurs heures, permet d'observer des galaxies beaucoup plus faibles, membres ou non de l'amas. C'est aussi un moyen privilégié de déterminer la distribution de la matière noire, par l'intermédiaire des arcs gravitationnels. Cette méthode va être décrite ci-dessous.

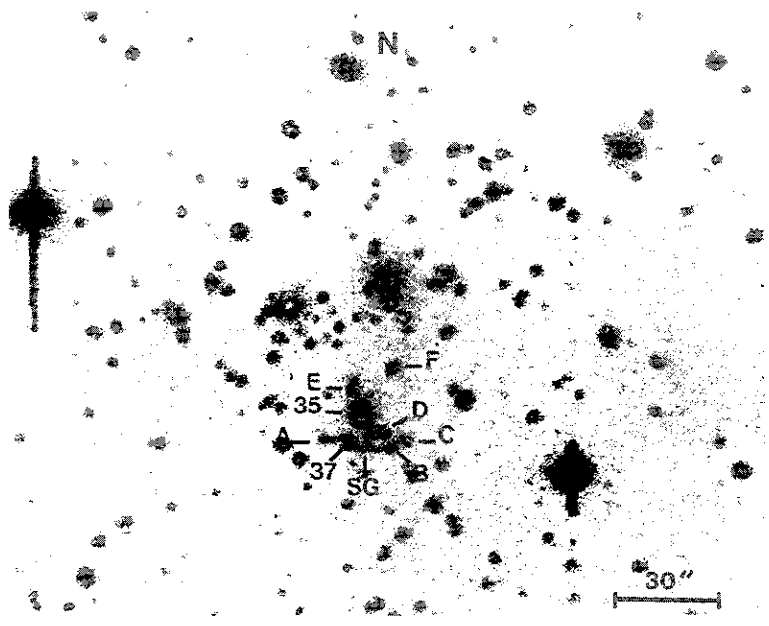


Fig 5 : première image de l'arc gravitationnel géant dans l'amas Abell 370.

Cet arc est en fait l'image d'une galaxie d'arrière plan déformée et amplifiée par la masse contenue dans l'amas de galaxies situé entre elles et nous.

Les arcs gravitationnels et la matière noire

La première image de l'amas Abell 370, obtenue par Geneviève Soucail et ses collaborateurs en 1987, est présentée dans la figure 5. Outre de nombreuses galaxies, on y voit une grande structure en forme d'arc. Celle-ci a été interprétée comme due à une galaxie d'arrière-plan dont l'image est déformée et amplifiée par l'amas de galaxies situé presque exactement dans la même direction. Cette interprétation a été inspirée par une théorie d'Einstein selon laquelle toute concentration de masse défléchit les rayons lumineux. Si une galaxie très lointaine est située exactement derrière un amas, la masse considérable de l'amas va alors être capable de défléchir, et aussi d'amplifier les rayons lumineux provenant de la galaxie, dont l'image apparaîtra alors déformée en un, voir plusieurs arcs. Le schéma figure 6 résume la forme des différents arcs selon l'alignement plus ou moins parfait entre la galaxie lointaine, l'amas de galaxies jouant le rôle de lentille et l'observateur.

A partir de la forme de l'arc (ou des arcs, s'il y en a plusieurs), il est possible par des calculs mathématiques assez complexes, de remonter à la distribution de matière dans l'amas. Comme il s'agit essentiellement de matière noire, on a alors une estimation de la distribution de matière noire dans l'amas.

Le gaz émetteur X

Une image de l'amas Abell 85 en rayons X est montrée figure 7. On voit que la structure est à peu près sphéroïdale, avec une sous-structure vers le bas et une sorte de long filament orienté vers le coin inférieur gauche de l'image. La plupart des amas en rayons X présentent une structure relativement homogène et régulière.

Tout comme en lumière visible, il est également possible d'obtenir des spectres en rayons X. Ceux-ci ont pu être interprétés comme dus au rayonnement dit de freinage qu'émettent les électrons lorsqu'ils passent au voisinage des protons ou autres ions chargés positivement. Un tel mécanisme implique l'existence d'un milieu très chaud (des dizaines de millions de degrés) et très peu dense (10^{-3} à 10^{-2} particules par cm^3), où tous les atomes sont entièrement ionisés. Les images obtenues ces vingt dernières années par le satellite Einstein et ceux qui l'ont suivi ont confirmé qu'en rayons X les amas de galaxies apparaissent comme des halos de gaz émetteur X dans lesquels sont incluses des dizaines, voire quelques centaines de galaxies, ce qui est en accord avec l'hypothèse que les amas de galaxies sont bien des structures liées par la gravitation.

Si l'on suppose que le gaz émetteur X est en équilibre dans le potentiel gravitationnel de l'amas, dominé par la matière noire, on peut alors considérer que le gaz X est un traceur de la distribution de matière dans l'amas. Il devient alors possible d'estimer la distribution de matière (essentiellement noire) dans l'amas, et de comparer celle-ci à celle obtenue grâce à la méthode des arcs gravitationnels. L'accord est en général excellent.

Conclusions

Nous avons vu que les amas de galaxies constituaient un champ d'étude passionnant, du fait des nombreux phénomènes physiques dont ils sont le siège. Des instruments de plus en plus performants viennent d'être mis en service : le VLT (Very Large Telescope)

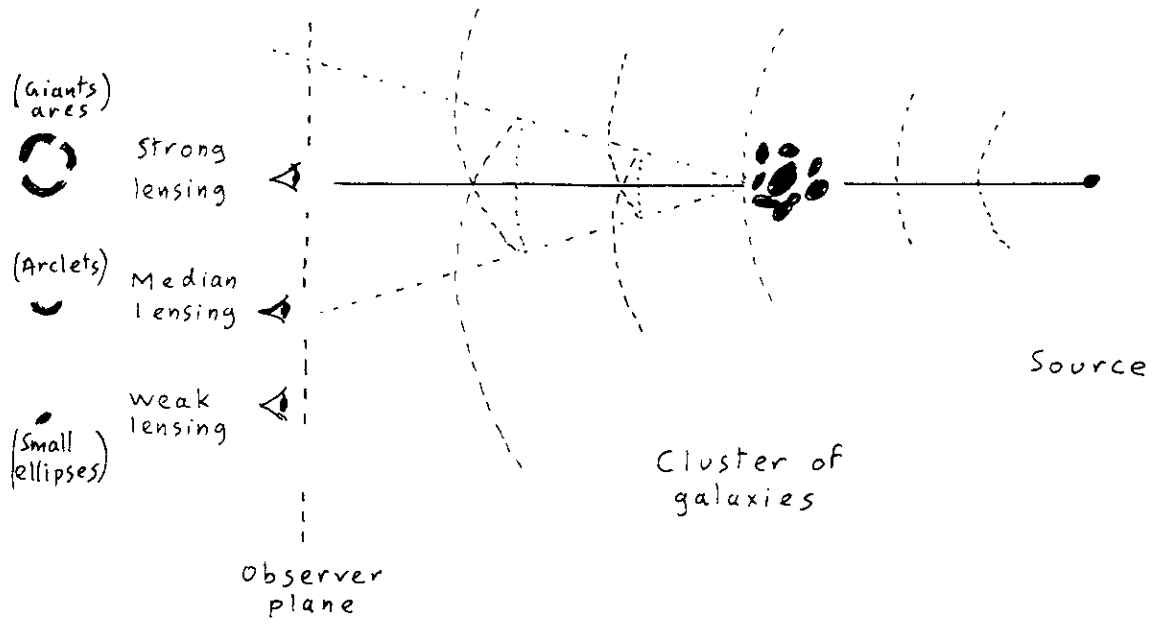


Fig. 6 : schéma montrant comment l'image d'une galaxie d'arrière-plan peut-être déformée selon que l'alignement entre cet objet, l'amas de galaxies jouant le rôle lentille et l'observateur est plus ou moins grand. Les angles ont évidemment été grossis.

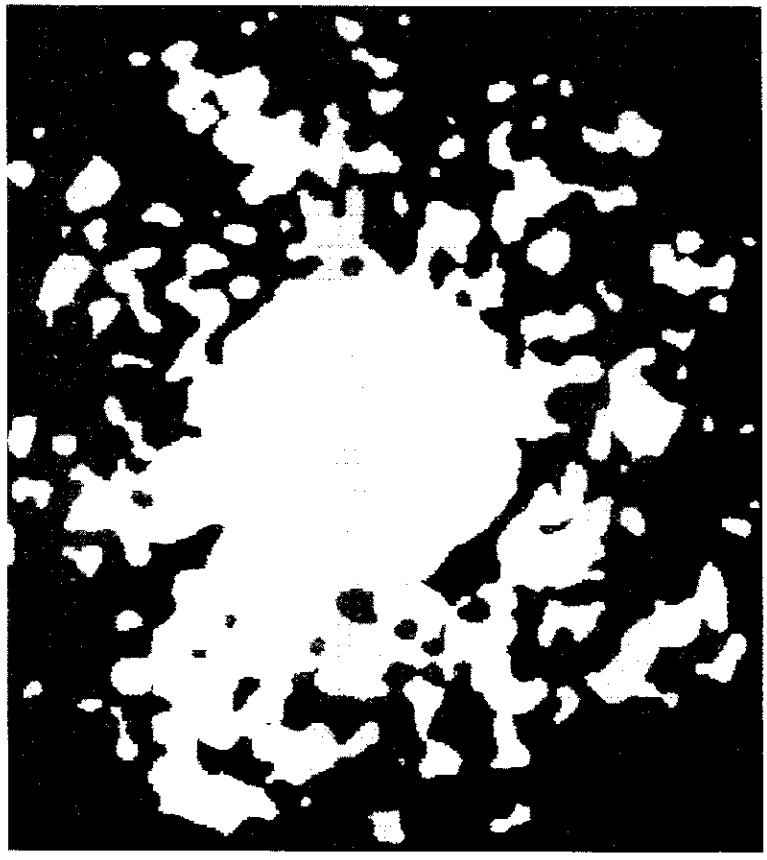


Fig. 7. Image de l'amas de galaxies Abell 85 en rayons X, prise avec le Compteur Proportionnel du Satellite ROSAT.

de l'Observatoire Européen Austral, au Chili, ensemble de quatre télescopes fonctionnant dans les domaines visible et infrarouge, les satellites américain Chandra et européen XMM-Newton fonctionnant en rayons X. Et n'oublions pas la puissance sans cesse accrue des ordinateurs qui permettent à la fois de traiter des volumes considérables de données observationnelles, mais aussi de réaliser des simulations numériques avec des précisions de plus en plus grandes, ce qui permet de cerner de mieux en mieux la réalité. On notera que les amas sont aussi des traceurs de la structure de l'Univers à plus grande échelle encore, mais ceci fera peut-être l'objet d'un autre article.

Quelques chiffres.

Dimension typique d'un amas : 2 ou 3 Mpc de rayon (1 Mpc vaut environ 3 millions d'années lumière).

Masse totale d'un amas : environ 10^{15} fois la masse du Soleil, les galaxies (en général quelques centaines) représentant quelque % de cette masse, le gaz chaud émetteur X environ 15 à 20%, et la matière noire le reste de la masse.

■

AVEC NOS ÉLÈVES

Une formation en deux ans en S

Gérard Frizet

Gérard Frizet, professeur de math à Dreux, nous présente un travail effectué sur deux ans avec des élèves scientifiques. L'expérience commencée en 1ère S en collaboration avec un deuxième professeur de math., Samuel Gaultier a pu être poursuivie en Term. S l'année suivante.

Nous avons choisi d'exposer ici le TP "centre de masse et barycentre" en 1ère S et un problème posé en Term. S sur l'éclipse de Soleil du 11 août. La solution sera donnée dans le CC 93.

Progression en première S
(1998-1999)

Exercices de sensibilisation (petits angles, système solaire, constellations).

TP sur les barycentres (Lune-Terre ; Lune-Terre-Soleil ; Soleil-Jupiter).

Travail en groupes sur les planétaires (en trois fois) ; partage selon les choix (Terre et Mars ; Terre et Vénus).

Constitution pour chaque élève d'un dossier final examiné et noté par une personne extérieure à la classe.

Information sur les éclipses.

Progression en terminale S
(1999-2000)

Octobre : thème d'étude sur l'éclipse du Soleil du 11 août proposé à deux classes de terminale S.

Novembre : installation de l'exposition réalisée par la S.A.F. et achetée par le C.N.D.P.de Tours ; cette exposition ayant été très demandée avant l'éclipse du 11 août n'a pu être réservée qu'à ce moment. Prise en charge par quelques élèves de cette classe de l'animation de cette exposition et montage d'un questionnaire à l'intention des visiteurs.

Mars : questionnaire posé par le professeur de physique.

Malgré la pression psychologique exercée par la préparation au bac S, les élèves étaient motivés par certains travaux à condition de leur donner une ampleur "raisonnable" et de les monter dans l'esprit des programmes de math. et de physique.

TP sur les barycentres (1ère S)

Quelques rappels sur les barycentres.
(cours de math.).

1- Barycentre de deux points pondérés.

Soient a et b deux réels de somme non nulle.
G est le barycentre de (A ; a) et (B ; b) signifie que :

(1) $a\overrightarrow{GA} + b\overrightarrow{GB} = \overrightarrow{0}$

Ce qui équivaut aussi à : pour tout point M de l'espace,

(2) $a\overrightarrow{MA} + b\overrightarrow{MB} = (a+b)\overrightarrow{MG}$

En remplaçant M par A dans la relation (2) on obtient :

(3) $\overrightarrow{AG} = \frac{b}{a+b}\overrightarrow{AB}$

Rq. : si a et b sont de même signe, alors :

$\frac{b}{a+b} \in]0;1[$ et donc G appartient à]A B[.

Si G est barycentre de (A ; a) et (B ; b) alors G est aussi barycentre de (A ; ka) et (B ; kb) avec k réel non nul.

2 - Barycentre de trois points pondérés.

On définit de même le barycentre de trois points (A ; a) (B ; b) et (C ; c) (avec a.b.c de somme non nulle).

Théorème du barycentre partiel :

Si G est le barycentre de (A ; a) (B ; b) et (C ; c) et si la somme a + b est non nulle, alors G est barycentre de (A ; a) et (I ; a + b) où I est le barycentre de (A ; a) et (B ; b).

Barycentre et centre de masse
(cours de physique)

P1 : le centre de masse d'un système de solides est le barycentre des centres de masse de ses parties, chaque centre de masse partiel étant affecté d'un coefficient égal à la masse de la partie qu'il représente.

P2 : le centre de masse d'un solide coïncide avec son centre d'inertie.

P3 : le centre de masse d'une boule est le centre de la boule.

Exercice

On donne les informations suivantes sur le Soleil, la Terre et la Lune :

Masses en kg :
$m_S = 2,0 \times 10^{30}$; $m_T = 6,0 \times 10^{24}$; $m_L = 7,3 \times 10^{22}$.
Rayons en m :
$R_S = 7,0 \times 10^8$; $R_T = 6,4 \times 10^6$; $R_L = 1,7 \times 10^6$.
Distance Terre-Soleil : $1,5 \times 10^{11}$ m
Distance Terre-Lune : $3,8 \times 10^8$ m.

1 - Situer de façon précise le centre de masse du système Terre-Lune : c'est le point qui décrit une ellipse autour du Soleil.
On fera une figure à l'échelle en prenant 2 cm (ou 4 cm) pour le diamètre de la Terre.

2 - Le centre de masse du système Terre-Lune-Soleil est-il à l'intérieur du Soleil ?

3 - Chercher la masse et le rayon de Jupiter. Quelle est la distance Jupiter-Soleil ?
Le centre de masse Jupiter-Soleil est-il à l'intérieur du Soleil ?

Le système Terre-Lune

On note T le centre de la Terre, L celui de la Lune et G le centre de masse du système Terre-Lune.

G est le barycentre des points pondérés (T ; m_T) et (L ; m_L)
m_T est la masse de la Terre : $m_T = 6,0 \times 10^{24}$ kg
m_L est la masse de la Lune : $m_L = 7,3 \times 10^{22}$ kg
En multipliant les coefficients par 10^{-22} on en déduit que G est le barycentre des points (T ; 600) et (L ; 7,3).

Construction de G.

$\overrightarrow{TG} = \frac{7,3}{600+7,3}\overrightarrow{TL}$ donc $\overrightarrow{TG} = 0,012\overrightarrow{TL}$

G est situé à l'intérieur du segment]TL[. on a donc pour les distances : TG = 0,12 TL.

Position de G par rapport au centre de la Terre.

En prenant TL = 380 000 km on obtient TG = 4560 km et en notant R le rayon de la Terre (R = 6 400 km)on a :

$\frac{TG}{R} \approx 0,71$

Le centre de masse du système Terre -Lune est donc situé à l'intérieur de la Terre à une distance d'environ 2/3 du centre de la Terre.

Représentation

En choisissant 2 cm pour représenter le rayon de la Terre, on obtient TL = 118,75 cm soit 1,19 m environ.

Le système Terre-Lune-Soleil

T, L, et S sont les centres respectifs de la Terre, de la Lune et du Soleil.
m_T, m_L, m_S sont les masses respectives de ces trois astres.
C est le centre de masse du système Terre-Lune-Soleil.
C est le barycentre des points pondérés (T ; m_T), (L ; m_L) et (S ; m_S).
On multiplie les coefficients par 10^{-22}. C est donc le barycentre de (T ; 600), (L ; 7,3), (S ; 2×10^8)

Construction de C.

On remplace les deux premiers points par leur barycentre partiel affecté de la somme de leurs coefficients : 607,3.
G est le centre de masse du système Terre-Lune. C est le barycentre des points massifs (G ; 607,3) et (S ; 2×10^8).
Donc C est un point du segment]GS[.

Position de C par rapport au centre du Soleil.

Compte- tenu des résultats obtenus pour le système Terre-

Lune à savoir $\frac{0{,}71 \times R}{TS} \approx 3 \times 10^{-5}$ à comparer avec la précision (10^{-2}) des distances données, on peut prendre pour valeur approchée de SG la valeur de ST soit $1{,}5 \times 10^8$ km.

Par (3) on obtient : $\overrightarrow{SC} = \frac{607{,}3}{2 \times 10^8 + 607{,}3} \overrightarrow{SG}$

donc métriquement : 607,3 SG = (2×10^8 + 607,3) SC.
La distance SC est donc égale à 456 km environ.
Le Soleil a pour rayon $R_S = 7 \times 10^5$ km. On a donc
SC = $6{,}51 \times 10^{-4}$ R_S environ.

Le centre de masse du système Terre-Lune est donc très proche du centre du Soleil.

Le système Soleil-Jupiter

On note J le centre de Jupiter, S le centre du Soleil et C' le centre de masse Soleil -Jupiter.

Construction de C'.

C' est le barycentre des points pondérés (S ; m_S) et (J ; m_J)

donc : $\overrightarrow{SC'} = \frac{m_J}{m_S + m_J} \overrightarrow{SJ} = \frac{\frac{m_J}{m_S}}{\frac{m_J}{m_S} + 1} \overrightarrow{SJ}$

Or $\frac{m_J}{m_S} = \frac{1}{1048} \approx 10^{-3}$

D'où métriquement : $SC' = \frac{\frac{1}{1048}}{\frac{1}{1048} + 1} SJ$

Or SJ = $7{,}7797 \times 10^8$ km (distance moyenne de Jupiter au Soleil). On obtient dons SC' = $7{,}4163 \times 10^5$ km.

Comparaison avec le rayon du Soleil.

Le rayon du Soleil est 700 000 km et SC' = 741 000 km environ.
Donc Jupiter est si massif que le centre de masse C du système Soleil-Jupiter se trouve en dehors du Soleil.

Note :

Les questions qui ont suivi ce travail ont permis d'aborder la théorie de la gravitation, d'expliquer le principe des systèmes doubles, de Pluton et Charon, de comprendre comment, à partir de l'observation des mouvements périodiques d'un corps on peut déterminer la présence d'autres corps ou satellites invisibles.

TP en terminale S
"L'éclipse du Soleil du 11 août 1999"

Introduction.

Le 11 août 1999, certaines revues annonçaient que la grandeur de l'éclipse de Soleil dans la région de Nice était, à son maximum, de 80 % (ou 0,8). On suppose que ce jour là, le Soleil et la Lune sont vus sous un même diamètre apparent.

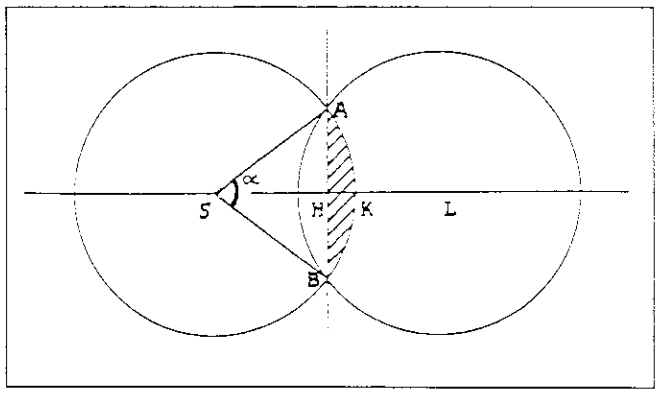
1 - Sauriez-vous dessiner ce qu'un observateur a vu depuis Nice au maximum de ce phénomène ?
2 - Dessinez les deux disques lorsque la grandeur de l'éclipse atteignait 50 %.

Problème étudié.

On s'intéresse au rapport μ pourcentage du disque solaire "recouvert" par la Lune. Le nombre 1 - μ est donc la fraction illuminée du disque solaire. Pour simplifier, on supposera que le déplacement apparent du disque lunaire est rectiligne et uniforme selon le ligne des centres.

Si on note R le rayon du disque solaire (et du disque lunaire) et s l'aire du domaine hachuré, on aura :

$\mu = \frac{2s}{\pi \times R^2}$ on a évidemment $0 \leq \mu \leq 1$



Partie A.

On veut réaliser le dessin de l'éclipse aux instants où : μ = 50 % ; μ = 80 % ; μ = 90 %. pour cela on souhaite trouver une mesure en degrés de l'angle ASB à 0, 5 degré près.

1 - Prouver que : $\mu = \frac{1}{\pi}(\alpha - \sin\alpha)$

où α est la mesure en degrés de l'angle ASB.

2 - On choisit μ = 0,5.

a) montrer que la recherche de α se ramène à la résolution dans]0 ; π[de l'équation (E) : x - sinx - π / 2 = 0.

b) On considère la fonction f de $[0 ; \pi]$ dans R définie par $f(x) = x - \sin x - \pi / 2$
Justifier que (E) a une solution unique α dans $]0 ; \pi[$ et trouver un encadrement de α à 10^{-3} près.

3 - On veut répéter la stratégie pour de nombreuses valeurs de μ.

a) Montrer que la recherche de α se ramène à la résolution dans $]0 ; \pi[$ de l'équation (F) : $x - \sin x - \pi.\mu = 0$.
En utilisant une fonction f_μ convenable, justifier que (F) a une solution unique α que l'on ne cherchera pas à expliciter.

b) Programmer f_μ et trouver une valeur approchées de α pour $\mu = 0,6$; $\mu = 0,8$; $\mu = 0,9$.

4 - Réaliser les dessins correspondants aux cas $\mu = 0,6$; $\mu = 0,8$; $\mu = 0,9$.

5 - On souhaite contrôler les réponses obtenues par calcul à l'aide d'une méthode graphique précise. On a l'équivalence suivante :

$$\begin{cases} x - \sin x - \pi \cdot \mu = 0 \\ 0 \le x \le \pi \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \sin x = x - \pi \cdot \mu \\ 0 \le x \le \pi \end{cases}$$

Soit (C) la courbe représentant la fonction sinus dans le plan muni d'un repère orthogonal $\Re = (0, \vec{u}, \vec{v})$
Soit D_μ la droite d'équation $y = x - \mu.\pi$.

a) Sur papier millimétré tracer avec une grande précision le morceau de courbe (C) correspondant à $[0 ; \pi]$

Prendre 24 cm pour $\|\pi.\vec{u}\|$ et 15 cm pour $\|\vec{v}\|$

b) Lire sur le graphique une valeur approchée de α sous la forme $\frac{m\pi}{n}$ où m et n sont des entiers.

Contrôler ainsi les résultats du 2 - b) et du 3 - b).

Partie B.

Les astronomes appellent grandeur de l'éclipse, notée g, le rapport des distances :

$g = \frac{HK}{R}$ (cf. la figure de la page 3).

1 - Prouver que $g = 1 - \cos(\alpha / 2)$

2 - On rappelle que $\mu = (1 / \pi) . (\alpha - \sin \alpha)$.
Pour chaque valeur de g comprise entre 0 et 1 de 0,05 en 0,05 calculer la mesure en radians de l'angle ASB (à 10^{-3} près), la mesure en degrés de l'angle ASB (à 0,5° près) puis μ (à 10^{-3} près).

3 - Tracer la courbe (Γ) représentant la fonction ϕ de $[0 ; 1]$ dans $[0 ; 1]$ telle que $\phi(g) = \mu$.

Questionnaire élaboré par les élèves de TS à l'occasion de l'exposition consacrée au Soleil et à l'éclipse du 11 août.

Lune.
1 - Pourquoi parle-t-on d'anciennes mers sur la Lune alors que l'analyse de roches lunaires a démontré qu'il n'y a jamais eu d'eau à cet endroit ?
2 - Pourquoi les traces de pas laissées par les astronautes sur la Lune ne s'effaceront jamais ?

Planètes.
3 - Quels sont les différents types de planètes ? Dans quelle catégorie chaque planète se situe-t-elle ?
4 - Quels sont les différents mouvements des planètes (repère héliocentrique) ? Sont-ils les mêmes que ceux de la Terre ?

Lune
5 - A quelle phase de la Lune se produisent les éclipses de Soleil ? Quelle est alors la position de la Lune ?
6 - Quelle est la période du mouvement de révolution de la Lune autour de la Terre ? Conséquences ?
7 - Les mers "lunaires" sont-elles comparables aux mers terrestres ? Quel est le nom de la mer sur laquelle Armstrong et Aldrin ont marché le 21 juillet 1969 ?

Planètes.
8 - D'où vient le nom des planètes du système solaire ? Produisent-elles de la lumière ?
9 - Qu'appelle-t-on éclipse annulaire ? Explication du phénomène ?
10 - La Lune peut-elle éclipser les étoiles ? quel nom donne-t-on à ce phénomène ?
11 - Lors d'une éclipse de Soleil, quel est l'ordre de grandeur de la largeur de l'ombre à la surface de la Terre ?
500 km ? 4 800 km ? 15 000 km ?
Quelle est la vitesse du déplacement du cône d'ombre à la surface de la Terre ?
20 $km.h^{-1}$? 1 295 $km.h^{-1}$? 3 380 $km.h^{-1}$?
12 - Dans "le temple du Soleil", quel peuple vénère le Soleil ?
Quelle est la prochaine date où l'éclipse de Soleil sera vue totale depuis Paris ?

Soleil.
13 - Quelle est la différence entre facules et taches ?

Etoiles.
14 - Quels sont les facteurs intervenant sur la luminosité des étoiles ?
15 - L'étoile la plus proche de nous est Proxima Centauri. Elle est distante de la Terre d'environ 40 000 milliards de km.
Combien de temps sa lumière met-elle à nous parvenir ?
16 - Comment s'est formé le Soleil ?
17 - D'où provient la couleur rouge du Soleil ?

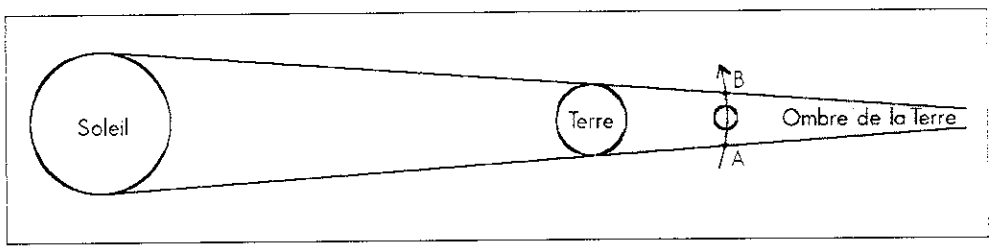
■

AVEC NOS ÉLÈVES

L'éclipse de Lune du 9 janvier 2001

Pierre Causeret

On cherche à calculer les horaires des différentes phases de cette éclipse de Lune, connaissant l'heure du maximum de l'éclipse ainsi que la distance minimale du centre de la Lune au centre de l'ombre de la Terre



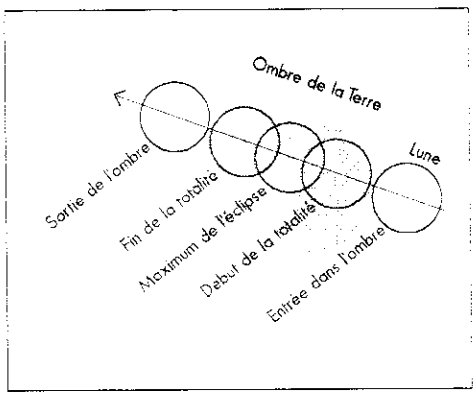
Description de l'éclipse.

Quand la Lune tourne autour de la Terre, il lui arrive de passer dans l'ombre de notre planète : c'est une éclipse de Lune. Toute une moitié de la Terre peut alors l'observer.

Attention, sur ce type de schéma (ci-dessus), les proportions ne sont pas respectées. On ne peut représenter lisiblement à une même échelle la Terre, la Lune, le Soleil et les distances Terre Lune ou Terre Soleil. Si on représente par exemple la Terre par un disque d'un cm de diamètre, la Lune aurait un diamètre de 3 mm et serait située à 30 cm. Quant au Soleil, il serait distant de 120 m et son diamètre serait supérieur à 1 m !!

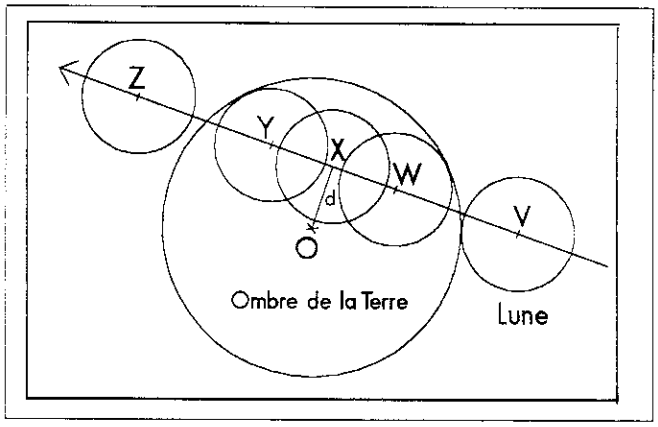
Lors d'une éclipse totale de Lune, un observateur terrestre voit d'abord la Pleine Lune entrer dans l'ombre de la Terre, être ensuite totalement éclipsée puis ressortir. Les différentes phases sont :

- l'entrée dans l'ombre ou le début de l'éclipse ;
- le début de la totalité ;
- le maximum de l'éclipse ou le milieu de la totalité ;
- la fin de la totalité ;
- la sortie de l'ombre ou la fin de l'éclipse ;



Le calcul des horaires de l'éclipse.

Connaissant l'heure du maximum de l'éclipse (passage de la Lune en X), on veut calculer les autres horaires (heures de passage de la Lune en V, W, Y et Z).
(cf. figure page suivante).



Les données

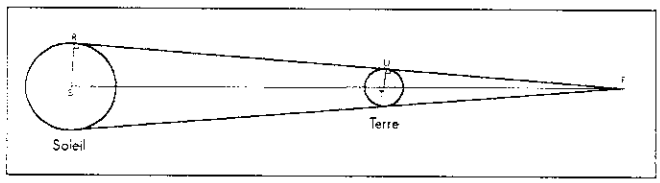
- Rayon de la Lune : 1 740 km.
- Rayon de la Terre : 6 370 km.
- Rayon du Soleil : 700 000 km.
- Durée de la lunaison : 29,5 jours.
- Distance minimale du centre de la Lune au centre de l'ombre de la Terre : d = 2269 km.
- Distance du Soleil : 147 100 000 km.
- Distance de la Lune (donnée de centre à centre) : 357 000 km.
- Heure du maximum de l'éclipse : 20h21 TU (ajoutez 1 h pour obtenir l'heure légale).

On pourra calculer :

a) La longueur du cône d'ombre de la Terre.
b) Le rayon de l'ombre à la distance de la Lune.
c) La vitesse de la Lune par rapport à l'ombre .
d) Les distances VX et WX.
e) Les horaires demandés.

Solutions

a) Calcul de la longueur TP du cône d'ombre de la Terre.



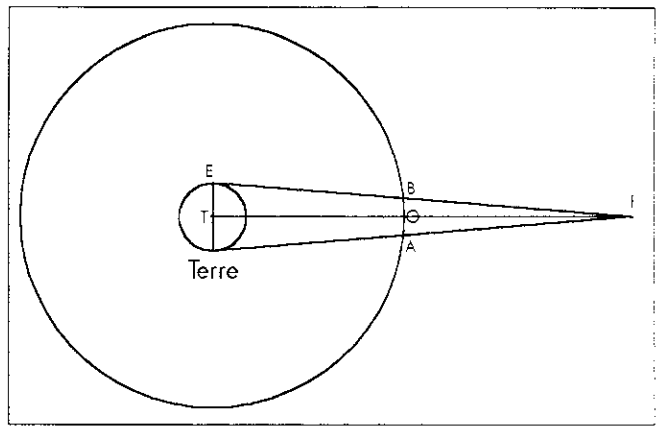
Notons x la longueur TP : SP = ST + TP = ST + x
Le théorème de Thalès permet d'écrire :
TP / SP = TU / SR d'où :

$$\frac{x}{x+ST} = \frac{6370}{700000}$$

Avec ST = 147 100 000 km on obtient x =1 351 0000 km.

b) Calcul du rayon OB de l'ombre à la distance de la Lune

On considère (ET) et (OB) parallèles.



On utilise là encore le théorème de Thalès : $\frac{OP}{TP} = \frac{OB}{TE}$
TP = 1 351 000 km ; TE = 6370 km
OP = 1 351 000 - 357 000 = 994 000 km
d'où OB = 4690 km environ.

c) Vitesse de la Lune par rapport à l'ombre de la Terre

La Lune tourne autour de la Terre en 29,5 jours par rapport au Soleil ou par rapport à l'ombre de la Terre. Cette période s'appelle aussi lunaison ; c'est l'intervalle de temps séparant deux pleines lunes ou 2 nouvelles lunes.

Si on suppose que la Lune tourne autour de la Terre en décrivant un cercle de 384 400 km de rayon (la distance moyenne Terre Lune) à vitesse constante, on peut calculer simplement la vitesse v de la Lune (en km . h^{-1}) :
$v = (2 \times \pi \times 384\,400) / (29{,}5 \times 24)$.
On obtient 3410 km / h (ou 57 km / min).

En réalité, la vitesse de la Lune sur son orbite est variable et le calcul doit se faire avec les lois de Kepler (voir compléments). Pour des élèves de collège ou de seconde, on peut d'abord effectuer le calcul approximatif ci-dessus puis leur donner le résultat précis qui dépend de la distance Terre Lune.

d) Distances VX et WX

$OV = r_O + r_L$ (rayon de l'ombre + rayon de la Lune)
On connaît d. Le théorème de Pythagore dans le triangle OVX permet de calculer XV. On trouve 6020 km.
$OW = r_O - r_L$ (rayon de l'ombre - rayon de la Lune). Avec le théorème de Pythagore dans OWX, on trouve 1880 km pour XW.

e) Horaires.

Connaissant la vitesse v et la distance à parcourir, on peut calculer le temps que met la Lune pour passer de V à X et de W à Y et déterminer les horaires.

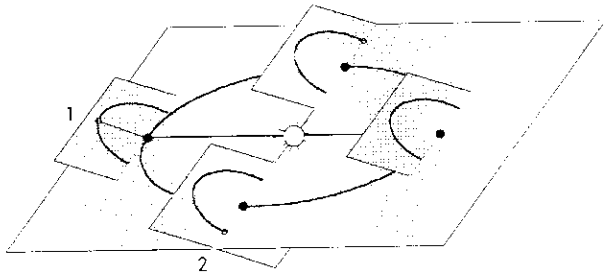
A 3 660 km.h^{-1} ou 61 km.min^{-1}, la Lune met 99 min pour parcourir 6020 km et 31 min pour 1880 km.
L'heure du maximum est donnée à 20h 21min.
On obtient donc :
Entrée dans l'ombre : 20h 21min - 99min = 18h 42min.
Début de la totalité : 20h21 min - 31min = 19h 50min.
Fin de la totalité : 20h21min + 31min = 20 h 52 min.

Sortie de l'ombre : 20h 21min + 99min = 22h 00min.

On trouve, à la minute près, les horaires données par les éphémérides, malgré des calculs approximatifs...

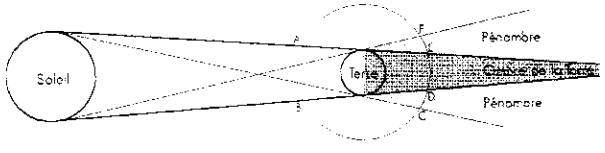
Compléments.

1 - Une éclipse de Lune ne peut avoir lieu qu'à la Pleine Lune. Mais comme le plan de l'orbite de la Lune n'est pas confondu avec le plan de l'orbite de la Terre, il n'y a pas éclipse à chaque pleine Lune.

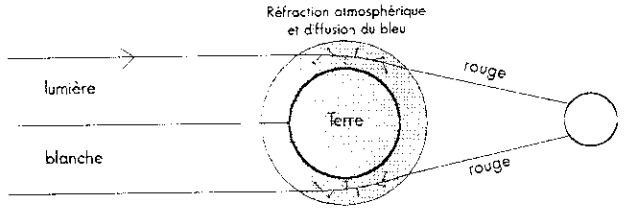


En (1), la Lune passe "au-dessus" de l'ombre de la Terre.
En (2), il y a éclipse, la Pleine Lune ayant lieu quand la Lune passe par la ligne des nœuds (intersection des plans des orbites de la Terre et de la Lune).

2 - De C à D et de E à F (figure ci-dessous), la Lune traverse la pénombre. Une personne située à sa surface verrait une partie du Soleil caché par la Terre. Un observateur terrestre devrait voir la Lune s'assombrir peu à peu. Dans la réalité, ce phénomène n'est pas sensible visuellement. Les éclipses par la pénombre, quand la Lune passe légèrement "au-dessus" ou "en dessous" le cône d'ombre tout en traversant la pénombre, passent totalement inaperçues.

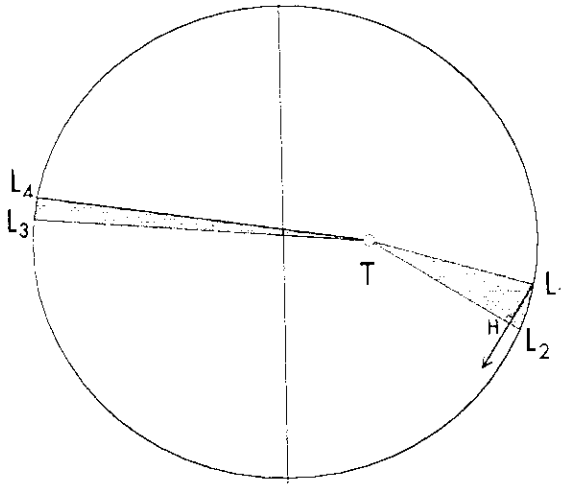


3 - Pendant la totalité, on pourrait croire que la Lune n'est pas visible. En réalité, elle est toujours éclairée par quelques rayons du Soleil qui sont déviés par la réfraction atmosphérique en frôlant la Terre. De plus, l'atmosphère va débarrasser ces rayons lumineux d'une bonne partie de son bleu par diffusion et c'est principalement de la lumière rouge qui va éclairer notre satellite éclipsé.



4 - Vitesse de la Lune et lois de Képler

La Lune décrit en réalité une orbite elliptique et non pas circulaire ; sa distance à la Terre peut varier de 356000 à 407000 km. Et sa vitesse n'est pas constante.



La 2ème loi de Kepler affirme que les aires balayées par le "rayon vecteur" [TL] en des temps égaux sont égales.
Si les positions de la Lune L_1 et L_2 sont espacées d'une heure ainsi que L_3 et L_4, les aires grisées sont égales. La Lune va donc plus vite en L_1, lorsqu'elle est plus proche de la Terre, qu'en L_3.
Les vitesses recherchées sont des vitesses tangentielles, que l'on notera V_T, perpendiculaires à la ligne de visée (TL), donc suivant la hauteur (LH). V_T est proportionnel à LH.

Une première approximation est ici nécessaire : on assimilera les surfaces grisées à des triangles.
L'aire du triangle $L_1 L_2 T$ est égale à $(TL_2 \times L_1H) / 2$.
T_L désignant la distance Terre-Lune (km) et V_T la vitesse tangentielle (km . h^{-1}), la deuxième loi de Kepler fournit :
$TL \times V_T = 2A$ (constante).
La valeur numérique de la constante A (vitesse aréolaire en km^2 . h^{-1}) est celle de l'aire balayée en une heure par [TL] donc est le quotient de la surface elliptique totale par la durée de la lunaison (en h).
Si a est le demi grand axe de l'ellipse (384 400 km), b le demi petit axe et e l'excentricité de l'orbite lunaire (0,055), l'aire de l'ellipse est égale à l'aire du disque de rayon a multipliée par b/a ou $\sqrt{1-e^2}$

Comme on cherche des vitesses par rapport à l'ombre de la Terre, donc par rapport à la direction Soleil Terre, on utilise la lunaison de 29,53 jours (intervalle de temps entre deux Pleines Lunes)

$$A = \text{Aire balayée en 1 heure} = \frac{\pi \times 384400^2 \times \sqrt{1-0{,}055^2}}{29{,}53 \times 24}$$

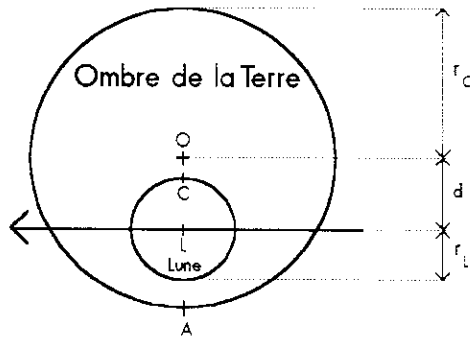
soit 654 010 000 $km^2.h^{-1}$

On calcule ensuite V_T avec : $V_T = 2A / TL$
Pour le 9 janvier on a d = 357 000 km ce qui nous donne v = 3660 km.

5 - Grandeur d'une éclipse

En général, les éphémérides donnent non pas la distance d, mais la grandeur de l'éclipse, qui permet de calculer d.

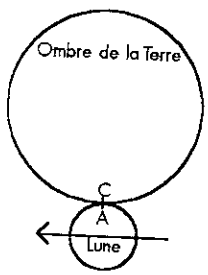
Sur la figure ci -dessous, la Lune est représentée au moment du maximum de l'éclipse, quand son centre L est au plus près du centre de O de l'ombre de la Terre.



r_O = rayon de l'ombre de la Terre
d = distance du centre de la Lune au centre de l'ombre
r_L = rayon de la Lune
D_L = diamètre de la Lune
On appelle grandeur de l'éclipse la quantité
$g = (r_O + r_L - d) / 2 r_L$
Comme : $r_O + r_L - d = OA + LC - (LC + OC)$
$= OA - OC = AC$, on peut aussi écrire
$g = AC / 2 r_L$ ou $g = AC / D_L$.

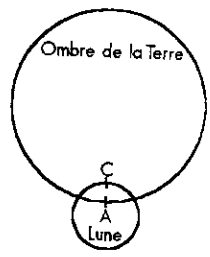
Les différents cas d'éclipses.

Cas 1



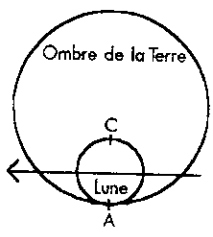
AC = 0
donc g = 0
Pas d'éclipse

Cas 2



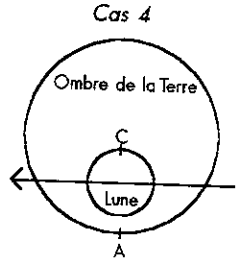
$0 < AC < D_L$
donc $0 < g < 1$
Eclipse partielle

Cas 3



$AC = D_L$ donc g = 1
Eclipse totale pendant
une fraction de secondes

Cas 4



$AC > D_L$
donc g > 1
Eclipse totale

Prochaines éclipses de Lune

5 juillet 2001 : éclipse partielle, invisible en France.
30 décembre 2001 : éclipse par la pénombre.
26 mai 2002 : éclipse par la pénombre.
24 juin 2002 : éclipse par la pénombre.
19-20 novembre 2002 : éclipse par la pénombre.

Prochaines éclipses totales de Lune :
16 mai 2003 entre 2h et 5 h du matin.
9 novembre 2003 encore sur le matin.
4 mai 2004, visible le soir dès le lever de Lune.

Renseignements sur les éclipses de Lune

Sur minitel 3616 BDL
(Bureau Des Longitudes) 1,01 F/min.
Pour les horaires d'une éclipse et sa grandeur, taper 4 (Soleil Lune) puis 6 (Eclipse de lune) et enfin le numéro de l'éclipse recherchée. Pour les distances de la Lune et du Soleil, revenez au menu général, puis tapez 5 (Ephémérides), 2 (Positions apparentes), et donnez la date et l'heure. La distance du Soleil est donnée en U.A. (Unités Astronomiques). 1 U.A. = 149 600 000 km.

Sur Internet
http://www.bdl.fr/ephem/eclipses/lune/lune.html.
On choisit une éclipse et on obtient sa grandeur, les horaires ainsi que les rayons apparents (de la Lune et du Soleil). Ceux-ci permettent de calculer leur distance r avec

$$d = r_\alpha(\text{rad}) : r = \frac{180 \times 60}{\pi} \times \frac{rayon}{\alpha}$$

(rayon de la Lune = 1738 km et rayon du Soleil = 695 000 km ; α en ')

Vous trouverez aussi quelques renseignements et exercices généraux sur les éclipses sur le serveur du CNDP à l'adresse suivante :
http://www.cndp.fr/servpari/eclipse
De nombreux logiciels permettent de calculer les dates et heures des éclipses de Lune.

Bibliographie

Annuaire du Bureau des Longitudes. Ephémérides astronomiques. Masson. Avec les horaires d'éclipses et leur grandeur.
Astronomie. Le guide de l'observateur. Tome 1 (page 183-193). Société d'Astronomie Populaire. Toulouse.
Méthodes del'astrophysique. Lucienne Gouguenheim. Ed Hachette CNRS. Pages 219-221.
Astronomie Générale. Ed de Moscou. Pages 145-150.
Cahiers Clairaut HS n°5 Gravitation et lumière. La fiche "La Lune et la loi de gravitation" propose une activité à partir de photos d'éclipses de Lune.

■

AVEC NOS ÉLÈVES

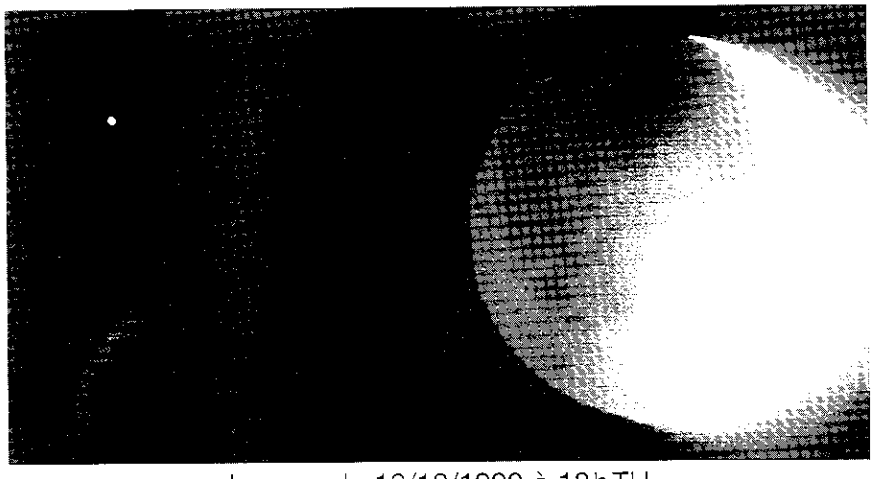
Calcul de la distance de la Lune

par une mesure de parallaxe

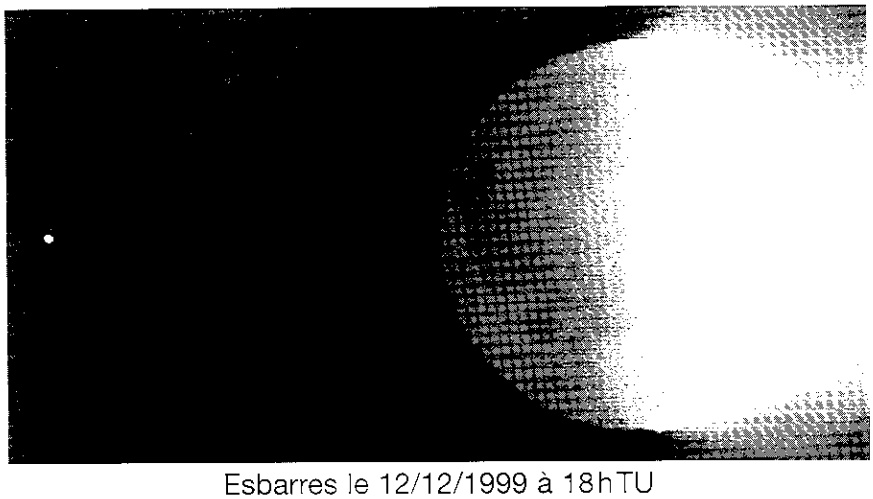
Pierre Causeret

Dans le dernier numéro, vous avez pu voir deux photos de la Lune avec Mars prises le même jour à la même heure depuis deux villes éloignées. Il fallait en déduire la distance de la Lune. Le calcul est un peu long et nécessite plusieurs pages des Cahiers Clairaut.

Un groupe d'élèves de quatrième du collège d'Echenon (21) a travaillé sur le problème dans le cadre d'un parcours diversifié. Le niveau mathématique n'est pas très compliqué mais il faut prévoir pas mal de temps pour comprendre et arriver au résultat. Ils ont d'ailleurs dû être aidés. Le niveau lycée est plus approprié.



Lorgues le 12/12/1999 à 18hTU



Esbarres le 12/12/1999 à 18hTU

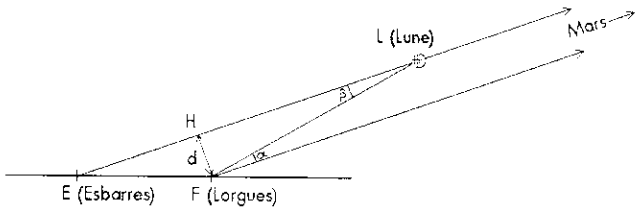
Rappel des données :

Ces deux photos ont été prises le 12 décembre 1999 à 18h TU, la première depuis Lorgues dans le Var et la deuxième depuis Esbarres en Côte d'Or.
La planète Mars est visible à gauche sur la photo.

Coordonnées de Lorgues : 6,32° Est ; 43,48° Nord
Coordonnées d'Esbarres : 5,22° Est ; 47,10° Nord
A 18h TU (au moment de la photo) à Esbarres :
Hauteur de la Lune : 15°
Azimut : 40° (à l'ouest du sud)
Diamètre apparent de la Lune : 0,5°

Le principe :

Si vous placez votre pouce devant vous, bras tendu, et que vous l'observez avec l'oeil droit puis l'oeil gauche, vous le verrez se déplacer par rapport aux objets plus lointains. C'est le principe de la vision en relief. En remplaçant le pouce par la Lune et en prenant Mars comme objet lointain, on retrouve la situation du problème ci-dessus et on comprend pourquoi les positions respectives de Mars et de la Lune ont changé d'une photo à l'autre.



Sur le schéma, on a placé Esbarres, la Lune et Mars parfaitement alignés pour simplifier, mais ce n'est pas obligatoire. Ce qui nous intéresse, c'est le déplacement de la Lune par rapport au fond du ciel lorsque l'on passe de E à F. La planète Mars est supposée très lointaine et indique la position du fond.

Si l'on veut passer au quantitatif et calculer la distance de la Lune, que faut-il connaître ? la distance d, que l'on peut définir comme la distance du point F à la droite (EL), ainsi que l'angle α qui est égal à β si l'on suppose Mars à l'infini (ce jour-là, la planète Mars était à 260 millions de km soit 650 fois la distance de la Lune).

Étant donné le matériel utilisé et la faible distance de la base, on peut espérer trouver un bon ordre de grandeur et non une valeur précise. On pourra donc utiliser des méthodes approximatives.

Mesure de d

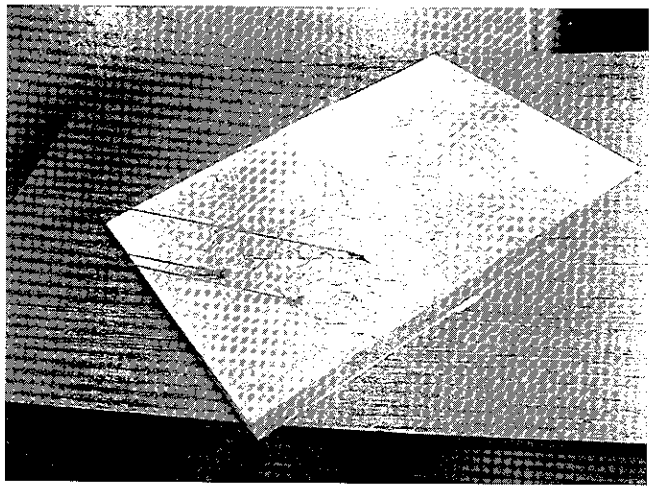
Coordonnées de Lorgues : 6,32° Est ; 43,48° Nord. Coordonnées d'Esbarres : 5,22° Est ; 47,10° Nord
Hauteur de la Lune : 15° Azimut : 40°

Ces données doivent permettre de calculer d. Pour simplifier, on peut considérer que la Terre est plate d'Esbarres à Lorgues, ce qui n'introduit pas une erreur énorme.

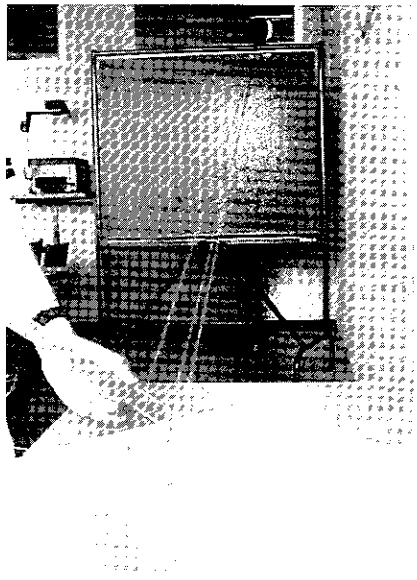
Première méthode (niveau collège)

Le plus simple est de réaliser une petite maquette permettant de mesurer directement la distance cherchée. C'est la méthode que mes élèves de quatrième ont utilisé.

Sur une carte de France sur laquelle était notés quelques parallèles et méridiens, ils ont positionné Esbarres et Lorgues grâce à leurs coordonnées.



Ils ont ensuite placé la Lune avec un azimut de 40° et une hauteur de 15°. Il a suffi alors de mesurer la distance d.



La simple manipulation des échelles et des proportions n'a pas toujours été facile pour eux.

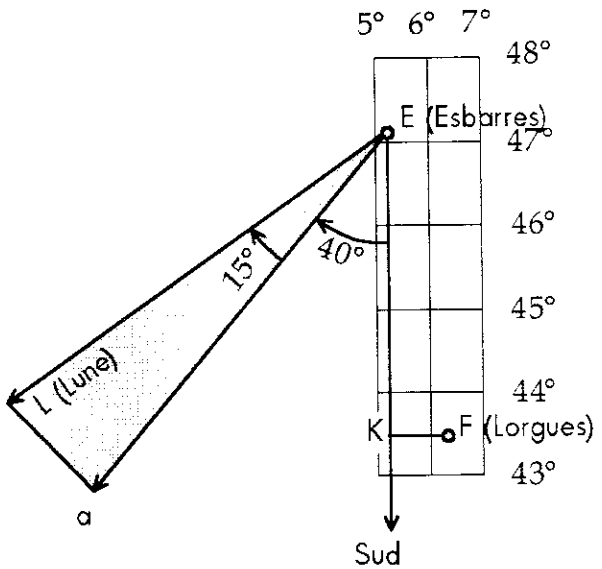
Ce groupe d'élèves a trouvé 290 km (valeur un peu faible comme on le verra plus loin).

On peut marquer sur les photos trois lieux et trois brins de laine car nous avons aussi utilisé une photo prise depuis Tarrega à proximité de Barcelone. Malheureusement, la distance d obtenue entre Tarrega et Esbarres ou entre Tarrega et Lorgues est presque deux fois plus faible étant donnée la position de la Lune ce soir-là, ce qui fait perdre beaucoup de précision.

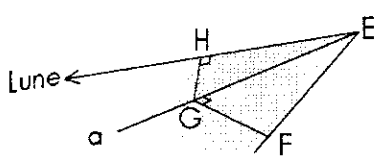
Vous pouvez refaire simplement la mesure de d à partir de ce plan simplifié (avec des méridiens parallèles) tracé à l'échelle 1/10 000 000.

On découpe les deux côtés épais de la partie grisée, on plie suivant [Ea) et on obtient la direction de la Lune observée depuis Esbarres. Il suffit ensuite de mesurer la distance d de F à (EL).

On obtient environ 320 km.



Deuxième méthode (niveau lycée)



On suppose toujours la Terre plate au moins dans la région qui nous intéresse mais on fait des calculs au lieu de mesurer.

On part de la même maquette que ci dessus sur laquelle on a rajouté G, le projeté orthogonal de F sur (Ea) et H le projeté orthogonal de G sur (EL). Une fois la maquette pliée, le plan horizontal (EFG) est perpendiculaire au plan vertical (EHG).

(GF) est perpendiculaire au plan (EGH) donc à (EH).
La droite (EH) est perpendiculaire à (GF) et à (GH) (donnée), elle est donc perpendiculaire au plan GFH et donc à (HF). Le triangle EFH est alors rectangle en H (on retrouve le théorème des trois perpendiculaires).

Calculs (voir figures ci-contre) :

On prend 111 km par degré de latitude (40 000 km / 360) et 78 km par degré de longitude (111 cos 45°), ce qui est une moyenne (la mesure d'un degré de longitude est plus grande à l'équateur que vers les pôles).

On peut calculer EF avec le théorème de Pythagore dans EKF (411 km), puis déterminer KEF (12°), FEG (40° + 12° = 52°), EG (EF cosFEG soit environ 253 km), EH (EG cos GEHsoit environ 244 km) et enfin HF avec le théorème de Pythagore dans HEF.
On trouve environ 330 km.

Troisième méthode

Il est possible de faire ces calculs en tenant compte de la sphéricité de la Terre mais je n'en ai pas eu le courage. On doit trouver une valeur proche des précédentes, ce que vous pouvez vérifier si vous en avez le loisir.

Mesure de α.

Observée depuis Esbarres puis Lorgues, on voit la Lune se déplacer par rapport à Mars. On peut tout aussi bien dire que Mars se déplace par rapport à la Lune.

Pour vérifier ce déplacement, il suffit de superposer les deux photos. Mais il n'est pas évident d'orienter la Lune. Heureusement, quelques détails sont visibles sur le côté de la Lune dans la nuit. J'ai marqué d'une croix le cratère Grimaldi, sorte de cuvette sombre de 200 km de diamètre puis j'ai détouré grâce à un logiciel de dessin.

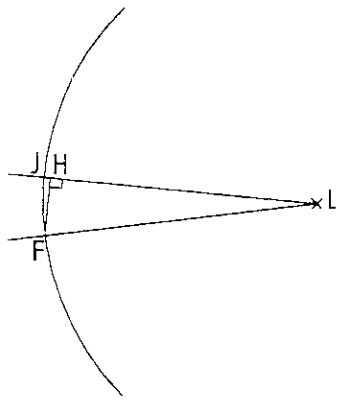
On peut décalquer la première photo et poser le calque sur la deuxième photo en essayant de faire coïncider le mieux possible la Lune et Grimaldi. On s'aperçoit alors que Mars s'est déplacé d'environ 5 mm. On sait que le diamètre apparent de la Lune est 0,5°, ce qui correspond à 5 cm sur le dessin. Nos 5 mm de déplacement correspondent donc à 0,05°.

La distance de la Lune

On effectue les calculs avec d = 330 km et α = 0,05°.

Première méthode (niveau collège et sans trigo).

On trace le cercle de centre L passant par F. Il coupe (LH) en J.



La longueur de l'arc FJ est très proche de celle du segment [FH].
0,05° correspond à un arc FJ de 330 km
360° correspond au cercle complet :
(360 / 0,05) x 330 = 2 376 000 km environ.
On trouve ensuite le rayon du cercle :
2 376 000 / 2π = 380 000 km

Deuxième méthode.

Avec le sinus de l'angle FLH, on trouve le même résultat.

Troisième méthode (analogue à la première).

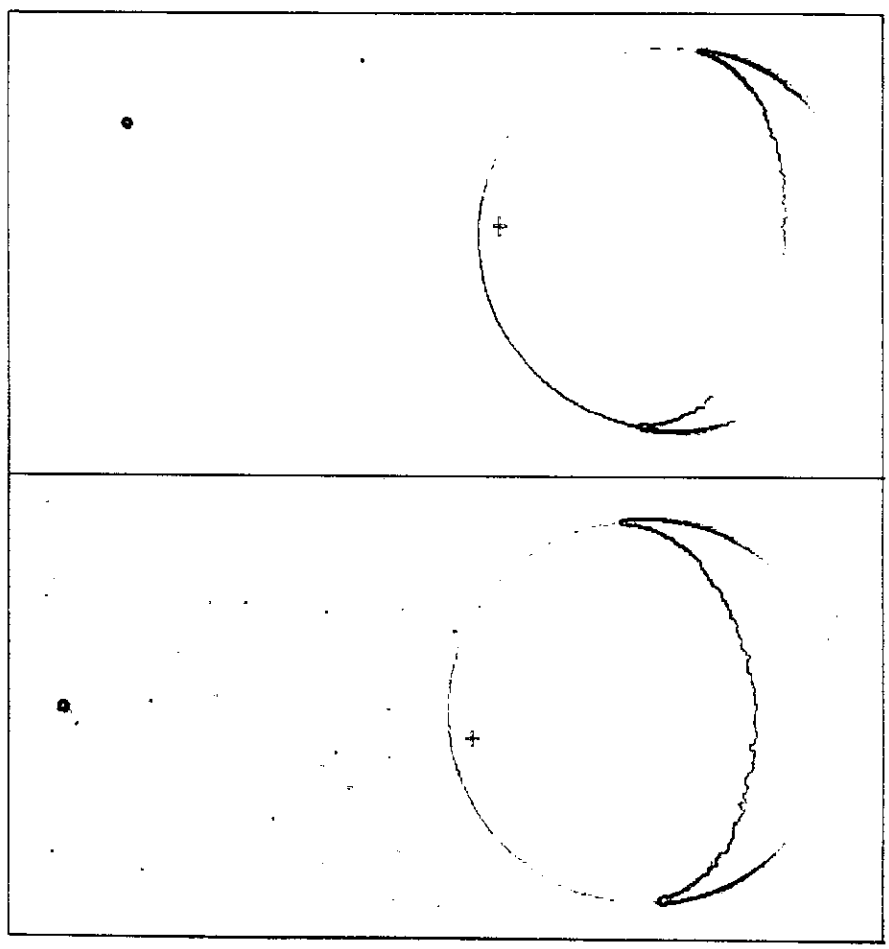
On transforme l'angle en radians et l'on a ensuite directement FL

Conclusion

Les éphémérides donnaient comme distance de la Lune 400 000 km le 12 décembre. Mon groupe d'élèves avait trouvé 364 000 km. Mes premiers calculs m'avaient donné 440 000 km et l'on trouve ici 380 000 km. Tout cela n'est pas si mal.

On peut supposer que la mesure du déplacement de Mars sur la photo est compris entre 4 et 6 mm (donc α compris entre 0,04 et 0,06°) et que d est compris entre 300 et 350 km. Ce qui donne la distance de la Lune comprise entre 286 000 et 500 000 km.

Deux photos réalisées à quelques centaines de km de distance avec des télescopes d'amateurs permettent de trouver la distance de la Lune avec un bon ordre de grandeur.



■

AVEC NOS ÉLÈVES

Un cadran solaire en CM2

Stéphanie Redondy et Magali Girardot

Dans le cadre de la licence pluridisciplinaire d'Orsay, deux étudiantes de Jacky Dupré ont mis en place une séquence d'astronomie lors de leur stage en CM2.
Elles présentent ici leur travail et leur démarche et nous font partarger leur expérience et leur enthousiasme.

Au cours de notre semaine de stage en classe de CM2, nous avons mis en place une séquence d'astronomie. Les séances réalisées portaient sur les phénomènes d'heures et d'ombres et ont permis aux enfants de réaliser un cadran solaire.

Pourquoi ce choix ?

Nous savons que les enfants sont curieux de tout et leur faire observer un phénomène concret semble rendre l'activité plus attrayante. L'observation n'était qu'un point de départ qui nous permettait ensuite d'orienter et de guider les réflexions des élèves. Nous avions également décidé de leur faire construire quelque chose qu'ils puissent rapporter chez eux et qui illustrerait notre propos. Nous avons alors opté pour des séances expliquant les phénomènes d'heures et d'ombres car ce sont deux phénomènes concrets, simples et facilement observables. Ces séances seront l'occasion de comprendre quelques notions d'astronomie concernant les astres qui sont les plus familiers des enfants.

Organisation des séances

Nos séances ont été articulées autour de la manipulation que nous souhaitions faire : la construction d'un cadran solaire.

Pour aboutir à cela il nous fallait, dans un premier temps, rappeler ou apprendre aux élèves certains points importants et utiles pour cette réalisation comme la course du soleil au cours de la journée. Ceci serait réalisé pendant la première journée de travail avec la classe. La deuxième journée serait consacrée à la construction du cadran solaire. Nous pensions que l'utilisation du cadran solaire amènerait les enfants à se poser des questions sur les heures dans le monde. Nous avons donc dirigé la dernière séance sur les fuseaux horaires.

Au début de chaque séance nous effectuons un rappel oral avec les élèves pour voir ce qui a été retenu de la veille, puis le sujet du jour est présenté à la classe lors de la lecture des objectifs par chacun. Les enfants réalisent ensuite des exercices seuls ou par petit groupe. Après quelques instants nous effectuons une correction collective, c'est un moment qui est riche car les enfants mettent en commun leurs réponses.

Première séance : La course du Soleil.

Afin d'aboutir à la construction du cadran solaire, il fallait que les enfants constatent un certain nombre d'éléments importants. Voici les objectifs que nous nous étions fixés pour la première séance :

- Le déplacement du Soleil et des ombres dans la journée, la succession des jours et des nuits sont apparents.

- Les déplacements s'expliquent par la rotation de la Terre sur elle-même autour de l'axe des pôles d'ouest en est en un jour.

- Un jour dure 24 heures.

Il nous a semblé important que les enfants fassent des découvertes par le biais d'observations afin qu'ils portent un intérêt particulier aux exercices qui seront réalisés par la suite. C'est pourquoi nous commençons la séance, dans la cour, par l'observation de l'ombre d'un bâton fixe. Au cours de la journée les enfants se prêtent au jeu avec plaisir et tracent chacun leur tour les ombres successives. De nombreuses remarques et interrogations apparaissent, elles aident les enfants dans la découverte du phénomène. Ils constatent alors que l'ombre et le Soleil sont deux phénomènes liés, que l'ombre se déplace dans la journée. Ils ont plus de difficulté à remarquer que la longueur de l'ombre varie. Pour cela les enfants mesurent les traits correspondants aux ombres qu'ils ont tracées dans la cour afin de déterminer la variation de la longueur de l'ombre du bâton au cours de la journée et la plus courte au midi solaire. Ceci les amène à remarquer qu'il existe une relation entre la hauteur de la source lumineuse et la longueur de l'ombre.

Toutes ces observations étant faites, nous leur présentons une série d'exercices basée sur l'observation réalisée dans la cour. Dans un exercice, les enfants doivent déterminer le sens de rotation de la Terre en connaissant le mouvement apparent du Soleil dans le ciel. Pour les aider nous leur fournissons une mappemonde pour que chacun peut manipuler pour trouver la réponse et rendre l'activité plus accessible.

L'observation d'un phénomène comme point de départ de notre séquence nous a semblé essentiel puisqu'il a permis de susciter leur intérêt. Il faut cependant noter que l'élève ne peut se contenter d'observer et que souvent ses réflexions doivent être guidées par des questions afin qu'il s'interroge et ne reste pas passif.

Deuxième séance : le cadran solaire

Cette séance était très attendue par les élèves, ils avaient tous très envie de construire, de manipuler. Nous débutons par une discussion sur la séance de la veille afin de dégager les caractéristiques nécessaires pour une bonne compréhension et utilisation du cadran.

Nous présentons ensuite un cadran solaire et les élèves, après discussion, arrivent à la conclusion que l'on peut lire l'heure sur un cadran solaire grâce au déplacement de l'ombre du pic au cours de la journée ; que les traits et les chiffres du cadran correspondent aux différentes heures.

Nous passons aux exercices de la séance, nous objectifs sont :

- Un cadran solaire donne l'heure grâce au déplacement de l'ombre du pic au cours de la journée.

- Le pic du cadran solaire est parallèle à l'axe de rotation de la Terre, l'axe des pôles.

- La hauteur du Soleil n'est pas la même en été et en hiver, c'est pourquoi on lit l'heure sur la face inférieure du cadran équatorial en hiver et sur sa face supérieure en été.

Dans un premier temps, à l'aide d'une démonstration, nous expliquons l'inclinaison du cadran. Cette notion fut très vite comprise par les élèves qui remarquent que leur cadran ne fonctionnera pas partout.

Nous passons à la construction. Chacun réalise son cadran à son rythme en suivant les instructions. Puis ils apprennent à l'orienter à l'aide d'une boussole et à l'utiliser au Soleil. Les cadrans restent quelques temps dans la classe pour que les enfants constatent par eux-mêmes que " ça marche ". Ils ont besoin de voir malgré toutes les explications données avant que leur propre cadran fonctionne correctement.

Au cours de cette séance, les élèves ont pu mettre en pratique ce qu'ils ont vu la veille. Ils ont tous réalisé avec une grande rapidité la construction. Ce moment nous a montrées combien il est important pour les enfants d'agir, de manipuler, de construire quelque chose de leurs mains avec des résultats. Tout semble alors être beaucoup mieux compris et assimilé.

Troisième séance : Le temps universel

Nous souhaitions faire réfléchir les élèves sur les conséquences de la rotation de la Terre sur les heures solaires afin qu'ils comprennent pourquoi il existe des décalages horaires entre les pays.

Les objectifs de connaissances sont les suivants :

- A cause de la rotation de la Terre sur elle-même, le Soleil ne se lève pas partout au même moment.

- L'heure solaire varie d'un endroit à l'autre.

- La Terre est divisée en 24 fuseaux horaires. L'heure à l'intérieur d'un fuseau est partout la même, par exemple à l'intérieur du fuseau où se trouve la France.

- Quand on passe d'un fuseau à l'autre en allant vers l'est on rajoute une heure.

- Quand on passe d'un fuseau à l'autre en allant vers l'ouest on retire une heure.

Le travail s'effectue à travers trois exercices. Le premier permet de voir qu'à l'échelle du globe, il y a des différences d'heures solaires, qu'il n'est pas la même heure partout du fait de la rotation de la Terre sur elle-même. Changement d'échelle pour le deuxième exercice, il s'agit de la France où des décalages d'heures solaires peuvent être observés. Cet exercice a donné matière à réflexion sur les problèmes que les heures solaires poseraient si elles étaient appliquées pour les horaires de train par exemple. Nous arrivons à la conclusion que pour des raisons de commodités, il est préférable que l'heure soit partout la même en France. A l'aide du troisième exercice, les enfants comprennent d'où viennent les décalages horaires, la nécessité de découper la Terre en 24 fuseaux horaires à l'intérieur desquels l'heure est la même pour tous.

Les élèves ont manipulé avec aisance les différentes heures. Cette séance a permis de discuter des changements d'heures que nous subissons chaque année.

L'Evaluation

En fin de stage nous avons effectué une évaluation afin de voir ce qui a été compris et retenu de nos interventions. Nous avons proposé des situations nouvelles à analyser, à travers différents exercices, où il était nécessaire d'utiliser les connaissances acquises au cours des séances.

L'analyse des réponses montre que les élèves ont bien compris tout ce qu'ils ont observé, manipulé. Ils ont plus de mal avec les choses abstraites qu'ils n'ont pas pu constater eux-même. Il nous a également paru important de bien insister sur des choses qui paraissent à première vu simples.

Dans l'ensemble les objectifs que nous nous étions fixés ont été bien assimilés. Lors de la correction de cette évaluation nous avons laissé la parole aux élèves. Cette discussion nous a permis de comprendre d'où venaient la plupart des erreurs. Nous nous sommes rendues compte qu'un certain nombre provenaient du fait que les élèves n'avaient pas bien compris la réponse que l'on attendait d'eux.

Conclusion

Nous avons trouvé cette semaine de stage enrichissante puisqu'elle nous a permis de constater qu'enseigner les sciences à partir de phénomènes observables a pour but d'éveiller la curiosité des enfants. Nous avons également pu observer combien il est important pour eux de manipuler, de construire quelque chose en rapport avec les notions abordées. Même s'il est vrai que l'observation et la manipulation amusent beaucoup les enfants, elles les intéressent énormément puisqu'ils prennent alors plus de plaisir à rechercher l'explication du phénomène. Pour cela il faut orienter et guider leurs raisonnements par de nombreux conseils et questions. Les élèves nous ont fait part de leur désir de faire plus d'expériences à l'école.

■

L'astronomie à l'école.
Numéro spécial (septembre 2000) de l'Astronomie, revue de la S.A.F.

La parution de ce numéro coïncide avec la mise en route des nouveaux programmes de seconde qui comportent des notions d'astronomie en physique et en SVT.

Jacques Treiner et Béatrice Desbeaux-Slaviat, respectivement, présentent au lecteur l'esprit de cet enseignement et son contenu. Les sujets d'astronomie y sont parfois clairement imposés, parfois plus subtilement distillés laissant à l'enseignant une certaine liberté de choix quant aux exemples à traiter et à la manière de le faire.

Le contenu de ce numéro, dont Pierre Lena a signé l'éditorial, offre une large réflexion et de nombreuses idées novatrices sur ce thème de l'actualité.

Doit-on encore enseigner l'astronomie de Ptolémée ? A cette interrogation, largement développée par Jacques Vialle, des réponses sont apportées, venant d'horizons différents.

Elles proviennent d'enseignants, depuis l'école primaire jusqu'aux classes préparatoires, qui racontent leurs expériences avec leurs élèves.

Elles proviennent aussi de porte-parole de groupes ou d'associations qui proposent des actions concrètes et des nouveaux outils pédagogiques: Anne-Laure Melchior pour HOU (Hands On Universe), Mireille Hartmann pour "La main à la pâte", Bernard Pellequer pour l'EAAE (European Association for Astronomy), Jean-Luc Dauvergne pour l'opération "lycée de nuit" de l'ANSTJ (Association Nationale, Sciences et Techniques pour la Jeunesse), Lucienne Gouguenheim pour le CLEA.

Tout professeur qui désire enseigner autrement l'astronomie trouvera ce qu'il recherche : des références, des noms , des sites , des idées, etc ... L'usage de l'informatique ey l'utilisation d'internet donnent aujourd'hui à l'enseignement de l'astronomie une nouvelle dimension à découvrir dans ce numéro de l'Astronomie.

Pour se procurer cette publication (54 pages, 35 F), contacter la SAF (01 42 24 13 74).

AVEC NOS ÉLÈVES

Les lois de Kepler en TS

Marie-Agnès Lahellec

Ce travail m'a été inspiré par la lecture d'un des chapitres du livre d'André Brahic "Les enfants du Soleil ". Dans les "fausses piste ", la règle de Titius Bode est mentionnée avec tellement d'humour que je voulais en faire profiter mes élèves.

C'est la première séance de T.P. de l'année, en septembre.

Les objectifs de ce T.P. sont de travailler concrètement sur les lois de Kepler en "tâtant" vraiment de l'ellipse, d'aborder l'histoire de la découverte des planètes et d'introduire la loi de Newton sur la gravitation.

Un objectif sous-jacent est de faire comprendre aux élèves, sur un exemple, qu'en physique une loi ne souffre pas d'exception et que l'erreur a un véritable statut dans la recherche scientifique, sans connotation négative.

Pour être honnête il y a aussi une idée de recentrage des maths sur nos besoins en physique.

Le travail proposé aux élèves comprend trois parties et s'étale sur trois semaines.

1. Travail à la maison, sur feuille, préparant la séance de T.P. sur ordinateur avec un tableur.
2. Séance de T.P. avec remise du travail à la fin de la séance.
3. Exercices sur feuille, à la maison.

Au moment du cours sur la gravitation, je reviendrai sur l'histoire de la découverte des planètes puisque cela fait intervenir la règle de Titius Bode mais aussi la loi de Newton.

Préparation du T.P. : Les trois lois de Kepler

Ce sont des lois empiriques concernant les trajectoires des planètes autour du Soleil.

Première loi (1605).
Dans le référentiel héliocentrique, la trajectoire (orbite) du centre de chaque planète est une ellipse dont le Soleil occupe un des foyers.

Remarque : il n'y a pas d'astre à l'emplacement de l'autre foyer.

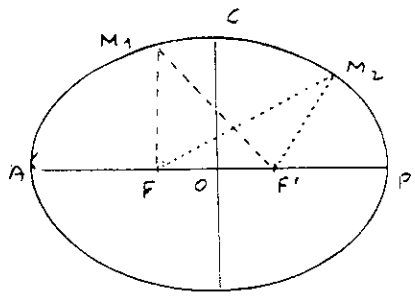
Un peu de mathématiques : définition bifocale. Géométriquement une ellipse est définissable par ses deux foyers F et F' (points fixes) et par une constante qui est une longueur supérieure ou égale à FF'. L'appartenance d'un point M à l'ellipse est alors caractérisée par la relation :

FM + F'M = Constante

On pose FM + F'M = 2a et FF' = 2c

On définit l'excentricité e de l'ellipse :

$$e = \frac{c}{a}$$



$FM_1 + F'M_1 = FM_2 + F'M_2$

Exercice :
- Montrer que le grand axe AP a pour longueur 2a.
- On peut tracer une ellipse avec une ficelle, de longueur 2a, deux punaises fixées en F et F' et un crayon qui coulisse en M dans la ficelle.
Tracer par cette méthode une ellipse d'excentricité e = 0,5.
Tracer le cercle de diamètre [AP] pour l'ellipse tracée.
Si l'on considère ce cercle comme une ellipse dégénérée, quelle est son excentricité ?
Question :
En astronomie les points A et P s'appellent respectivement "aphélie et périhélie" en supposant le soleil en F'. Chercher l'étymologie de ces mots. Justifier leur emploi en astronomie.

Deuxième loi (1604)
Le mouvement de chaque planète P est tel que, pendant des durées égales, les aires balayées par le segment [SP] reliant le Soleil à la planète (rayon vecteur) soient égales .

Exercice d'application :
Montrer que si la trajectoire d'une planète est un cercle centré sur le Soleil, son mouvement est uniforme.
Montrer que si la trajectoire est une ellipse dont un des foyers est le Soleil, le mouvement n'est pas uniforme.
Quelle est la partie de trajectoire où la vitesse est la plus grande ?

Troisième loi (1618)
Le carré de la période de révolution T d'une planète P autour du Soleil est proportionnelle au cube du demi grand axe a.

Exercice d'application :
Si l'on trace la courbe T en fonction de a pour les planètes du système solaire est ce que l'on obtient une droite ? Justifier la réponse .

Histoire des sciences
Kepler a trouvé les lois grâce à l'observation de Mars.
Quelles étaient les planètes connues à son époque ?
Trouver les dates de découvertes des autres planètes et éventuellement l'histoire de leur découverte.
Qu'appelle-t-on "ceinture d' astéroïdes" ?

T.P. : les lois de Kepler

Objectif : exploiter les données concernant les planètes du système solaire.

Données :

Planète	Demi-grand axe a (ua)	Période T (années)	Excentricité e
Mercure	0, 387	0, 241	0, 206
Vénus	0, 723	0. 615	0, 007
Terre	1	1	0, 017
Mars	1, 524	1, 881	0, 093
Jupiter	5 ,205	11, 862	0, 048
Saturne	9, 576	29. 458	0, 056
Uranus	19, 281	84, 015	0, 047
Neptune	30, 142	164, 788	0, 010
Pluton	39, 881	247, 7	0, 250

La distance entre la Terre et le Soleil définit l'unité astronomique (ua) : 1 ua = $1,5 \times 10^8$ km.

Exploitation :

1 - Au milieu du 18e siècle deux allemands Titius et Bode (un mathématicien et un astronome) énoncent une sorte de "loi de série" pour trouver la succession des valeurs des demi grands axes des planètes en unité astronomique.
Règle : on prend les nombres 0 ; 3 ; 6 ; 12 ; 24 etc. .. on ajoute à chacun 4 et on divise par 10.
a) Est ce que cette règle convient bien, pour toutes les planètes ? Montrer qu'il semble "manquer" une planète entre Mars et Jupiter.
b) En appliquant cette règle empirique dite de "Titius - Bode" trouver le demi grand axe de la planète "manquante".

2 - Quelle est la planète dont la trajectoire est presque circulaire ? Justifier la réponse.
Quelle est celle dont la trajectoire est la plus excentrique ? Justifier la réponse.
Le document fourni est celui de la trajectoire de Mercure, tracer sur le document la trajectoire de la Terre.

3 - Pour Mars, calculer en ua la demi longueur du petit axe de l'ellipse : $b = a\sqrt{1-e^2}$

4 - Utilisation du logiciel Excel.
Faire tracer la courbe représentant T en fonction de a. Peut on deviner l'équation de la courbe ?
Demander la courbe de tendance "puissance" en demandant en option l'affichage de l'équation de la courbe.
Montrer que le résultat satisfait à la troisième loi de Kepler.
Utiliser le logiciel pour tracer une courbe linéaire mettant en évidence la troisième loi de Kepler .
(Tracer en fait trois courbes en regroupant les planètes trois par trois ; cf. question 4 de l'exercice sur feuille).
Confirmer par le calcul.

5 - En appliquant la règle de "Titius - Bode" et la troisième loi de Kepler, déterminer quelle serait la période de révolution de la "planète manquante" trouvée.

Exercice sur feuille à partir des données du T.P.

1- Kepler aurait-il pu trouver les deux premières lois en observant Vénus ?
2 - Kepler aurait-il pu trouver les deux premières lois en observant Mercure ?
L'observation de Mercure est très difficile ; pourquoi ?
3 - Exprimer la troisième loi de Kepler en prenant comme unité de longueur le mètre au lieu de l'unité astronomique et comme unité de temps la seconde au lieu de l'année. Faire la comparaison avec l'expression de la loi obtenue en T.P.
4 - Pour vérifier la troisième loi de Kepler on a l'idée de tracer la courbe représentant T^2 en fonction de a.

a) On rencontre une difficulté d'échelle. Expliquer.

b) Pour lever cette difficulté, tracer la courbe représentant Log T en fonction de Log a.

c) Commenter le graphique obtenu. Montrer qu'il permet effectivement de vérifier la troisième loi de Kepler.

Premiers commentaires

1 - Travail à la maison

- Tracer une ellipse avec une ficelle : la honte !
- Les élèves sont allés voir le professeur de maths qui leur a donné la méthode des cercles ...
- Cela ne les a pas empêchés de faire un tracé approximatif, ce qui les gêne pour répondre à des questions abordant la géométrie de la figure.
-Montrer que le demi grand axe a pour longueur 2a leur a posé beaucoup de problème : aucun n'a invoqué de motif de symétrie.
- Les questions sur la deuxième loi étaient difficiles car les élèves ne raisonnent pas spontanément sur un schéma.
- J'ai été surprise que des élèves de T.S. répondent que la courbe représentant T en fonction de a est une droite après l'énoncé de la troisième loi de Kepler. Mais ils ont été contents ensuite, en T.P., de voir leur "erreur".
- En histoire des sciences j'ai eu évidemment des extraits d'encyclopédie, sur lesquels je reviendrai en cours.

2 - Séance de T.P.

Pour cause de réorganisation du labo. la séance a eu lieu classe entière, les élèves travaillant en petits groupes, sur les documents que j'avais préparés et que je leur distribuais au fur et à mesure.

La règle de Titius-Bode les a bien intéressés, la démarche de comparaison n'est pas évidente malgré le plan des questions posées. Il faut appliquer la règle puis confronter avec les données.

La difficulté d'échelle pour tracer les courbes leur apparaît évidente. Certains se souvenaient de l'échelle logarithmique utilisée pour le niveau sonore en seconde, ce qui m'a donné l'idée de la question 4 de l'exercice sur feuille après le T.P..

La trajectoire de Mercure est fournie. Attention, il faut effacer la trajectoire de la Terre pour le document élève.

Les élèves doivent trouver le facteur d'échelle : 10 cm pour 1 ua. et penser à dessiner un cercle centré sur le Soleil et non sur le centre de l'ellipse.

3 - Exercice sur feuille

1) La trajectoire de Vénus est presque circulaire.

2) Mercure a bien une trajectoire elliptique mais est très proche du Soleil, la planète est très difficile à observer car on est aveuglé par la lumière du Soleil.

3) Dans le T.P. nous avions des unités commodes qui nous permettaient d'aboutir à $T^2 = 1 \times a^3$ où le 1 a pour unité $(\text{année})^2\ \text{ua}^{-3}$. En prenant pour unités la seconde et le mètre (système SI), il vient : $T^2 = 2.9 \times 10^{-19}\ a^3$.

4) La fonction Log vient d'être montrée pour la chimie. On obtient Log T = (3 / 2) Log a.

Annexe 1 (document professeur)

Application de la règle de Titius-Bode et comparaison

	Titius-Bode	Planète	a	% écart
0	0, 4	Mercure	0, 387	3, 4
3	0, 7	Vénus	0, 723	- 3, 2
6	1	Terre	1	0, 0
12	1, 6	Mars	1, 524	5, 0
24	2, 8			
48	5, 2	Jupiter	5, 205	- 0, 1
96	10	Saturne	9, 576	4, 43
192	19,6	Uranus	19, 281	1, 65
		Neptune	30, 142	
384	38,8	Pluton	39, 881	- 2, 71

Calculs utiles

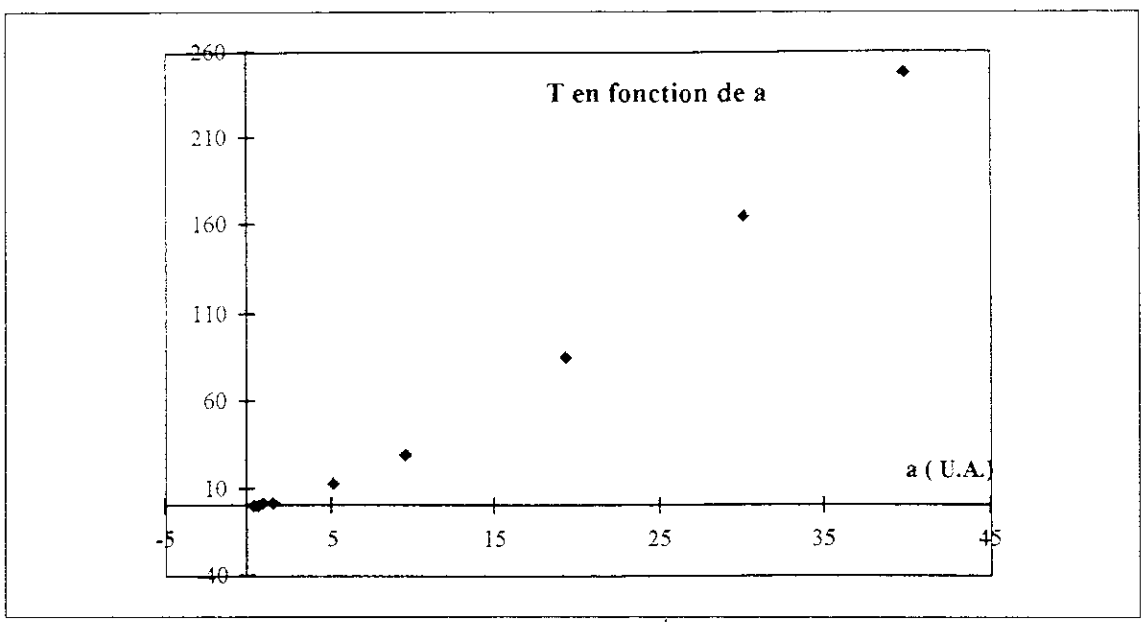
Planète	a (ua)	T (années)	e	b (ua)	c (ua)
Mercure	0, 387	0, 241	0, 206	0, 379	0, 080
Vénus	0, 723	0, 615	0, 007	0, 723	0, 005
Terre	1	1	0, 017	1, 000	0, 017
Mars	1, 524	1, 881	0, 093	1, 517	0, 142
Jupiter	5, 205	11, 862	0, 048	5, 199	0, 250
Saturne	9, 576	29, 458	0, 056	9, 561	0, 536
Uranus	19, 281	84, 015	0, 047	19, 260	0, 906
Neptune	30, 142	164, 788	0, 01	30, 140	0, 301
Pluton	39, 881	247, 7	0, 25	38, 615	9, 970

Annexe 2 (document professeur)

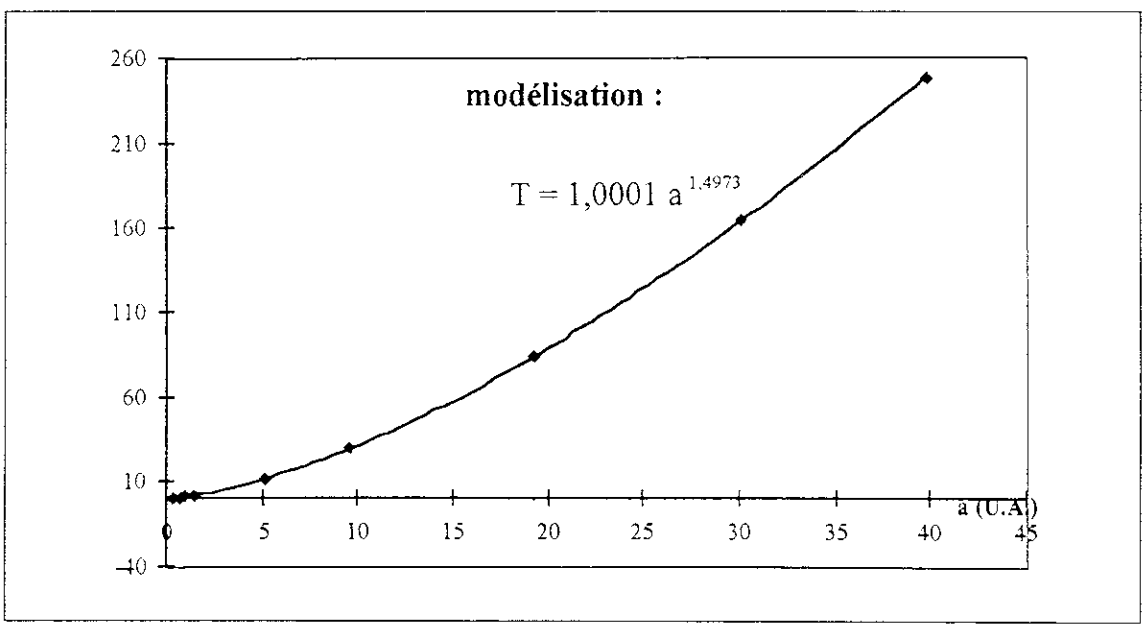
Calcul du rapport a^3 / T^2

Planète	Demi-grand axe a (ua)	Période T (années)	Excentricité e	a cube	T carré	rapport
Mercure	0, 387	0. 241	0, 206	0. 057961	0, 058	0, 998
Vénus	0, 723	0. 615	0, 007	0, 377933	0, 378	0, 999
Terre	1	1	0, 017	1	1	1
Mars	1, 524	1, 881	0, 093	3, 539606	3, 538	1
Jupiter	5, 205	11, 862	0, 048	141, 01040	140, 71	1, 002
Saturne	9, 576	29, 458	0, 056	878, 1171	867, 77	1, 012
Uranus	19, 281	84, 015	0, 047	7167, 846	7 058. 5	1, 015
Neptune	30, 142	164, 788	0, 01	27 385, 22	27 155	1, 008
Pluton	39, 881	247. 7	0, 25	63 430, 50	61 355	1, 034

Courbe T en fonction de a : on ne peut trouver d'emblée son équation

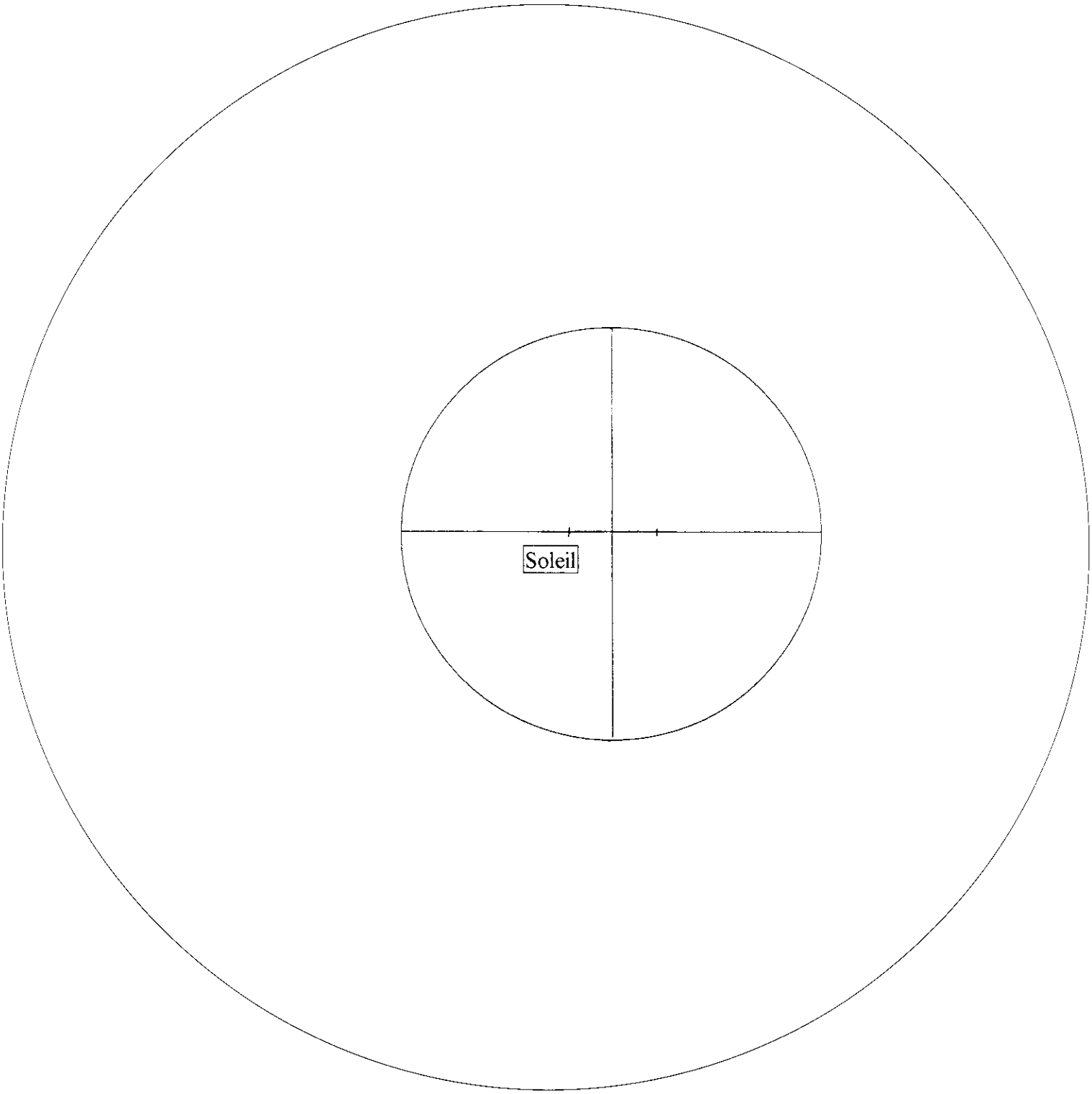


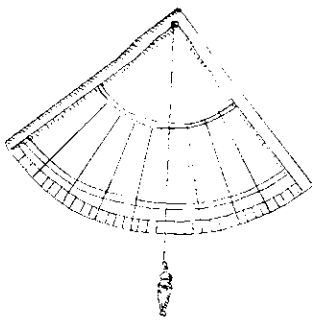
Modélisation obtenue



Annexe 3 (document professeur) : trajectoires de Mercure et de la Terre

Le document élève comporte seulement la trajectoire de Mercure et l'élève doit tracer la trajectoire de la Terre.





HISTOIRE

Les livres d'astronomie pour les dames

Colette Le Lay

De 1686 à 1903 fleurissent des livres de vulgarisation de l'astronomie destinés à un public particulier, celui des dames. L'article qui suit se propose de donner quelques raisons de ce courant éditorial et d'en décrire les principaux ouvrages.

Les femmes sont une cible idéale pour les vulgarisateurs. Elles sont ignorantes, aucun enseignement secondaire n'étant prévu à leur intention avant 1880. Ce sont de grandes lectrices, le livre et l'étude constituant pour elles un moyen d'évasion, voire d'émancipation. Elles ont en charge l'éducation des enfants et détiennent ainsi un pouvoir non négligeable. De plus, les sciences bénéficient d'une aura importante dans le public cultivé pendant la période considérée : au XVIII^{e} siècle, elles font partie intégrante de la culture et les salons, animés par des dames, débattent de la théorie de la gravitation de Newton ou des passages de Vénus devant le Soleil ; au XIX^{e} siècle, bien qu'elles n'alimentent plus les conversations mondaines, les sciences continuent à être synonyme de progrès de l'esprit humain. Enfin, parmi les sciences, l'astronomie a une position privilégiée :

- c'est une science achevée ayant trouvé dans le système de Copernic un cadre théorique clair et simple qui n'est plus remis en question
- elle n'est pas vue d'un trop mauvais œil par l'église quand on se contente d'observer la création et de louer Dieu pour les bienfaits de la nature
- on peut s'y adonner sans recours aux mathématiques qui sont réputées pour dessécher les fragiles esprits féminins
- plusieurs dames montrent l'exemple et acquièrent un statut de savante, sans bien sûr accéder aux institutions réservées aux hommes. Citons Maria Kirch, Mme du Châtelet, Caroline Herschel...

Fontenelle. Entretiens sur la pluralité des mondes. 1686.

Ces Entretiens sont souvent considérés comme le premier ouvrage de vulgarisation scientifique. Ils paraissent sous la plume d'un auteur de vingt-neuf ans, neveu des Corneille, qui fréquente les salons et commence à se faire un nom par ses chroniques dans le Mercure galant. Fontenelle destine son ouvrage aux gens du monde, aux savants et aux dames à qui il ne demande que "la même application qu'il faut donner à la Princesse de Clèves".

Il s'agit d'un dialogue entre l'auteur et une marquise, pendant six soirs, dans le parc du château de cette dernière. Voici le propos de chacun des soirs :

1 - *Que la Terre est une planète qui tourne sur elle-même, et autour du Soleil.*

2 - *Que la Lune est une terre habitée.*

3 - *Particularités du monde de la Lune. Que les autres planètes sont habitées aussi.*

4 - *Particularités des mondes de Vénus, de Mercure, de Mars, de Jupiter et de Saturne.*

5 - *Que les étoiles fixes sont autant de soleils, dont chacun éclaire un monde.*

6 - *Nouvelles pensées qui confirment celles des entretiens précédents. Dernières découvertes qui ont été faites dans le ciel.*

En termes galants, l'auteur expose à son interlocutrice le système de Copernic, les tourbillons de Descartes et émet l'hypothèse que les planètes sont habitées et que chaque étoile est le centre d'un système planétaire. On remarque dans les titres que les mots soleil et monde sont devenus des noms communs pluriels. Cet usage introduit par Fontenelle sera généralisé par ses successeurs.

L'auteur utilise un ton de badinage, multiplie les images et les métaphores. La Terre et son atmosphère deviennent ainsi une "coque de ver à soie". La métaphore la plus célèbre est celle de l'opéra :

Sur cela je me figure toujours que la nature est un grand spectacle qui ressemble à celui de l'Opéra. Du lieu où vous êtes à l'Opéra, vous ne voyez pas le théâtre tout à fait comme il est ; on a disposé les décorations et les machines, pour faire de loin un effet agréable, et on cache à votre vue ces roues et ces contrepoids qui font tous les mouvements. Aussi ne vous embarrassez-vous guère de deviner comment tout cela joue[1].

La marquise joue un rôle moteur dans les Entretiens, forçant l'auteur à préciser sa pensée et le canalisant quand il se laisse aller aux débordements de son imagination.

L'ouvrage fait un triomphe et connaît de nombreuses éditions et traductions du vivant de l'auteur, puis à titre posthume. Il fait maintenant partie du patrimoine littéraire et l'épreuve de français du bac en a proposé l'analyse à deux reprises.

Tous les auteurs, français ou étrangers, qui vulgarisent l'astronomie pour les dames, se situent par rapport à Fontenelle.

Algarotti. Le newtonianisme des dames. 1737.

L'auteur italien est le type de l'intellectuel cosmopolite des Lumières, parcourant l'Europe et y rencontrant toutes les célébrités. Son objectif est d'écrire, sur la théorie de Newton, un ouvrage analogue à celui que Fontenelle a consacré aux tourbillons de Descartes.

Comme Fontenelle, Algarotti est hébergé dans un château par une marquise. Il partage ses lectures et fait avec elle des promenades culturelles dans le parc, mais en plein jour, car il s'agit d'optique dans cinq chapitres sur six. L'astronomie et la gravitation n'occupent que le dernier chapitre. L'ouvrage connaît cinq éditions italiennes et huit traductions en français, anglais, allemand et russe.

Mme du Châtelet a participé à la correction de la 2ème édition et porte un jugement sévère sur le style léger d'Algarotti :

Les dialogues d'Algarotti sont pleins d'esprit (...) je vous avoue cependant que je n'aime pas ce style-là en matière de philosophie, et l'amour d'un amant qui décroît en raison du carré des temps et du cube de la distance me paraît difficile à digérer[2].

Mais ce mouvement d'humeur est peut-être imputable au dépit d'Emilie à la vue de la dédicace à Fontenelle et à l'agacement de Voltaire dont Les éléments de la philosophie de Newton sont publiés au même moment que la traduction française du livre d'Algarotti[3].

Ferguson. Astronomie des demoiselles. 1764.

Après une carrière de fabricant de globes et d'horloges, Ferguson se consacre à des conférences et des livres de popularisation des idées de Newton.

Le sous-titre de la traduction française de l'ouvrage donne une idée précise du contenu :

Entretiens entre un frère et une sœur sur la mécanique céleste démontrée et rendue sensible sans le secours des mathématiques ; augmentés d'idées puisées dans les découvertes les plus nouvelles et d'après les meilleurs astronomes.

Au cours des dix entretiens sont évoqués la plupart des questions qui passionnent le XVIIIe siècle : figure de la Terre, passages de Vénus, mesure des longitudes.

On quitte le ton du badinage pour un style plus didactique. La jeune fille, très naïve au début, acquiert peu à peu de l'assurance et émet, en fin d'ouvrage, des remarques très pertinentes. Chaque entretien commence par une interrogation sur le précédent et le livre se clôt par une interrogation de contrôle. On comprend que les ouvrages de Ferguson aient été utilisés dans les écoles anglaises jusqu'au milieu du XIXe siècle.

On compte cinq édition anglaises et quatre traductions en allemand, français et russe.

Lalande. Astronomie des dames. 1786.

Lalande est un astronome réputé de cinquante-quatre ans, membre de l'Académie des Sciences quand il entreprend de publier cet ouvrage, dédié à Mme du Pierry qui s'illustrera en 1789 par un cours public d'astronomie pour les dames.

Il se démarque aussitôt de Fon-

tenelle et écrit sur les Entretiens :

J'en ai donné une édition, avec des notes, en 1801 ; c'est la seule qu'on puisse lire avec confiance (...) Mais cet ouvrage est trop superficiel, il ne va pas assez au fond des choses.

Voici un exemple de ces notes :

Fontenelle : *L'art de voler ne fait encore que de naître, il se perfectionnera, et quelque jour on ira jusqu'à la Lune.*
Lalande : *Les globes de Montgolfier, en 1783, ont ajouté un bien bel article à cette prédiction, mais le reste est évidemment impossible.*.

L'ouvrage de Lalande est un cours, abrégé de son Abrégé d'astronomie (le format passe de 400 à 200 pages). La table des matières, peu structurée mais classique, passe en revue les questions habituelles dans les ouvrages d'astronomie du XVIIIe siècle : mouvements apparents, système du monde, figure des planètes, comètes, éclipses, pluralité des mondes. L'auteur se situe dans le cadre de l'attraction newtonienne.

Lalande n'oublie pas qu'il s'adresse à des dames et parsème son texte de quelques anecdotes et mots d'humour. Ainsi par exemple, à propos des étoiles filantes :

Mais ces météores ne sont pas plus des étoiles que celles de l'opéra.

Ces efforts de légèreté n'empêchent pas Lalande de distiller l'ennui dont il est coutumier et de nous faire regretter "l'ouvrage trop superficiel" de Fontenelle.

Cinq éditions françaises et cinq traductions dont quatre italiennes se succéderont.

Liskenne. Lettres à Palmyre sur l'astronomie. 1825.

Né à Nantes en 1795, Liskenne est officier pendant les dernières campagnes de l'Empire puis collabore sous la Restauration à des journaux d'opposition.

Lui aussi tient à se démarquer de Fontenelle :

A l'exemple de Fontenelle, je m'entretiens avec une femme : mais cette femme appartient au dix-neuvième siècle ; et, au lieu de lui apprendre que le jour est une beauté blonde qui a plus de brillant, et la nuit une beauté brune qui est plus touchante, je tâche de mettre à sa portée quelques parties de la philosophie naturelle, sans pour cela m'écarter du langage de la raison. Ceci soit dit sans manquer au respect que je dois à mon maître ; mais son ouvrage inimitable, excellent pour l'époque où il a été publié, se trouve bien en arrière de nos connaissances actuelles ; et j'ai dû supposer qu'un cours de galanterie n'est pas ce qu'il faut à l'âge présent.

Le livre comporte sept lettres dont la première indique que l'ouvrage trouve sa source dans la polémique suscitée par le zodiaque de Dendérah.

Si le thème central de chaque lettre est astronomique, les digressions vers l'histoire, la mythologie, l'astrologie sont fréquentes. Les citations des anciens permettent à l'auteur de faire valoir sa culture.

Comme Lalande, Liskenne a recours à de nombreuses anecdotes. Il n'hésite pas non plus à marivauder :

La carte dressée pour cette éclipse fut l'ouvrage de trois femmes. Ce serait le cas, sans doute, de vous faire ma cour, en vous détaillant tous les services rendus à l'astronomie par un sexe qui possède le privilège exclusif d'embellir tout ce qu'il touche. (p. 137).

L'éclipse dont il est question est celle du 1er avril 1764 et l'une des trois femmes est Nicole Reine Lepaute, calculatrice qui collabora avec Lalande et Clairaut pour prédire le retour de la comète de Halley en 1759. Liskenne ne donne aucune information sur les deux autres. Le mystère est entier.

L'ouvrage connaîtra trois éditions dont la dernière, celle de 1856, fera les délices de Flammarion adolescent. Mais bien que l'auteur s'en défende, ce livre, tant par son contenu que par sa forme, se rapproche de la production du XVIIIe siècle.

Comte Foelix. Astronomie des dames. 1849

Comte Foelix est le pseudonyme de Raban, auteur prolixe de pamphlets et de romans à scandale qui lui valent régulièrement des poursuites en correctionnelle.

Il juge les savants incapables de vulgariser :

L'astronomie peut être à la fois l'élément des esprits les plus solides et des âmes les plus tendres. Mais il faudrait pour qu'il en fût ainsi, procéder autrement que les savants à brevet, excellentes gens presque toujours, et qui pourtant ont le malheur de ne pouvoir toucher à la chose la plus divine sans y laisser quelque stigmate, quelque empreinte fatale (...) Après avoir sué sang et eau pour se rendre inintelligibles, ils ont été fort surpris, qu'on ne les comprît point.

L'ouvrage est très court (130 pages seulement). Il comporte sept parties intitulées très simplement : la Terre, la Lune, le Soleil, les planètes, les éclipses, les comètes et les étoiles. Il cite à plusieurs reprises le cours public d'Arago. Mais l'auteur l'a mis à la portée des dames qui sont, c'est bien connu, inaptes à saisir le langage scientifique et à comprendre une démonstration. Bon prétexte pour éviter les paragraphes difficiles sur lesquels le Comte Foelix aurait peut-être lui-même chuté...

Voici deux échantillons de sa prose :

Ainsi, Mesdames, les élégantes jumelles dont, au théâtre, les longs cils de vos yeux bleus ou noirs caressent doucement les lentilles sont des télescopes galiléens.(p. 16).

Tels sont, Mesdames, les résultats positifs obtenus par les savants, quant

aux moyens qu'ils emploient pour y arriver, nous nous contenterons de dire qu'ils sont infaillibles (p. 39).

Sophie Ulliac-Trémadeure. Astronomie et météorologie à l'usage des jeunes personnes. 1843.

L'auteur née à Lorient en 1794 commence sa carrière dans les lettres en traduisant et écrivant des romans, puis elle se consacre à la pédagogie. Elle dirige, en particulier, le Journal des jeunes personnes.

Le livre est présenté comme un cahier retranscrivant les conférences d'Arago que la personne qui écrit (un homme) envoie à sa sœur Laure. Il y est souvent fait référence à l'aversion de Laure pour les mathématiques. L'ouvrage est une compilation touffue des oeuvres d'Arago, mais aussi de Laplace et de Herschel. Au cours des quatre cents pages, à côté des chapitres habituels sur le système du monde, la figure de la Terre ou les marées, des notions difficiles sont abordées comme la constitution physique du Soleil ou de la Lune. Le domaine stellaire occupe une place non négligeable.

Camille Flammarion. Astronomie des dames. 1903.

En 1903, Flammarion est un astronome et un vulgarisateur de renommée internationale dont les nombreuses oeuvres connaissent plusieurs éditions et traductions.

Le texte de l'Astronomie des dames comporte 380 pages réparties en douze chapitres (autant que de signes du zodiaque) selon un plan peu habituel : l'auteur part du ciel étoilé pour se rapprocher peu à peu de la Terre après avoir fait escale sur le Soleil, puis les planètes.

Si la construction ne reprend pas celle de l'Astronomie populaire, parue en 1879, le contenu est une sorte de condensé de la prose de Flammarion, dégagée des calculs trop complexes :

Que mes lectrices se rassurent ! Nous ne leur proposerons pas de déchiffrer les hiéroglyphes de l'algèbre et de la géométrie. (p. 24).

Un chapitre est néanmoins consacré aux méthodes de l'astronomie et en particulier à la mesure et l'utilisation des parallaxes.

Le style est celui de Flammarion. En voici un exemple :

Déjà, la clarté du croissant lunaire, qui semble une nacelle lumineuse suspendue dans les cieux, est assez vive pour jeter sur la mer des paillettes d'argent mobiles et scintillantes. (p20).

Les anecdotes ne font pas défaut mais elles sont moins abondantes que dans l'Astronomie populaire. Enfin, Flammarion consacre tout le dernier chapitre à un de ses chevaux de bataille préférés : la pluralité des mondes qui constitue pour lui "le complément et le couronnement naturel de l'astronomie".

Les livres dont je viens de faire une brève description constituent un petit catalogue pour le moins éclectique. A l'exception de l'avant dernier, ces Astronomies des dames sont écrits par des hommes, un brin condescendants.

Ils se distinguent des ouvrages de vulgarisation proposés au commun des mortels masculins par leur ton : La plupart utilisent l'artifice du dialogue ou de l'échange de lettres, procédé littéraire très en vogue. Bien qu'ils se défendent de légèreté, tous ou presque sacrifient aux anecdotes et au badinage.

Mais n'a pas le talent d'un Fontenelle qui veut, et la lectrice du XXIe siècle appréciera plus sûrement ses Entretiens que les gros sabots de Lalande ou les envolées lyriques de Flammarion. Le livre de Ferguson est plus didactique que ses cousins du continent : doit-on y voir la marque de la popularisation à l'anglaise qui donne au lecteur ou à la lectrice un rôle plus actif ?

Côté contenu, on peut noter l'absence de rupture entre les trois premiers livres parus au XVIIIe siècle et les deux suivants datant du XIXe. Ni Liskenne, ni Foelix ne rendent compte des changements intervenus en astronomie : le domaine stellaire est ignoré, la mécanique céleste absente de leurs préoccupations. Cette indigence est d'autant plus choquante que le premier prétend dans sa préface se faire l'écho des découvertes récentes et que le second cite à plusieurs occasions le cours public d'Arago.

Lalande et Flammarion sont tous deux des astronomes et ont à leur actif d'autres ouvrages de vulgarisation. Leurs Astronomie des dames n'ont pas que le titre en commun. La conception des deux livres est identique : il s'agit de condensés d'une œuvre plus importante mise à la portée des femmes par la suppression des paragraphes techniques et par l'ajout de petites phrases galantes ayant pour objectif supposé de séduire les lectrices.

Seule Mme Ulliac Trémadeure croit les femmes aptes à être initiées aux dernières découvertes sans précautions particulières.

Réjouissons-nous, mes soeurs, de la disparition de ces Astronomies des dames, même si certaines ne manquent pas de charme. C'est un signe de victoire de notre cause : nous sommes maintenant jugées aptes à lire les Astronomies.

Notes :

1 - Fontenelle - Entretiens sur la pluralité des mondes - Réédition - Paris GF - 1998 - p62.

2 - Cité par E. Badinter - Emilie, Emilie ou l'ambition féminine - Paris - Flammarion - 1983 - p 184-185.

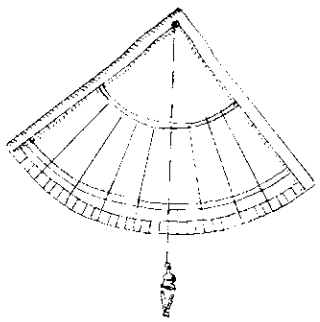
3 - Les circonstances de la parution de l'ouvrage d'Algarotti sont admirablement retracées par E. Badinter dans Les passions intellectuelles - Paris - Fayard - 1999.

■

Suite à la refonte du site qui nous héberge, la nouvelle adresse Internet du CLEA est :

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

Toutes nos excuses à ceux qui ont pu chercher sans succès à l'ancienne adresse !



HISTOIRE

Sur l'histoire des taches du Soleil

K. Mizar

On peut distinguer trois grandes époques dans l'histoire des taches du Soleil. Une préhistoire au cours de laquelle les taches solaires sont ignorées ou jugées a priori impossibles, une histoire ancienne qui est celle de leur découverte et de leur première étude géométrique, enfin l'histoire contemporaine qui, depuis deux siècles suit jour après jour l'évolution de l'activité solaire. Trois époques distinguées par trois modes d'observation, à l'oeil nu pour commencer, à la lunette ensuite, au spectroscope enfin. La présente note ne portera que sur les deux premières époques.

Nous pouvons dire aujourd'hui que les taches ont peu à peu dévoilé une activité solaire non parfaitement uniforme qui existait déjà quand les hommes ne la soupçonnaient pas. Il est donc instructif de rappeler certaines conceptions qui se révélèrent fausses, le progrès de la connaissance de la nature ayant, en astronomie comme en beaucoup d'autres domaines, la fâcheuse habitude de ne pas accoucher sans douleur.

Les observations insolites que cite Lalande (Astronomie, tome II, 3128) sont relatives à des dates anciennes, difficilement vérifiables.

Dans les Annales de France imprimées en 1588, Lalande a trouvé qu'en 807, au temps de Charlemagne, Mercure apparut sur le Soleil comme une tache sombre, le phénomène durant une huitaine de jours, des nuages empêchant d'observer exactement sa fin. Nous savons depuis Copernic qu'un passage de Mercure sur le disque solaire est possible et Gassendi a vérifié en 1631 la relative brièveté du passage. Les observateurs de 807 auraient donc observé une importante tache.

C'est aussi à d'énormes taches du Soleil que Lalande attribue une forte diminution de lumière que des anciens écrits signalaient en 535 et 626. Mais quel crédit accorder à ces observations peu précises ? On croyait généralement que le monde céleste était celui de la perfection, la présence de taches sur le Soleil était donc impensable.

Il n'était pourtant pas indispensable de disposer d'une lunette ou d'un télescope pour en découvrir l'existence, à condition d'observer le disque solaire à travers un filtre ou en projection dans une chambre noire ainsi que le relate Lalande : "le 15 avril 1764, M. d'Arquist à Toulouse vit une fort grosse tache et tout le monde la voyait avec lui sans le secours de la lunette d'approche.

J'ai personnellement souvenir d'avoir observé de ma fenêtre une tache sur le Soleil qui se levait tout juste au-dessus de Paris, sans autre protection que celle des brumes matinales ajoutées à la pollution , hélas habituelle de l'atmosphère parisienne. L'observation à l'oeil nu est bien sûr impossible quand notre étoile donne tout son éclat.

Bouleversement historique au début du XVII^{e} siècle : Galilée inaugure l'utilisation

de la lunette pour observer le ciel. Aussitôt, d'autres savants suivent son exemple, les découvertes s'accumulent.

Selon Lalande (Astronomie, tome II), c'est le père Scheiner, de la Compagnie de Jésus, professeur de mathématiques à Ingolstadt, qui aurait le premier observé des taches avec une lunette, en mars 1611. Les supérieurs du savant jésuite lui auraient alors déconseillé de publier une découverte contraire à l'opinion établie de la pureté du monde céleste ; les taches auraient fait désordre ! Scheiner avait néanmoins raconté sa découverte dans deux lettres adressées à Valser, magistrat à Augsbourg (novembre et décembre 1611). C'est seulement en 1626-1630 que Scheiner publie sous son nom un volumineux ouvrage qui témoigne de l'intérêt qu'il porta à la question.

Tout cela heurtait Galilée qui revendiquait aussi la découverte des taches. Dans un écrit de 1613, il raconte avoir montré les taches à plusieurs personnes, l'observation étant faite au jardin quirinal du Cardinal Bandini, et il en avait parlé à ses amis de Florence plusieurs mois auparavant. Querelle de priorité assez dérisoire si nous nous reportons aux additions que Lalande apporte à son traité, tome IV p. 714. Lisons plutôt :

"Le premier ouvrage qui parut sur les taches du Soleil est celui de Fabricius, intitulé Joh. Fabricii Physii de maculis in sole obsevaiis & apparente earum cum sole conversione narratio, Witterbergae 1611.

L'Epître Dédicatoire est datée du 13 juin ; mais dans cet ouvrage qui a 43 pages, il n'y en a que 8 où il soit question des taches du Soleil. Voici un extrait où j'ai renfermé en peu de mots ce que l'auteur dit sur le sujet :

"Après que les lunettes ont été découvertes en Hollande, on a commencé à regarder la Lune, ensuite Jupiter et Saturne, et Galilée y a trouvé des choses singulières. Poussé par la même curiosité, je m'occupais à regarder le Soleil, dont les bords me paraissaient avoir avoir des inégalités remarquables, que mon Père David Fabricius avait déjà remarquées, comme je l'ai déjà appris par ses lettres. Dans le temps que je m'en occupais, j'aperçus une tache noirâtre sur le Soleil, plus rare et plus pâle d'un côté, et assez grande par rapport au disque du Soleil.

Je crus d'abord que c'était un nuage ; mais l'ayant regardé dix fois avec différentes lunettes, et ayant appelé mon Père pour la lui faire voir, nous fûmes assurés que ce n'était point un nuage. Le Soleil s'élevant de plus en plus, nous ne pouvions plus le regarder ; car lors même qu'il est à l'horizon, il affecte les yeux au point que pendant plus de deux jours la vue des objets est altérée, c'est pourquoi j'avertis ceux qui voudront faire de pareilles observations de commencer à recevoir la lumière d'une petite portion du Soleil afin que l'oeil s'y accoutume peu à peu et puisse supporter la lumière du disque entier du Soleil.

Nous passâmes le reste de la journée et la nuit suivante avec une extrême impatience, et en rêvant sur ce que pouvait être cette tâche ; si elle est dans le Soleil, disai-je, je la reverrais sans doute ; si elle n'est pas dans le Soleil, son mouvement nous la rendra invisible ; enfin je la revis le lendemain avec un plaisir incroyable ; mais elle avait un peu changé de place, ce qui augmenta notre incertitude.

Cependant, nous imaginâmes de recevoir les rayons du Soleil par un petit trou dans une chambre obscure et sur un papier blanc, nous y vîmes très bien cette tache en forme de nuage allongé. Le mauvais temps nous empêcha de continuer ces observations pendant trois jours. Au bout de ce temps là, nous vîmes la tache qui était avancée obliquement vers l'occident. nous en aperçûmes une autre plus petite, vers le bord du Soleil, qui dans l'espace de peu de jours parvint jusqu'au milieu. Enfin, il en vint une troisième ; la première disparut d'abord et les autres quelques jours après. Je flottais entre l'espérance et la crainte de ne pas les revoir ; mais dix jours après, la première reparut à l'orient. je compris alors qu'elle faisait une révolution, et depuis le commencement de l'année, je me suis confirmé dans cette idée, et j'ai fait voir ces taches à d'autres qui en sont persuadés comme moi. Cependant, j'avais un doute qui m'empêcha d'abord d'écrire à ce sujet, et qui me faisais même repentir du temps que j'avais employé à ces observations. je voyais que ces taches ne conservaient pas entre elles les mêmes distances, qu'elles changeaient de forme et de vitesse ; mais j'eus d'autant plus de plaisir lorsque j'en eus senti la raison. Comme il est vraisemblable par ces observations que les taches sont sur le corps du Soleil qui est sphérique et solide, elles doivent devenir plus petites et ralentir leur mouvement lorsqu'elles arrivent sur les bords du Soleil.

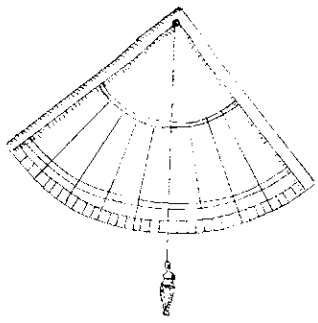
Nous invitons les amateurs des vérités physiques à profiter de l'ébauche que nous leur présentons. ils soupçonneront sans doute que le Soleil a un mouvement de conversion, comme l'a dit Giordano Bruno et , en dernier lieu, Kepler, dans son livre sur les mouvements de Mars ; car sans cela je ne sais ce que nous ferions de ces taches. Je ne suis pas d'avis que ce soient des nuages ; je ne suis pas non plus de l'avis de ceux qui ont placé les comètes dans le Soleil, comme des émissaires destinés à y revenir bientôt. J'aime mieux me taire sur tout cela que que de parler au hasard ; je suis même tenté de regarder ce mouvement du Soleil comme la cause des autres mouvements célestes, suivant les paroles d'Aristote qui dit dans ces problèmes que le Soleil est le père et l'auteur des mouvements."

Cet extrait de Fabricius montre qu'il ne pouvait avoir une bonne conception de la nature des taches, puisqu'il admettait a priori que le Soleil était solide. Il reconnaît pourtant tout de suite que les déplacements apparents des taches doivent permettre d'en déduire la rotation du Soleil. Dans le traité de Lalande on retrouve l'étude de l'arc elliptique décrit en apparence par une tache ainsi que la définition du plan de l'équateur solaire, différent du plan de l'écliptique.

Sur la nature et la structure des taches, il faudra attendre l'avènement de la spectrométrie, Fraunhofer, Kirchhof, Bunsen, Jansen. Ce sera la grande et belle histoire de la physique solaire.

J'ai seulement voulu, en rouvrant mon vieux Lalande, relire avec nostalgie les écrits enthousiastes d'un observateur oublié.

■



HISTOIRE

Les "Enfants du Soleil"

Francis Berthomieu

Francis nous propose ici une belle légende africaine qui explique les relations complexes du Soleil et de la Lune et nous apprend ce que sont devenus les enfants du Soleil.

Imaginez un peu : un bleu lumineux, un Soleil étincelant, mais aussi la Lune, et des étoiles en ribambelles, tout cela dans le même ciel, rendant la voûte céleste rayonnante de lumière et de chaleur...

Sachez que selon une légende africaine, il en fut jadis ainsi.

Ah oui ! Comme ils s'entendaient tous bien ! Soleil et Lune cohabitaient dans le ciel immense et élevaient ensemble leurs multitudes d'enfants. Chacun offrait à l'autre son amitié la plus fidèle et ses soins les plus attentifs. Et tous ces enfants coulaient une vie paisible à jouer, toujours gais et enjoués...

Seuls les hommes s'en plaignaient un peu : quelle chaleur torride ils devaient supporter !

Hélas, la vie n'est pas toujours simple et tranquille. Allez savoir pourquoi, un jour vint où la jalousie pointa le bout de son nez. Nul ne sait exactement à quelle occasion ce fut, mais la Lune se fit soudain plus distante. Et lorsqu'elle se retrouvait seule dans son coin, elle ressassait de sombres idées : "Pourquoi ne suis-je que d'argent, alors que lui est tout d'or vêtu ? Pourquoi baigne-t-il le monde de chaleur bienfaisante alors que mes rayons sont si timides ? Pourquoi les plus chatoyants des papillons lui font-ils la cour, alors que je n'attire que les ternes insectes de la nuit ? Pourquoi les hommes passent-ils leurs jours à profiter du Soleil, alors que je ne peux jamais aider que quelques rares voyageurs égarés ?"

Comme tous ceux qu'a atteint un jour la terrible maladie appelée "jalousie", la Lune cherchait un moyen de surpasser le Soleil sur un point ou sur un autre. Mais c'était toujours en vain. Elle se sentait la plus faible, la plus pauvre, la plus triste...

Et la rancoeur gagnait son coeur, la rendant jour après jour de plus en plus méchante et rancunière.

Et c'est ainsi qu'un beau jour elle s'exprima ainsi : "Mon cher ami Soleil, à quoi bon avoir autant d'enfants ? Nous allons les jeter tous dans le fleuve et les noyer !"

Un peu surpris mais encore confiant en celle qu'il croyait être son amie, le Soleil répondit qu'il ne voyait pas en quoi le fait de se défaire de leurs enfants serait un bienfait, mais qu'elle devait avoir de bonnes raisons pour le proposer. Aussi fut-il convenu qu'ils jetteraient leurs enfants à l'eau dès le lendemain : chacun mettrait les siens dans un grand sac, ils se retrouveraient au bord de la rivière et jetteraient ensemble leurs sacs dans le vif courant du fleuve...

Vous vous doutez bien sûr du stratagème : Alors que le Soleil rassemblait un à un tous ses enfants dans son grand sac, on vit la Lune remplir le sien de gros cailloux blancs !

"Ah ! Il pourra bien se pavaner avec sa splendide chevelure dorée, le Soleil sera désormais seul et triste, alors que moi je continuerai à parcourir les cieux de la Nuit accompagnée par ma ribambelle de bambins !".

Et la voilà partie pour son rendez-vous.

Le Soleil est déjà là, un peu triste, au bord du fleuve.

La Lune, sans scrupule aucun, donne l'exemple : elle lance son sac d'un geste vigoureux et la surface de l'onde se referme sur lui avec violence.

Le Soleil a bien un pincement au coeur, mais sa parole est donnée. Son amie a donné l'exemple. Il s'exécute, à regret.

Son sac atteint aussi la rivière, s'y engloutit avec fracas, et l'on ne distingue plus dans l'eau que quelques petites lueurs timides...

Et chacun repart vers sa destinée : le Soleil s'éloigne à pas lents vers l'horizon, derrière lequel il disparaît furtivement.

La Lune attend qu'il ait disparu... puis se faufile dans la grotte où l'attendent ses enfants.

Et les voilà tous partis pour une nuit de liesse, sautillant et gambadant dans la noirceur du ciel. Ils lancent en jouant mille cris de joie. Et leurs yeux étincellent de couleurs chatoyantes.

Ce remue-ménage intrigue bientôt le Soleil, qui comprend toute l'affaire :

"Perfide menteuse ! Est-ce ainsi que tu te joues de mon amitié ?"

"Ne sois pas si injuste : regarde les hommes sur la Terre. Pense à leur malheur. Avec tes enfants, vous répandiez une chaleur bien trop brûlante. Vous ruiniez leurs récoltes. Vous desséchiez leurs puits. Vous assoiffiez leurs troupeaux. Tout ira bien mieux si tu es désormais seul à leur fournir tes rayons".

Elle ne put finir son discours : le Soleil était déjà reparti, définitivement brouillé avec son ancienne amie.

Le jour est désormais le domaine réservé du Soleil. La Lune et ses enfants se sont approprié la nuit. Parfois, la Lune essaie de reprendre contact avec lui, de redevenir son amie. Peine perdue. Plus elle s'approche de l'astre du jour, et plus il resplendit, alors qu'elle pâlit et se rétrécit. Est-ce de honte ? Nul ne le sait. Elle n'a plus alors qu'à reprendre le chemin de la Nuit...

Et vous amis lecteurs, si vous avez de la peine pour les enfants du Soleil, soyez rassurés...

Si la Lune avait menti, le Soleil avait triché.

C'était bien ses enfants qui étaient dans son sac. Mais avant de lancer son fardeau dans le fleuve, il avait desserré le cordon qui le maintenait fermé, de sorte que ses enfants purent s'élancer à la nage dans le fleuve, où les dieux bienfaisants les changèrent aussitôt en poissons. Depuis, chacun peut les voir frétiller, étincelants comme les rayons du Soleil. Et certains jours, quand ils sont particulièrement joyeux, ce sont de véritables arcs en ciel qu'ils forment au pied des cascades.

Quant aux gens qui les admirent, heureux de moins souffrir de la chaleur que leurs ancêtres, ils comprennent alors pourquoi depuis des générations et des générations, on appelle ces poissons les "Enfants du Soleil".

Et si vous aimez bien que les amis d'antan se réconcilient, même après de longues années de brouille, sachez qu'il pourrait bien en être ainsi au prochain mois de Juin 2001.

On dit que la Lune va tenter la réconciliation, qu'elle a pris rendez-vous avec le Soleil, pour le Solstice d'été, qu'ils vont se rencontrer publiquement là-haut au plus haut du ciel de l'été africain, et que pendant leur étreinte, les enfants de la Lune seront pour une fois présents en plein jour. Gageons que les "Enfants du Soleil" bondiront frétillants dans tous les cours d'eau du monde !

Les astronomes appellent cela "une éclipse"... mais vous avez, comme tout le monde, l'inaliénable droit de rêver...

■

clea 2000

NOUVEAU !

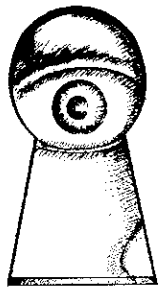
Vous enseignez les sciences physiques en classe de seconde ?

Le CD-ROM CLEA 2000 a été créé pour vous.

Documents originaux, fiches de travaux pratiques, activités de classe...
Une mine à exploiter, à l'écran ou sur papier, selon vos choix pédagogiques...
Tout ce dont vous aviez absolument besoin pour introduire une dimension astronomique dans votre enseignement.

Pour plus de détails : http://www.ac-nice.fr/clea

Prix de lancement : 50 F
A commander à notre association, comme toutes nos publications.
CLEA, laboratoire d'Astronomie, bât.470, Université Paris Sud 91405 Orsay cedex.



Devinettes

pour les apprentis voyageurs ou pour... les mangeurs de pommes

Daniel Toussaint

CURIOSITÉS

Comment s'orienter pendant un long voyage ?
Avant l'ère du GPS, cette question angoissante pour tous les marins avait deux sortes de réponses :
- l'utilisation de la boussole pour lire la direction du Nord magnétique,
- ou l'observation du mouvement apparent des astres pour connaître celle du Nord géographique.

Les points cardinaux :

Sur la rose des vents de la boussole, les quatre points cardinaux jouent exactement le même rôle, mais ce n'est plus le cas dans le ciel.

Pour un observateur de l'hémisphère Nord, la référence peut être la direction du Nord, indiquée par l'étoile polaire, celle que les Chinois ont longtemps nommée le "pivot du ciel" parce que toute la voûte céleste tourne lentement autour d'elle.

La référence peut aussi être le Sud : c'est dans sa direction que culminent les astres. Sur la terre ferme, l'évolution de l'ombre d'un piquet vertical suffit pour la trouver. Sur mer, la détermination du Sud nécessite des appareils de mesure plus élaborés tels que le sextant ou l'astrolabe.

Quant à la direction de l'Est, il ne suffit pas de chercher où se lèvent les astres. Les étoiles se lèvent (i.e. sortent de l'horizon) aussi bien au Nord-Est qu'au Sud-Est : le Soleil lui-même ne se lève à l'Est que deux fois par an (aux équinoxes). Le problème est de même nature pour l'Ouest : sur 180°, côté Ouest tous les astres se couchent (i.e. rentrent sous l'horizon).

Alors pour trouver précisément la direction Est-Ouest, il suffit de tracer la perpendiculaire à la ligne Nord-Sud.

Devinettes :

Imaginons que le pilote d'un avion décide de garder toujours le même cap, c'est-à-dire qu'il vole suivant une trajectoire qui fait toujours le même angle avec la direction Nord-Sud. Jusqu'où peut-il aller s'il part de Troyes-Barberey en suivant les indications de sa boussole dans les 3 cas suivants :

- il vole toujours vers le Nord ?
- il vole toujours vers l'Est ?
- il s'écarte de l'Est d'un angle de 30° vers le Nord ?

Le meilleur indice pour répondre à ces questions est tout simplement d'aller manger des pommes à condition de les peler d'abord ...

Réponses :

Imaginons que la pomme représente le globe terrestre. L'étoile qui est le reste de la fleur en sera le pôle Nord, tandis que la queue représentera le pôle Sud.

Le couteau qui suit un méridien en allant vers le pôle le plus proche ne peut que s'arrêter quand il arrive à ce pôle, sinon il va vers l'autre !

Le couteau qui suit un parallèle peut continuer indéfiniment dans la même direction. Mais évidemment, dès qu'il a bouclé un tour , il repasse sur ses pas et n'a plus rien à peler.

Le plus surprenant est ce qui arrive à celui qui s'écarte un peu du parallèle : à cause de la courbure de la pomme, la pelure prend la forme d'une spirale qui se termine toujours au pôle.

■

L'effet tunnel en images

Georges Paturel, Observatoire de Lyon

L'effet Tunnel est un phénomène physique déroutant en première analyse. A cause de cet effet une particule qui n'a pas une énergie suffisante pour passer une barrière de potentiel parvient néanmoins à passer. Etrange non !

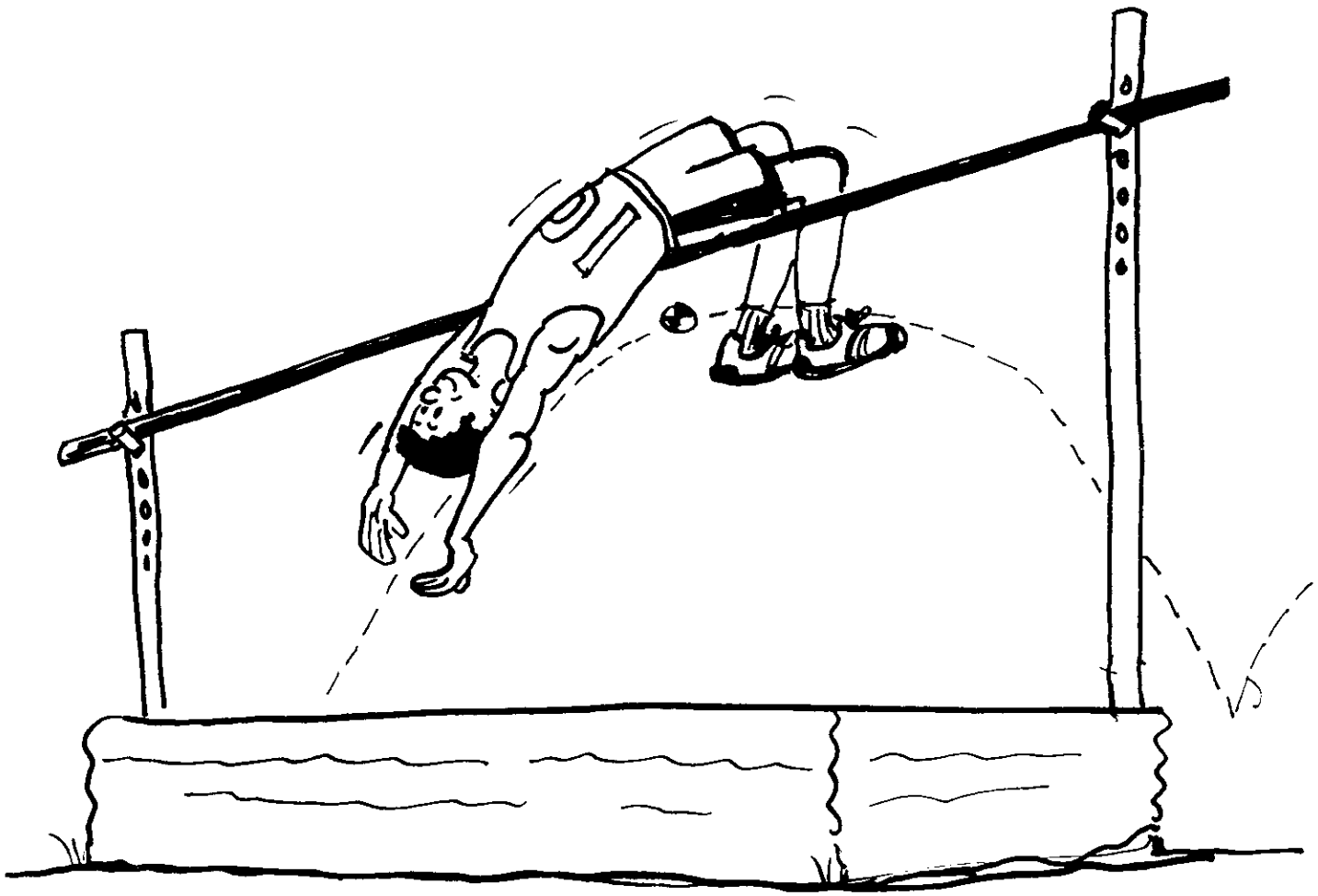
On pourrait penser que ce ne sont que des conjectures qui violent les principes les mieux établis de la physique classique. Mais non, cet effet est bien réel. Proposé en 1928 par G. Gamov, il a permis d'interpréter la radioactivité α et a été ainsi un des premiers succés de la mécanique quantique . Pas moins de trois prix Nobel de physique ont été décernés pour des découvertes ou des applications liées à l'effet Tunnel. C'est donc du sérieux. Peut-on donner une image pour faire comprendre cet effet ?

Oui. Voir ci-dessous.

Commentaires : le champion de saut en hauteur en se déformant, en s'enroulant autour de la barre, parvient à passer au-dessus alors que son centre de gravité passe en dessous. Le centre de gravité du sauteur n'atteint jamais une énergie suffisante pour passer la barre et pourtant le sauteur passe.

Ce n'est qu'une image, certes mais l'interprétation de la mécanique quantique est assez similaire : la particule n'étant pas localisée mais décrite par une onde, la barrière de potentiel présente un certain facteur de transmission.

On en déduit aisément qu'un sauteur sphérique ne serait pas un très bon sauteur. On s'en doutait.

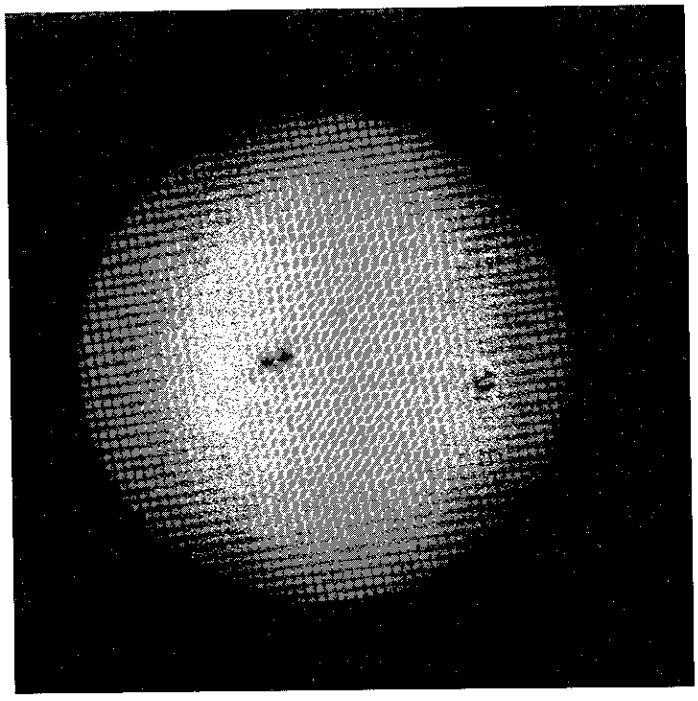


■

Tache solaire

Pierre Causeret

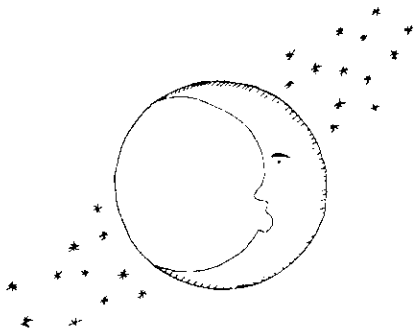
On a pu observer aux alentours de l'équinoxe d'automne une énorme tache à la surface du Soleil. Elle était même visible à l'oeil nu (derrière un filtre évidemment). Sachant que le diamètre du Soleil est de 1 400 000 km, il s'agit tout simplement de calculer les dimensions de la tache, avec ou sans pénombre.
Photo Pierre Causeret, le 23-09-2000, T 150.



Solution des mots croisés du n° 90

I : ELONGATION (d'un astre : c'est l'angle Soleil-Terre-Astre) ■ II : COSMOLOGIE ■ III : LN (logarithme naturel (ln) versus (log) logarithme décimal) ; ELI ; SM (Lecocq de Boisbaudran découvre le samarium en 1879) ■ IV : IGLOO ; DA ■ IV PUP (abréviation internationale de la constellation de la Poupe, voisine de celle du Grand Chien et de la Colombe ; c'est Lacaille qui divisa la constellation ptolémaïque du "Navire Argo" en la Poupe, la Carène et les Voiles) ; MOUCHE (ainsi nommée par Jacob Bartsch, cette constellation se situe entre la Croix du Sud et le Caméléon) ■ VI : TE ; ABBOT (Charles (1872-1973)) ■ VII IVRE ■ VIII : QUADRATURE (position d'une planète extérieure lorsque son élongation vaut un angle droit) ■ IX UELE (affluent de l'Oubangui) ; TERRE ■ X ESA (European Space Agency) ; ES ■

1 : ECLIPTIQUE ■ 2 : LONGUEVUE ■ 3 : OS ; LP (lycée professionnel) ; RALE ■ 4 : NMEO (capitaine Nemo) ; AEDES ■ 5 : GOLOMB (Salomon Golomb de l'Université de Californie, inventeur des polyminos et de règles de longueur utiles dans les radio-observatoires) ■ 6 ALI (Ali Baba : sésame ouvre-toi !) ; OBLAT ■ 7 : TO (la constellation du Toucan contient le Petit Nuage de Magellan) ; DUO ; TEE ■ 8 : IG (inspecteur général) ; ACTEURS ■ 9 : OIS ; RR (les variables à courte période du type RR Lyrae ont une magnitude absolue moyenne proche de zéro donc peuvent servir de critère photométrique primaire pour les mesures de distances stellaires) ■ 0 : NEMEE (localité de l'Argolide antique ; un des travaux d'Héraclès consista à étouffer le lion qui y sévissait) ; BEES ■



LES POTINS DE LA VOIE LACTÉE

Découverte d'une naine brune de 12 millions d'années

Lucienne Gouguenheim

Grâce au VLT (Very Large Telescope) de l'ESO (Observatoire européen austral), qui en a donné un spectre et une image d'une résolution de 0,18", inégalée depuis le sol, une équipe internationale d'astronomes vient de découvrir une naine brune très jeune.

Les naines brunes occupent une position stratégique pour notre compréhension du mode de formation des étoiles et des planètes : ce sont en effet des objets charnières. Moins massives que les étoiles normales, elles ne sont pas capables d'amorcer en leurs régions centrales des réactions de fusion thermonucléaire et tirent leur possibilité de rayonner de leur énergie gravitationnelle propre, qu'elles libèrent progressivement en se contractant ; ceci leur confère une courte durée de vie, au contraire des planètes qui réfléchissent la lumière d'une étoile pendant toute la durée de vie de cette étoile. En effet, elles se contractent jusqu'à ce que leur densité soit devenue assez grande pour que se manifestent les effets d'agitation quantique du gaz d'électrons, qui les stabilisent en contrebalançant les effets de la gravitation.

On comprend bien l'intérêt que revêt pour les astronomes une meilleure connaissance de ces naines brunes. Mais elles ne sont pas faciles à observer, d'une part car elles ne sont jamais intrinsèquement très lumineuses et d'autre part car leur luminosité décroît très rapidement au cours du temps, ce qui fait qu'elle ne sont observables que pendant une courte durée.

Comment se forment les planètes et les naines brunes ?

Elles ont un mode de formation très différent. Les naines brunes, qu'elles soient isolées ou associées à des étoiles normales, se forment comme les autres étoiles. par le même processus de fragmentation suivi de contraction au sein d'un nuage de gaz interstellaire. Les planètes se forment dans des régions circumstellaires : nuages et disques de poussières.

Ni la théorie ni l'observation ne permettent encore de fixer la valeur exacte de la masse qui sépare les deux catégories d'objets. Il semble que la limite inférieure de la masse d'une naine brune soit de l'ordre du centième de la masse du Soleil, soit environ dix fois celle de Jupiter et que la masse supérieure possible pour une planète soit également voisine de cette valeur.

On connait mieux la limite qui sépare les naines brunes des étoiles classiques : elle est de 0,08 masse solaire.

A la recherche de naines brunes jeunes

La plupart des naines brunes connues à ce jour sont des étoiles isolées. On en recense actuellement quelques dizaines. Par exemple dans l'amas d'étoiles des Pléiades, qui est relativement jeune, avec un âge de 120 millions d'années. Les plus âgées ont des milliards d'années et sont très proches de nous, à quelques années de lumière.

Plus une naine brune est jeune et plus elle est lumineuse ; d'autre part, plus elle est lumineuse, plus grande est la distance limite à laquelle on peut la détecter. Ceci explique que toutes les naines brunes proches de nous connues sont plus vieilles que celles de l'amas des Pléiades, situé à plus grande distance.

Par contre, et malgré beaucoup d'efforts, on ne connait jusqu'ici que 3 naines brunes compagnes d'étoiles normales.

L'équipe internationale autour de Ralph Neuhaeuser, de l'Institut Max Planck de Garching, en Allemagne, a entrepris un programme de recherche de naines brunes jeunes compagnons d' étoiles normales jeunes. Malheureusement les étoiles très jeunes sont rares dans le voisinage solaire. Les candidates ont été recensées à partir de l'émission X qui caractérise des étoiles très chaudes, à très courte durée de vie et qui sont donc nécessairement très jeunes. Les observations du satellite X ROSAT, lancé en 1990, ont permis de découvrir une centaine d'étoiles plus jeunes que cent millions d'années et proches de nous, à moins de 300 années de lumière.

Le programme entrepris recherche donc, à proximité de ces étoiles très jeunes, des compagnons qui soient des naines brunes.

La première étape consiste à détecter des compagnons de faible éclat apparent et rayonnant en infra-rouge, puisque les naines brunes sont des étoiles relativement peu lumineuses et froides. Cette recherche s'est effectuée au Chili, soit avec le télescope NTT de 3,6 m de la Silla, soit avec l'un des télescopes de 8 m du VLT au Paranal. Les candidats ainsi découverts peuvent n'être que des étoiles beaucoup plus lointaines et sans relation avec l'étoile jeune et brillante. On doit donc conduire des observations complémentaires. Deux méthodes sont possibles, qui se complètent pour donner l'assurance qu'on a bien détecté une naine brune.

La première consiste à prendre le spectre de l'étoile candidate : s'il s'agit bien d'une naine brune, il doit être caractéristique de celui d'une étoile froide, donc riche en oxydes de titane (TiO) et de vanadium (VO), qui se manifestent particulièrement en IR.

La seconde méthode consiste à obtenir une seconde image quelques années plus tard : si les deux étoiles sont associées, elles sont animées du même mouvement propre.

Les observations de TWA-5B avec le télescope spatial Hubble et au VLT

On a découvert, il y a deux ans, avec le télescope spatial Hubble, un compagnon très peu brillant TWA-5B, à proximité de l'une des étoiles de ce programme, TWA-5. Elle a 12 millions d'années et fait partie d'un groupe d'une douzaine d'étoiles très jeunes, dans la constellation de l'Hydre ; sa distance, mesurée par HIPPARCOS, est de 180 a.l. Les observations au VLT ont permis d'obtenir de nouvelles images, deux ans plus tard, ainsi que des spectres, dans le visible et dans l'IR, deTWA-5B. Les spectres visibles et IR montrent des raies d'absorption, caractéristiques d'une étoile de type M9, de température superficielle 2500 K.

La raie Hα en émission relativement intense témoigne chez la naine d'une activité chromosphèrique intense caractéristique d'objets très jeunes, donc tout en fait en accord avec l'âge de 12 millions d'années de TWA-5.

La comparaison des positions apparentes de TWA-5B et TWA-5 entre 1998 et 2000, compte tenu des incertitudes de mesure, et grâce à la très bonne résolution tant de l'image spatiale que de celle au sol, montre les déplacements semblables des deux étoiles, ce qui prouve leur association.

Les caractéristiques de la naine brune TWA-5B

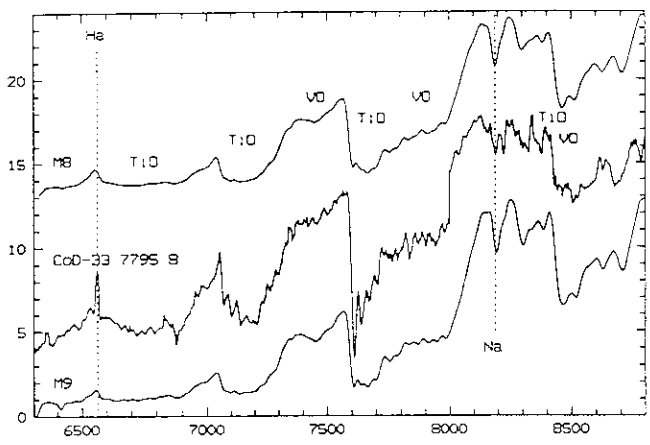
Sa magnitude apparente et sa distance, donnent une luminosité 400 fois plus faible que celle du Soleil. Ce fait, relié à la température superficielle de 2500 K et aux modèles de structure interne des naines brunes conduit à une masse entre 15 et 40 fois celle de Jupiter et à une confirmation de l'âge de 12 millions d'années. C'est donc, de très loin, la plus jeune naine brune connue. En fait, TWA-5 et TWA-5B sont encore dans un processus de formation.

Les prochaines étapes

Il va s'agir maintenant de découvrir d'autres naines brunes compagnes d'étoiles normales pour tenter de répondre aux questions : quel est l'étendue du domaine de masse possible ? Quelles sont les caractéristiques orbitales ? Les étoiles de toutes masses peuvent-elles avoir un compagnon naine brune ? Les étoiles naines brunes isolées et celles compagnes d'étoiles normales ont-elles la même distribution de masse ?

Il est également très excitant d'envisager de découvrir directement, par les mêmes méthodes d'observation, des compagnons de masse encore plus faible, c'est-à-dire des planètes. Les (nombreuses) planètes extra-solaires découvertes à ce jour ne l'ont été que par des méthodes indirectes. Ces observations sont très difficiles car la planète est très proche de l'étoile et bien moins brillante. La méthode, déjà utilisée ici, consiste à prendre plusieurs centaines, ou milliers de photos en court temps de pose, de l'ordre d'une seconde ou moins, et à les additionner en éliminant les effets atmosphériques (méthode des tavelures), par l'optique adaptative.

■



Spectres dans le visible. Au centre : la naine brune TWA-5B ; en haut, une étoile de type M8 ; en bas de type M9.
Les raies de TiO de VO et de Na sont en absorption. La raie Hα en émission, très intense, caractérise une étoile très jeune.
(En abscisse, longueur d'onde en Å ; en ordonnée, flux en unité arbitraire).

Documents pour les fiches CLEA BELIN

DCB
20 exemplaires
(70 F-65 F)

Transparents animés pour rétroprojecteur

(55 F-50 F)
T 1 Le TransSoLuTe
(phases de la lune et éclipses)
T 2 Les fuseaux horaires

Filtres colorés

FCR
Six feuilles de filtres colorés
et une feuille de réseaux
(75 F-65 F)

D 1 Phénomènes lumineux
D 2 Les phases de la Lune
D 3 Les astres se lèvent aussi
D 4 Initiation aux constellations
D 5 Rétrogradation de Mars
D 6 Une expérience pour illustrer les saisons
(série de 8 vues 35 F-30 F)
D 7 Taches solaires et rotation du Soleil
D 8 Comètes

DIAPOSITIVES

Chaque série de 20 vues avec
son livret de commentaires
(65 F-55 F)

Publications du **CLEA**

Pour chaque publication le deuxième prix
est le tarif réduit pour les abonnés
Les prix indiqués le sont port compris

Chèques à l'ordre du CLEA

Les fiches d'activité pédagogiques du CLEA

HS1 L'astronomie à l'école élémentaire
HS2 La Lune niveau collège 1
HS3 Le temps, les constellations, niveau lycée
HS4 Astronomie en quatrième
(Chaque HS 68 F-48 F)
HS5 Gravitation et lumière, niveau terminale
(83 F-73 F)
HS6 L'âge de la Nébuleuse du Crabe
avec 4 diapositives et 12 jeux de deux photographies
niveau lycée
(110 F-100 F)
HS7 Étude du spectre du Soleil
(58 F-50 F)
HS8 Étoiles variables
(80 F-70 F)

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
(63 F)

P2
Processus de rayonnement
(30 F)

P3
Structure interne
et évolution des étoiles
(35 F)

P4
Astrophysique solaire
(35 F)

CONDITIONS D'ADHÉSION ET D'ABONNEMENT POUR 2000

Cotisation simple au CLEA pour 2000	50 F
Abonnement simple aux CAHIERS CLAIRAUT n° 89 à 92	**140 F**
Abonnement aux CAHIERS CLAIRAUT ET cotisation au CLEA pour 2000	**190 F**
Contribution de soutien au CLEA (par an)	50 F
Le numéro des Cahiers Clairaut	45 F

Possibilité de cotiser ou de s'abonner pour deux ans en doublant les tarifs précédents

COLLECTIONS DES CAHIERS CLAIRAUT des années antérieures :
90 F par an jusqu'en 1997
110 F par an à partir de 1998

Adresser adhésions, abonnements ou commandes à

Chèque à l'ordre du CLEA

CLEA Catherine Vignon
21 rue d'Anjou
92 600 Asnières

Publications...

FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAITRES EN ASTRONOMIE

1- L'observation des astres, le repérage dans l'espace et le temps	43 F
2- Le mouvement des astres	53 F
3- La lumière messagère des astres	58 F
4- Naissance, vie et mort des étoiles	63 F
6- Univers extragalactique et cosmologie	58 F
7- Une étape de la physique, la Relativité restreinte	108 F
8- Moments et problèmes dans l'histoire de l'astronomie	68 F
9- Le système solaire	88 F
10- La Lune	63 F
11- La Terre et le Soleil	78 F
12- Simulation et astronomie sur ordinateur	48 F

Publication du planétarium de Strasbourg
LSO. Catalogue des étoiles les plus brillantes :
toutes les données disponibles du Centre des Données Stellaires de l'Observatoire de Strasbourg concernant 2 000 étoiles visibles à l'oeil nu (75 F)
Commande à adresser au service librairie du Planétarium de Strasbourg

Directrice de la publication : Lucienne Gouguenheim
Imprimerie Hauguel, 92240 Malakoff

dépot légal : 1er trimestre 1979
numéro d'inscription CPPAP : 61660
Prix au numéro : 45 F