

Les Cahiers Clairaut

Hiver 2008 n° 124

EDITORIAL

Dans ce numéro vous trouverez un dossier sur la préparation de l'Année Mondiale de l'Astronomie (AMA09), qui débutera en janvier 2009. Nous essayerons de marcher dans les pas de Galilée, d'abord avec la réalisation d'une petite lunette pour mesurer la hauteur des plus hautes montagnes lunaires. Ensuite, nous déterminerons la vitesse de rotation du Soleil, d'après les observations de Galilée, puis nous étudierons Vénus.

Des témoignages d'expériences pédagogiques sont présentés et les fondamentaux ne sont pas oubliés : la méthode pour tracer le méridien d'un lieu et mesurer sa latitude, puis, la mesure du rayon de la Terre avec un GPS.

Enfin, les plus exigeants pourront découvrir l'instrument génial qu'est le coronographe interférentiel.

Avec ce dernier numéro de l'année, nos abonnés recevront le CD "Explorer l'Univers", édité sous la direction de notre active collègue : Agnès Acker.

L'année prochaine une nouvelle équipe (Pierre Causeret, Christian Larcher et Jean Ripert) prendra en charge la rédaction des Cahiers Clairaut.. Cette transition apportera un salutaire brassage des expressions. En attendant, bonne lecture !

La Rédaction
patu@obs.univ-lyon1.fr



Avec nos élèves

Un astronome à l'école primaire

E. Josselin p. 2

Avec nos élèves

Atelier Astronomie : Imagerie numérique 2007/2008

A. Falcon et A. Debackère
p. 5

Reportage

L'Observatoire d'Alger

J. Bogo p. 8

Avec nos élèves

Convergence : le coronographe interférentiel achromatique

J. Gay p. 10

Avec nos élèves

Nous avons tracé le méridien du collège

C. et G. Lecoutre p.16

Avec nos élèves

Le rayon de la Terre revisité

G. Paturel p.19

DOSSIER : AMA09

Histoire

Galilée, un des fondateurs de l'astronomie moderne

M. Weyant (texte communiqué par R. Cavaroz)
p. 20

Réalisation

Une petite lunette de Galilée pour observer les montagnes lunaires.

G. Paturel p. 25

Avec nos élèves

Galilée et la rotation du Soleil

F. Berthomieu p. 27

Avec nos élèves

Le retour de Vénus

F. Berthomieu p. 28

Avec nos élèves

L'étoile du berger

F. Berthomieu p. 30

Avec nos élèves

Vénus et Maths

P. Causeret p. 32

Rubriques fixes

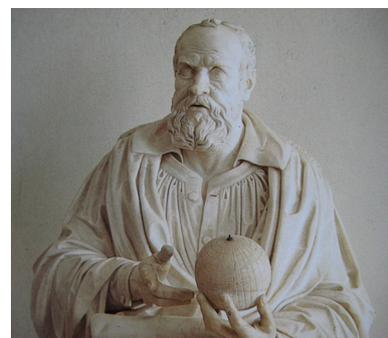
Remue-ménages p. 34

Lecture pour la marquise p. 35

La vie associative p. 36

Le courrier des lecteurs p. 38

Solutions et informations p. 40



Galileo Galilei, 1564-1642, (dit Galilée). Statut par Paolo E. Demi (1839), d'après Galuzzi et al., Éditions Vilo, Paris

Un astronome à l'école primaire

Eric Josselin, GRAAL, Université Montpellier II
Eric Reygnier, école primaire de Florensac

Résumé : *Chronique de la visite d'un astronome dans des écoles primaires, en classes de CE1 et CM1, dans lesquelles est abordée l'étude du Soleil, du ciel nocturne et des constellations. Ces visites s'inscrivent dans des projets pédagogiques, afin d'en optimiser l'intérêt pour les élèves.*

Préambule

Le but ici n'est pas de donner une leçon sur comment enseigner l'astronomie à l'école primaire, mais simplement de faire partager l'expérience de visites d'un astronome dans des classes, de niveau CM1 (école primaire François Mitterrand à Capestang) et CE1 (école primaire de Florensac).

L'astronomie est populaire en milieu scolaire, et les sollicitations d'écoles, collèges ou lycées sont nombreuses. Les expériences reportées ici sont particulières, dans la mesure où elles s'inscrivaient toujours dans le cadre d'un projet pédagogique. Autrement dit, une préparation en amont et une exploitation en aval étaient planifiées : recherche bibliographique, utilisation d'un gnomon pour relever la course du Soleil, relevé des phases de la Lune, visite d'un planétarium, etc. Cette préparation rend la visite beaucoup plus agréable pour l'astronome ... et plus enrichissante pour les élèves !

Pour des élèves de ce niveau, il nous a semblé important de systématiquement commencer par l'Univers sensible (système Terre Lune Soleil), pour progressivement s'éloigner ... et rêver ! De plus, nous nous sommes efforcés d'inscrire les activités proposées dans un cadre dépassant la simple découverte de cette science. Ainsi, certaines donnaient lieu à de la géométrie, de l'expression écrite, des arts plastiques ...

Chaque visite commence par une séance de questions libres. Il faut profiter de la spontanéité des élèves de cet âge ! L'une des premières est inmanquablement liée à la nature du métier :

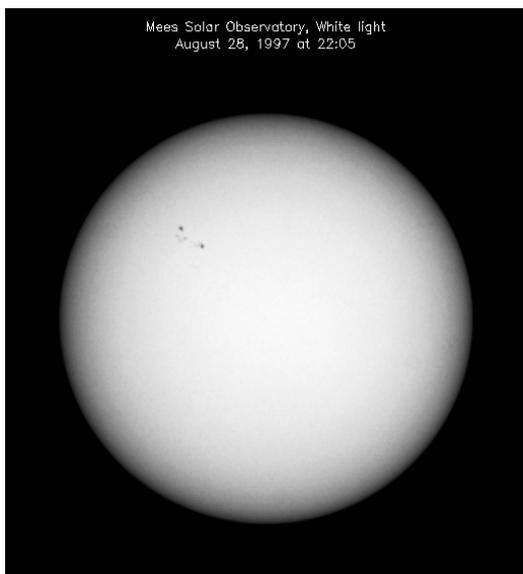
astronome ou astronome, y a-t-il vraiment une différence ? Et la réponse ne manque pas de susciter un peu de déception : l'astronome qu'ils ont en face d'eux (qui n'est même pas barbu ...) n'est jamais allé dans l'espace ... Mais au moins, il voyage beaucoup, et a beaucoup de choses à raconter ! Cet échange est aussi l'occasion de faire le point sur ce que les élèves savent (ou croient savoir ...), sur leurs interrogations (voire leurs angoisses : il paraît que le Soleil va exploser !).

Avec les élèves de CM1

L'étude du Soleil débute par une observation avec un Solarscope. Plusieurs phénomènes sont ainsi mis en évidence. Tout d'abord, le mouvement apparent du Soleil, très rapide, puisqu'il faut sans cesse repositionner le Solarscope ! C'est l'occasion de s'interroger sur la nature du mouvement et la place relative du Soleil ou de la Terre (géocentrisme ou héliocentrisme ?). Ensuite (nous avions de la chance ce jour-là !), on s'intéresse aux taches solaires. On constate rapidement qu'il ne s'agit pas de nuages : quelques cirrus lors de l'observation passent devant le Soleil, alors que les taches ne changent pas de position sur le disque solaire. On aborde alors la notion d'activité solaire (on reviendra sur les aurores boréales lors d'une séance photos), on tente d'expliquer le phénomène des taches (plus c'est chaud, plus c'est brillant ; la température n'est donc pas homogène à la surface du Soleil). Certains élèves remarquent même l'assombrissement centre-bord ; on mentionne alors l'existence d'une atmosphère solaire.

L'activité autour du Soleil se poursuit avec le montage d'un cadran solaire, dont une maquette

est fournie sur papier cartonné ... avec une notice. On en profite pour étudier le style de rédaction du texte injonctif, on relève les verbes à l'infinifitif ...



Photographie du Soleil avec un télescope solaire, semblable à son apparence lors d'une observation avec un Solarscope.

On aborde ensuite le ciel nocturne. À l'aide s'une carte simplifiée du ciel, on apprend d'abord à s'orienter : on repère la Grande Ourse, d'où l'on tire la position de l'étoile Polaire, puis de quelques astérismes remarquables. On évoque les légendes associées aux constellations (et donc la civilisation gréco-romaine !). À partir d'une carte du ciel vierge (où les astérismes ne sont pas tracés), les élèves construisent alors leurs propres constellations et inventent leurs légendes.

La séance en classe s'achève avec un diaporama, qui permet de voyager dans le Système Solaire et au-delà ... Il ne faut pas se priver du plaisir procuré par les belles images astronomiques !

À l'occasion d'un séjour en classe de neige, et donc la possibilité de veiller un peu tard avec les élèves, on mettra en pratique les notions acquises sur le repérage céleste, puis on observera avec une petite lunette les reliefs lunaires, les satellites de Jupiter, la nébuleuse d'Orion.

Avec les élèves de CE1

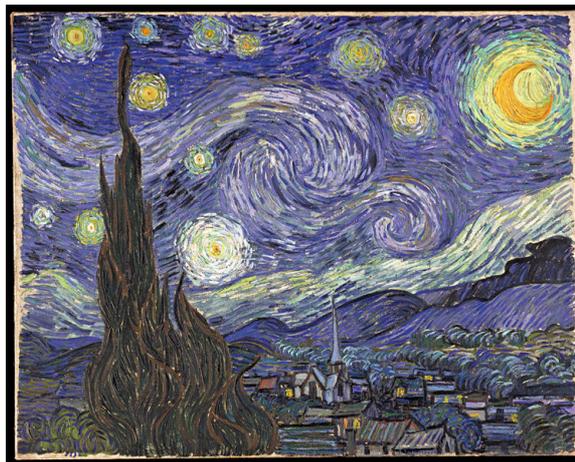
La première étape consiste à « observer » (avec des photos) la Terre vue depuis l'espace. On a alors un autre point de vue sur l'alternance jour - nuit, en observant le déplacement de la bande du crépuscule

sur la Terre, qu'on reproduit avec une lampe et un globe. On s'interroge également sur l'accroissement de la pollution lumineuse : un montage de photographie de la Terre la nuit montre à quel point elle est éclairée !

On voyage ensuite dans le Système Solaire. On apprend à reconnaître les planètes ... et on révisé un peu les notions d'anglais, avec les noms des jours de la semaine et les astres associés. On avait débuté avec les jours en français, mais le problème du dimanche se posait ... La langue anglaise nous offre une alternative intéressante ! La question inévitable ne tarde pas : qu'est devenu Pluton ? À noter que ce voyage était dicté par le programme de la séance prévue au planétarium de Montpellier.

Avec une carte du ciel et des photographies grand champ du ciel nocturne, on s'entraîne au repérage des constellations.

On passe ensuite aux représentations d'artiste du ciel, en se concentrant sur les peintures de van Gogh. Sur certaines d'entre elles, on reconnaît encore des constellations (par exemple la Grande Ourse, dans « nuit étoilée sur le Rhône »). On étudie plus en détail la façon de représenter le rayonnement d'un astre, on s'interroge sur la signification des tourbillons, omniprésents dans les représentations du ciel. Bien entendu, tout cela sera mis en pratique au cours d'ateliers de dessin et peinture.



Nuit étoilée, de Vincent van Gogh (1889 ; source : Wikipedia)

Conclusion

L'enthousiasme des élèves est réjouissant, et le succès de ces visites est attesté par le nombre de dessins offerts à l'astronome !

Encadré 1 : cadre du projet en CM 1

Objectifs:

- Rotation de la Terre sur elle-même : alternance jour/nuit
- Construction d'un cadran solaire (équatorial)
- Rotation de la Terre autour du Soleil : saisons
- Phases de la Lune et rotations
- Constellations

Notions abordées :

- Mathématiques: les angles, le cercle, la mesure du temps, les graphiques, programmes de tracé.
- Expression écrite: écrire une légende autour de l'origine d'une constellation, mode d'emploi et fiche de construction, correspondance scolaire.
- Maîtrise de la langue: impératif et infinitif (notice), le passé dans le récit (légende).
- Lecture: « les étranges lunettes de Monsieur Huette » (Olivier Sauzereau, édition Actes Sud Junior), textes scientifiques, fiche de construction.
- Sciences et technologie: la boussole, mouvement apparent du soleil, mouvement réel de la terre, les phases de la lune, construction d'un cadran solaire, étoiles et constellations, les saisons.

Encadré 3 : exemple de légende associée à une constellation inventée par un élève

Le Crapaud

C'était un crapaud qui vivait dans l'herbe. Un jour, il décida de visiter le ciel.

Mais il se dit : « Comment vais-je faire ? » Peu après il eut une idée. « Je vais demander à Noyaux l'oiseau. »

Alors il alla lui demander : « Noyaux, s'il te plait, est-ce que tu peux m'emmener là-haut ? »

« Mais bien sûr » lui répondit-il. Alors Noyaux l'emmena. Mais comme il ne savait pas voler, Noyaux accrocha des ailes au crapaud, puis le lâcha dans l'air. Et ça marcha !

Il était content. Soudain, un astéroïde se scratcha sur lui et pouf !!!

Il disparut !!! On ne le revit plus jamais. Mais le soir, quand on regarde le ciel, on voit une constellation, et on l'appelle la constellation du crapaud et je croishhh ! même parfois l'entendre ...

Léana, élève de CM1.

Encadré 2 : compte-rendu de la rencontre avec un astronome, rédigé par des élèves de CE1 – « L'actu des cartables » (Journal des enfants, école élémentaire de Florensac)

Jeudi 22 novembre et vendredi 23 novembre, Eric Josselin est venu dans les trois classes de CE1. Il est astronome et il observe les étoiles avec un télescope. Il nous a montré beaucoup de photos du ciel et il nous a expliqué beaucoup de choses :

Le Système Solaire

Le Soleil est très chaud, il y fait au moins cinq mille degrés. Et je ne vous ai pas parlé des planètes du Système Solaire. Voulez-vous que je vous les nomme ? Alors il y a Mercure, Vénus qu'on appelle aussi l'étoile du Berger, La Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune et Pluton. La plus grosse planète est Jupiter. L'astronome nous a dit que sur certaines planètes il n'y avait pas de vie, et que pour nous, la Terre est le seul endroit pour vivre.

Des étoiles et des planètes

Les étoiles brillent dans la nuit. Elles font de la lumière et de la chaleur. Le Soleil est une étoile comme les autres. Le Soleil et les étoiles sont du gaz qui brûle. Mais les planètes ne brûlent pas.

Les constellations

Les constellations sont des groupes d'étoiles qui forment des dessins d'animaux comme le grand chien, le taureau, l'aigle, le cygne, ou des personnages de légende comme le chasseur d'Orion ou la reine Cassiopée.

Nous avons cherché à reconnaître des constellations sur des photos grâce à une carte du ciel simplifiée.

Vincent Van Gogh

C'est un peintre qui a fait beaucoup de tableaux où l'on voit le ciel et des étoiles. L'astronome nous en a montré quelques-uns comme Nuit étoilée et celui où le soleil se couche devant le champ d'oliviers.



Atelier Astronomie : Imagerie numérique 2007/2008

Collège « Le Monteil » rue Henri Pourrat 43 120 Monistrol sur Loire
Professeurs **Annie Falcon** (Lettres) & **André Debackère** (Sciences physiques)

Résumé : *Aussi extraordinaire qu'inattendu...le sursaut de la comète 17P Holmes. Notre projet est le fruit d'un travail pluridisciplinaire en sciences et en littérature, disciplines si souvent "opposées" dans l'esprit de nombreuses personnes. Nous avons voulu montrer qu'en réalité ces disciplines peuvent être tout à fait complémentaires lorsqu'elles s'associent pour traiter un même sujet.*

Fin octobre 2007, un événement extraordinaire s'est produit. Notre atelier scientifique à vocation astronomique ne pouvait y rester insensible. Le nom de cette comète 17P Holmes a tout de suite fait penser au célèbre détective. L'idée nous est venue alors d'étudier le phénomène sous la forme d'une enquête policière. Nous avons donc travaillé en suivant deux axes :- la rédaction d'une nouvelle policière - l'étude de l'évolution de la comète et la recherche de la date et heure du sursaut.

La façon de travailler est aussi originale : ici pas de papier ni de crayon ! nous avons travaillé au clavier des ordinateurs de la salle multimédia du collège. Internet est bien sûr largement utilisé et il a fallu trier le flot énorme d'informations sur le sujet. Chaque élève apporte sa pierre à l'édifice, les professeurs se chargeant de la synthèse des travaux réalisés individuellement. Le travail final présenté ici est en fait une sorte de puzzle où chacun a apporté des pièces.

Des soirées d'observation hélas trop peu nombreuses cette saison (les conditions météorologiques ayant été souvent défavorables) sont venues étayer et illustrer le travail de réflexion mené à l'atelier. Nous avons néanmoins réussi à réaliser deux images de l'objet céleste en utilisant le matériel prêté à l'établissement dans le cadre de l'opération « Astro à l'école » notamment la webcam modifiée longue pose et le logiciel SalsaJ de EUHOU.

Évidemment ces deux images sont insuffisantes pour en faire une étude ; aussi nous avons fait appel à plusieurs astronomes amateurs qui nous ont aimablement autorisés à exploiter leurs images. Nous avons aussi demandé l'avis des spécialistes comme François Colas et Nicolas Biver de l'OBSPM.

La méthode de travail.

Étant donné le faible volume horaire (séquences d'1 heure hebdomadaire) et les rares soirées d'observations (tributaires d'une météo capricieuse), nous avons décidé de fractionner les tâches. Les élèves ont travaillé par petits groupes sur différentes parties du projet. Les professeurs ont ensuite fait la synthèse des travaux en apportant les corrections nécessaires puis les différents éléments de la nouvelle policière ont été mis en place à la manière d'un puzzle.

Premières images

Premières images longues poses avec la webcam montée en parallèle sur le télescope et munie d'un objectif photo de 50mm. (Matériel Astro à l'école)
Le 30 novembre 2007 séance d'observation. Tour

du ciel, repérage de l'étoile polaire. Mise en station du télescope C8 sur monture HEQ5. Série de 10 images de 10 s de la comète 17P/Holmes. Série de 10 images de 10 s des Pléiades.





Première mesure

Première mesure du petit axe de la coma de 17P/Holmes avec le logiciel SALSJ et du logiciel « Cartes du Ciel » :

Pour mesurer il faut un étalon de mesure. Notre image de la comète prise le 30 novembre 2007 montre cette dernière sur un fond de ciel étoilé. Les étoiles ont des positions dans le ciel bien précises et cataloguées. Il suffit donc de reconnaître deux étoiles de l'image et à l'aide du logiciel « Cartes du Ciel » de trouver la distance angulaire qui les sépare. Ensuite on mesure avec l'outil « coupe » du logiciel « SalsaJ » la distance en pixels de ces deux étoiles et avec le même outil on mesure le petit axe de la coma en pixels. Un tableau de proportionnalité permet d'accéder au diamètre angulaire en minutes d'angle.

Deuxième soirée d'observation et de prises de vues.

Le 26 janvier 2008 soirée d'observation. Tour du ciel, repérage de la polaire et des principales constellations. Mise en station du télescope. Série de 10 images de 180 s de la comète 17P/Holmes à la webcam LP montée en parallèle sur le télescope et munie de l'objectif photo de 50 mm. Puis images de Mars à la webcam en mode normal montée sur le flip miroir avec deux barlows au télescope C8 sur monture HEQ 5 goto.



Mesures sur des images d'astronomes amateurs.

Nos seules images étant en nombre insuffisant, nous avons demandé l'autorisation aux auteurs d'utiliser leurs images (Stéphane Takbou, Bernard Bayle et Gérald Sachot que nous remercions ici)

Utilisation du tableur « OpenOffice calc » et réalisation d'un graphique. La méthode précédente est appliquée à ces images. Les résultats sont consignés dans un tableau. La construction d'un graphique montre alors l'évolution du petit axe de la coma jusqu'à fin novembre 2007. La date et heure de prise de vue seront exprimées en décimal.

Recherche de la date du sursaut de la comète.

On constate que l'évolution est pratiquement linéaire, on peut donc remonter à la date où le noyau était quasi ponctuel c'est-à-dire lorsque le diamètre de la coma vaut 0'. On obtient ce résultat par lecture du graphique, abscisse correspondant à une ordonnée nulle ou en déterminant l'équation de la droite de type $y = a x + b$ puis en résolvant l'équation $0 = a x + b$

Puis conversion de la date décimale obtenue en date heure et minute

On a dans cet exemple $y = 448,4 x - 900300$, la droite coupe l'axe des abscisses pour $y = 0$ ce qui donne $x = 2007,894$.

(voir par exemple Figure 1)

le 22 octobre 2007 vers 18h TU

De la même manière l'exploitation des images de Bernard Bayle donne :

le 23 octobre 2007 vers 10h45 TU

celles de Gérald Sachot :

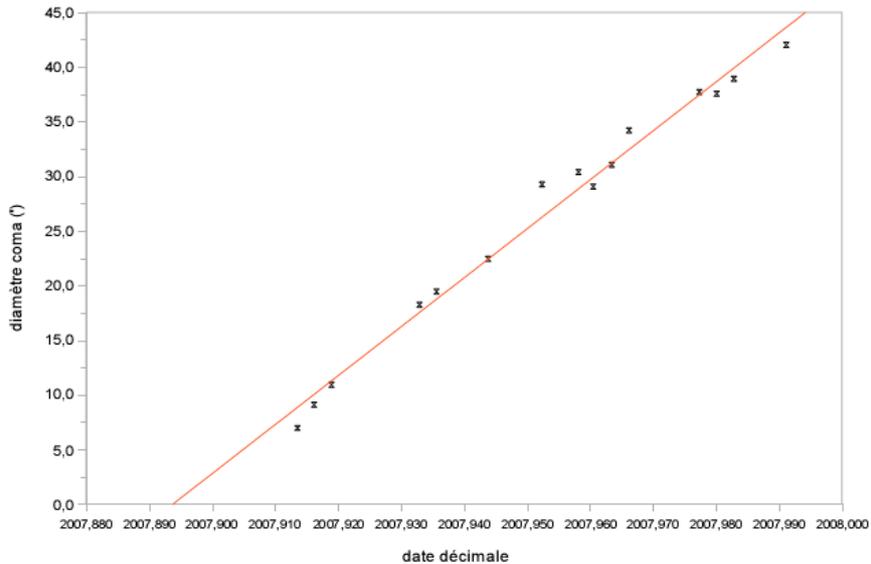
le 23 octobre 2007 vers 10h TU

La circulaire n° 8886 de l'Union Astronomique Internationale concernant la comète 17P/Holmes signée par Daniel W. E. Green le 24 octobre 2007 indique que : « La comète est mesurée lors de son apparition de 2007 depuis le mois de mai aux alentours de la magnitude 16 par les professionnels. La comète est ensuite mesurée à la magnitude de l'ordre de 17 le 23 octobre à environ 21 h TU. La première détection connue est celle de A. Henriquez Santana à la magnitude 8,4 le 24 octobre vers 1h30 TU du matin »

Par conséquent le phénomène a eu lieu entre

- le 23 octobre 21hTU
- et le 24 octobre 1h30 TU

17P/Holmes images de S Takbou



Conclusion.

En ce qui concerne les résultats obtenus, nous sommes partis du principe que l'accroissement est linéaire. Or, signale François Kugel, c'est vrai pour une grande partie du graphe mais c'est moins vrai lorsque l'on s'approche de l'instant T=0. En réalité on aurait une vitesse d'expansion qui est maximum au début et qui va ralentir et se stabiliser peu de temps après, ce qui va modifier le résultat.

L'enquête s'est déroulée dans la joie et la bonne humeur. Les membres, chacun de leur côté, se sont enquis d'hypothèses qui auraient pu expliquer « l'agression » dont avait été victime 17P Holmes. La répartition des différentes

démarches ne fut pas toujours chose facile. Toutefois, la confrontation des idées a permis à notre groupe de poursuivre efficacement ses investigations. Chacun des membres a apporté sa contribution à la production d'un travail collectif faisant appel à plusieurs disciplines. L'équipe a ainsi pu découvrir les rouages de la recherche scientifique avec la formulation d'hypothèses, l'expérimentation qui permet de les valider ou au contraire de les éliminer: ce qui n'est pas observé ne peut être affirmé. Les élèves ont aussi constaté la prudence scientifique dans la recherche de « la vérité », les divergences de point de vue des spécialistes sur un même sujet d'étude et les inconnues qui restent à élucider.



Si vous souhaitez apprendre l'astronomie pratique et acquérir des notions d'astronomie théorique, venez à l'école d'été du CLEA qui se déroule au col Bayard, près de Gap, à la fin août et qui dure une semaine.



Vous y rencontrerez la plupart des auteurs de notre revue. Pour ce qui est de l'ambiance, allez voir la chanson composée par Daniel Bardin (deuxième en partant de la droite, couché dans l'herbe au premier rang), à la rubrique 'la vie associative'.

L'OBSERVATOIRE D'ALGER

Josiane Bogo

Professeur au Lycée Alexandre Dumas Alger

Résumé : *En Algérie, le Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique (CRAAG) abrite un observatoire d'astronomie connu autrefois comme l'Observatoire d'Alger. Du haut de son rocher à 340 m, le Centre surplombe la mer. Il regarde l'horizon bleu mais surtout il écoute la Terre et regarde le Ciel.*



La magnifique baie d'Alger

L'observatoire d'Alger fut créé en 1856 et rapidement installé sur les hauteurs de la ville à Bouzaréah.



L'observatoire d'Alger... un paysage extraordinaire.

À l'époque, la France avait quatre grands observatoires : Paris, Lyon, Nice et Alger.

En 1890, l'installation de l'observatoire est finalisée avec des instruments d'observation performants :

- Le Télescope de Foucault
- L'Astrographe de Gautier
- La Lunette équatoriale coudée

L'observatoire d'Alger participe alors au grand projet international de la Réalisation de la Carte du Ciel.

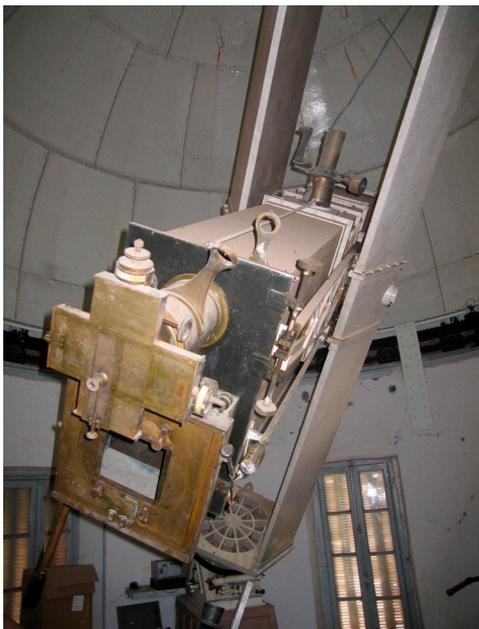


Le télescope de Foucault est équipé d'un des premiers miroirs de 60 cm, en verre aluminé.

Plus tard fut installée une *Lunette Méridienne* qui permit le fonctionnement du Service de l'Heure durant des années. Toute cette mémoire de l'astronomie est encore bien présente en Algérie¹, tous les instruments ayant été conservés.

Aujourd'hui, ce lieu prestigieux est devenu un centre de recherche scientifique, le Centre de

¹ En particulier avec **Monsieur Behlocine**, astrophysicien retraité, vivant sur le site (NdIR).



L'astrographe de Gautier qui participa au projet de la carte du ciel.

Dirigé par **Monsieur Yellès**, sismologue, il a pour activité principale la surveillance sismique grâce à un réseau national et international. Ces études permettent de localiser les séismes, d'analyser le suivi des crises, de comprendre le mécanisme au foyer et d'interpréter la déformation due aux séismes.



La lunette coudée (Objectif de 32 cm de diamètre et 6,4 m de distance focale).

Depuis quelques années, le Département d'Astrophysique dirigé par **Monsieur Seghouani** est en plein essor. Il est actuellement le seul observatoire permanent d'Afrique du Nord et les projets de recherche développés par les chercheurs sont nombreux : Physique solaire, Physique stellaire (étoiles variables), Dynamique Galactique ...



La salle d'observation de la lunette coudée... [on se croirait à Saint-Genis Laval].

En Septembre 2007, a été ouverte à Constantine, une École Doctorale d'Astrophysique, la première au niveau de l'Algérie et du Maghreb, qui permettra de poser les fondements de l'astronomie universitaire en Algérie.



La lunette méridienne pour le service de l'heure, [elle aussi similaire à celle de l'observatoire de Lyon].

A cette création d'École Doctorale sont associés les projets de construction d'observatoires. Les deux sites potentiels se situent dans le Massif des Aurès (2000 m) et celui du Hoggar (2700 m). L'année mondiale de l'astronomie devrait mettre en avant ces projets notamment l'observatoire des Aurès.

Une coïncidence ?

L'observatoire d'Alger est équipé d'instruments très similaires à ceux de l'Observatoire de Lyon, à Saint-Genis Laval. Ce n'est pas une coïncidence, car, dans les années 1880-90, les grands observatoires français reçurent le même équipement. Ce fut le cas de l'Observatoire de Saint-Genis Laval. NdlR

Convergence : Le Coronographe interférentiel achromatique ou CIA

Jean GAY

Astronome à l'Observatoire de la Côte d'Azur (OCA), Département Fizeau.

Résumé : *Chacun sait que, depuis quelques dizaines d'années, les astronomes n'ont pas d'affaire plus pressante que d'éteindre les étoiles. Ces lointains soleils restent trop aveuglants pour qu'on parvienne à percevoir dans leur environnement proche les planètes qui les accompagnent. Chaque jour apporte la révélation de nouvelles exo-planètes par la méthode cinématique, si brillamment illustrée en 1996 par Michel Mayor et Didier Queloz de l'Observatoire de Genève, opérant à l'Observatoire de Haute Provence avec le spectrographe Elodie fourni par les astronomes marseillais. Mais savoir qu'il y a planète n'apporte pas toute la connaissance, ni la satisfaction qu'apporterait la vision directe.*

Il est d'usage de comparer la perception d'une planète comme la Terre près d'une étoile comme le Soleil, à ce qu'on peut espérer de contraste entre une luciole et le phare de la Garoupe, pour prendre des exemples familiers aux provençaux. Aussi, pour espérer voir une exoplanète, il faut *éteindre* l'étoile qui la gouverne. Le défi est gigantesque quand un calcul approché (cf. annexe) montre qu'une exo-terre est dix milliards de fois moins brillante que son soleil en rayonnement visible. Dans l'infrarouge, le rayonnement thermique propre de la Terre (corps noir à 280K) ramène ce rapport à dix millions (cf. annexe), encore assez élevé et qui devrait refroidir les ardeurs «extinctrices» des chercheurs de planètes. Cependant rien ne les arrête, l'auteur en est la triste preuve, mais il a tellement de complices, qu'il accepte ici d'avouer les turpitudes qui l'ont entraîné dans cette voie fatale.



Figures 1 et 2 : Interprétation possible de l'acronyme et Astronome éteignoir ou pompier stellaire (d'après Paul PONS, 1996)

Pour éteindre l'étoile, ils utilisent un « coronographe », terme impropre puisque qu'un tel instrument, magnifiquement développé dans les « années 30 » par Bernard Lyot (1897-1952),

servait à cacher le soleil pour en révéler la couronne, comme au cours des trop rares éclipses de Soleil. Les « coronographes » stellaires, qui s'inspirent de techniques très diverses, éteignent une région bien plus étendue que la couronne des étoiles (figure 3).

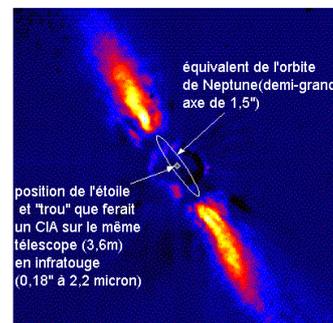


Figure 3 -Image infrarouge (bande K, 2,2 microns) de la lumière zodiacale entourant l'étoile beta pictoris dont la contribution est occultée par le masque de Lyot du coronographe ADONIS. (Document ESO, Mouillet et al. 1997 A&A 324, 1083)

Pour les plus proches (4 AL), même une exo-terre resterait cachée. Cependant, le terme est resté depuis que les premiers coronographes stellaires ont exploité la technique de Lyot qui s'appuie sur un masque focal et un diaphragme pupillaire de sortie. Il n'est pas question de détailler ici tous les procédés d'extinction. On ne présentera que celui connu sous l'acronyme CIA inventé par l'auteur, dont les propriétés alléchantes se sont révélées plus délicates à exploiter que ce qu'une description théorique laissait espérer...Mais n'en est-il pas

toujours ainsi ? C'est cependant, jusqu'à nouvel ordre, cet instrument qui permet de sonder au plus près de l'étoile : jusqu'au tiers du rayon du premier anneau sombre de la tache d'Airy, soit 22 milli-arcseconde (mas) en bande K ($2,2 \mu\text{m}$) sur un télescope de classe 8m soit encore 0.44UA pour un exo-soleil à 20pc (60 AL)...Mais on en n'est pas encore là, loin s'en faut.

On épargnera au lecteur l'histoire contournée qui conduisit à ce qui est représenté sur les figures 4, 5 et 7. Qu'on se souvienne simplement que depuis Gouy (1890) on sait qu'une onde passant par un foyer se déphase de π radians, propriété mise à profit par l'auteur pour annihiler la contribution stellaire par interférence destructive de façon absolument achromatique, en sortie de l'interféromètre à deux ondes schématisé sur la figure 4 (ici un simple « Michelson » en admettant que la lentille du rétro-rélecteur est d'épaisseur

idéalement nulle, ce qu'on obtient sans peine avec une optique à miroirs, plus complexe à représenter de façon limpide comme le révèlent les figures 5-7).

Le premier exemplaire d'un CIA (figure 5) fut exploité sur le télescope de 152cm de l'Observatoire de Haute Provence (OHP) équipé d'un banc d'optique adaptative d'étude (BOA) réalisée par l'ONERA. La grande longueur des trajets optiques et l'absence d'une isolation des bras de l'interféromètre engendraient des fluctuations de la différence de marche. Cependant, les résultats furent assez convaincants (figure 6) pour qu'on réalise un autre modèle plus compact et mieux isolé (figures 7 et 8) adapté au faible espace disponible entre l'Optique Adaptative (OA) « PUEO » et la caméra infrarouge « KIR » développées à Meudon pour le télescope de 3,6 m de l'Observatoire franco-canadien de Hawaii (TCFH).

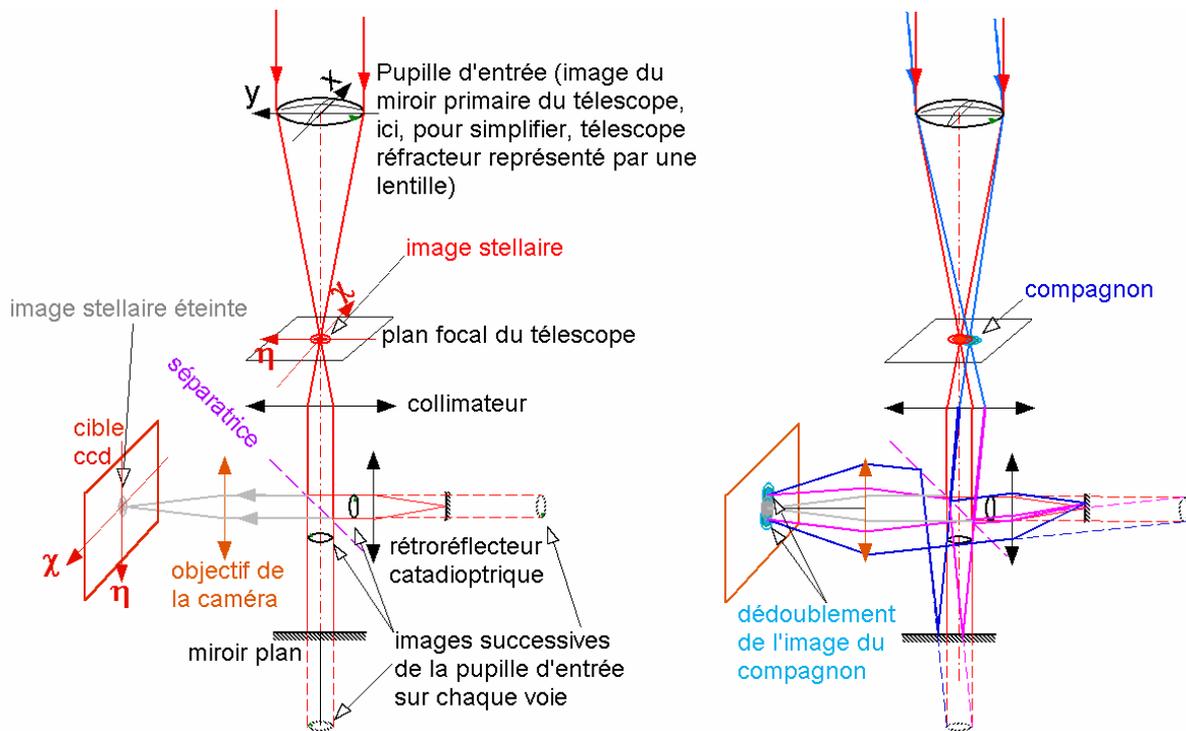


Figure 4-Une séparatrice divise l'onde plane incidente issue du collimateur, en deux fractions qui parcourent la même longueur de chemin optique. L'une se réfléchit directement sur un miroir plan, l'autre est renvoyée par un rétro-rélecteur catadioptrique qui assure le retour de l'onde sur elle-même, mais retournée et subissant un déphasage de π par passage par un foyer. La courbure du miroir secondaire de ce rétro-rélecteur est calculée pour que les faisceaux qui se recombinaient en sortie semblent provenir d'une même image de la pupille d'entrée. L'objectif de la caméra superpose les deux images du champ. Si l'étoile (en rouge) est sur l'axe (direction normale au miroir plan) ses deux images sont confondues et se neutralisent « en tout point du champ » puisque le déphasage de π met les ondes correspondantes en opposition. Par « en tout point du champ », il faut entendre « au centre et sur tous les motifs de la tache de diffraction qui s'étendent dans le champ »

Pour un compagnon (en bleu sur la figure de droite), placé hors de l'axe d'extinction, le système délivre deux images symétriques l'une de l'autre qui ne peuvent interférer si elles sont assez séparées (plus du tiers du premier rayon sombre de la tache d'Airy).

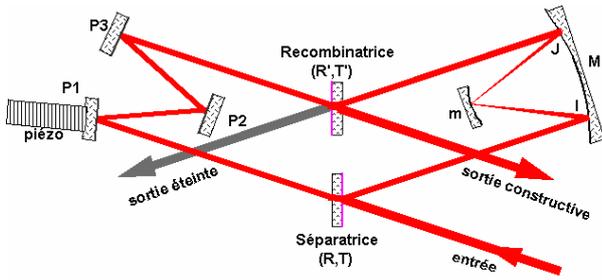


Figure 5 - Schéma de principe du premier CIA (en haut). Il est formé de miroirs avec même nombre de réflexions et mêmes angles de réflexion sur chaque bras. Le miroir M étant sphérique (figure du bas), l'astigmatisme qu'il produit par réflexion en I est neutralisé par le même astigmatisme de la réflexion en J car les plans d'incidence en I et J sont perpendiculaires ce qui permet de permuter les focales d'aberration et de neutraliser l'astigmatisme. Ceci se paie par une complication mécanique dans laquelle l'angle droit n'est pas le roi ! L'actuateur piézo-électrique sert au maintien de la différence de marche nulle.

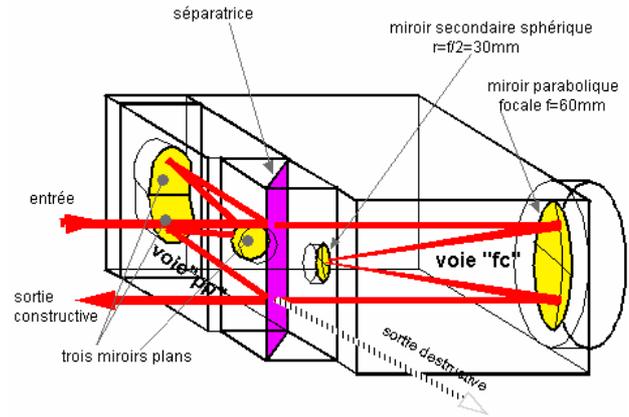


Figure 7-CIA compact à miroirs. Toutes les pièces sont taillées dans de la silice afin d'annuler les effets de la dilatation. La différence de marche est idéalement imposée nulle à l'assemblage, mais l'étanchéité des voies permet d'en rattraper les défauts d'ajustement par contrôle de la différence de pression entre les deux bras de l'interféromètre. La voie de sortie « constructive » peut être exploitée pour des servitudes d'observation (contrôle de centrage, référence photométrique...). Ce modèle très ramassé prévu pour une installation au Télescope Franco-Canadien de Hawaii a été réalisé en deux versions : l'une collée par résine polymérisée aux UV, l'autre en adhérence moléculaire. La première, seule exploitée au TCFH, requerrait 85 torrs de différence de pression dont le réglage nocturne, au froid, depuis le haut d'une échelle, avec contrôle du résultat par un collègue en cabine d'observation, s'est révélé bien trop difficile à exploiter. Le second montage, qui ne requiert que quelques torrs de correction, est en cours d'évaluation en laboratoire.

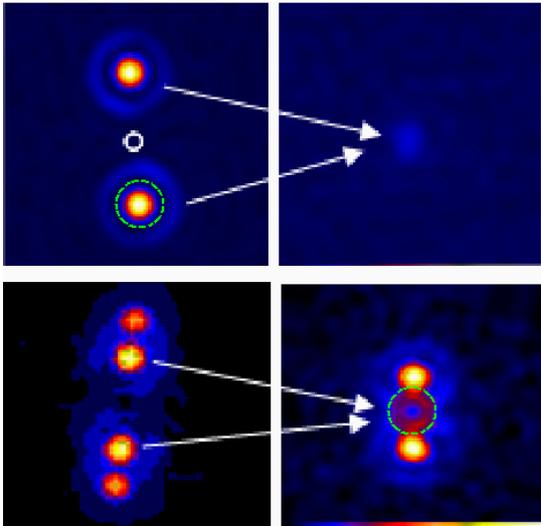


Figure 6- En haut à gauche, image d'une étoile simple hors d'axe. Le cercle blanc repère le centre de symétrie du CIA. Le cercle pointillé coïncide avec le premier anneau sombre de la tache d'Airy (0,73'' de diamètre). A droite, l'étoile est recentrée sur l'axe d'extinction. Le résidu central révèle l'erreur sur la différence de marche. En bas, l'étoile double 72 Peg : séparation 0,53'', l'écart de magnitude en bande K (2,2 μm) est de 0,32. A gauche, l'étoile principale est hors de l'axe d'extinction, à droite, elle est centrée, aussi ne voit-on que le compagnon dédoublé dont les deux images sont à 1,06'' l'une de l'autre. L'anneau rouge foncé intérieur au cercle pointillé est dû à l'effet moyen du résidu de « tilt » incomplètement maîtrisé par l'OA..

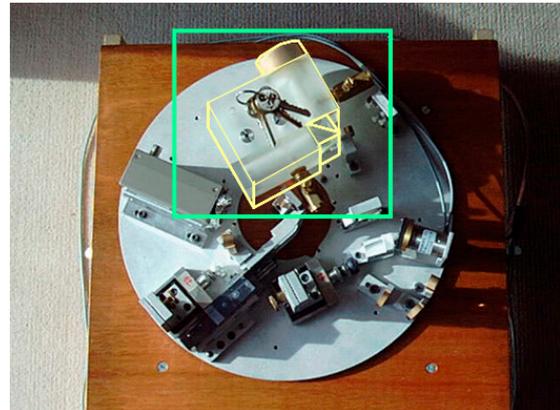


Figure 8-Le CIA compact de l'OCA dont le trousseau de clés donne la dimension imposée par l'espace disponible représenté par le support circulaire qui reçoit également les optiques d'interface avec l'OA (au-dessus) et la caméra IR (en dessous). On perçoit en couleur bronze, dans le rectangle vert, les vannes de pompage pour l'ajustement de la différence de marche. Sur le côté droit, se trouve l'actuateur piézo-électrique de centrage de l'image portant le miroir sur lequel on forme une image de la pupille.

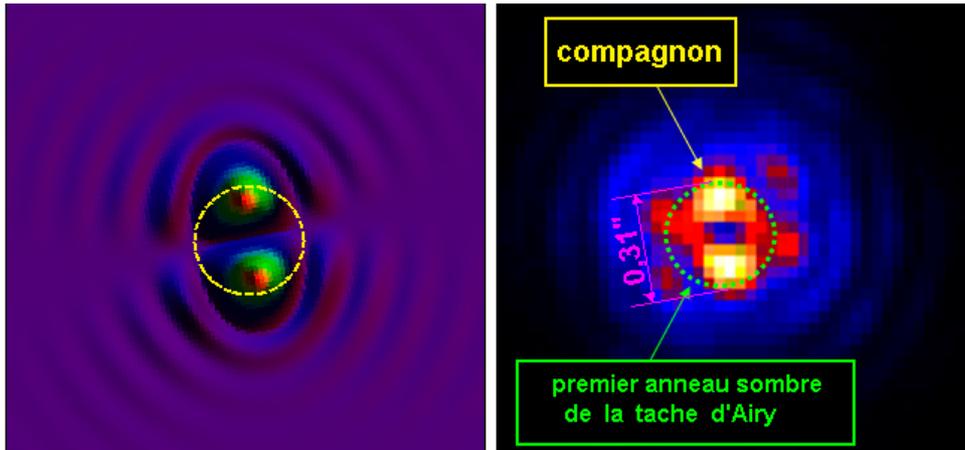


Figure 9 Observation en bande K (2,2 microns) au TCFH, avec le CIA compact de l'OCA, de l'étoile double 97339 Hipparcos : séparation 0,13''. Résolution du télescope de 3,6m : 0,154'' (Pierre Baudoz, thèse, Nice 1999). A gauche, la simulation avec un CIA parfait...Qu'il y loin de la coupe aux lèvres !

(Pour ceux qui voudraient approfondir le sujet, la présentation théorique détaillée figure sur notre site voir l'encadré ci-dessous, - GP).

Reviens par ici, lecteur pressé, et comprends que ce que tu viens de sauter n'est encore qu'une simplification de la dure réalité. Si les caprices atmosphériques n'induisaient qu'un « tilt » aléatoire¹, on pourrait s'en accommoder en acceptant que l'exploration proche du centre soit compromise. Mais bien d'autres effets perturbants interviennent. Malgré le dévouement de l'Optique Adaptative (AO), la surface d'onde reste encore cabossée. Cependant, les écarts à l'idéale planéité sont très inférieurs à la longueur d'onde, ce qui autorise le développement au premier ordre des effets de phase, en supposant l'absence d'autres défauts.

On a incorporé le tilt aux autres aberrations décrites. On voit ainsi que seules les aberrations antisymétriques (impaires), dont le tilt, mais aussi les comas 3 et 5, dégradent l'extinction de l'étoile centrale. Mais leurs effets sont doublés. Les aberrations paires (défocalisation, astigmatisme, aberrations sphériques etc.), sont sans effet.

Par traitement du signal, on peut améliorer fortement les effets moyens induits par ces résidus turbulents. Mais leur effet principal et incontournable est qu'ils injectent des photons stellaires là où on pense trouver un compagnon faible. Or, ces photons stellaires arrivent de façon aléatoire et le bruit qu'ils apportent ainsi n'est pas maîtrisable. C'est là, certainement, la limitation essentielle du CIA quand on l'exploite au plus près du centre, mais c'est aussi celui des autres

coronographes quand ils cherchent à explorer les zones très proches de l'étoile. On peut toujours améliorer les OA pour réduire les effets turbulents. On peut aussi « apodiser »² la pupille pour réduire la lumière dans les pieds du résidu stellaire, mais ceci est une autre affaire... en cours d'étude.

La distribution d'éclairement résiduel montre que les motifs sont les mêmes d'une longueur d'onde à l'autre à une dilatation d'échelle près dans le rapport des longueurs d'onde. On peut donc éliminer ces défauts en effectuant une soustraction d'images simultanées, ramenées à la même échelle de diffraction et affectées du coefficient qui minimise l'écart. La simulation présentée en figure 10 rend compte de l'efficacité du procédé dit « soustraction à échelle adaptée »

Plus de détails sur l'article

Notre ami Jean Gay nous a donné des détails sur les calculs, en particulier ceux donnant la distribution d'éclairement résiduel, qui est discutée à ce stade de l'article. Faute de place et pour ne pas entraver la lecture naturelle de l'article, nous donnons sur notre site Internet l'article intégral. La lecture ne se fait plus alors dans un fauteuil ; il est préférable d'être à sa table de travail, un stylo à la main.

Allez voir sur notre site Internet : clea-astro.eu, à la rubrique "Les Cahiers-Clairaut", numéro 124 GP

¹ "tilt" : inclinaison du plan d'onde incident - GP

² Apodisation : technique qui consiste à atténuer le flux parasite dans les bords (pieds) des images, par une altération, au niveau de la pupille d'entrée, du flux transmis (filtrage à géométrie contrôlée). - GP

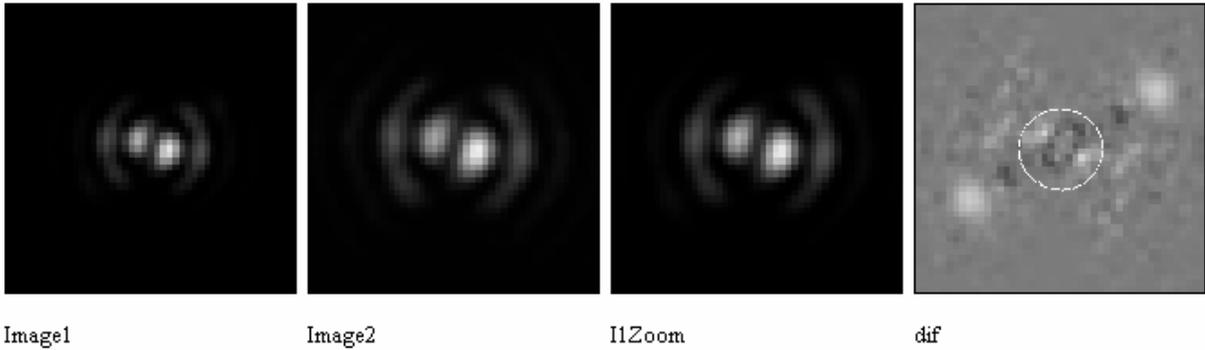


Figure 10 - Simulations de la soustraction à échelles adaptées : Image 1 est l'image résiduelle à 1600nm affectée d'un bruit de photon, Image 2 est la même à 2200nm également bruitée, I1Zoom est l'image à 1600nm ramenée à l'échelle de l'image 2. dif est la différence pondérée des images précédentes (I1Zoom-coef.Image2) qui fait apparaître un compagnon positif issu de I1Zoom, donc écarté de sa position, et en négatif le compagnon en Image2 à sa vraie position. Le cercle blanc repère le premier anneau sombre de la tache d'Airy. L'image est symétrisée ce qui améliore le rapport signal à bruit, mais le bruit de photon reste perceptible dans la différence calculée, surtout là où le résidu stellaire est perceptible. Les « haricots » de tilt, aberration prépondérante, présentent un déséquilibre qui traduit celui des deux voies de l'interféromètre.

Un Coronographe interférentiel axial (CIAXE)

Pour terminer, évoquons les méfaits du dogmatisme mandarin : le CIA ayant été proposé pour être monté sur l'optique infrarouge (MIRI) du *New Generation Space Telescope* (NGST et depuis JWST pour *James Webb Space Telescope*), il apparut que son insertion était impossible en raison des coude que cela imposait au trajet optique. Mon collègue Yves Rabbia, copromoteur du CIA, m'incitait à concevoir un modèle axial qui se serait aisément inséré dans MIRI. Hélas, je lui démontrerais à coups d'arguments d'autorité que c'était impossible jusqu'au jour, trop tardif hélas, où sous la contrainte de son insistance, je méditais le schéma axial reproduit en figure 13. On voit qu'il y a trois paramètres, les rayons de courbure de trois dioptries et qu'il y a trois conditions à satisfaire... Un enfant de cinq ans aurait compris ça ! Après tout ce que le lecteur attentif a été contraint de digérer jusque là, il serait indécent de lui imposer un problème d'optique géométrique. Qu'il le soumette à ses élèves afin de leur offrir de saines distractions.

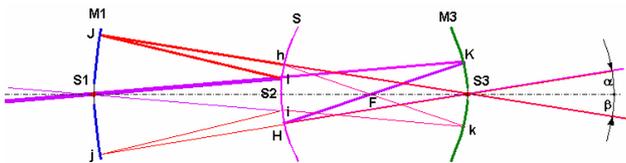


Figure 13-Principe du CIAXE ou CIA « dans l'axe ». M1 et M3 sont des miroirs concaves à égale distance de la séparatrice S de rayon R2 . Une petite zone circulaire autour des sommets S1 et S3 est transparente pour que

s'y forme l'image du champ. Les paramètres du problème sont : l'épaisseur $d=S1S2=S2S3$ et les rapports des différents rayons à cette épaisseur : $r1=R1/d$, $r2=R2/d$, $r3=R3/d$ qui sont les seules inconnues, d n'étant qu'un facteur d'échelle. Les contraintes à satisfaire sont :

- S1 imagé en S2 par réflexion sur S puis sur M1 puis transmis par S.
- S1 imagé en S2 par transmission à travers S puis réflexions sur M3 et sur S et passage par un point de convergence F
- α et β égaux, c'est-à-dire que les grossissements relatifs à ces deux conjugaisons doivent vérifier $\Gamma_{SM1} = -\Gamma_{M3S}$ (cette opposition de signe implique le passage par F)

Le problème est du second degré, à deux solutions réelles (qui correspondent aux deux sens de traversée). On « montre que » les sommets S1 et S3 présentent de jolies relations de conjugaison avec les centres de courbure des trois sphères et F...un vrai plaisir géométrique qui se prolongera par la contemplation des propriétés de $\sqrt{2} \pm 1$ et $\sqrt{2} \pm 4$.

Un prototype en silice de ce CIAXE est en cours de réalisation (figure 14), formé de deux lentilles épaisses, M1S et SM3, accolées par une couche séparatrice de rayon R2 en S. La difficulté principale est l'obtention d'une identité des épaisseurs au centre à quelques nm près... On en reparlera, peut-être, mais c'est trop tard pour JWST/MIRI. Moralité : méfiez vous de la paresse intellectuelle des mandarins qui cachent cette tare derrière de fallacieuses arguties.

Annexe. Luminosités comparées du Soleil et de la Terre

Rapport des luminosités dans le "visible"

La Terre, de rayon r , gravite à la distance a du Soleil et n'intercepte que la fraction $\pi.r^2 / 4\pi.a^2$ de la luminosité L du soleil (figure A1). Cette fraction est réémise vers l'espace par diffusion sur les nuages, les mers et les sols selon un albédo A de 20% en moyenne (40% coté jour, 0 coté nuit). Le rapport entre la luminosité l de la Terre et celle L du Soleil est donc :

$$\frac{l}{L} = A \frac{\pi.r^2}{4\pi.a^2} = 0.2 \left(\frac{6400km}{2 \times 150000000km} \right)^2 \cong 10^{-10}$$

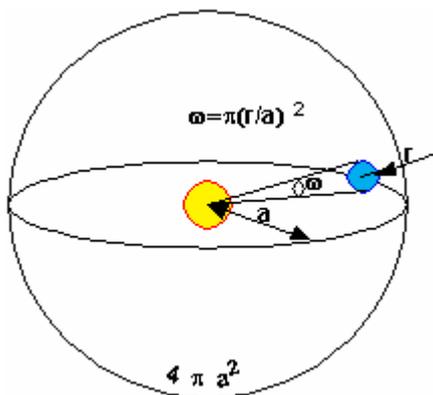


Figure A1- Evaluation du flux solaire intercepté par la Terre.

La figure A2 rend compte de ce rapport selon le domaine spectral pour la partie diffusée comme pour la partie due à l'émission thermique

Rapport des luminosités en infrarouge

On se place dans le domaine de l'approximation de Rayleigh-Jeans qui indique que la luminance du corps noir est proportionnelle à la température. Le rapport des luminosités est alors dépendant du rapport des surfaces émettrices pondéré par les températures (250K pour la Terre compte tenu de la couverture nuageuse et des pôles) :

$$\frac{l_{IR}}{L_{IR}} \cong \frac{4\pi.r^2}{4\pi.R_{Soleil}^2} \frac{T_{Terre}}{T_{soleil}} = \left(\frac{6400km}{700000km} \right)^2 \frac{250K}{6000K}$$

$$\frac{l_{IR}}{L_{IR}} = \frac{1}{300000}$$

Rapport optimiste qui suppose l'approximation de RJ bien satisfaite, ce qui n'est vrai qu'en infrarouge lointain pour la Terre, là où l'atmosphère devient hélas opaque. Dans la fenêtre à dix microns, bien transparente, le rapport devient 30 fois moins favorable, ce qui nous met à un rapport de luminosité de dix millions.

L/Lo

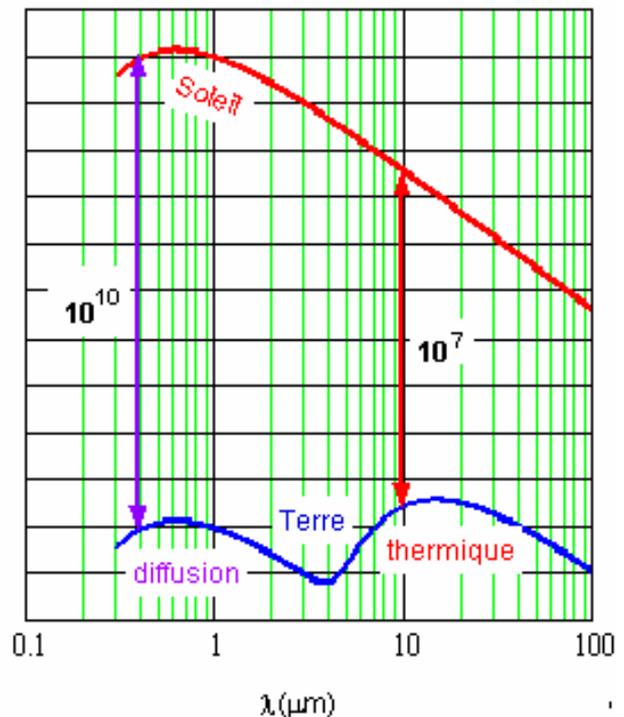


Figure A2- Luminosités spectrales comparées d'une terre et de son soleil. Le rapport de dix milliards (ou 25 magnitudes) à 0,5 micron (domaine visible), qui résulte de la diffusion du rayonnement solaire par la Terre, pourrait désespérer les plus optimistes, surtout si on réalise qu'à 10 années lumières de distance, cela correspond à 2 photons par seconde pour tout le domaine visible sur un télescope de la classe 8 mètres ! On se rassure en s'intéressant au domaine infrarouge pour lequel le rayonnement thermique propre de la planète devient prépondérant : le milliard prend la place du million, ce ne qui fait encore que 50 photons par seconde dans la fenêtre atmosphérique 8-12 microns sur le même télescope. Mais qu'en est-il alors des fluctuations aléatoires du rayonnement thermique ambiant ? Elles sont si pénalisantes qu'il n'y a que dans l'espace qu'on peut espérer les réduire assez en refroidissant tout le système ; certains pensent aussi à un observatoire en Antarctique (Dôme C) au risque d'y refroidir aussi l'astronome (espèce qui résiste assez bien aux basses températures).

AVEC NOS ÉLÈVES

Nous avons tracé « le » méridien du collège

Chantal et Georges Lecoutre
Collège Gérard-Philippe, Saint-Priest

Résumé : Dans le cadre d'un atelier scientifique au lycée, nous avons voulu déterminer expérimentalement la hauteur et l'azimut du Soleil sur plusieurs journées. Un enregistrement automatique avec une Webcam est utilisé.

Les objectifs

- 1) à partir du relevé d'ombres d'un gnomon déterminer la direction « Nord-Sud géographique », le Méridien local ainsi que le Midi Solaire local.
- 2) ayant déterminé le Midi Solaire local, estimer la Latitude du lieu à partir d'un relevé de Hauteur Solaire : - directement si le relevé est fait un jour d'équinoxe - en utilisant la déclinaison solaire fournie par l'IMCCE, les autres jours.
- 3) à partir de la détermination de l'heure de passage du Soleil au Méridien Local, et en utilisant le Midi Solaire à Greenwich, essayer d'approcher la Longitude du lieu.
- 4) manipuler des instruments proches des instruments de mesures historiques utilisés au XVI^e siècle (Altesolle) et au XVII^e siècle (Quadrant de Copernic).

Prérequis

- 1) **Relevés d'ombre** : mesures de longueurs; tracés de cercles; tracés de perpendiculaires; construction de médiatrices; symétrie; proportionnalité
- 2) **Hauteur solaire** : lecture d'une mesure d'angle; proportionnalité; mesure angulaire du cercle.
- 3) **Latitude et longitude** : lecture de tableaux de données; mesure angulaire du cercle ; proportionnalité.

Manipulations ; observations

Les Relevés d'ombre

Le matériel. On dispose pour cela d'une planchette 24x32 cm sur laquelle est fixée une feuille blanche (collage le long des bords avec du ruban adhésif par exemple). Cette feuille doit pouvoir être récupérée en fin de manipulation. Le gnomon est constitué d'un socle carré en bois à travers lequel passe un clou de 10 cm. Le clou n'a pas été enfoncé à travers le socle mais celui-ci a été percé (diamètre égal à celui du clou) glissé et collé

(penser à chasser la tête du clou pour un bon équilibre).



Au milieu d'un grand bord de la feuille on place le gnomon (le support du gnomon est dessiné en position et le support fixé sur la feuille (ruban adhésif). Le centre du socle est déterminé précisément; il doit correspondre au centre du gnomon.

La feuille de relevés sur sa planchette est installée sur un support horizontal (vérification au niveau à bulle) et le gnomon est placé approximativement dans la direction du sud (avec une boussole).

Manipulation. La direction Nord-Sud magnétique de la boussole est repérée très précisément et est tracée dans un coin de la feuille. Cette direction permettra de tout remettre en place ultérieurement pour d'autres mesures (relevés à des dates

différentes) ou de rectifier l'ensemble qui aurait bougé. Les relevés sont effectués d'heure en heure jusqu'à 12h, puis toutes les demi-heures jusqu'à 14 heures, si cela est possible, et d'heure en heure ensuite.

À chaque relevé, une croix indique sur la feuille la position de l'ombre de la pointe du gnomon ; l'heure correspondante est notée (heure de la montre toujours lue sur la même montre). Au cours de chaque relevé, il faut veiller à ne pas déplacer le support ; une vérification régulière à la boussole est nécessaire. Il faut aussi veiller à ne pas fausser l'horizontalité de l'ensemble pour que la longueur de l'ombre ne soit pas modifiée en inclinant légèrement le support (le relevé du 27/04/2000 est un exemple de perte de l'horizontalité).

La mesure de la hauteur du soleil

Le matériel. Pour chaque mesure nous utiliserons simultanément le « Quadrant de Copernic » et « l'Altesolle » dont les descriptions complètes sont dans : Les Cahiers Clairaut n°28 printemps 1985 et les Documents de l'Observatoire de Lyon, respectivement.



Image 3 Quadrant de Copernic

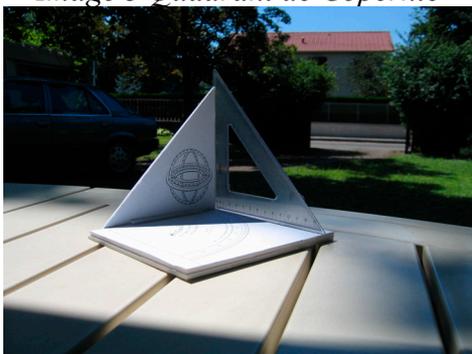


Image 4 Altesolle

Manipulation.

Chaque relevé de la longueur de l'ombre est accompagné de la mesure de la hauteur du soleil. Ces mesures doivent être faites en vérifiant chaque fois l'horizontalité du support. Dans notre cas nous avons une plaque de béton, dans la cour du collège, qui répondait à notre attente et toutes les mesures

ont été faites en posant les instruments sur cette plaque. Le Quadrant permet, si l'ombre du style est parfaitement rasante, d'obtenir une précision au demi degré. Les mesures de hauteur sont notées dans un tableau en fonction de l'heure des relevés.

Interprétation des observations

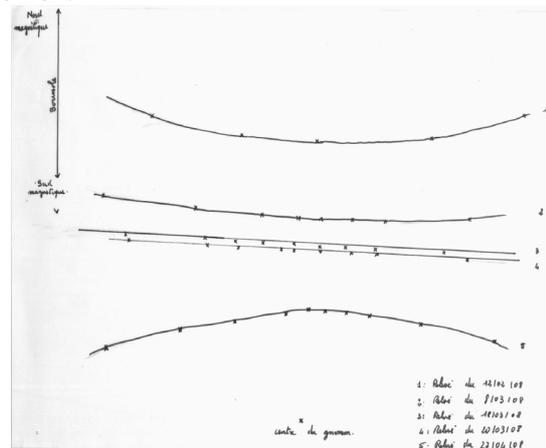
Relevés d'ombre.

Au cours de la journée, la longueur de l'ombre varie :

- elle est longue le matin et orientée vers l'ouest
- elle passe par un minimum et indique la direction du nord
- elle grandit à nouveau au cours de la journée et est orientée vers l'est.

Afin d'avoir une image du travail sans faire de constructions sur la feuille de relevés, appelée à être réutilisée, on décalque les points obtenus sur le relevé d'ombre (feuille de calque) en indiquant aussi la direction de la boussole et la position exacte du centre du gnomon.

Sur la feuille de calque on trace une courbe passant au mieux par les extrémités des ombres du gnomon.



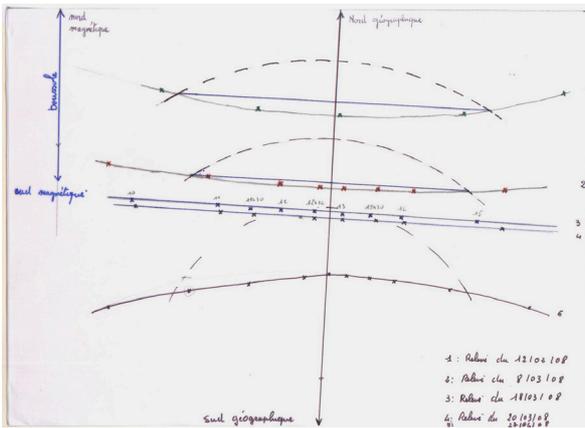
Exemple de relevés d'ombres.

Ici nous avons plusieurs courbes ; les diverses courbes obtenues possèdent le même axe de symétrie ; on peut le matérialiser par pliage de la feuille, le pli passant par le centre du gnomon, en superposant les deux arcs de courbe.

Pour les courbes, on trace, avec un compas, un arc de cercle ayant pour centre le centre du gnomon et qui coupe la courbe en deux points. L'axe de symétrie est la médiatrice de la corde ainsi tracée

Pour les droites (équinoxe ou autour de l'équinoxe) il suffit de tracer la perpendiculaire à la droite passant par le centre du gnomon.

Cet axe de symétrie est le **méridien local** donnant la direction nord-sud géographique.



Le tracé de la direction du méridien local

On détermine par interpolation sur l'une des courbes du relevé, ou par un calcul de proportionnalité, l'heure où l'ombre est minimum. Cette heure, qui correspond au maximum de la hauteur du Soleil, indique le moment de son passage au méridien local : c'est le midi solaire. Appelons M_s cette heure.

A Saint Priest le 20 mars 2008 on détermine $M_s = 12h46min$ (heure locale) Valeur tabulée : 12h48min.

Relevés de hauteur du Soleil

Remarque : le soleil ne passe pas au zénith en France métropolitaine ; au zénith, la hauteur h du Soleil vaut 90° , et ce n'est jamais le cas à notre latitude.

Au cours de la journée l'angle correspondant à la hauteur du Soleil croît jusqu'à une valeur maximum (qui correspond au minimum de la longueur de l'ombre) puis décroît jusqu'au coucher du Soleil (cf. tableau ci-dessous).

Détermination de la latitude :

La relation qui lie la hauteur h , la latitude Φ et la déclinaison solaire δ est, pour l'hémisphère nord :

$$h = 90 - \Phi + \delta$$

Avec un relevé effectué un jour d'équinoxe la déclinaison solaire est nulle. On a donc :

$$h = 90 - \Phi \text{ ou } \Phi = 90 - h$$

On peut donc déterminer la latitude du lieu.

Effectuons ce calcul pour Saint Priest :

$$\Phi = 90 - 44,4^\circ \text{ soit } \Phi = 45,6^\circ = 45^\circ 36'$$

La latitude donnée par l'IMCCE est de $45^\circ 42'$.

L'écart de $6'$ est tout à fait acceptable.

Pour une autre période que les équinoxes, la déclinaison devra être récupérée sur le site de l'IMCCE. Par exemple pour le 12/02/2008,

$$\delta = -14^\circ, \quad \Phi = 90 - 30,5 - 14 = 45,5^\circ \text{ soit } 45^\circ 30'. \text{ L'écart est un peu plus grand (8').}$$

Détermination de la longitude :

Il faut rechercher sur le site de l'IMCCE le midi solaire à Greenwich. On compare avec le midi solaire local, on peut déterminer si on est en avance (à l'est de Greenwich) ou en retard (ouest de Greenwich).

On peut alors calculer la différence horaire et l'utiliser pour préciser notre position, sachant que la Terre tourne de 15° en une heure soit $0,25^\circ$ par minute.

Le 20 mars 2008, Midi solaire à Greenwich : 13h07, à Saint Priest : 12h46, soit une différence de 21 minutes. Le Soleil passe au méridien du collège avant Greenwich ; nous sommes donc à l'est de Greenwich.

21 minutes correspondent à $5,25^\circ$ soit une longitude de $5^\circ 15'$ est. La valeur donnée par l'IMCCE est de $4^\circ 56'$. Cet écart de $19'$ est acceptable.

Tracé du méridien local

Le méridien local est tracé sur notre feuille. Nous retournons dans la cour du collège avec des copies de cette feuille. La feuille de relevés est repositionnée au sol avec la boussole et nous pouvons ainsi reporter au sol le nord et le sud géographique.

Nous traçons la droite joignant ces deux points et nous vérifions avec un autre relevé que ce tracé est correct. Il ne reste plus qu'à marquer définitivement cette ligne et à indiquer ce qu'elle représente. Ce qui a été fait de façon définitive dans la cour du collège, près de l'entrée principale. Depuis, les élèves traversent tous les jours, le « méridien du collège » pour entrer et sortir de celui-ci.

Bibliographie

- Cahier Clairaut n°28* printemps 1985
- Notice de l'Altesolle* Document Observatoire de Lyon SDC, Philippe Merlin
- Mesurer la hauteur du soleil*. Fiche Pédagogique du CLEA
- Repérage nord, sud, est, ouest* Fiche Pédagogique du CLEA
- Les cheveux de Bérénice* Denis Guedj Points Seuil



Heures	10h	11h	11h30	12h15	12h30	13h	13h32	14h	15h20	Midisolaire 12h46
Hauteur	31°	39°	41,4°	44°	44,4°	44,4°	43°	37°	34°	Maximum 44,4°

Le rayon de la Terre revisité

Georges Paturel, avec la complicité d'Anne-Marie Paturel
Observatoire de Lyon

Résumé : *Le rayon de la Terre a été mesuré sous toutes les latitudes. Pourquoi y revenir ? L'idée était d'utiliser un appareil simple : le GPS en partant en vacances sur la route du Soleil...*

Introduction

Le GPS (*Global Positioning System*) est un outil remarquable qui peut faire l'objet d'applications intéressantes. Le GPS est capable de donner la latitude d'un lieu avec une précision étonnante. Par ailleurs, sur nos voitures nous avons un compteur kilométrique précis. Pourquoi ne pas coupler ces deux instruments pour mesurer le rayon de la Terre. C'est très simple dans le principe. Il suffit de prendre l'autoroute du Soleil entre Lyon et Avignon, de mesurer la distance parcourue (D) et la différence de latitude (Δl en degrés). Et hop ! On calcule le rayon de la Terre : $R = (180/\pi) D/\Delta l$



Pour atteindre une bonne précision il y aura quelques corrections, mais elles ne dépassent pas le théorème de Pythagore en complexité.

Les mesures

J'ai choisi le tronçon entre Vienne et Avignon, comme étant le plus rectiligne. J'ai obtenu les valeurs suivantes :

	Vienne	Avignon
Distance (km) D	0	204
Latitude N (°,') l	45° 24,313'	43° 45,290'
Longitude E (°,') b	4° 48,972'	5° 4,998'
altitude (km) h	0,259	0,091

Les résultats

Premier calcul direct... pour voir :
 $\Delta l = 1,65038^\circ$ (c'est le plus difficile à calculer !)

$$R = \frac{180}{3,1416} \cdot \frac{204}{1,65038} = 7082 \text{ km.}$$

De mémoire c'est à peu près ça.

Première correction

Quand je mesure 204 km entre les deux points, c'est avec les zigzags de l'autoroute. En mesurant avec un double décimètre les 204 km en suivant la route, sur une carte, je trouve que la distance, à vol d'oiseau, corrigée des zigzags, est $D' = 186,3$ km. Je recalcule R et trouve :

$R' = 6467,7$ km. Il me semble que c'est mieux.

Deuxième correction

La route choisie n'est pas rigoureusement le long d'un méridien. On peut le voir, car la longitude change entre le départ et l'arrivée. Avec la variation de longitude ($\Delta b = 0,267^\circ$) et l'estimation $R' = 6468$ km, on trouve que notre route dévie de 30 km vers l'est. La valeur corrigée D'' est donc fournie par le théorème de Pythagore :

$D''^2 + 30^2 = D'^2$, d'où $D'' = 183,9$ km. On recalcule le rayon de la Terre et on trouve : $R'' = 6383$ km.

Troisième correction

Calculons la correction de variation d'altitude 0,168 km : $D'''^2 + (0,168)^2 = D''^2$.

On trouve $D''' = 183,9$ km ! L'effet est négligeable.

Calcul d'erreur

Une estimation grossière de l'erreur sur D'' donne 1,5 km, soit une erreur de 52 km sur R . Notre résultat est donc :

Rayon de la Terre = 6383 ± 52 km.

Je vérifie dans mes livres. Le rayon polaire vrai est 6357 km et le rayon équatorial vrai est 6378 km, soit une valeur moyenne de 6368 km, compatible avec notre résultat. On devrait pouvoir faire encore mieux entre Esbarre et Avignon... Bonne route !

Une précision pour vous rassurer. Je n'ai pas fait le voyage exprès pour l'article... J'allais voir une vieille tante sur la Côte d'Azur. ■

DOSSIER : AM09

Avec l'Année Mondiale de l'Astronomie en 2009 (AMA09), nous allons célébrer Galilée et les premières observations astronomiques qu'il fit avec sa lunette. Ce sera l'occasion de découvrir un peu mieux cet homme de caractère, cet homme génial que l'on peut sans erreur qualifier de premier astronome moderne et de premier physicien moderne.

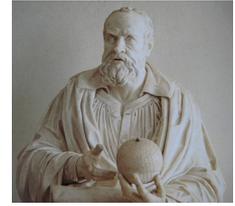


Photo Galuzzi et al.

AMA09 : HISTOIRE

Galilée, un des fondateurs de l'astronomie moderne

Marcel Weyant,

Les cinq siècles qui ont précédé le nôtre ont apporté, chacun, une impulsion majeure à l'astronomie, tantôt sur le plan théorique, tantôt au niveau pratique : au XVI^e siècle, la parution de l'œuvre de Copernic substituant le Soleil immobile à la Terre au centre du système solaire (et de l'univers !) ne reçut sa confirmation qu'au XVII^e ; le XVIII^e a vu et inventorié les étoiles de l'hémisphère Sud ; le XIX^e siècle, peu de temps après qu'un certain philosophe français eut déclaré que l'on ne pourrait jamais rien savoir sur la réalité physique des corps extraterrestres, a apporté la preuve du contraire, par l'analyse spectrale à la suite des travaux de Joseph Fraunhofer (1787-1826), et de la naissance qu'elle a permis de l'astrophysique moderne. Finalement, le premier tiers du XX^e siècle a vu naître, à la suite des travaux de Georges Lemaître (1894-1966) et surtout d'Edwin Hubble (1889-1953), la vision d'un univers en expansion qui n'a que peu de commun avec le monde de Copernic. Dans la seconde moitié du XX^e siècle enfin, les voyages spatiaux ont élargi considérablement l'horizon de l'astronomie traditionnelle.

L'astronomie du XVII^e siècle est dominée par trois grands noms : Kepler (1571-1630), Galilée (1564-1642) et Newton (1642-1727), le premier et le dernier par des apports théoriques de tout premier ordre (lois de Kepler sur la révolution des planètes autour du Soleil ; lois de la gravitation universelle) et sur le plan pratique : découvertes astronomiques d'immense portée, grâce à l'observation du ciel par les lunettes télescopiques récemment découvertes.

L'année astronomique internationale 2009 commémore les grandes découvertes de Galilée, il y a 400 ans.

Disons-le d'emblée : les deux ennemis principaux contre lesquels Galilée (et d'autres savants avec lui) eurent à se battre furent, d'abord, l'aristotélisme, ce courant de philosophie « scientifique » remontant à Aristote qui s'est maintenu auprès des instances « scientifiques » dans les universités à travers plus de 18 siècles, et qui tenait lieu de science, achevée une fois pour toutes. Un exemple typique de cette attitude est fourni par le cas de Christophe Scheiner, jésuite à Ingolstadt (Bavière) qui a découvert les taches solaires en même temps et peut-être même avant Galilée. Se référant à son supérieur pour lui faire part de la nouvelle extraordinaire, ce dernier lui annonce, quelque temps plus tard, qu'il avait relu tout Aristote et que nulle part le grand homme n'avait parlé de taches solaires. Par conséquent les phénomènes observés par Scheiner ne pouvaient correspondre à aucune réalité.

Le second ennemi qu'avaient à affronter les savants qui se fiaient à leur raison et à ce qu'ils observaient, notamment, en astronomie, se trouvait dans l'Écriture Sainte. C'était beaucoup plus dangereux de contredire celle-ci que de s'opposer à la science d'Aristote. L'Inquisition était toute puissante et le souvenir de Giordano Bruno, livré aux flammes du bûcher sur la *Piazza dei Fiori* à Rome, ne remontait qu'à l'an de grâce 1600. Pourtant les trois grands astronomes Kepler, Galilée

et Newton étaient profondément et sincèrement croyants.

Galileo Galilei naquit à Pise en 1564. Son père Vincenzo Galilei était un musicien hautement qualifié. Le jeune Galilée reçut sa première éducation d'un prêtre, puis des jésuites de Vallombrosa, abbaye distante de quelques kilomètres de Florence. Il s'y fit novice à l'insu et contre la volonté de son père qui s'empessa de le retirer de cette institution. Puis le jeune homme dut suivre, sur le conseil paternel, les cours de médecine à l'université de Pise. Il n'y prit point goût. Le hasard lui fit assister à un cours de mathématiques d'Otilio Ricci ; sa vocation était provisoirement trouvée : il serait mathématicien. Mais, en attendant, il dut passer 4 à 5 ans chez lui, sans diplôme.

Très habile de ses mains et l'esprit extraordinairement inventif, il met au point une balance hydrostatique, s'intéresse avec succès au problème du centre de gravité des solides. A 25 ans, Galilée obtient la chaire de mathématiques de l'université de Pise. C'est là qu'il établit les principales lois sur la chute des corps, les oscillations pendulaires et met au point des instruments de mesure tels que le métronome médical. Il est peu probable qu'il fit les célèbres expériences avec des poids de valeurs différentes du haut de la tour penchée de Pise qui lui ont longtemps été imputées.

Comme professeur de mathématiques, Galilée avait à enseigner aussi l'Astronomie, ce qui consistait alors en un commentaire de la Sphère de Sacrobosco, basée entièrement sur le système de Ptolémée. Il a dû lui en coûter d'être obligé de sacrifier ainsi à l'aristotélisme, alors que nous savons, par une lettre écrite à Kepler en 1597, qu'il était depuis longtemps intimement persuadé de la justesse du système de Copernic.

La mort de son père et la nécessité d'intervenir pour établir une dot de mariage à ses deux sœurs, obligea Galilée, le professeur de mathématiques de Pise, chichement rémunéré et assuré du non renouvellement de son contrat, à postuler, grâce à un personnage influent, à la chaire de mathématiques vacante à l'université de Padoue, situation plus lucrative. Cette ville était sous l'influence de la puissante cité des Doges de Venise et échappait, pour une large part, à l'influence des autorités ecclésiastiques. De 1592 à 1610, Galilée occupa la chaire de mathématiques de la prestigieuse université de Padoue.

A Padoue, Galilée ne se contenta pas d'enseigner les mathématiques théoriques. Il a soin, ce qui devait particulièrement intéresser les

responsables de la République des Doges, d'en tirer toutes les applications pratiques. C'est ainsi qu'il décrit la trajectoire d'un boulet de canon par une parabole, qu'il rédige un traité sur les fortifications. Inversement, il tire un profit maximum des tournées qu'il entreprend dans les arsenaux de la ville de Venise et il rédige un « Livre de Mécanique ». Il procède à différentes expériences sur le pendule et le plan incliné, sur l'hydrostatique, sur le magnétisme. Il se fait de nouveaux amis : le Père Paolo Scarpi et le Cardinal Roberto Bellarmine. Il est en proie à des difficultés financières permanentes et cherche à gagner de l'argent par des inventions : construction d'un thermomètre, d'un compas particulier, une sorte de calculatrice, qu'avec l'aide d'un compagnon, il confectionne en un grand nombre d'exemplaires. En octobre 1604, Galilée observe une nova et donne plusieurs cours à son sujet. C'est la première entorse à la notion d'inaltérabilité du domaine céleste, chère aux aristotéliens. L'année 1605 aura, pour la future carrière de Galilée, une particulière importance : la grande duchesse de Toscane, Christine de Lorraine, le sollicite pour enseigner les mathématiques à son fils Côme de Florence, le futur Grand Duc.

Mais, en 1609, un autre événement intervint qui devait, non seulement changer le destin de Galilée, mais marquer un tournant décisif pour toute l'astronomie : la diffusion rapide d'un instrument d'optique qui vit le jour peu de temps auparavant quelque part en Hollande.

En septembre 1608, un certain Hans Lippershey, fabricant de lunettes à Middelburg en Zeelande (Pays-Bas), cherche à obtenir un brevet pour une de ses inventions obtenue grâce à la combinaison de verres de lunettes. Les objets vus à travers cette combinaison de verres paraissent plus grands et plus rapprochés. Le brevet n'est point accordé à Lippershey et, dès le printemps de 1609, des exemplaires de l'instrument sont en vente à Paris et, en été de la même année, on les trouve en Italie. Ces lunettes (le terme de télescope ne sera introduit qu'en 1611 par le prince de Cesi, président fondateur de l'*Accademia dei Lincei*, à laquelle venait d'être élu Galilée) sont d'un très faible grossissement : 3x, 4x au maximum. Dans les 6 mois après sa première apparition, la lunette fut perfectionnée par Galilée, qui était d'une habileté manuelle exceptionnelle. Il réalise rapidement que la puissance d'un instrument pareil dépend du rapport de la distance focale des deux lentilles. Dès août 1609, Galilée qui s'était efficacement entraîné à polir des verres (les usines de Murano de Venise lui en fournirent d'excellents) obtint des lunettes

ayant un grossissement de 8 à 9. En novembre 1609, il disposait d'un instrument d'une puissance de 20 ! Afin d'obtenir une image redressée de l'objet, il opta pour une lentille concave comme oculaire. Galilée s'empessa – l'aide Scarpi lui fut précieuse, en l'occurrence – de montrer la lunette ainsi perfectionnée au Doge et à d'autres membres du sénat de Venise, qui du haut du campanile de la Place Saint-Marc, purent facilement se convaincre de l'efficacité de l'instrument permettant de reconnaître les navires de guerre et de marchandises longtemps avant de pouvoir le faire à l'œil nu. Écoutons le témoignage d'un contemporain : « *Le 21 août 1609, moi Jérôme Priuli, procureur, je me suis rendu au campanile de Saint-Marc en compagnie du sieur Galilée et des sieurs Zacharie Contarini...pour voir les merveilles et les effets singuliers de la lunette dite de Galilée. Formée d'un tube de fer, extérieurement recouvert d'un drap cramoisi, et long d'environ trois quarts de coudée, elle comprenait deux lentilles de la grandeur d'un écu à chaque extrémité, l'une plan-convexe, l'autre plan-concave. En appliquant un œil à la lunette et fermant l'autre, chacun de nous a pu voir distinctement, au-delà de Liza Fusina et de Marghera, Chioggia, Treviso et jusqu'à Conegliano ; puis le campanile et la façade de l'église Sainte-Justine de Padoue ; on discernait aussi les personnes qui entraient dans l'église Saint-Jacques de Murano ou qui en sortaient ; on voyait les gens monter en gondole ou en descendre au « traghetto » de la Colonna à l'entrée du canal des Vitriers, ainsi que beaucoup d'autres détails de la lagune et de la cité, réellement étonnants.* » Du coup, le salaire annuel du professeur de mathématiques de Padoue fut élevé de 480 à 1000 florins et son contrat avec l'université prolongé à vie.

Mais entre temps, Galilée avait tourné son instrument vers le ciel et il découvrit rapidement des nouveautés qui allaient changer toute l'astronomie. De novembre 1609 au 19 mars 1610, date de la publication de son *Sidereus Nuncius*, il :

- découvre des aspérités sur la surface de la Lune ; fournit une bonne explication de la lumière cendrée (bien qu'il ne fût pas le premier) ;
- montre et explique correctement la différence entre l'aspect des étoiles et des planètes vues à travers les lunettes ;
- découvre d'innombrables étoiles fixes dans les constellations des Pléiades et d'Orion ;
- révèle que certaines nébuleuses et la Voie Lactée peuvent être interprétées comme une

accumulation très dense d'étoiles non percevables à l'œil nu ;

- découvre, ce qu'il considère être la plus importante nouveauté révélée par les lunettes, les satellites gravitant autour de la planète Jupiter.

Ces dernières observations ont été réalisées du 7 janvier au 2 mars 1610. Moins de deux semaines plus tard, Galilée s'empessa de faire paraître le *Sidereus Nuncius* dans lequel il annonce les découvertes sensationnelles qu'il vient de faire avec le nouvel instrument.

Le *Sidereus Nuncius* n'est pas un traité d'astronomie, mais une simple prise de date des découvertes extrêmement importantes, une démonstration des capacités d'un instrument, présentées dans un langage simple. La portée philosophique de cette nouveauté marque l'aurore du nouveau monde. Ne comportant pas plus d'une soixantaine de pages rédigées dans un style alerte, accessible à tout le monde, il nous a paru bon de laisser la parole à l'auteur, dans la plupart des cas.

Galilée, après un hommage à Côme II, Grand Duc de Toscane, qui fut son élève autrefois et auquel il dédie les nouvelles « planètes » qu'il appelle médicéennes, rappelle d'abord l'histoire de la lunette qu'il a sérieusement perfectionnée et avec laquelle il lui a été possible de faire les grandes découvertes qu'il va exposer. D'un instrument grossissant 9x il est parvenu, dit-il, à en réaliser un qui grossit les objets près de 1000 fois et qui les rapproche d'environ 30 fois. Tournant l'instrument vers le ciel, il a d'abord observé la Lune.

« *En renouvelant souvent les observations, nous sommes arrivés à la conclusion certaine que nous ne voyons pas une surface lisse, uniforme et parfaitement sphérique comme la majorité des philosophes l'ont pensé de celle-ci et des autres corps célestes, mais qu'au contraire elle est inégale, rugueuse et parsemée de creux et de boursouflures. Elle ressemble à la face de la Terre qui est marquée çà et là de chaînes de montagnes et de creux valloneux.....Le 4^{ème} ou le 5^{ème} jour après la conjonction [avec le Soleil, c-à-d. après la Nouvelle Lune], quand la Lune nous montre de brillantes cornes, la limite entre la partie éclairée et la partie sombre ne forme pas un ligne ovale uniforme comme ce serait le cas d'un solide parfaitement sphérique, mais est marquée par une ligne inégale, rugueuse et très sinueuse, comme le montre la figure.* » De plus, les accidents de la face lunaire semblent plus importants que ceux que l'on voit sur le globe terrestre. Ces inégalités sont surtout apparentes lors du premier et du dernier quartier. En période de Pleine Lune, le relief semble

plus atténué. La « lumière cendrée » (que Galilée ne fut pas le premier à expliquer correctement) est un argument en faveur de la similitude entre Terre et Lune. Le relief de la Lune, constaté ici de façon très nette, est un sérieux argument contre les aristotéliens pour lesquels le monde terrestre (le monde infra lunaire) et le monde céleste (le domaine supra lunaire) sont radicalement différents, le premier étant corruptible et formé des quatre éléments imparfaits, terre, eau, air et feu ; le deuxième, inaltérable, étant constitué d'un cinquième élément (la quinte essence), parfait.

La seconde observation que Galilée peut faire avec son instrument concerne les étoiles et les planètes. Il constate d'abord que les premières apparaissent toujours comme des points lumineux, à cause de leur très grande distance, tandis que les seconds semblent délimités par de petits cercles. « Les planètes se montrent comme des globes parfaitement circulaires à la manière de petites lunes. » Les étoiles sont infiniment plus nombreuses que ce que l'on peut voir à l'œil nu. « Pour que vous puissiez avoir une vision de leur invraisemblable multitude et juger de leur nombre d'après ces représentations, j'ai décidé de reproduire deux groupes d'étoiles. Dans le premier, j'avais l'intention de dessiner toute la constellation d'Orion, mais j'ai été submergé par l'énorme multitude de ces étoiles, et, de plus, le temps me manquait. J'ai donc remis cela à une autre occasion. Car il y a plus de 500 étoiles entourant celles qui sont connues depuis longtemps, réparties en l'espace de 1 à 2 degrés. Ainsi, autour des trois qui forment le baudrier et des six qui longent l'épée, observées ensemble depuis longtemps, j'en ai ajouté 80 qui furent repérées il y a peu de temps. J'ai noté le mieux possible leurs distances respectives. Pour que l'on puisse faire la distinction, j'ai dessiné les étoiles connues depuis longtemps par des contours doubles, les plus petites et imperceptibles [à l'oeil nu] par des contours simples. Dans le second exemple, j'ai représenté les 6 étoiles du Taureau appelées Pléiades... Il y a autour d'elles plus de 40 étoiles invisibles [à l'oeil nu] dans un espace d'à peine un demi degré. Je n'en ai dessiné que 36, en respectant leurs distances respectives, avec les mêmes conventions que pour les étoiles d'Orion, pour reconnaître ce qui est nouveau et ancien. »

Quant à la Voie lactée, et ce que tous les astronomes ont appelé jusqu'ici des nébuleuses, Galilée montre qu'il suffit de braquer la lunette dans leur direction pour s'apercevoir qu'il s'agit, en réalité, d'une quantité d'étoiles innombrable, groupées en amas. « À l'aide de la lunette, on les

distingue si bien que toutes les discussions qui, pendant tant de générations ont irrité les philosophes, tombent d'un seul coup par l'évidence visible et nous dispensent de recourir à des arguments prolixes. Car la Galaxie n'est pas autre chose qu'une accumulation d'innombrables étoiles réparties en amas. Dans quelque région que vous tourniez votre lunette, vous verrez aussitôt un nombre immense qui s'offre à la vue... » Galilée dessine deux exemples dans la tête d'Orion (21 étoiles) et dans celle de la Crèche qui montre plus de 40 étoiles, dont il représente 36.

« Il nous reste à révéler et à faire connaître ce qui semble être de la plus haute importance, à savoir quatre planètes [satellites] jamais vues depuis le commencement du monde et jusqu'à ce jour, l'occasion de leur découverte et de leur observation, leurs positions et leur suivi effectués durant les deux derniers mois et plus en notant leur comportement et leurs changements. Et j'en appelle à tous les astronomes de se consacrer à les chercher et à calculer leur période que, vu le court espace de temps disponible, nous n'avons pu effectuer jusqu'ici. Nous leur rappelons toutefois, une fois de plus, qu'ils auront besoin de lunettes appropriées telles que celles que nous avons décrites au début de ce travail, sinon ils entreprendront de telles investigations en pure perte. » Galilée croit d'abord qu'il s'agit d'étoiles non aperçues jusque là, puis il fait une constatation très importante qui le met aussitôt sur la voie : ces corps près de Jupiter tantôt le précédant, tantôt le suivant, sont toujours alignés et parallèles à l'écliptique. Il remarque aussi qu'ils sont au nombre de quatre et de taille inégale. Puis il procède à des observations suivies du 1^{er} janvier au 2 mars 1610 qu'il relate en détail sur quelque 20 pages du *Sidereus Nuncius*. Nous en reproduisons seulement quelques unes de janvier.

Telle est, en substance, la teneur du *Messenger des Etoiles*. Encore une fois, il ne s'agit nullement d'un traité, mais d'une simple prise de date. Cependant ce fut mieux qu'un traité, puisque pour l'astronome ce fut une véritable révolution qui allait à l'encontre de toutes les idées reçues, acceptées une fois pour toutes par tous les tenants d'Aristote : le monde céleste ne présente aucune différence par rapport au monde terrestre, les satellites autour de Jupiter montrant que dans le système solaire la Terre n'est pas la seule à voir graviter autour d'elle des corps semblables à la Lune et des étoiles insoupçonnées sont présentes en grand nombre. Le *Messenger Stellaire* marque le début de l'astronomie moderne.

L'accueil du *Messenger Stellaire* fut immédiat et enthousiaste à travers toute l'Europe. Cependant un manque de lunettes de bonne qualité rendait les vérifications difficiles et la méfiance des Aristotéliens se fit jour très tôt à l'égard des instruments, sources d'erreurs possibles. Certains refusèrent carrément de jeter un regard à travers des instruments qui ne leur inspiraient pas confiance. D'autres prenaient même pour des artifices ce qu'ils voyaient.

1611 fut pour Galilée encore une bonne année puisqu'elle lui permit de constater de la forme bizarre de Saturne vu à travers les lunettes. Pour prendre date de cette observation, il se contente, pour l'instant, de l'annoncer par l'anagramme suivant :

SMAISMRMMIMEPOETALEUMIUNENUGTTA
VIRAS

et d'en rendre, un peu plus tard, le sens exact, en employant les mêmes lettres :

ALTISSIMAM PLANETAM TERGEMINUM
OBSERVAVI.

C'est-à-dire que la planète la plus élevée [Saturne], telle que je l'ai observée, se présente sous la forme trigéminée. La découverte des anneaux de Saturne responsables de cette configuration ne sera effectuée qu'en 1656 par Christian Huygens.

Galilée constate, d'autre part, que la planète Vénus passe par un cycle complet de phases ; mais comme Galilée n'était pas encore tout à fait sûr de la réalité des phases de Vénus et comme il tenait beaucoup à la priorité des découvertes, il eut encore recours à un anagramme que personne évidemment n'arrivait à déchiffrer :

HAEC IMMATURA A ME IAM FRUSTRA
LEGUNTUR OY (11 décembre 1610).

Lorsque la chose lui parut hors de doute possible, il révéla qu'il se lisait de la façon suivante (1^{er} janvier 1611) :

CYNTHIAE FIGURAS AEMULATUR MATER
AMORUM.

C'est-à-dire, « Les formes de la mère des amours rivalisent avec celles de Diane. » Autrement dit : Vénus présente les mêmes phases que la Lune.

En avril 1611, Galilée remarque les taches sur la surface du Soleil. C'est encore un argument contre les Aristotéliens sur l'idée de perfection et d'incorruptibilité du monde céleste. Cette découverte donne du reste lieu à une première polémique avec le jésuite Christophe Scheiner d'Ingolstadt, qui sera, pour Galilée, la première attaque virulente d'une série. En attendant, l'année 1611 sera encore très bonne puisqu'elle verra, à Rome, le triomphe de Galilée et même la confirmation et les félicitations de la part des jésuites astronomes du *Collegium Romanum*, tel que le célèbre Père Clavius.

C'est à partir de 1616 que les choses commencent à se gâter, Galilée prétendant que toutes ses découvertes confirmaient le système de Copernic. Les jésuites, d'accord avec Galilée sur l'incompatibilité de ses découvertes avec le système de Ptolémée, avaient cependant opté pour le système de Tycho Brahe, qui rendait parfaitement compte des nouvelles découvertes tout en laissant la Terre immobile et le Soleil mobile, autour duquel tournaient toutes les planètes, gravitant autour de notre Terre comme le centre de l'univers. La véracité du système de Copernic, auquel adhérait également un esprit aussi averti que Kepler, ne fut prouvée qu'en 1838 grâce à la découverte, par Bessel, de la première étoile (61 cygni) qui présentait, au cours d'une révolution de la Terre autour du soleil, une parallaxe.

On cherche désormais à attirer Galilée sur le terrain très dangereux de l'Écriture Sainte. ■

Cette belle évocation de Galilée a été rédigée par Marcel Weyant (photo ci-contre). Il a relu ce texte pour la dernière fois avec l'aide de sa fille Anne, le samedi 5 juillet 2008. Il est décédé le 7 juillet 2008. Ce texte nous a été communiqué par René Cavaroz, membre de l'Asnora et Délégué Régional du CLEA.



La rédaction s'associe à la douleur de la famille de Marcel Weyant.

AMA09 : RÉALISATION

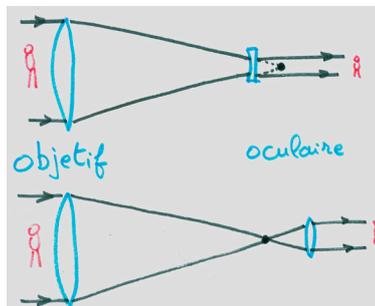
Une petite lunette de Galilée pour observer les montagnes lunaires

Georges Paturel, Observatoire de Lyon

Résumé : L'année 2009 approche avec sa célébration de la première lunette utilisée à des fins astronomiques. Il était naturel de proposer la construction d'une lunette de Galilée... transformable en lunette astronomique.

Construction

Rappels optiques. Pour observer confortablement un objet avec une lunette, la lumière doit entrer dans notre œil avec des rayons quasiment parallèles. Il y a deux façons d'obtenir ce résultat quand on utilise un objectif convergent : soit on place une lentille divergente avant le foyer de l'objectif (c'est la lunette de Galilée), soit on place une lentille convergente après le foyer de l'objectif (C'est la lunette de Kepler, ou lunette astronomique). Le schéma ci-dessous illustre les deux types de lunettes.



En haut la lunette de Galilée ; en bas la lunette de Kepler.

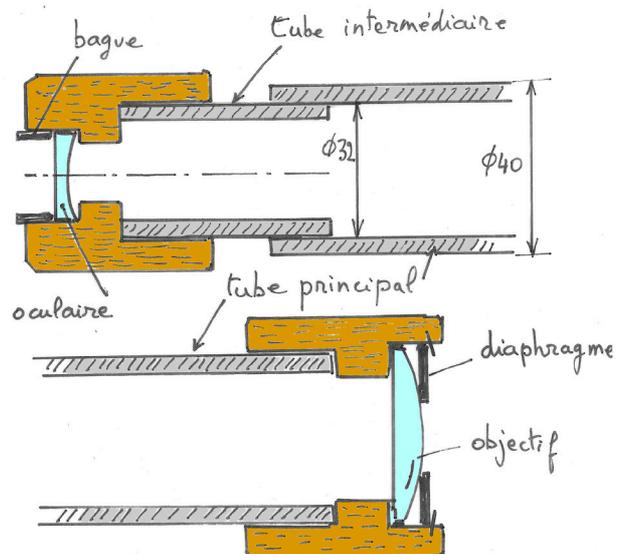
La réalisation d'une lunette de Galilée vous fera admirer encore plus les découvertes du savant, car disons le tout net, on ne voit pas grand-chose dans sa lunette. La lunette que nous allons réaliser sera donc facilement convertible en lunette de Kepler.

Je vais vous décrire la lunette que j'ai faite (pseudo-copie d'une lunette historique). La lunette faite pour le kit pédagogique du projet Sidereus Nuncius est un peu différente.

Les lentilles. Galilée a utilisé pour l'une de ses lunettes un objectif plan-convexe de 130 cm de focale et un oculaire plan-concave de -10cm de focale (rayon de courbure 5 cm). Personnellement, j'ai pris un objectif de 1 mètre de focale et un

oculaire, récupéré sur une vieille paire de jumelles, de focale inconnue, mais voisine de 5cm.

Les tubes. Là, il n'est plus question de suivre Galilée qui utilisait des tubes en plomb. Les tubes en PVC conviennent parfaitement, d'autant qu'il est possible de choisir des tubes qui s'emboîtent. Le tube principal est en un seul morceau ($\phi 40$ mm extérieur). Le tube principal est supporté par une goulotte en bois (3 planches clouées entre elles) qui vous permettra d'y adapter d'autres lunettes. Pour l'esthétique, le tube principal est habillé de papier, décoré à l'ancienne, collé à la colle blanche.



Les porte-lentilles. Le problème est toujours la fixation des lentilles. Le plus simple est de se faire fabriquer par un tourneur les deux pièces support, en bois, l'une pour l'objectif, l'autre pour l'oculaire. Il faut prendre du bois sans nœud et sans veine (par exemple du bois



exotique). Le tournage est très facile. Vous pouvez même envisager de le faire vous-même. Le porte-objectif est emmanché directement sur le tube principal. Le porte-oculaire, lui, est emmanché sur un petit tube intermédiaire ($\phi 32$ mm extérieur) entrant dans le tube principal. L'intérêt est de pouvoir faire la mise au point et, éventuellement, de remplacer l'oculaire divergent par un oculaire convergent placé sur un tube identique mais plus long. Dernier point à ne pas négliger : il faut diaphragmer l'objectif pour améliorer la qualité des images.

Le pied. Je me suis amusé à faire une sorte de copie d'une lunette du maître : pieds, plateau, colonne octogonale et rotule pour les deux rotations. Ce n'est pas le plus simple. Le pied réalisé par D. Bardin (cf. CC 123) est autrement plus stable. Pour l'utiliser il vous suffit de visser sur son plateau une petite colonne où viendra se fixer la rotule. Pour les plus pressés, l'adaptation de la goulotte sur un pied photo, coupera court à tout autre bricolage.

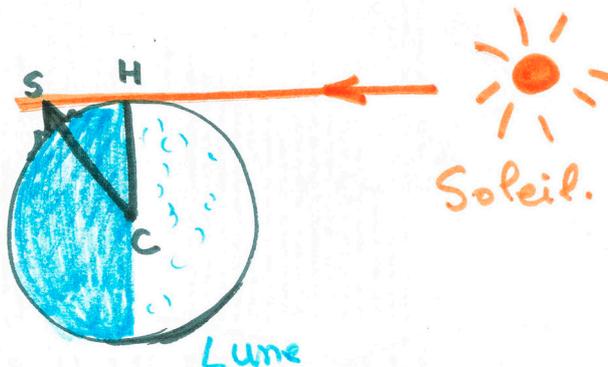


L'original et la copie.

Utilisation

Observation de la Lune. C'est sans doute l'objet le plus facile à observer. La grande luminosité autorise à diaphragmer beaucoup pour avoir ainsi de très bonnes images. L'observation près du premier ou du dernier quartier est intéressante. Vous pourrez, près du terminateur (séparation entre ombre et lumière) voir le relief lunaire. Galilée avait remarqué que certains points lumineux apparaissaient dans la partie sombre. De

quoi pouvait-il s'agir ? Tout simplement des sommets les plus hauts, encore éclairés par le Soleil, quand tout était sombre alentour. C'est un phénomène que l'on observe sur Terre, au Soleil couchant, dans une vallée profonde. Galilée a utilisée cette observation pour calculer la hauteur des plus hautes montagnes lunaires.



Le sommet S va apparaître comme un point lumineux dans la partie sombre. Calculons la hauteur h de ce sommet. Si R est le rayon de la Lune, $R=CH$, on a : $SC=R+h$.

Par ailleurs, HS peut être calculé comme une fraction du rayon lunaire. Galilée par exemple avait observé un sommet éclairé à une distance du dixième du rayon lunaire, soit $HS=R/10$.

Appliquons le théorème de Pythagore au triangle SCH : $CH^2+HS^2=SC^2$, ce qui s'écrit :

$$R^2+R^2/100 = (R+h)^2=R^2+h^2+2hR$$

Simplifions et divisons les deux membres par R^2 et négligeons h^2/R^2 devant $2h/R$. On obtient : $1/100=2h/R$, d'où : $h=R/200$.

Le rayon de la Lune (qui était connu de Galilée) est de 1740 km. On trouve que les plus hautes montagnes de la Lune peuvent avoir une hauteur de $1740/200=8,7$ km.

Nous avons présenté une méthode pour calculer la hauteur des montagnes sur la Lune (CC111, p12), méthode difficile, avec de la trigonométrie, souvent hors des programmes du collège.

Par sa méthode Galilée parvient à estimer la hauteur des montagnes sans autre moyen que le théorème de Pythagore. C'est ça le génie !

À vous de jouer ! Essayez de reproduire le travail de Galilée, en choisissant un ciel bien noir, par une nuit bien "claire", avec une lunette bien réglée et faites nous part de vos résultats.

Remerciements : Je remercie A. Brémond qui a attiré mon attention sur la méthode de Galilée pour estimer la hauteur des montagnes lunaires. ■

AMA09 : AVEC NOS ÉLÈVES

Galilée et la rotation du Soleil

Francis Berthomieu

Résumé : *Il est toujours intéressant de confronter nos connaissances et nos expériences avec celles de nos grands prédécesseurs. Galilée fut un excellent observateur et l'utilisation de ses dessins est riche d'enseignements. Voici un bref compte-rendu d'un travail effectué lors de notre école d'été 2008 avec des dessins de Galilée*

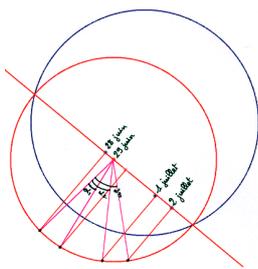
Les documents

Voici une sélection de 4 dessins que fit Galilée lors de ses observations du Soleil en 1610 : On verra vite qu'il eut plus de chance que l'observateur de cette année 2008 ! Taches à profusion sur l'astre du jour.

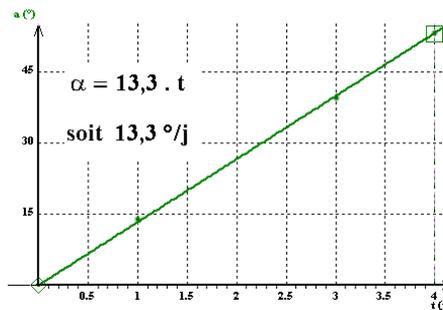
Nous avons choisi les images datées des 28, 29 juin puis 1 et 2 juillet.

La tache que nous avons suivie est repérée sur les images. Voici le calque sur lequel les taches ont été recopiées et les constructions classiques qui permettent de mesurer l'angle dont a tourné le Soleil au cours du temps.

(Détails de la méthode sur le site du CLEA : <http://www.clea-astro.eu/A09.html>)



date	t (jours)	α (°)
28/06	0	0
29/06	1	14
1/07	3	40
2/07	4	53



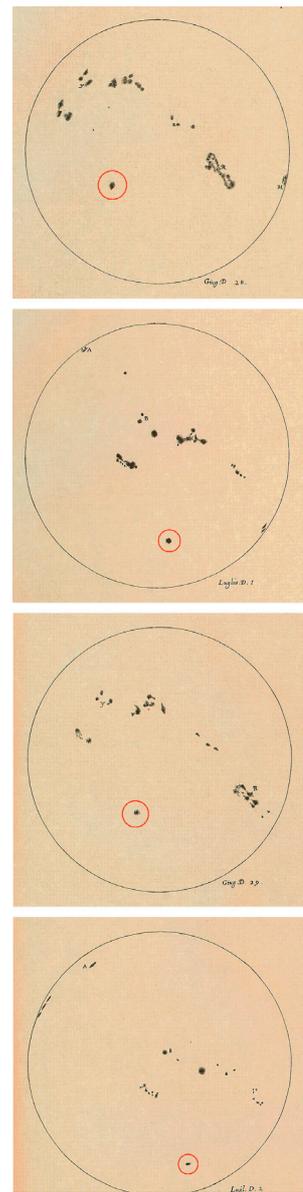
Le graphe donnant l'angle parcouru par la tache en fonction du temps montre un mouvement de rotation uniforme (13,3 degrés par jour), ce qui permet de déterminer la période synodique de rotation propre du Soleil, telle que Galilée aurait pu la déterminer ! On trouve pour cette tache $T_S = 27$ jours, ce qui confirme la qualité des observations de Galilée !

Avec taches. Impatient de présenter [le solarscope] à mes élèves, dès sa réception au secrétariat du collège, je me mets à le monter. Quelques minutes plus tard, me voila accroupi au milieu de la cour de récréation, heureux que le Soleil brille dans un ciel sans nuage. Un ami et collègue d'histoire géographique, piqué par la curiosité, traverse la cour et vient me voir. Moi : « Regarde, c'est génial ; c'est le soleil qu'on voit ». Il semble tout aussi enthousiaste que moi face à l'écran, puis faisant demi-tour : « Tu devrais nettoyer l'objectif, les poussières font des taches sur le Soleil ».

O. Gayrard

Sans taches. L'année 2008 est remarquable par son inactivité solaire. Le 30 septembre les astronomes qui suivent l'activité de notre étoile ont annoncé qu'on avait compté pour l'instant 200 jours sans taches [...]. (Un) précédent record remonte à 1954 (241 jours [...]) et un autre en 1913 (plus de 300 jours en 1913).

J.-L. Boutolleau



Le retour de Vénus

Francis Berthomieu

Résumé : Depuis le mois de septembre, Vénus est bien visible dans le ciel, peu de temps après le coucher du Soleil. Elle est chaque soir un peu plus haut dans le ciel. C'est donc l'occasion de l'observer (et de la faire observer), mais aussi de comprendre son mouvement, d'effectuer des mesures et de les interpréter.

Premières données

Voici une carte du ciel un peu particulière puisque graduée en coordonnées écliptiques. L'écliptique est la droite médiane, graduée de droite à gauche (mieux vaudrait dire d'ouest en est), avec son origine au point vernal. Cette partie du ciel est celle où nous pourrons voir évoluer Vénus (les points bleus, datés à partir du 20 novembre, avec une périodicité de 10 jours), mais aussi le Soleil (les points rouges, qui suivent bien entendu l'écliptique,

tracés aux mêmes dates que Vénus). Attention, la première position du Soleil sur la carte, située tout à droite, correspond à la date du 20 décembre : date de parution de ce numéro des Cahiers Clairaut !

Cette carte permettra de retrouver Vénus parmi les constellations du zodiaque, mais il serait envisageable de la construire à partir d'observations visuelles ou photographiques (avis aux amateurs) en repérant pendant les prochains mois la position de la planète par rapport aux étoiles.

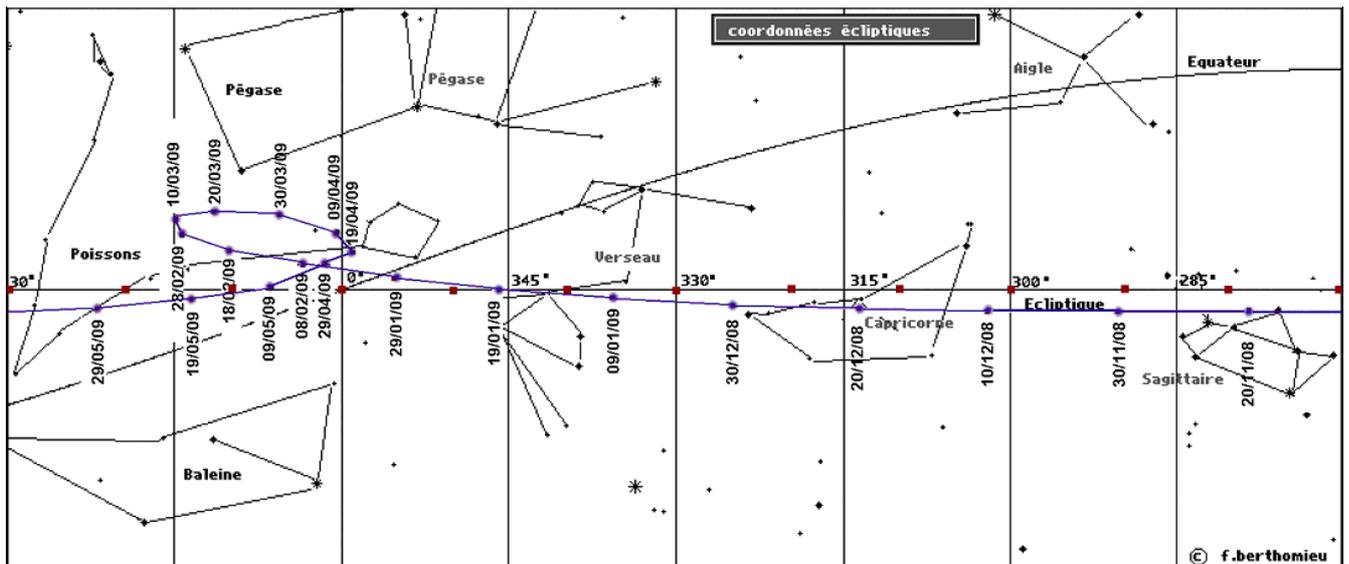


fig.1

Vénus tourne autour du Soleil

C'est l'occasion de s'en convaincre. Prenons un papier calque, traçons-y une droite (ce sera l'écliptique) dont un point arbitraire représentera le Soleil. Faisons glisser ce calque sur la carte précédente en superposant les lignes écliptiques. Faisons coïncider les positions du Soleil aux dates successives puis repérons la position de Vénus à ces mêmes dates. Voici le tracé que l'on obtient (fig.2) :

On voit ainsi la trajectoire de Vénus autour du Soleil « en perspective ». La planète s'éloigne peu à peu du Soleil, en progressant vers l'Est. Elle franchit l'écliptique (en « remontant » du Sud vers le Nord) entre le 10 et le 20 janvier, elle atteint son élongation (en fait, c'est le 14 janvier). Après cela, elle commence à se rapprocher du Soleil.

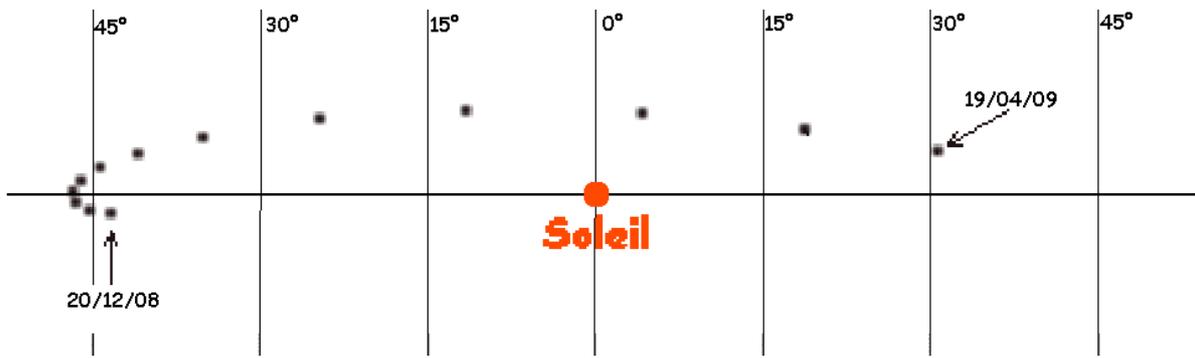


fig 2

Exploitation

L'analyse de ces deux cartes permet de se poser quantité de questions : jusqu'à quel moment Vénus restera-t-elle visible dans le ciel du soir ? Quel aspect aura la planète au télescope à telle date ? Quelle est la valeur de l'élongation maximale de Vénus ?

Et même ... quel est le rayon de son orbite, supposée circulaire ?

Le schéma suivant (fig.3) permet de comprendre comment procéder en situant Vénus sur son orbite à la date de l'élongation maximale (la quadrature).

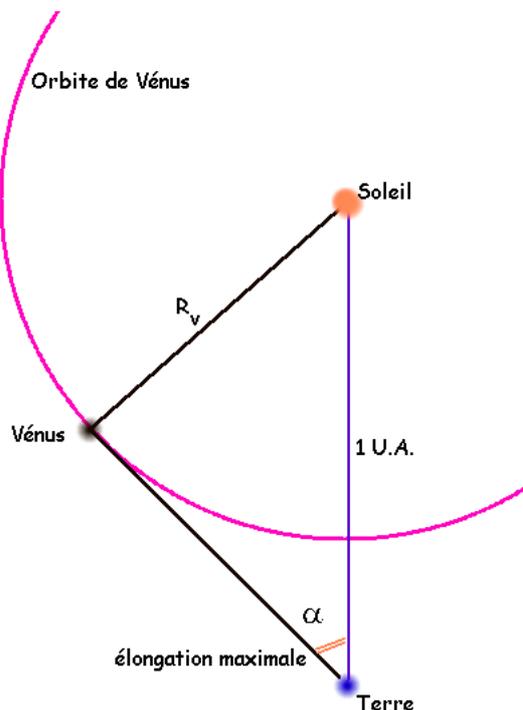


fig. 3

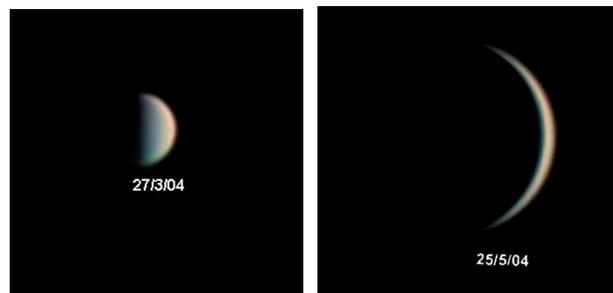
Le raisonnement est classique : L'angle Terre-Vénus-Soleil est alors un angle droit et il est aisé de calculer le rayon de l'orbite de Vénus, noté R_V .

On trouve (en unités astronomiques) $R_V = \sin \alpha$

La figure 2 permet une estimation correcte de l'élongation maximale $\alpha = 46^\circ$, et l'on trouve donc : $R_V = 0,72 \text{ UA}$.

Suggestions photographiques :

Les deux photographies suivantes datent de l'année 2004. Nos élèves pourront tenter de trouver à quel endroit de son orbite se trouvait la planète Vénus lors des prises de vue.



Gageons que certains de nos lecteurs prendront de tels clichés lors des prochaines semaines et qu'ils voudront bien nous les faire parvenir. Une exploitation quantitative pourra alors être tentée : On voit que le diamètre apparent de la planète varie sensiblement : il peut nous renseigner sur la distance Terre-Vénus. Quant à la phase, elle nous permettra de situer Vénus sur son orbite...

(à suivre...)

■

L'étoile du berger

Francis Berthomieu

Résumé : Ce bref article s'intéresse au mouvement de Vénus et aux diverses configurations que prend le Système Terre-Soleil-Vénus. On comprendra pourquoi il arrive, dans des textes anciens, de voir Vénus représentée par une étoile à 5 branches...

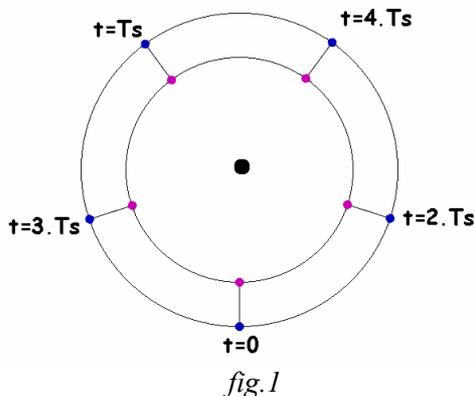
Étrange coïncidence

Intéressons nous aux périodes des mouvements de la Terre et de Vénus. La période **synodique** de Vénus T_s est de 583,924 j, soit un peu plus d'un an et demi... Rappelons ici que la période synodique d'une planète est le temps mis par cette planète pour revenir à la même configuration Terre-Planète-Soleil, c'est-à-dire à la même place dans le ciel par rapport au Soleil, vu depuis la Terre. Multiplions cette période par 5 : on trouve 2919,62 j... Cela fait tout juste 8 ans ! (Ou presque ... 7,99 pour être précis).

Qu'en déduire ?

Tout simplement qu'au bout de huit ans, les 3 astres retrouvent pratiquement la même position dans le système solaire.

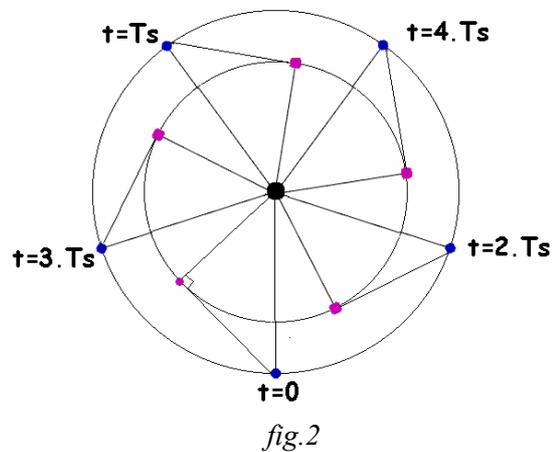
Supposons qu'à un instant $t = 0$ nous assistions à une conjonction inférieure. Choisissons par exemple le 8 juin 2004, jour du passage de Vénus devant le Soleil. La suivante devait avoir lieu 583,924 j plus tard, soit à l'instant $t = T_s$. La suivante à l'instant $2.T_s$ et ainsi de suite... La cinquième aura lieu à l'instant $5.T_s$... et au même endroit que la première (ou presque puisque 8 n'est pas tout à fait égal à 7,99). Quelques rapides calculs d'angles montrent que les 5 conjonctions inférieures se seront produites pour les positions suivantes de la Terre et de Vénus :



Combien de branches pour l'étoile du berger ?

Rappelons qu'une conjonction inférieure n'a d'intérêt observationnel que s'il y a passage...

Il existe d'autres positions plus caractéristiques : par exemple, les élongations maximales de Vénus, réalisées lorsque le triangle Terre-Vénus-Soleil est rectangle en V (Vénus). Par exemple, l'élongation maximale précédant le passage de Vénus devant le Soleil a eu lieu le 29 mars 2004, observable le soir dans la constellation du Taureau, à l'Est du Soleil. La suivante a eu après une période synodique T_s . Les positions de la Terre et de Vénus lors des 4 élongations maximales orientales suivantes sont donc données par ce schéma :



...et la 5^{ème} se reproduira... dans une position pratiquement identique à celle de mars 2004, 8 ans plus tard. Le point précis ne sera sans doute pas exactement le même, mais la constellation qui accueillera l'événement sera bien la même.

Plaçons la Terre au centre de l'écliptique, entourée des 13 constellations qui le meublent, puis traçons depuis une Terre (supposée immobile) les 5 directions visant la planète Vénus lors de ses élongations maximales orientales :

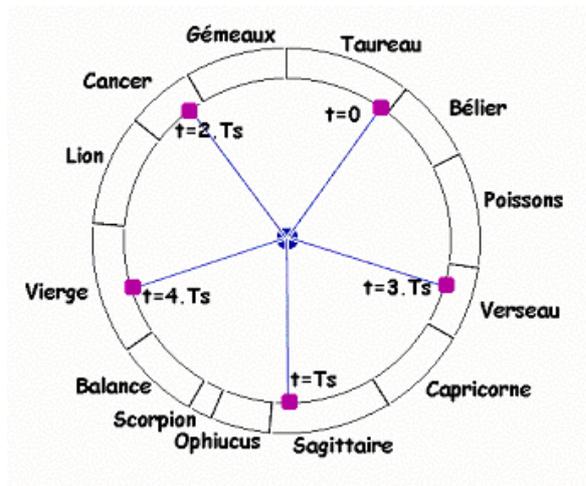


fig.3

Et nous constatons que si l'on a pu voir Vénus en 2004 au plus loin du Soleil le soir dans la constellation du Taureau, les quadratures suivantes se sont produites successivement dans le Sagittaire et le Cancer et que celle de cette année 2009 devrait se produire dans le Verseau, en attendant de rendre visite à la Vierge, et le retour dans le Taureau ... avec la fameuse périodicité de 8 ans.

Les anciens avaient bien observé cette succession, et parlaient du « pentagramme de Vénus ». Astrologues et autres devins n'ont pas manqué d'y trouver matière à maintes discussions... Et l'étoile à

5 branches fut un temps le symbole de la planète Vénus...

Mais ceci est une autre histoire...

En attendant, l'étoile du berger aurait-elle 5 branches ?

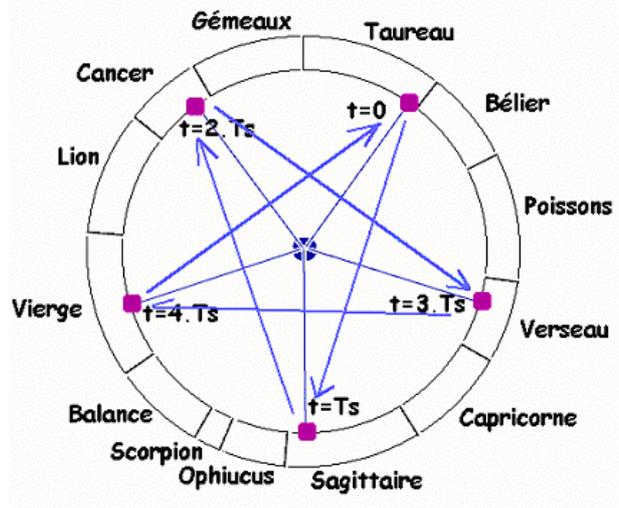


fig.4

■

Parlons du site du CLEA.

Tout d'abord, vous devez savoir que le site du CLEA est géré, sur le site de l'Académie de Nice, par notre ami Francis Berthomieu (sur la photo de groupe de l'école d'été, en page 7, il est le quatrième à partir de la gauche, accroupi au premier rang. Vous le reconnaîtrez : barbe blanche et polo noir). Ce site contient une d'encyclopédie astronomique, "l'Univers à portée de main", dont le lancement a été financé par "Sciences à l'école" et par le ministère délégué aux "Nouvelles Technologies pour la Société". Pour permettre l'extension de cette encyclopédie, une copie a été faite à l'Institut National de Recherche Pédagogique de Lyon (INRP).

C'est un autre membre du CLEA, Charles-Henri Eyraud, qui conduit cette nouvelle opération. Elle permettra à tout membre du CLEA de diffuser des textes (voire même des images ou des vidéos), qui seront accessibles en ligne dans l'encyclopédie. Un groupe de contrôle validera les informations. Une expérience intéressante à suivre.

Vénus et Maths

Pierre Causeret, pierre.causeret@wanadoo.fr

Résumé : Depuis maintenant deux mois, nous pouvons admirer l'étoile du Berger dans le ciel. Elle va continuer à augmenter d'éclat pour disparaître fin mars et réapparaître en avril dans le ciel du matin. C'est l'occasion de quelques exercices de maths pour les élèves de collège et de lycée (niveau 3^e-2^{de} pour la plupart des questions) que vous pourrez adapter pour votre classe (l'énoncé est sur le site du CLEA), faire en cours ou donner en DM... Les profs de physique peuvent aussi l'utiliser. Une partie des questions est inspirée du HS9 des Cahiers Clairaut, Maths et Astronomie, d'autres sont liées à l'actualité.

Données

On suppose que Vénus et la Terre parcourent des orbites circulaires autour du Soleil à vitesse constante et dans le même plan.

On note R_T le rayon de l'orbite terrestre, R_V le rayon de l'orbite de Vénus, P_T et P_V les périodes ou durées de révolution respectives de la Terre et Vénus.

On prendra :

$R_T = 150\,000\,000\text{ km}$; $R_V = 108\,000\,000\text{ km}$;
 $P_T = 365\text{ j}$; $P_V = 225\text{ j}$.

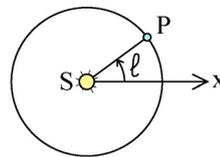
Première partie

1. Ecrire R_T et R_V en notation scientifique en km puis en mm.
2. Représenter les orbites de Vénus et de la Terre à l'échelle 1/2 500 000 000 000 (noter S le Soleil).
3. Vénus et la Terre ont sensiblement le même diamètre (entre 12000 et 13000 km). Calculer ce que deviendrait ce diamètre à cette échelle.
4. Sur le schéma, noter T la position de la Terre à un endroit quelconque de son orbite, V_1 la position de Vénus la plus proche de la Terre ("conjonction inférieure") et V_2 la plus lointaine ("conjonction supérieure"). Calculer TV_1 et TV_2 .
5. Placer Vénus sur le schéma (position V_3) pour que l'angle Soleil Terre Vénus soit le plus grand possible ("élongation maximale").

Calculer alors la distance TV_3 et l'angle $\widehat{STV_3}$.

6. Représenter Vénus en V_3 par un cercle de 1 cm de diamètre. Colorier en noir la partie de Vénus non éclairée par le Soleil. Comment verra-t-on Vénus dans un télescope ?

Deuxième partie (spéciale 2009)



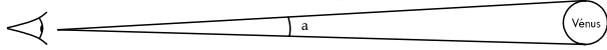
Sur ce schéma du système solaire vu du nord, $[Ox)$ sert d'origine pour la mesure des angles. Toutes les planètes tournent autour du Soleil dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

On appelle longitude d'une planète, l'angle \widehat{xOP} mesuré en degrés dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

1. Calculer la variation de longitude de Vénus puis de la Terre en un jour (au millième de degré près).
 2. On sait que, le 1er janvier 2009 à 0 h la longitude de Vénus était de $48,3^\circ$ et celle de la Terre de $100,6^\circ$. Calculer la longitude de chacune de ces planètes le 14 janvier 2009. Refaire un schéma à l'échelle 1/2 500 000 000 000 puis placer Vénus et la Terre ce jour-là. Comparer avec la question 5 de la première partie.
 3. On note t le nombre de jours écoulé depuis le 1er janvier 2009 à 0h, $f(t)$ la longitude de Vénus et $g(t)$ la longitude de la Terre. Ecrire $f(t)$ et $g(t)$ en fonction de t .
 4. Calculer à quelle date Vénus et la Terre auront la même longitude. Représenter la Terre et Vénus à ce moment là sur le schéma.
 5. Chercher à quelle date on retrouvera une élongation maximale de Vénus.
- Questions supplémentaires :**
6. Chercher la date de la prochaine conjonction inférieure.
 7. Plus difficile : On observe un jour de 2009 que l'élongation de Vénus est de 30° . Quelle est la date ?

8. Calculer le diamètre angulaire de Vénus à l'époque de la conjonction inférieure, de l'élongation maximale et de la conjonction supérieure (en secondes d'arc).

Le diamètre angulaire est l'angle α sous lequel on voit le diamètre de Vénus depuis la Terre.



Remarques pour l'enseignant

C'est au moment de l'élongation maximale que Vénus est la plus facile à observer, elle se couche longtemps après le Soleil (4 h en janvier).

On ne voit pas Vénus passer devant le Soleil lors de la conjonction inférieure car les plans des orbites ne sont pas confondus.

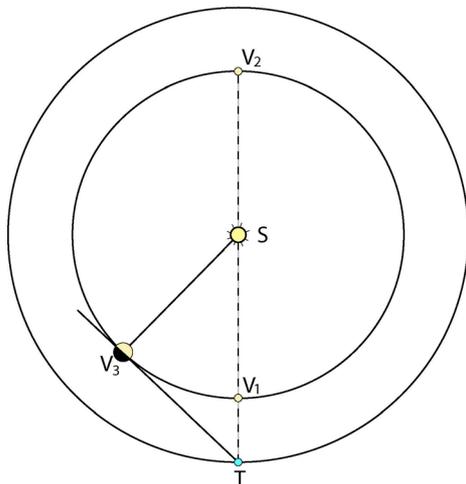
On parle dans l'énoncé de longitude. C'est, plus précisément, la longitude écliptique héliocentrique.

Les calculs proposés ici sont approximatifs, les orbites des planètes n'étant ni circulaires ni uniformes.

Solutions

Première partie

- $R_T = 1,5 \times 10^8 \text{ km} = 1,5 \times 10^{14} \text{ mm}$;
 $R_V = 1,08 \times 10^8 \text{ km} = 1,08 \times 10^{14} \text{ mm}$;
- Rayon de l'orbite de Vénus à l'échelle
 $(1,08 \times 10^{14} \text{ mm}) / (2,5 \times 10^{12}) = 43,2 \text{ mm}$
Rayon de l'orbite de la Terre à l'échelle
 $(1,5 \times 10^{14} \text{ mm}) / (2,5 \times 10^{12}) = 60 \text{ mm}$
- Diamètre de Vénus ou de la Terre $\approx 12\,500 \text{ km}$
ou $1,25 \times 10^{10} \text{ mm}$ ce qui donne $5 \times 10^{-3} \text{ mm}$, c'est trop peu pour que ce soit visible sur le dessin.



- $TV_1 = 1,5 \times 10^8 \text{ km} - 1,08 \times 10^8 \text{ km} = 0,42 \times 10^8 \text{ km}$
soit $4,2 \times 10^7 \text{ km}$ ou $42\,000\,000 \text{ km}$;
 $TV_2 = 1,5 \times 10^8 \text{ km} + 1,08 \times 10^8 \text{ km} = 2,58 \times 10^8 \text{ km}$
ou $258\,000\,000 \text{ km}$;
- Pour que l'élongation soit maximale, (TV_3) doit être tangente à l'orbite de Vénus (deux positions possibles sur le schéma).

Le triangle STV_3 est donc rectangle, ce qui permet d'utiliser le théorème de Pythagore.

$ST^2 = TV_3^2 + SV_3^2$. En prenant le million de km comme unité, on obtient :

$$150^2 = TV_3^2 + 108^2 \text{ d'où } TV_3 = \sqrt{10\,836} \approx 104$$

$$\text{et } \sin \widehat{STV_3} = 108/150 \text{ d'où } \widehat{STV_3} \approx 46^\circ.$$

5. On verra Vénus en quartier.

Deuxième partie

$$1. V : 360^\circ/225j = 1,6^\circ/j ; T : 360^\circ/365j \approx 0,986^\circ/j.$$

$$2. \text{Vénus : } 48,3 + 14 \times 1,6 = 70,7^\circ$$

$$\text{Terre : } 100,6 + 14 \times 0,986 \approx 114,4^\circ$$

La figure montre que Vénus est à l'élongation maximale.

$$3. f(t) = 1,6t + 48,3 \text{ et } g(t) = 0,986t + 100,6$$

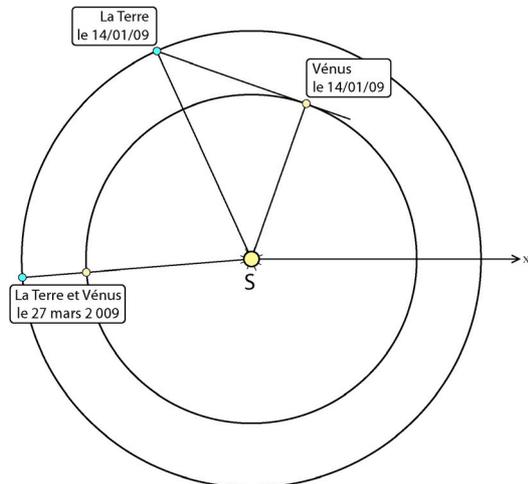
$$4. f(t) = g(t) \text{ si } 1,6t + 48,3 = 0,986t + 100,6$$

ce qui donne $t \approx 85$ jours.

$f(t)$ et $g(t)$ valent alors environ $184,6$.

85 jours après le 1er janvier, cela donne le 27 mars.

Ce jour-là, Vénus sera en conjonction inférieure.



5. Du 14 janvier et le 27 mars : 73 jours.

Elongation maximale le 8 juin, 73 j après le 27/03 (ce sera en réalité le 5 juin).

6. On doit donc avoir : $f(t) = g(t) + 360$.

$t \approx 671$, ce qui donne le 3 novembre 2010.

7. $SV/\sin 30^\circ = ST/\sin SVT$ donne 44° ou 136° pour SVT donc 106° ou 14° pour TSV.

$$f(t) - g(t) = -14 \text{ donne } t \approx 62,4 \text{ (3 mars 2009)}$$

$$f(t) - g(t) = 14 \text{ donne } t \approx 108 \text{ (18 avril 2009)}$$

$$f(t) - g(t) = 106 \text{ donne } t \approx 257,8 \text{ (14/09/2009)}$$

$$f(t) - g(t) = -106 \text{ donne } t \approx -87 : \text{on est en 2008.}$$

$$f(t) - g(t) = -106 + 360 \text{ on passe en 2010.}$$

On n'a que ces trois solutions en 2009.

(On peut aussi trouver avec Al Kashi et une équation du second degré).

8. Conjonction supérieure : $10''$

Elongation maximale : $24''$

Conjonction inférieure : $59''$ (voir HS9 fiche 6)

REMUE MÉNINGES

Vitesses planétaires

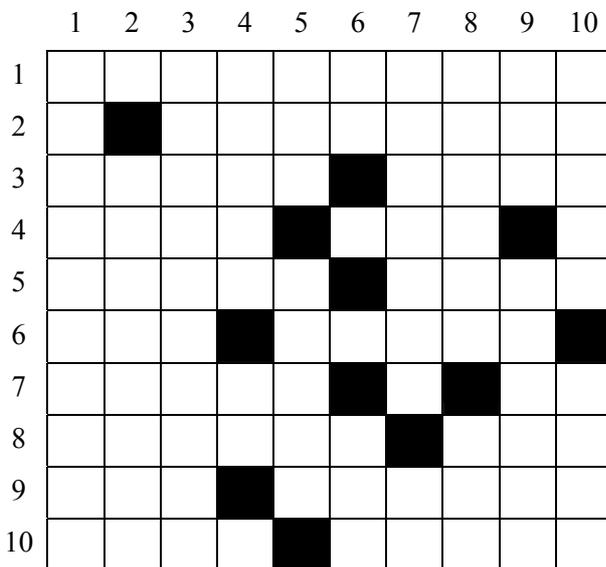
Une planète lointaine comme Saturne met près de 30 ans à faire le tour du Soleil alors que la Terre n'en met qu'un seul. Normal, pourrait-on répondre, puisqu'elle a davantage de kilomètres à parcourir.

Si toutes les planètes avaient la même vitesse linéaire (en km/s par exemple), les planètes lointaines auraient bien des périodes de révolution plus longues puisque la longueur de leur orbite est plus grande.

Est-ce le cas ? Les planètes lointaines sont-elles plus rapides ou moins rapides que les plus proches ? Quelle relation a-t-on entre la vitesse d'une planète et sa distance au Soleil ?

Pierre Causeret

Mots-croisés : spécial Vénus



Horizontalement

1. Celle de Vénus ne dépasse jamais 48°.
2. Ce n'est pas une protection suffisante pour se promener sur Vénus.
3. Si Vénus en a eu un comme c'est possible et même probable, il a actuellement disparu. Moins d'un avec seulement Vénus dans le ciel.
4. Agrégé. Comme le sol de Vénus mais pas comme celui d'Europe.
5. Mars en a deux alors que Vénus en est privée. Ne peut pas se pratiquer dans la Mer des Crises.

6. Association d'astronomie dans le 36. Avant violet à 300 nanomètres.

7. Sous la chevelure de Bérénice. Utilisé dans la fabrication des fusées.

8. Elles atteignent difficilement la température de Vénus. Vénus en vient.

9. On en trouve à l'école d'été du CLEA. Tamisai.

10. On en trouve dans le violon. Belle du soir cet hiver.

Verticalement

1. Vénus vue depuis Osiris ou l'inverse.

2. Spécialités de Mars ou de Saturne plutôt que de Vénus.

3. Telles les marées sur nos côtes.

4. Dense sur Vénus, rare sur Mars. Arrivent sur le sol de Mars mais pas sur celui de Vénus.

5. Eau de vie. On risque d'en attraper sur Vénus.

6. Dans le cœur de Mars mais pas dans celui de Vénus. Difficile de l'appeler si votre fusée tombe en panne.

7. Pile. Direction du lever de Vénus en novembre dernier.

8. Déesse de l'amour indienne qui a donné son nom à un plateau sur Vénus. Pour communiquer.

9. Direction du coucher de Vénus actuellement. Comme l'éclair.

10. Telle Vénus dans un télescope bien réglé. Pour traiter ses images de Vénus ou pour les regarder.

Pierre Causeret

La solution commentée est donnée à la page 40

LECTURES POUR LA MARQUISE

Je n'aurai pas le temps

Hubert Reeves, Le Seuil, ISBN 978-2-02-097494-3

Tout le monde croit connaître Hubert Reeves, tant son visage et son accent nous sont familiers grâce aux médias. Mais que sait-on de l'homme, de sa formation, de la naissance de sa vocation ?

A travers son parcours, Hubert Reeves nous raconte ses doutes, ses enthousiasmes, ses erreurs aussi, son goût pour la musique et la philosophie.

L'auteur explique simplement ce qui le conduit à être si présent dans les médias en souhaitant partager ce qu'il avait appris, jusqu'à sa défense actuelle de la planète.

Le moteur d'Hubert Reeves est une grande curiosité, une soif de comprendre qu'il place au premier rang, et qu'il essaie d'éveiller chez ses auditeurs de tous les âges. Nous partageons donc ce beau projet.

Sous l'empire des étoiles

Arthur I. Miller, éd. JC Lattès, ISBN 978-2-7096-2762-7

Le 11 janvier 1935, devant la *Royal Astronomical Society*, Chandrasekhar présente des idées concernant le destin des étoiles massives. Il y montre l'existence d'une limite supérieure à la masse des naines blanches conduisant, pour ces objets, à une « singularité ».

Eddington intervient alors et éreinte Chandrasekhar et ses idées. Pourquoi une telle réaction de la part d'un scientifique de haut niveau ?

Après la biographie des deux protagonistes, le livre présente le détail des faits. Même soutenu par Bohr, Fowler, Dirac, Rosenfeld et Pauli, Chandrasekhar ne surmontera pas vraiment le conflit.

Curieux rapports entre ces deux géants qui correspondaient, Chandrasekhar étant aux Etats-Unis, envoyant même des colis de riz à Eddington victime du rationnement dans l'Angleterre de 1940 !

Y avait-il la crainte de l'Anglais devant l'Indien qui rêve d'obtenir la chaire Henry Lucas à Cambridge, sur les pas de Newton ?

En tout cas, Chandrasekhar se désintéressera des naines blanches au profit du transfert de rayonnement, de la relativité générale et de la théorie mathématique des trous noirs.

On ne sait pas ce que pensa réellement cette personnalité tourmentée en recevant le prix Nobel en 1983, ni quelle aurait été sa réaction lors du lancement, en 1999, du satellite qui porte son nom (Chandrasekhar était décédé en 1995).

Au-delà de sa densité, ce livre est bien précieux pour révéler l'histoire des hommes qui se cache derrière « la limite de Chandrasekhar de 1,4 masse solaire pour une naine blanche », bien connue des étudiants en astrophysique !

JNT

Pourquoi les zèbres ont des rayures (et 499 autres questions essentielles)

Lydia Mammam et Renaud Varoqueaux, Édts. City, ISBN 978-2-35288-072-6

Lydia Mammam & Renaud Varoqueaux

POURQUOI les zèbres ont des rayures ?

(et 499 autres questions essentielles)



Sciences-société-expressions-histoire...

City

Ce petit livre est une bonne idée de cadeau pour Noël. Des questions amusantes, et parfois déroutantes. Vous y trouverez en particulier les réponses à quelques questions astronomiques. Par exemple :

Pourquoi le Soleil devient-il rouge au coucher ? Pourquoi les nuages sont-ils blancs ? Pourquoi les aurores boréales ? Pourquoi n'y a-t-il pas d'atmosphère sur la Lune ? etc.

Attention, un zèbre peut en cacher un autre. Un livre a été publié par un autre auteur, postérieurement au petit livre que nous vous présentons. Il s'intitule : "Pourquoi les rayures ont-elles des zèbres !" (sic). Ce deuxième livre, dont la similitude de titre fait penser à la récupération malhonnête d'une bonne idée, ne vous livre les réponses qu'à une centaine de questions, alors que le premier, pour pratiquement le même prix, vous en offre quatre à cinq fois plus. Bref, je vous recommande plutôt le premier livre. J'ai acheté par erreur le second en croyant acheter le premier. Ne tombez pas dans le panneau. Les exemplaires du livre "plagiaire" étaient largement étalés sur le comptoir d'un grand libraire. Un commentaire de la vendeuse m'a choqué : "l'auteur de ce second livre est passé à la radio et il se vend bien !". On ne cherche plus à vendre de bons livres mais à faire "du chiffre".

La physique à l'honneur

Je viens de vous présenter deux livres en un. Je vais maintenant vous en présenter trois en un, des éditions "Le Pommier", tous écrits par de grands physiciens.



Voici les références précises :

Peut-on casser l'atome ?

Jean-Marc Cavedon

ISBN 978-2-7465-0405-9

LHC : enquête sur le boson de Higgs

Michel Davier

ISBN 978-2-7465-0398-4

Particules élémentaires et cosmologie : les lois ultimes

Gilles Cohen-Tannoudji et Michel Spiro

ISBN 978-2-7465-0380-9

La caractéristique de ces petits livres est qu'ils sont très courts, une soixantaine de pages, et tous écrits par des spécialistes. Ils ne sont pas trop chers (environ 5 euros) et facilement transportables. Pour lire et relire les développements récents de la science, l'achat de ces petits livres est une bonne idée. Avec eux en poche vous ne craignez plus d'arriver en avance à un rendez-vous, ni d'attendre votre conjoint(e), en cours de shopping.

Chez le même éditeur "Le Pommier", deux livres qui semblent passionnants viennent d'être édités, eux aussi rédigés par des spécialistes incontestables. Il s'agit de la **Petite Histoire de la matière et de l'Univers** par Hubert Reeves et ses amis (Michel Cassé, Etienne Klein, Marc Lachièze-Rey, Roland Lehoucq, Jean-Pierre Luminet, Nathalie Palanque-Delabrouille et Nicolas Prantzos). Le deuxième, écrit par Marc Lachièze-Rey, s'intitule **"Au-delà de l'Espace et du Temps, la nouvelle physique"**. Quand nous en aurons terminé la lecture nous vous les commenterons

GP

LA VIE ASSOCIATIVE

Le CLEA et les activités AMA2009

Renelle Takvorian, Jean Ripert, Daniel Joubin, René Cavaroz et quelques autres ont recensé les activités qui seront proposées pour l'Année Mondiale de l'Astronomie en 2009, en liaison avec le CLEA. Nous pensons qu'il est préférable de publier ce tableau sur notre site Internet, car des modifications de dernières minutes peuvent y être apportées et de nouvelles manifestations peuvent y être ajoutées par nos correspondants académiques. Donc, pour plus d'information aller visiter notre site :

<http://CLEA-astro.eu>

EXPLORER L'UNIVERS dans un collège ZEP

Ludovic Defay,

Professeur de mathématiques à Toulon

Ce CD-ROM qui est offert à tous les abonnés des Cahiers Clairaut de 2008 est à la fois un cadeau et un outil pédagogique. Rappelons qu'il a été conçu sous la direction de notre amie et collègue Agnès Acker, astrophysicienne à l'Observatoire de Strasbourg et Présidente de l'Association des Planétariums de Langue Française. Vous trouverez dans les lignes ci-dessous, un témoignage de l'utilisation de cet excellent outil.



Explorer l'univers
Le CDrom « Explorer l'univers » propose une série d'exercices simples basés sur l'acquisition et l'analyse d'images astronomiques. Destinés à des jeunes (10-17 ans), il présente de façon attractive certains concepts de la physique, et la pratique d'outils scientifiques (mesurer, estimer les incertitudes, changer de repères et d'unités...), pour traiter des images numériques en utilisant les technologies informatiques.

Das Universum abmessen
Die CDrom Das Universum abmessen bietet eine Reihe Übungen, die auf Beobachtungen und Analysen astronomischer Bilder beruhen. Die CD ist für Jugendliche (10-17 Jahre) geeignet und präsentiert auf attraktive Weise Konzepte der Physik, ermöglicht die Bedienung astronomischer Ausstattung, um digitale Bilder mit dem Computer zu analysieren (Messungen, Einschätzung der Ungewissheit, Umrechnung in Einheiten und Koordinaten).

Universe Explorer
CDrom - Universe Explorer - is a series of exercises based on the observation and analysis of astronomical images. Prepared for young people, ages 10-17, it is a nice way to present some basic concepts of physics, and practical uses of scientific tools (measurement, uncertain estimations, conversion in different coordinates and units) to analyze numerical images by using computer.

Logos: LHS Science View, Hands-On Universe, Observatoire astronomique de Strasbourg, Association des planétariums de langue française, ulp, INSU, ZEP, R.S.A., EWING S. BUTTERLAND.

Configurations minimales
MAC OS
PC: Windows 98/NT4/XP
Version bilingue sous la direction de Agnès Acker, astrophysicienne.

120-MHz-Processor, 48 Mo RAM, QuickTime 6.0, Moniteur 600x800, Couteurs (32 Bits), Carte vidéo (16 Bits), Carte son.
120-MHz-Processor, 48 MB RAM, QuickTime 6.0, Monitor 800x600, Color (32 Bit), Video Card (16 Bit), Sound Card.
120-MHz-Processor, 48 MB RAM, QuickTime 6.0, Monitor 800x600, Color (32 Bit), Videobarte (16 Bit), Soundbarte.

Une première utilisation a eu lieu dans un collège ZEP de Toulon, la séance qui durait 2h se déroulait hors temps scolaire (dans le cadre du dispositif école ouverte) avec un groupe de 10 élèves de 6^{ème}. Après une brève introduction orale sur le contenu du CD j'ai proposé aux élèves de commencer par quelques missions qui m'étaient apparues plus simples ou plus ludiques (choix totalement subjectif car étant novice en la matière). La forme des missions a tout de suite plu aux élèves et la plupart se sont mis au travail avec enthousiasme et curiosité ... jusqu'à ce que le réseau du collège connaisse quelques dysfonctionnements et ralentisse considérablement le chargement et l'exécution des missions et mette à mal la patience et l'intérêt des élèves. Une suite sera donnée à ce travail ultérieurement.

J'interviens 3h par semaine dans une classe relais à Hyères (ce sont des élèves de tous niveaux qui sont sortis temporairement – 6 à 7 semaines - de leur collège en raison de problèmes scolaires et disciplinaires assez importants). Un groupe d'élèves ayant fait une visite à l'observatoire du Pic du Midi, j'ai profité de cette opportunité pour leur présenter le Cd-rom pendant 2 séances d'une heure trente. Les élèves présents sont pour la plupart en voie de déscolarisation et présentent en particulier des problèmes de concentration qui ont rendu difficile la mise en route de la séance (peu d'attention pendant la présentation de la mission, erreur dans les prises d'images ...). Passée la première demi-heure, la compréhension et la motivation se sont accrues et la plupart des élèves ont pu réussir la moitié (et parfois plus) des missions (à noter que la construction progressive du télescope fut source de motivation pour quelques uns). J'ai par la suite utilisé le livret d'accompagnement pour faire un retour sur les objets et les notions rencontrées dans les différentes missions, les questions posées pendant cette séance ont manifesté la curiosité des élèves face à ces sujets.

Je crois que l'utilisation de ce CD est une expérience intéressante et enrichissante mais qui cadre difficilement avec la rigidité des horaires et le nécessaire respect du programme (l'expérience en classe relais n'étant pas soumise à ces contraintes et s'insérant dans un projet de découverte de l'astrophysique fut très positive).

L'école d'été d'astronomie du CLEA.

Nous avons l'habitude de donner un petit compte-rendu des activités de notre école d'été à Gap. Pour 2008, unanimement nous avons pensé que nous pourrions publier la chanson composée par Daniel Bardin pour notre petite soirée de clôture. Elle résume bien l'école et son ambiance.

Les trompettes de la renommée... astronomique

Sur l'air des "trompettes de la renommée" de G.

Brassens

Daniel Bardin, Gap 2008

Par un beau jour d'été, vous avez pris la route
Ou le train, ou l'avion, n'ayant plus aucun doute,
Vous aviez décidé de vous rendre gaiement
Au milieu des montagnes en un lieu d'agrément.
Vous vous étiez inscrits pour toute une semaine
Dans un stage étonnant, une aventure humaine
Traitant d'Astronomie, analysant les cieux
Afin de tout savoir des astres merveilleux!

REFRAIN

Rendons grâce à Uranie
La Science n'est jamais finie...

Dès le premier matin, pour vous garder en forme
On vous a emmenés au beau milieu des ormes
Des pins et des sapins, sous un ciel lumineux
Avant d'aller en cours, étonnés et curieux.
C'est là qu'a commencé tout votre apprentissage
S'orienter dans le ciel en écoutant des sages
Qui savent mesurer les angles et le temps
Les chiffres défilaient et vous étiez contents !

(Refrain)

Tous les après midi, sans perdre une seconde
Certains ont admiré couleurs et longueurs d'ondes
Dans un dispositif, un drôle d'appareil
Que Roger a construit pour scruter le Soleil ;
D'autres ont mesuré cette courbure infime
Qui fait que le Soleil, occulté par les cimes
Du Canigou lointain émerge cependant:
Effet de l'atmosphère, phénomène épatant !

(Refrain)

Vénus en se mouvant autour de notre étoile
Nous permet d'admirer entourée de ses voiles
Ses phases successives qu'observa Galilée:
Le grand savant pisan en resta bouche bée!
En maître de ballet de ses gros satellites
Jupiter les faisait tourner plus ou moins vite
Et notre Galilée, comprenant leurs trajets
Décentra l'Univers auparavant figé!

(Refrain)

Beaucoup avaient avoué en arrivant au stage
Qu'ils savaient peu de choses, mais comme ils étaient sages
Ils mettaient leurs espoirs dans les animateurs
Chargés de leur fournir du ciel tous les bonheurs ;
Alors ont défilé les heures de découvertes :
Saisons et équinoxes, étoiles bleues ou vertes,
Magique parapluie et ses constellations
Céphéides lointaines, mystères et solutions !

(Refrain)

Et l'AMA09, absent du catalogue
Du grand Charles Messier, ravit les pédagogues
Qui pourront sur la Terre dignement célébrer
Quatre cents ans d'Histoire qu'il faut commémorer.
Comme aurait dit Voltaire à sa Marquise amie
"Ne négligeons jamais d'aimer l'Astronomie
Elle fait des humains des êtres de raison
Qui de l'obscurantisme vaincra la déraison" !

LE COURRIER DES LECTEURS

Les finesses de la régression

N Dans le cours de statistique que G. Paturel nous propose dans le dernier numéro des Cahiers Clairaut, sur la régression linéaire, je lis dans l'introduction : "... le but est de trouver une relation linéaire entre deux grandeurs sur la forme $Y = AX + B$..." puis, plus loin : "... il est donc nécessaire de ne tester que des relations linéaires (ce qui paraît évident, compte tenu du nom de la méthode...) ..."

Or, par la méthode des moindres carrés, exposée dans le paragraphe suivant, on peut ajuster non seulement des fonctions affines (représentées par des droites) sur un

nuage de points, mais aussi des fonctions polynomiales :

$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3 + \dots$ Les coefficients [...] se déterminent par un système linéaire de n équations à n inconnues. C'est la **linéarité** des paramètres ajustés [...] qui donne son nom à la régression. On peut même choisir

$Y = a_0 + a_1f_1(X) + a_2f_2(X) + \dots$ sous réserve que les fonctions f_1, f_2, \dots satisfassent à certaines conditions d'orthogonalité (et ne dépendent pas des a_i). Par exemple, on peut ajuster par une régression linéaire [...] $Y = A.coxBX$. La méthode est puissante et aurait pu être

utilisée dans le traitement de la courbe de la figure 7 de

l'article de Philippe Jeanjacquot, sur la détermination du midi solaire, avec sans doute un gain substantiel de précision (ajustement par une parabole) ; ça doit être accessible à des Terminales [...] dans cet article, ne faudrait-il pas donner la longitude du lieu d'observation pour rendre pertinent cet écart de 14 ou 15 min avec le midi solaire, car l'azimut de 2° ouest correspond à 8 min de décalage horaire, l'équation du temps se rajoutant à ce décalage.

Daniel PASCAL

Merci pour ces commentaires judicieux. Effectivement, je me suis limité à la forme $y=ax+b$ par simplicité. Mais il est évidemment possible de prendre des formes linéaires plus complexes (par exemple polynomiales : $y=ax + bx^2 + cx^3...$). J'avais signalé que x et y pouvaient être des fonctions (exemple de la relation PL), mais vous avez raison de faire remarquer que même une fonction trigonométrique rentre dans ce cadre. Cela se fait souvent avec des polynômes orthogonaux. En ce qui concerne l'article de Ph. JeanJacquot votre remarque est très judicieuse. Je l'ai transmise à l'auteur.

GP

Je ne suis pas du tout un spécialiste de statistiques et en particulier de la méthode des moindres carrés. Cependant, je voulais quand même vous apporter deux informations à propos de ce que vous avez écrit page 3 du cahier Clairaut 123. Vous écrivez : " Pourquoi le carré ? Simplement pour éviter qu'il y ait une compensation arithmétique. " Ce n'est certainement pas la bonne raison. Si c'était le cas, on aurait pu prendre la valeur absolue de la différence : $|Y - Y_i|$. Je me suis posé cette question il y a environ 35 ans, lorsque j'ai commencé à utiliser la méthode des moindres carrés pour traiter mes observations d'étoiles variables. A cette époque je fréquentais plusieurs chercheurs en Mathématiques pures et j'ai posé la question à deux d'entre eux. Il sont tombés d'accord pour me répondre que c'était très probablement dû aux propriétés très riches [...] de l'espace vectoriel des fonctions de carré intégrables. Je leur fais confiance !! On peut d'ailleurs comparer la droite obtenue par les moindres carrés et celle que donnerait les "moindres valeurs absolues". La méthode des moindres carrés est beaucoup plus sensible à la présence de points manifestement situés à l'écart du nuage de points

approximativement alignés. A juste titre, vous envisagez le cas où les X_i ne sont pas entachés d'erreurs, puis le cas où ce sont les Y_i et enfin le cas où les X_i et les Y_i sont tous entachés d'erreurs possibles. Là, vous proposez de prendre la bissectrice des deux droites obtenues précédemment. En fait, on tombe ainsi sur la méthode générale des moindres carrés et l'on cherche la droite qui passe au plus près des points (X_i, Y_i) . On minimise alors la somme des distances géométriques des points à une droite. Là encore, on peut minimiser une somme dont les termes sont $(X-X_i)^2 + (Y-Y_i)^2$ ou bien la somme des racines de ce genre de termes. Je n'ai pas cherché à voir la différence entre la droite ainsi obtenue et la bissectrice dont vous parlez, mais le calcul et sa représentation graphique doivent être très simples à faire en Maple.

Michel DUMONT

Merci pour vos commentaires éclairés. Selon "Méthodes statistiques" (Morice et Chartier, 1954) la probabilité d'un écart e_i est $\exp(-e_i^2/2s^2)$, dans le cas où les erreurs suivent une loi de Gauss. La probabilité de l'ensemble est donc le produit des probabilités, c'est-à-dire : $\exp(-\sum e_i^2/2s^2)$. Cette probabilité est maximum quand $\sum e_i^2$ est minimum, d'où le critère. Dans l'article, je voulais seulement faire comprendre qu'on ne pouvait pas minimiser l'écart algébrique à la droite. Toujours d'après ma même source, la minimisation des valeurs absolues des écarts conduirait à des calculs plus difficiles. Quant au choix de la bissectrice des deux régressions extrêmes dans le cas où les deux variables sont entachées d'erreur, c'est une simple approximation. On ne peut minimiser les distances géométriques que si les axes sont exprimés dans une même unité (sinon le résultat dépend des unités). Ma conviction est qu'un résultat n'est valable que s'il ne dépend pas de la méthode d'analyse. Je termine par une réflexion amusante de notre Président d'honneur Jean-Claude Pecker qui illustre le quotidien du chercheur :

"L'astrophysique se ramène à deux opérations essentielles. D'abord (1) faire passer une droite par N points distribués au hasard, N étant aussi grand que l'on voudra; puis (2) faire passer par 2 points donnés une courbe d'ordre N , N étant aussi grand que l'on voudra".

Les perles des enseignants, des astronomes et des autres...

La nécessité d'un exemple bien choisi.

Un professeur avait l'habitude de répéter à l'envie : 1 mètre carré c'est l'aire d'un carré de un mètre par un mètre. Un kilomètre carré, c'est l'aire d'un carré de 1 km par 1 km. Un bon élève en conclut qu'un carré de 5 mètres carrés devait être un carré de 5 mètres par 5 mètres.

Indépendamment, une bonne élève se fit cataloguer d'élève impertinente en ayant ri quand le professeur (non mathématicien) déclara qu'un évier de 0,50 m par 0,50 m avait une surface de 0,50 mètres carrés.

L'épilogue authentique de ces deux histoires authentiques, est que, plus tard, les deux bons élèves se marièrent et eurent beaucoup d'enfants...

GP

SOLUTION DU REMUE-MÉNINGES

Vitesses planétaires : solution

Pour simplifier, considérons des orbites circulaires parcourues à vitesse constante.

La troisième loi de Kepler nous dit que a^3/T^2 est constant. a est ici le rayon de l'orbite et T la période de la planète. La distance augmente moins vite que la période car elle est à la puissance 3 dans cette formule alors que la période n'est qu'à la puissance 2 donc la vitesse diminue quand on s'éloigne du Soleil.

Plus clairement avec des calculs :

La longueur de l'orbite circulaire est $2\pi a$ à parcourir en un temps T donc la vitesse v est égale à $2\pi a/T$

On a donc $v^2 = 4\pi^2 a^2/T^2$. Mais on sait que $a^3/T^2 = k$ (Constante).

$v^2 = 4\pi^2 a^2/T^2 = 4\pi^2 a^3/T^2 \times 1/a$ ou $4\pi^2 k \times 1/a$. Donc la vitesse au carré varie comme $1/a$.

Si a est multiplié par 4, la vitesse est divisée par 2. Si a est multiplié par 9, la vitesse est divisée par 3.

On peut comparer la Terre et Saturne :

Saturne est à peu près 9 fois plus éloignée du Soleil que la Terre.

La vitesse moyenne de la Terre est de 30 km/s, celle de Saturne d'à peine 10 km/s, donc trois fois moins.

Plus une planète est éloignée du Soleil, plus elle se traîne...

Solution des mots croisés

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	E	L	O	N	G	A	T	I	O	N
2	X	■	C	U	I	R	A	S	S	E
3	O	C	E	A	N	■	P	H	O	T
4	P	R	A	G	■	M	A	T	■	T
5	L	U	N	E	S	■	N	A	G	E
6	A	A	I	■	U	L	T	R	A	■
7	N	U	Q	U	E	■	E	■	T	I
8	E	T	U	V	E	S	■	M	E	R
9	T	E	E	■	S	A	S	S	A	I
10	E	S	S	E	■	V	E	N	U	S

Commentaires

Horizontalement

1. L'élongation maximale de Vénus varie entre 45° et $47^\circ 45'$.

3. Le phot est l'unité CGS d'éclairement et vaut 10^4 lux.

4. Abréviation de PProfesseur AGrégé.

6. Association Astronomique de l'Indre. Ultraviolet à 300 nanomètres.

8. Dans la mythologie, Vénus est née de l'écume de la mer.

9. Pour ceux qui ne le sauraient pas, l'école d'été du CLEA se passe au bord d'un golf.

Verticalement

1. Osiris est une exoplanète en orbite autour d'une étoile de Pégase à 150 al.

10. Iris est un logiciel bien connu des astro-photographes.

PC

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

Les adhérents qui souhaitent être inscrits peuvent envoyer un message à : jripert@ac-toulouse.fr

C'est gratuit !

L'Assemblée du CLEA a eu lieu, à Dijon le 30 novembre 2009. Vous en trouverez le compte rendu, en encart dans ce numéro.

Ont participé à ce numéro (et à son extension Internet) : Agnès Acker, Francis Berthomieu, Daniel Bardin, Josiane Bogo, Jean-Luc Boutolleau, Pierre Causeret, René Cavaroz, André Debackère, Ludovic Defay, Michel Dumont, Annie Falcon, Jean Gay, Olivier Gayraud, Eric Josselin, Daniel Joubin, Georges Lecoutre, Chantal Lecoutre, Daniel Pascal, Georges Paturel, Anne-Marie Paturel, Jean-Claude Pecker, Jean Ripert, Renelle Takvorian, Jean-Noël Terry, Marcel Weyant.