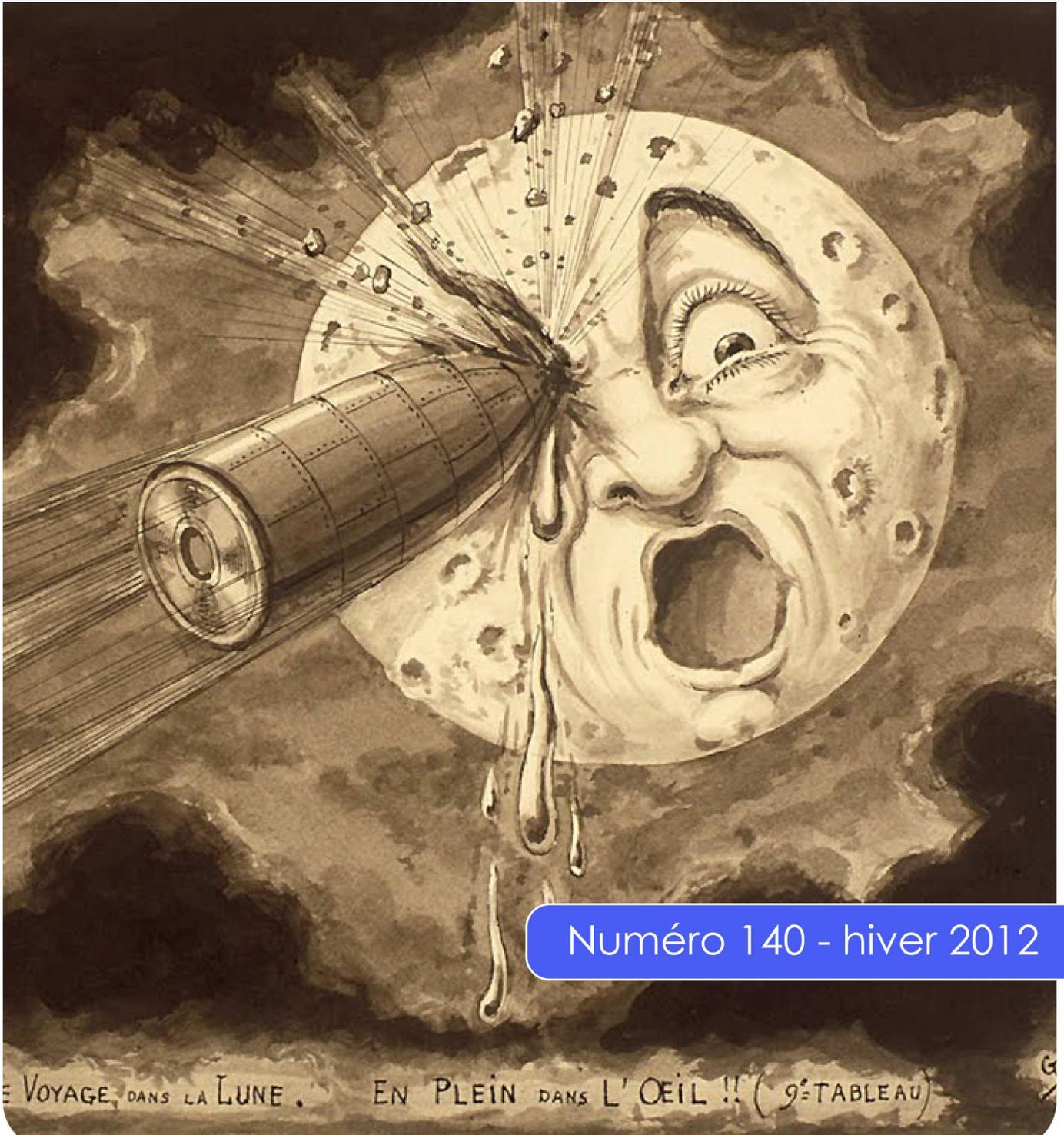


# LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 140 - Décembre 2012 7 €

Bulletin du Comité de Liaison Enseignants et Astronomes



Numéro 140 - hiver 2012

## Comité de Liaison Enseignants et Astronomes

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

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

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

Le **CLEA** a mis en place une liste de diffusion afin de permettre des échanges rapides entre les abonnés.

### Présidents d'honneur :

Jean-Claude Pecker  
Lucienne Gouguenheim,  
Georges Paturel

### Bureau du CLEA pour 2011

**Présidente** : Cécile Ferrari  
**Trésorière**: Roseline Jamet  
**Trésorier Adjoint** : Jean Ripert  
**Secrétaire** : Jean-Luc Fouquet  
**Secrétaire Adjoint** : Christian Larcher

### Responsables des groupes

**Vie associative** : Jean-Michel Vienney

**Cahiers Clairaut** : Christian Larcher

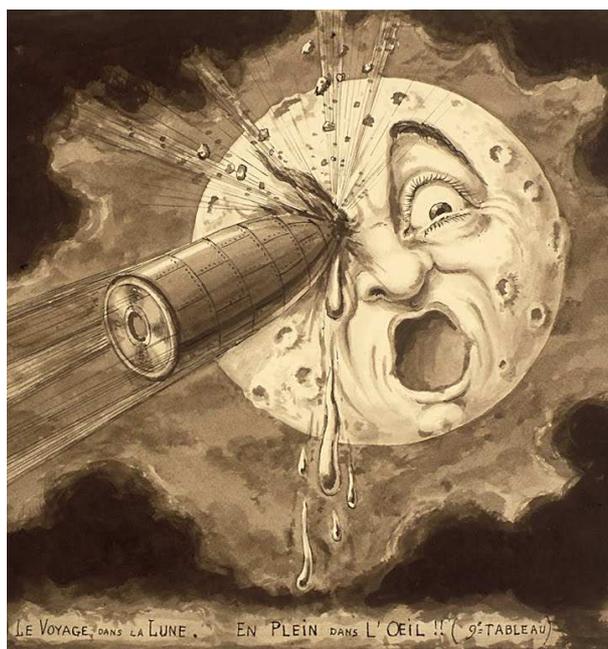
**Productions Pédagogiques** : Pierre Causeret

**Communication** : Charles-Henri Eyraud

**École d'Été d'Astronomie**: Danièle Imbault

**Responsables du site** :

Francis Berthomieu et Charles-Henri Eyraud



Dessin de Georges Méliès

Merci à tous celles et ceux qui ont permis la réalisation de ce numéro des Cahiers Clairaut, nous citerons :

Jacques Auriou, Daniel Bardin, Francis Berthomieu, Pierre Causeret, André Faivre, Jean-Luc Fouquet, Gilbert Grétilat, Jean-Jacques Hillairet, Christian Larcher, Philippe Merlin, Lionel Muller, Georges Paturel, Jean Ripert, Béatrice Sandré, Christophe Vuillemot.

Les auteurs recevront plusieurs numéros 140, afin de faire connaître la revue autour d'eux.

### Image de couverture, :

La couverture de ce numéro est un clin d'œil à Georges Méliès qui réalisa en 1902 un film de 14 minutes intitulé « voyage dans la Lune » allusion au livre de Jules Verne. Dans ce court métrage, six Terriens emmenés par la savant Barbenfouillis débarquent sur la Lune et sont enlevés par les Sélénites. Ils réussissent cependant à s'échapper et ramènent un Sélénite sur Terre.

# Les Cahiers Clairaut

Hiver 2012 n° 140

## Éditorial

Il y a exactement un an dans le numéro 136 des Cahiers Clairaut nous avons abordé le thème des calendriers, en particulier celui des mayas. Dans ce calendrier, le cycle complet contient 1 872 000 jours (13 « baktuns ») soit approximativement 5 125 ans. Une des corrélations avec notre calendrier grégorien montre que la fin du cycle tombe le 211212 ou 21 décembre 2012, jour du solstice d'hiver. Cette date correspond approximativement à un alignement Terre, Soleil, centre de notre Galaxie. De quoi donner du grain à moudre aux 2012istes pour annoncer un jour de catastrophe, une destruction de l'humanité, la fin du monde, à chacun de choisir. Vous trouverez dans ce numéro un article qui précise ce que l'on peut dire sur ce sujet pseudo astronomique.

Le thème de ce nouveau numéro est consacré de nouveau à la Lune car le sujet est loin d'être épuisé. Nous vous invitons à déterminer la masse de notre satellite naturel, la hauteur de ses montagnes, à comprendre pourquoi celui-ci s'obstine à nous montrer toujours la même face. Mais aussi à déterminer s'il est vrai que la pleine Lune favorise le nombre de naissances dans les maternités... Plus simplement nous vous invitons à jouer avec les images de la Lune et à la rencontre de Séléné que nous présentent les poètes et les savants.

Avec le précédent numéro vous disposerez en tout de neuf activités « avec nos élèves » pour en savoir plus sur notre satellite naturel.

En dehors du thème vous pouvez utiliser avec vos élèves « l'équerre de l'astronome » c'est à dire pratiquer « l'astronomie du bout des doigts » en manipulant un certain nombre d'angles et de lignes que l'on retrouve sur notre globe et dans le mouvement apparent du Soleil.

Enfin vous trouverez le récit d'une expérience, réalisée dans un collège, de pilotage à distance de télescopes robotiques professionnels via Internet.

Nous vous souhaitons une bonne année 2013... après le 211212.

**Christian Larcher, pour l'équipe.**

### Article de fond

**Un sujet pseudo astronomique : le solstice d'hiver 2012**

Philippe Merlin p 2

### Thème : LA LUNE (2)

#### Article de fond

**Masse de la Lune**

Georges Paturel p 9

#### Avec nos élèves

**De la Lune des poètes à la Lune des savants**

Jean-Luc Fouquet p 12

#### Avec nos élèves

**Jeux sur le thème de la Lune**

Pierre Causeret p 16

#### Témoignage

**Petite enquête sur deux pleines Lunes**

Daniel Bardin p 20

#### Avec nos élèves

**Ombre d'une montagne sur la Lune**

Pierre Causeret p 22

#### Avec nos élèves

**Naissances et Lune, une enquête en direct**

Christophe Vuillemot et Pierre Causeret, p 24

#### Article de fond

**Pourquoi la Lune présente toujours la même face ?**

Béatrice Sandré p 27

#### Ciel d'hiver

Pierre Causeret p 30

#### Avec nos élèves

**L'astronomie du bout des doigts**

Jacques Auriou p 31

#### Réabonnements

p 34

#### Avec nos élèves

**Projet « Hubble Tuning Fork Diagram » avec utilisation des télescopes de Faulkes.**

Hervé Faivre p 35

#### Vie de l'association

**AG 2012**

Jean Ripert p 40

# ARTICLE DE FOND

## Un sujet pseudo astronomique Le solstice d'hiver 2012

Philippe MERLIN, observatoire de Lyon

*Dans cet article l'auteur indique que les phénomènes remarquables en astronomie sont naturellement constitués par des alignements d'étoiles donnant naissance à des événements faciles à repérer que nous appelons : solstices, équinoxes, éclipses, occultations etc.*

*Y voir une quelconque signification sur la vie des hommes relève d'un anthropocentrisme débridé.*

Il était une fois une civilisation qui avait appris à compter depuis très longtemps. Elle observait le ciel et s'était forgé ses mythes. Elle avait construit pour marquer son existence temporelle des calendriers complexes<sup>1</sup> où les différents comptes des jours se superposaient et réglaient la vie sociale et religieuse.

Cette civilisation fut détruite dans le grand ouragan de conquêtes que fut la découverte du « Nouveau Monde ». De nos jours encore, les archéologues peinent à reconstituer le puzzle très incomplet des connaissances et croyances qui en ont fait son histoire sur des dizaines de siècles : chronologie, architecture, écriture, peinture, etc. Nous parlons de la civilisation maya et des mythes dont on l'a entourée : grands mathématiciens, connaissances du ciel très approfondie, etc.

Les mythes disparus ont toujours eu des nostalgiques qui rêvent de les faire revivre en y associant des personnages immortels au savoir universel. Les périodicités des calendriers mayas permettent de trouver régulièrement des fins de cycles où tout va être bouleversé et où ces mages vont de nouveau transmettre leur savoir illimité à quelques communs des mortels, nouveaux élus devenant les nouveaux mages ou gourous dans notre société en continuel bouleversement.

C'est ainsi que depuis plus de dix ans, même si les idées couraient depuis plus longtemps, on a vu apparaître une littérature annonciatrice de catastrophes pour le « 21 décembre 2012 » jour du solstice d'hiver.

Les phénomènes annoncés sont associés à l'ésotérisme, telles les révélations des « Crânes de cristal » ou l'apparition de nouvelles dimensions dans la conscience universelle et personnelle. Mais

aussi, de nombreux bouleversements annoncés se réfèrent aux connaissances astronomiques et promettent à l'humanité moderne matérialiste, sa destruction, sa régénérescence... !

La suite de cet article se cantonnera à l'astronomie, rappelant les bases de connaissances physiques sur lesquels se base la recherche astronomique. On pourra juger de la vraisemblance de ces affirmations annoncées sous l'emprise de croyances ésotériques cachant souvent des activités lucratives d'édition, de conférences rémunératrices si ce n'est pire...

### Le calendrier maya et la fin d'un grand cycle

L'image ci-contre donne le principe de la superposition des calendriers mayas : à chaque nouveau jour plusieurs comptes s'incrémentent d'une unité. Le PPCM de deux ou plusieurs comptes donnent des périodes équivalentes à des cycles dont la fin était l'objet de grandes célébrations.

Comme dans le calendrier grégorien, hélas il y a des irrégularités qui compliquent la simplicité du principe, comme les mois de longueur irrégulière dans notre calendrier.

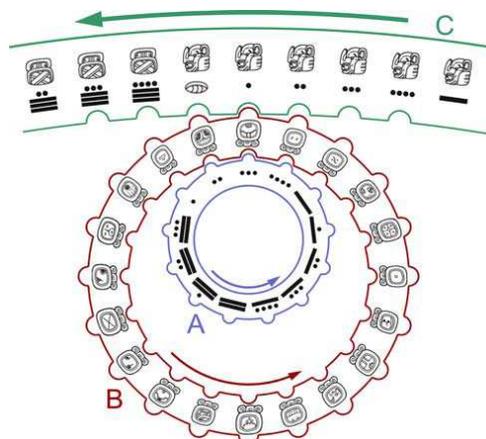


Fig.1. Représentation mécanique de l'imbrication des deux calendriers mayas, Tzolkin (roues A et B) et Haab (roue C).

<sup>1</sup> Pour une approche sur les calendriers mayas voir *Cahiers Clairaut* Hiver 2011 no 136.

Chez les Mayas, les subdivisions du *compte long*, le plus simple des comptes, a aussi des irrégularités dans les unités : de multiples de 20 (base vigésimale), on a en réalité 20, 18, 20, 20, 20 etc. Ce qui était une adaptation bancaire à l'année commune de 365 jours ( $20 \times 18 = 360$ ).

Une de ses unités de compte est le *baktun* qui fait 144 000 jours. Et comme toute religion sait le faire pour sortir de la norme, un des cycles sacrés dure non pas 20 mais **13 baktuns**, soit 1 872 000 jours soit environ 5125 années juliennes<sup>2</sup>, annonçant l'avènement d'une ère nouvelle. Comme les documents anciens sont extrêmement rares et diversement interprétés, après maintes recherches, supputations, conjectures, la date du 21 décembre 2012 est annoncée comme date probable de la fin de ce cycle. Voilà la source de toutes les élucubrations qui se répercutent et s'amplifient sur le *Net*. Surtout que l'on rajoute que les prêtres mayas avaient choisi l'origine de leur compte de façon que la fin de celui-ci tombe le jour d'un solstice d'hiver (en 2012 pour nous) avec des alignements dans le ciel prédits depuis la nuit des temps mayas.

Parmi les nombreux sujets astronomiques qui étaient les scénarios des événements annoncés, nous ne retiendrons aujourd'hui que :

- les alignements et leur rôle en astronomie ;
- le centre galactique sous-produit des alignements.

Les catastrophes dues aux rencontres planétaires, astéroïdes, météores, dont la littérature est importante, sont particulièrement développées dans les prédictions.

Nous donnons, en fin d'article, quelques références bibliographiques de mise au point par des astronomes.

## Les alignements

Qu'est-ce que l'on entend en astronomie par *alignement* ? Il faut trois objets au moins pour faire un alignement, leurs centres étant sur une même droite ou tout au moins pas loin. Ici, la Terre est l'un d'eux.

Le jour du solstice d'hiver, deux alignements seraient en mesure de bouleverser la vie planétaire et notre vie quotidienne.

- un alignement particulier des planètes comme les aiment les astrologues serait la cause de catastrophes et d'influences psychiques à la manière horoscopique ;

- un alignement avec le centre galactique, serait la source espérée de déversement d'énergies régénératrices.

Il faut bien se dire que depuis que l'être humain s'est intéressé au ciel, nous vivons avec les alignements. Le calendrier lunaire en est le premier exemple. Le début du mois lunaire à la Nouvelle Lune, n'est que l'alignement Terre, Lune et Soleil. Nous faisons de l'alignement céleste sans le savoir : conjonctions, oppositions, quadratures et j'en passe.

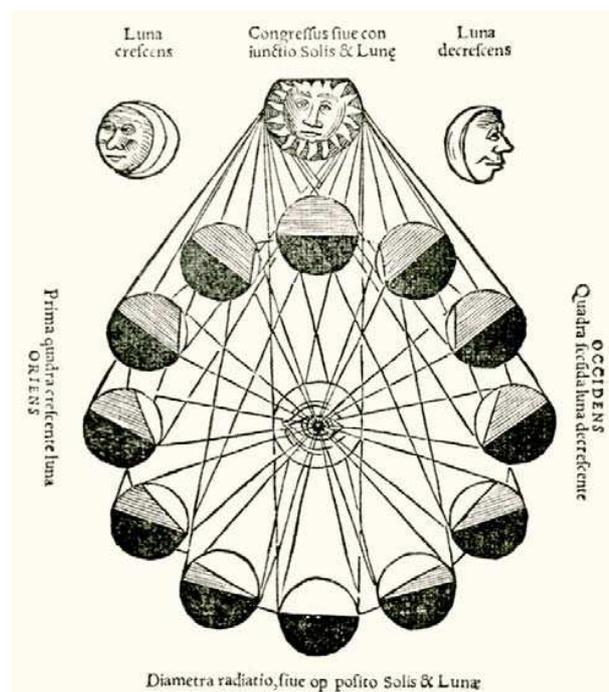


Fig.2. Alignements mensuels. Illustration des phases de la Lune. Apian, *Cosmographie*, 1581.

Comme les alignements exacts, au sens mathématique de trois centres alignés des corps supposés sphériques sont extrêmement improbables, on s'arrange et un alignement se fait dans la tolérance de l'imprécision.

Plus celle-ci croît, plus il est facile de *créer* des alignements plus ou moins régulièrement dans le ciel.

Après vous y voyez ce que vous voulez. L'astronome, prosaïque, y verra la facilité de repérer un instant, une date, puisque ceci se reproduit avec une régularité approximative. Et c'est ce que n'ont pas manqué de faire nos ancêtres, en créant le *calendrier lunaire*.

Pour notre alignement du 21 décembre, il faut bien s'accrocher, c'en est un de seconde classe pour la qualité.

La figure 3, simulation faite avec *Stellarium*, montre seulement Soleil, Mercure et Vénus à moins de 15°, Saturne et Jupiter étant plus loin.

<sup>2</sup> Année julienne : année de 365,25 jours qui est la durée moyenne de l'année sur un cycle de 4 ans après la réforme du calendrier par Jules César et avant la réforme grégorienne de 1582.

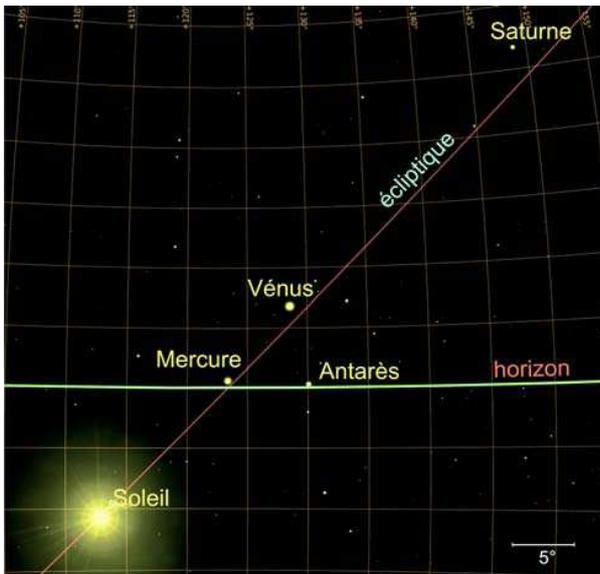


Fig.3. Le ciel le 21 décembre 2012 à 6 h 15 min TU.  
(Phm, fond étoilé : logiciel Stellarium).

Ne négligeons pas de regarder le ciel, ce regroupement du Soleil et des planètes illustre fort bien le plan de l'écliptique, notre plan orbital, proche des autres plans orbitaux des autres planètes, C'est le *zodiaque* de nos prédécesseurs.

Que peut-il se passer ?

Une première remarque s'impose. Notre anthropomorphisme amplifie notre regard personnel sur le cosmos. Que l'on quitte un tant soit peu notre lieu d'observation, en allant soit aux pôles, soit sur la Lune, soit sur une autre planète, l'alignement sera peut être meilleur, ou pire ou n'existera pas. Laissons à ceux qui croient en la prédestination pour espérer un miracle, mais comme les fins du monde sont régulièrement annoncées, cet alignement bancal n'est que la répétition depuis des milliards d'années d'une vision du ciel constamment changeante, très grossièrement identique, mais jamais pareille.

## Utilisation des alignements

Que ce soient les anciens ou les modernes, les astronomes ont toujours exploité les observations faites aux moments d'alignements. Par les écrits anciens, les dates de nombreux phénomènes se sont transmises et nous sont parvenues depuis l'Antiquité.

C'est ainsi que celles d'éclipses observées il y a deux ou trois mille ans sont d'un grand secours pour tester les calculs sur le long terme et dater avec précision les événements de ces époques. Déjà Hipparque (v. 190, 120 av. J.-C.), le plus grand astronome grec de l'Antiquité, avait déduit la précession des équinoxes à partir des observations babyloniennes (faites et transmises du deuxième millénaire à 539 avant J.C.).

## Éclipses

À notre époque moderne, l'observation de l'éclipse totale de Soleil de mai 1919 fut un des premiers tests positifs de la théorie de la Relativité restreinte d'Einstein. Les déplacements mesurés des positions des étoiles proches du Soleil et de nouveau visibles pendant l'éclipse, correspondaient à la théorie.

Les éclipses de Lune ont servi, avec peu de précision il est vrai, pour le calcul des longitudes avant l'apparition des montres fiables au XIX<sup>e</sup> siècle, de la radio et du GPS au XX<sup>e</sup> siècle. C'était très important pour la navigation afin de connaître sa longitude en mer.

## Occultations

Encore la Lune : son déplacement rapide sur le fond du ciel la fait passer souvent devant des étoiles assez brillantes : c'est une occultation. L'observation de ce phénomène a d'abord servi à mieux connaître le mouvement très complexe de la Lune, en notant positions et dates des immersions et émergences. Mais depuis 50 ans, avec des appareils d'enregistrement très rapides, on peut analyser les variations du rayonnement de l'étoile occultée, que ce soit en rayonnement infrarouge, radio ou visible. Alors que le phénomène nous paraît instantané, il dure en fait quelques centièmes de seconde et au moyen de calculs complexes sur les variations du flux de l'étoile, on peut obtenir le diamètre angulaire de l'objet. Celui des étoiles n'excède pas quelques millièmes de secondes d'arc pour les plus grosses. On en déduit leur taille réelle si l'on connaît leur distance.

La Lune occulte des étoiles (et parfois même des planètes, sans drames connus sur la Terre), mais il arrive aussi, si l'on est très bien placé, que l'on puisse observer des occultations d'étoiles par des corps du système solaire : planète-étoile, astéroïde-étoile. Les dates et lieux de ces observations se calculent et, preuve de la maîtrise des astronomes dans leur savoir, elles se vérifient.

La découverte des anneaux d'Uranus (planète observée pour la première fois par W. Herschell en 1781), est un exemple historique d'utilisation de l'observation d'une occultation d'étoile par une planète en 1977. On en déduisit l'existence de plusieurs anneaux, leur largeur et leur diamètre, et on a même pu montrer qu'ils n'étaient pas centrés sur la planète, avant que les sondes spatiales n'aillent le vérifier sur place.

## Mirages gravitationnels

En regardant beaucoup plus loin, les mirages gravitationnels sont dus à des alignements de quasars et de galaxies avec la Terre. Le quasar est

lointain et très lumineux, l'objet intermédiaire est une galaxie proche et très massive. La théorie de la matière et du rayonnement montre que la masse de la galaxie dévie la trajectoire des rayons lumineux qui parviennent à l'observateur. Elle joue le rôle d'une mauvaise lentille qui peut donner plusieurs images déformées d'un même quasar. Mais l'analyse détaillée de ces mauvaises images du quasar déformé permet de connaître la masse et la répartition de l'objet intermédiaire.

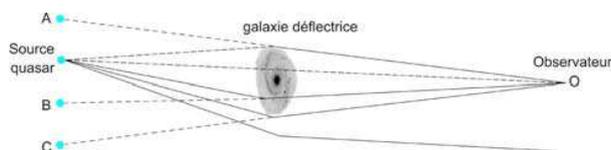


Fig.4. Schéma de principe d'un mirage gravitationnel.

## Les naines brunes

L'évaluation de la masse de la Galaxie par l'observation des étoiles et des grands nuages de gaz montre qu'il n'y pas assez de matière pour équilibrer les mouvements de l'ensemble du système. Et pourtant la Galaxie est stable ! Les naines brunes sont des étoiles de très petite masse, typiquement moins de **1/10** de celle du Soleil. Elles sont très peu lumineuses, donc difficiles à observer. Si les naines brunes étaient très nombreuses, elles pourraient peut-être rendre compte d'une partie de cette "masse manquante" non observée qui assure la stabilité de la Galaxie. Le recensement des naines brunes est donc un problème important.

Dans les comptages des étoiles de la Galaxie, les étoiles très brillantes figurent en priorité et permettent de sonder un grand volume en profondeur.

Le comptage des moins brillantes est biaisé car elles sont difficiles à détecter. Les théories de formation des étoiles prévoient qu'il pourrait exister beaucoup de ces naines brunes.

Pour les compter, l'idée consiste à essayer de détecter les occultations d'étoiles lointaines et brillantes par des naines brunes qui passeraient devant.

La statistique permettrait d'évaluer leur nombre. Au moment de l'occultation, un phénomène de mirage gravitationnel se produit, la masse de la naine brune focalise la lumière de l'objet lointain et on observe une augmentation assez brève de son éclat.

Cette variation nous renseigne sur la taille et la masse de la naine brune.

Pour faire ce recensement on observe avec des équipements spécialisés pendant de longues périodes toutes les étoiles brillantes d'une région du ciel. Le nombre d'événements observés permet

d'établir une statistique des naines brunes. Mais dans l'état actuel des observations, il faut bien admettre que les naines brunes ne suffisent pas à combler le déficit de la "masse manquante ou cachée".

## Plan et centre galactique

Abordons le deuxième thème choisi : le plan et le centre galactique.

Un des grands sujets des annonces faites dans l'affaire dite du *Solstice 2012* se base sur la trilogie Terre, Soleil, et la Galaxie par son plan de symétrie et son centre.

Soulignons d'abord que tous ces discours sont extrêmement anthropocentriques : pour un petit Martien ou Vénusien ou Nibirien<sup>3</sup>, ce discours n'a pas lieu d'être, ou prend une tout autre forme.

Revenons un peu sur la forme et la composition de notre Galaxie. La majorité des étoiles, des nuages de gaz et des poussières se situent dans le disque très aplati avec un bulbe au centre (voir figure 5). Le disque est approximativement symétrique. Le plan de symétrie est appelé plan galactique.

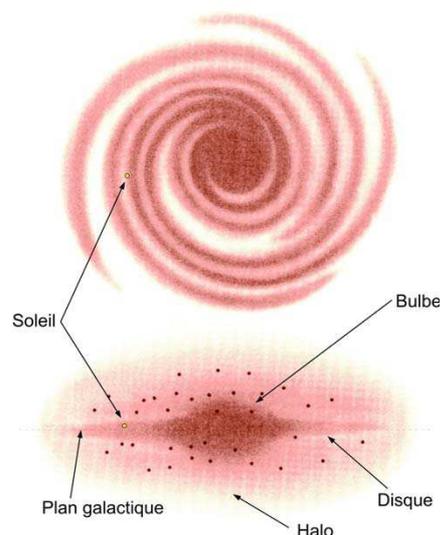


Fig.5. Vue schématique de la Galaxie, de dessus et de profil. Les petits points correspondent à des amas globulaires, satellites de la Galaxie, contenant chacun des milliers d'étoiles.

Le système solaire est situé dans le disque, à environ 26 000 a.l. (8 kpc) du centre et actuellement à 50 a.l. (15 pc) au-dessus du plan galactique. Une valeur adoptée actuellement par les astronomes est de  $7,62 \pm 0,32$  kpc. Ici, on voit qu'il n'y a pas beaucoup de décimales.

Quand nous regardons depuis la Terre dans une direction située dans le plan galactique, nous regardons la Galaxie par "la tranche" parce que

<sup>3</sup> Nibiru : planète hypothétique cachée par le Soleil, soi-disant prédite par les sumériens dans un objet archéologique qui pourrait être cause de catastrophe. Nibirien : habitant de cette planète.

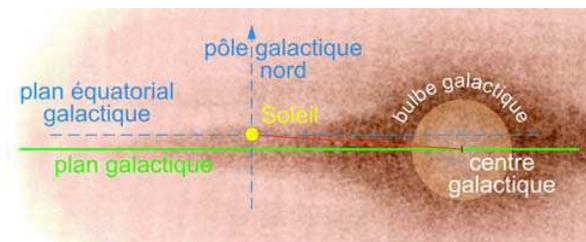
nous sommes dedans, et nous voyons beaucoup plus d'étoiles que dans une direction perpendiculaire au plan. C'est ce qui produit l'effet de bande lumineuse de la "Voie Lactée", que l'on peut observer une nuit dégagée sans Lune, et sans pollution lumineuse. C'est Galilée en 1610 avec sa première lunette astronomique, qui fut le premier à reconnaître le contenu stellaire de la Voie Lactée.

Le centre de la Galaxie est donc naturellement situé dans une direction qui pointe dans la Voie Lactée. Vu depuis la Terre, il est situé dans la constellation du Sagittaire.

Pour aborder nos problèmes d'alignement, il faut bien définir les termes employés.

Le plan et le centre galactique ont déjà été définis. On peut ajouter que le plan galactique pour les astronomes est défini par l'observation. Il correspond à la meilleure symétrie de tous les nuages d'hydrogène et nuages moléculaires détectés en radioastronomie. Le centre, lui aussi est défini par plusieurs types d'objets observés et par leur dynamique. Il est très proche d'une radiosource quasiment ponctuelle que l'on appelle Sagittarius A\* (à moins d'une seconde d'arc).

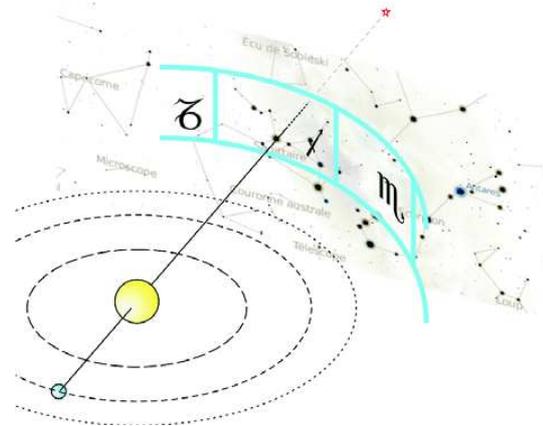
Pour se repérer, situer des objets et faire des calculs de positionnement et de dynamique, la communauté des astronomes (UAI Union Astronomique Internationale) a créé le système de *coordonnées galactiques*. Ce système a un plan de référence (le le plan équatorial galactique), des pôles et une origine dans ce plan. L'équateur galactique passe par le Soleil, il est *parallèle* au plan galactique et son origine est dans la direction du centre. C'est pourquoi, dans ce repère, le centre galactique n'a pas une latitude galactique égale à zéro, car le référentiel équateur galactique parallèle au plan galactique, passe par le Soleil qui est situé au-dessus du plan galactique (voir figure 6).



**Fig.6.** Coupe schématique de notre Galaxie montrant le plan galactique et le plan dit équatorial galactique.

Que se passe t-il avec la révolution annuelle de la Terre ? L'axe Terre-Soleil, situé par définition dans le plan écliptique, balaie la sphère céleste suivant le grand cercle écliptique. Le plan écliptique coupe le grand cercle équateur galactique en deux points. La Terre dans son périple annuel, à six mois d'intervalle, va voir le Soleil passer par ces points.

Il se trouve qu'actuellement et depuis de nombreuses années, ceci se passe aux moments des solstices. À celui d'hiver, le centre galactique est proche de l'alignement Terre-Soleil.

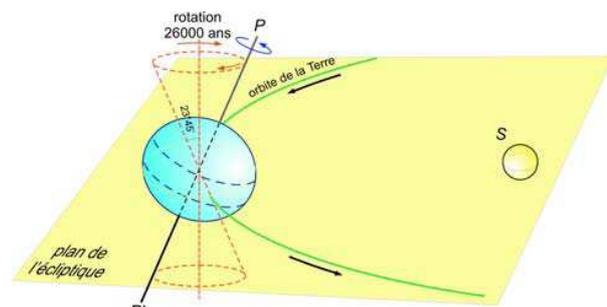


**Fig.7.** Alignement Terre Soleil Voie Lactée.

Complication supplémentaire, à cause des perturbations gravitationnelles de la Lune et du Soleil dues à son bourrelet équatorial, la direction de l'axe de rotation de la Terre, n'est pas fixe, mais tourne comme celui d'une toupie. C'est la précession des équinoxes qui complique le calendrier. Elle fait tourner l'axe sur un cône de  $23^{\circ} 26'$  d'ouverture en un peu moins de 26 000 ans de période (figure 8).

Le plan équatorial, qui est perpendiculaire à l'axe de rotation, va tourner à la même vitesse, ce qui entraîne que les points d'intersection des deux plans vont eux aussi tourner, ce qui change évidemment les dates des alignements et les directions.

Il nous reste à préciser ce qui va se passer en décembre 2012.



**Fig.8.** L'effet gyroscopique de la précession.

Les échelles ne sont pas respectées, le Soleil étant réellement beaucoup plus gros et loin.

Il est facile avec les logiciels téléchargeables sur Internet, gratuits ou non (Stellarium, Redshift...), de voir la configuration du ciel et préciser la date pour laquelle la droite passant par le Soleil et la Terre passe au voisinage du centre galactique. On s'aperçoit que 2012 n'est pas l'année où ce passage se fait au mieux le jour du solstice.

La meilleure date aurait été en 1998. Et, comble de malchance, ce passage ne sera jamais un alignement précis avec le centre galactique.

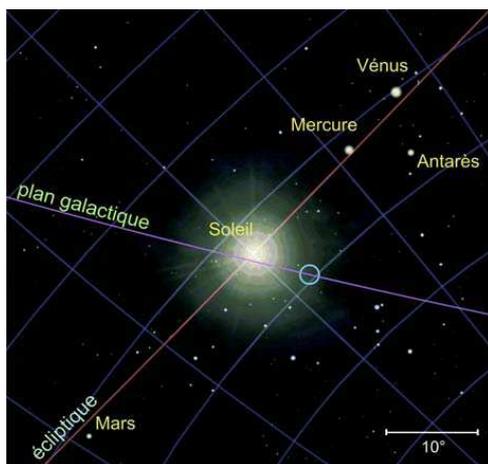


Fig.9. Le centre galactique au moment du solstice d'hiver 2012  
cercle bleu : centre galactique (Fond du ciel : Stellarium).

Si l'on veut rester sérieux, il faut décortiquer deux affirmations énoncées par les 2012istes. La première est que le Soleil va traverser l'équateur galactique.

C'est un non sens, puisque par définition il est lui-même dans le plan équateur galactique ! La deuxième, du même acabit, dit que le Soleil va traverser le plan galactique, source de dysfonctionnements intenses, certainement. C'est encore complètement faux. La danse galactique du Soleil le fait bien osciller de part et d'autre du plan, mais avec une très longue période, en 30 à 40 millions d'années. Actuellement il est bien au-dessus, à 40 a.l. du plan. La prochaine traversée aura lieu dans plusieurs millions d'années !

## Le grand annihilateur

On observe dans le cosmos des phénomènes que l'on ne peut reproduire en laboratoire. Ils sont de plusieurs sortes, et l'on peut citer pour exemples :

- du rayonnement visible particulier dans sa formation, tel que les raies dites *interdites* ;
- des particules de très grandes énergies, bien au-delà de celles produites dans les grands accélérateurs de particules actuels ;
- des intensités de flux de rayonnement sans commune mesure avec les lasers les plus puissants que l'on sait construire ;
- des états de la matière, dite dégénérée, et extrêmement dense dans les étoiles à neutrons, les naines blanches et les pulsars.

Les raies interdites ne peuvent être émises que par un gaz à très très basse pression, presque le vide, seulement quelques atomes par  $\text{cm}^3$ . Ce sont les conditions qui prévalent dans le milieu entre les étoiles et les nuages de gaz. Les meilleurs vides que

l'on peut faire sur Terre sont des milliards de fois plus denses que ceux mesurés dans ces nuages. Seule l'immensité des nuages interstellaires permet d'avoir une intensité notable. Les aurores boréales qui se produisent aux alentours de 100 km d'altitude donnent des lumières de ce type.

Les masses volumiques (en milliards de tonnes/ $\text{cm}^3$ ) de la matière dite dégénérée sont obtenues par les pressions extrêmes exercées en leur centre, dans les conditions de fin de vie des étoiles. Ceci arrive, si elles sont assez massives, lorsqu'elles ont épuisé l'énergie disponible pour produire des réactions nucléaires donnant assez d'énergie aux particules pour arrêter l'effondrement par gravité.

Quant aux particules extrêmes, elles sont créées lors d'accrétion de matière par des trous noirs, ou accélérées par le champ magnétique de la Galaxie.

Elles peuvent avoir de très grandes énergies et lors des collisions, comme dans les accélérateurs de particules mais à une tout autre échelle, produire d'autres particules, certaines exotiques comme des antiparticules. Ces dernières en se recombinant avec des particules normales donnent un rayonnement caractéristique très énergétique. On appelle cela l'*annihilation*. L'existence d'un trou noir au centre galactique crée un environnement propice à ce genre de phénomène. C'est pourquoi certains astronomes appellent cette région le *Grand annihilateur*.

À la distance où se trouve la Terre du trou noir du centre galactique, le rayonnement émis par ce phénomène (principalement des rayons X) est beaucoup plus faible que celui reçu du Soleil.

Avec un nom pareil, il y a de quoi faire rêver les tenants du jour du *Jugement dernier*.

## Le Grand Fossé

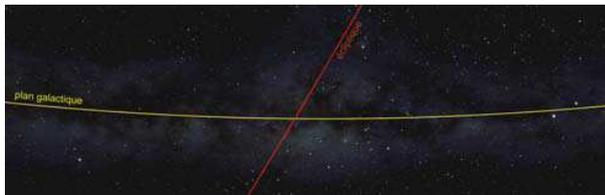
Dans la saga de notre solstice, on parle aussi de l'alignement de la Terre, du Soleil et du *Grand fossé* (*Great Rift* ou *Dark Rift* en anglais).

Il est dit qu'il ne se produit que tous les 25 800 ans, et pour certains à l'aube du 21 décembre. D'autres sont moins précis sur la date. Toujours est-il que cette occultation pourrait être la source de transferts énormes d'énergie ? Quelle énergie ? Mystère !

Qu'est-ce que c'est que ce grand fossé qui n'en est pas un ? Cet endroit du ciel est bien étudié par les astronomes, c'est tout simplement la partie centrale de la Galaxie vue de chez nous. Le disque de la Galaxie contient des étoiles brillantes, des nuages lumineux, mais aussi des nuages obscurs, assez épais et suffisamment opaques pour cacher complètement les étoiles qui sont derrière. De ce fait le centre galactique est complètement caché par ces nuages, du moins en lumière visible. En effet les

nuages laissent passer les rayons X et les infrarouges, ce qui a permis d'étudier la région interne du centre galactique et son trou noir de masse équivalente à 3 ou 4 millions de soleils. Sa taille avoisinerait 14 rayons solaires et ne peut nous apparaître que quasi ponctuelle avec les instruments actuels.

Chaque année, en perspective, le Soleil traverse cette bande dans une direction qui varie au cours des siècles avec la précession (figure ci-dessous).



La Voie Lactée et les nuages obscurs dans la direction du centre galactique (constellation du Sagittaire).

Rien d'alarmant pour deux raisons : le Grand Fossé n'est pas ponctuel, mais assez étendu, le Soleil a un diamètre de 30 minutes d'arc (1/2 degré), de ce fait, il y a déjà de nombreuses années que cet alignement très approximativement se produit tous les ans sur plusieurs jours, aux environs du solstice d'hiver, sans effets notoires détectés, et cela va continuer.

Le trou noir a une masse énorme certes, mais il est très éloigné. On peut comparer son influence avec celle de la Lune ou du Soleil, en appliquant la simple formule de la force gravitationnelle de Newton (enfin une formule !) :  $f = G \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$  où  $G$  est la constante de la gravitation,  $m_1$  et  $m_2$  sont les masses des deux corps en interaction et  $d$  leur distance.

Elle traduit le fait physique simple que plus la masse d'un des corps est grande, plus la force est grande ; plus la distance s'accroît, plus la force diminue, et ceci d'autant plus rapidement que cette distance est au carré (l'exposant 2 de  $d$ ).

Si l'on prend la force exercée par le Soleil sur la Terre pour unité, on peut calculer :

– force Terre-Lune : 0,06

– force Trou noir - Soleil : 0,000 000 4

L'influence gravitationnelle du trou noir ne peut donc en aucun cas perturber le système solaire.

Et pour conclure sur ce sujet : de toutes façons l'alignement avec le trou noir n'aura pas lieu, puisque celui-ci est situé à plus de 5 degrés du cercle écliptique où paraît voyager le Soleil.

## Supernovæ

Nous dirons quelques mots d'un autre sujet d'alarme, les supernovæ. Ce sont des étoiles en fin de vie qui explosent et émettent en quelques instants dans leur environnement proche une quantité ravageuse de rayonnement et de particules. Autour

du Soleil et jusqu'à plusieurs dizaines d'années lumière, il n'y a pas de candidat susceptible de se transformer en supernova dans les 100 millions d'années qui viennent.

Près du centre galactique, on détecte un immense nuage de gaz et poussières, suffisamment dense pour devenir dans les 200 millions d'années à venir une pépinière d'étoiles nouvelles. Parmi ces étoiles formées, de toutes tailles, les plus massives évoluent très rapidement pour donner, au bout de quelques millions d'années, un beau feu d'artifice de supernovæ, mais tout cela est très loin de nous et ne se produira que dans très longtemps.

## À suivre

Lors de la fin du prochain 13<sup>e</sup> baktun, vous trouverez dans le numéro 20 639 des Cahiers Clairaut un article sur les autres sujets que nous n'avons pu aborder faute de place : le renversement des pôles, les ondes de résonance Schumann, etc. La physique touche à l'universel, mais l'imagination paraît encore plus riche pour parler de ce qui ne peut exister.

## Bibliographie

Pour le côté catastrophique, il est recommandé d'aller voir ce que l'IMCCE qui calcule les trajectoires et les éphémérides des astres du système solaire publie sur le sujet : à partir du numéro de janvier 2012 douze articles sur le thème "Chroniques d'une fin du monde annoncée" parues dans *La Lettre d'Information* que l'on trouve à l'adresse :

<http://www.imcce.fr/fr/newsletter/archives.php>

1 - Distance au Soleil et glaciations. N° 75 janvier 2012

2 - La chaleur du Soleil. N° 76 février 2012

3 - Les alignements planétaires. N° 77 mars 2012

4 - Activité solaire, éruptions, perturbations terrestres. N° 78 avril 2012

5 - Faut-il craindre une collision avec Vénus ? N° 79 mai 2012

6 - L'évolution de l'atmosphère terrestre. N° 80 juin

7 - Peut-on subir le sort des dinosaures ? N° 81 juillet 2012

8 - Quels risques court-on avec les « petits » objets géo-croiseurs ? N° 82 août-septembre

9 - Les météores et météorites sont-ils dangereux ? N° 83 octobre 2012

On peut voir aussi l'article de mise au point dans le N° 52 décembre 2009 : *21 décembre 2012 : ce sera la fin de ... l'automne !*

Autre adresses :

<http://www.imcce.fr/newsletter/docs/2012.pdf>

<http://www.archaeoastronomie.de/mayaeng/mayaastr.htm>

(l'Astronomie au service de l'Archéologie, en anglais).

<http://www.famsi.org/>(Site sur la civilisation Maya, en anglais).

Les scientifiques contre attaquent (en anglais) :

<http://www.2012hoax.org/>

et le site en français avec un auteur anonyme :

<http://21decembre2012-maya.com/index.php> ■

# THÈME : LA LUNE (2)

## ARTICLE DE FOND

### La masse de la Lune

Georges Paturel, observatoire de Lyon

*Nous revenons sur une application publiée en 2009 pour calculer la masse de la Lune. Nous expliquons la bonne méthode. Elle consiste en la mesure du rapport de masse Terre/Lune.*

#### Masses de la Terre et de la Lune

Nous savons que Cavendish a pu déterminer la masse de la Terre en comparant la force qu'elle produit sur une masse donnée (force qu'on appelle le poids) à la force produite par deux masses connues. Mais comment peut-on mesurer la masse de la Lune ? À notre époque où l'on envoie des sondes au voisinage de la Lune, cette détermination est possible très directement en mesurant l'accélération que produit la Lune sur la sonde. Mais avant l'exploration spatiale qu'en était-il ?

Dans un numéro de 2009 des Cahiers Clairaut (CC 127, p 31) nous avons donné une méthode pour obtenir, simplement, la masse de la Terre et de la Lune à partir de la troisième loi de Kepler (voir l'encadré A). La méthode n'était pas très précise mais l'ordre de grandeur était correct. Était-ce un hasard ? Je ne le pense pas. Ce résultat provenait de ce qu'on utilisait la distance moyenne Terre-Lune et la période sidérale moyenne de la Lune. Cette moyenne absorbait les nombreuses irrégularités qui auraient entaché une détermination à partir de valeurs instantanées. Nous pouvions ainsi obtenir une très bonne valeur de la masse  $M + m$ , somme de la masse de la Terre  $M$  et de la masse de la Lune  $m$  :

$$M + m = 6,03 \times 10^{24} \text{ kg.}$$

Cette somme était, pour la précision recherchée, considérée comme "sans incertitude". Pour obtenir la masse de la Lune, il suffisait alors de mesurer  $M$ , la masse de la Terre seule. Nous utilisons un pendule<sup>1</sup> (masse négligeable devant celle de la Terre !), mais nous aurions pu le faire en mesurant le temps de chute d'un corps (voir le chapitre suivant). L'une ou l'autre de ces méthodes revient à

mesurer l'accélération locale de la pesanteur, le fameux  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$ . Cette mesure peut facilement conduire à une estimation de la masse de la Terre de l'ordre<sup>2</sup> de

$$M = (5,96 \pm 0,02) \times 10^{24} \text{ kg.}$$

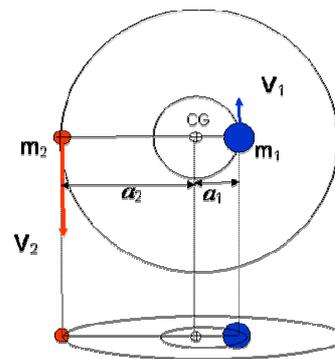
Nous déduisons ainsi la masse de la Lune :

$$m = (6,03 - 5,96) \times 10^{24} = (7 \pm 2) \times 10^{22} \text{ kg.}$$

Ce résultat, s'il pouvait satisfaire un néophyte, n'était pas suffisant pour un amateur exigeant. Comment fait-on alors ?

#### Encadré A : La 3<sup>e</sup> loi de Kepler

Quand deux corps tournent l'un autour de l'autre, en réalité, ils tournent autour du centre de masse. Nous supposons que les mouvements sont circulaires et uniformes. Nous nous plaçons dans le référentiel, supposé galiléen, du centre de masse.



La force d'attraction gravitationnelle est :

$$F = \frac{Gm_1m_2}{(a_1 + a_2)^2}$$

<sup>1</sup> On apprend au lycée que le pendule réversible est plus précis. L'analyse de la chute d'un coin optique où celle d'atomes froids l'est plus encore.

<sup>2</sup> Dans le calcul, on suppose la Terre sphérique et à répartition de masse à symétrie, ce qui n'est pas rigoureusement exact.

## Encadré A (suite)

Mais l'accélération dynamique ( $v^2/a$ ) est différente pour chacun des deux corps. Pour le corps 1, la relation fondamentale de la dynamique conduit à (en remplaçant la vitesse  $v$  par son expression tirée du périmètre de l'orbite et de la période) :

$$\frac{Gm_1m_2}{(a_1+a_2)^2} = \frac{m_1}{a_1} \cdot v_1^2 = \frac{m_1}{a_1} \cdot \frac{4\pi^2 a_1^2}{T^2}$$

Soit en simplifiant par  $m_1$

$$\frac{Gm_2}{(a_1+a_2)^2} = \frac{4\pi^2 a_1}{T^2} \quad (\text{A1})$$

Pour le corps numéro 2 on aura de même :

$$\frac{Gm_1}{(a_1+a_2)^2} = \frac{4\pi^2 a_2}{T^2} \quad (\text{A2})$$

En ajoutant (A1) et (A2) on obtient la relation généralisée de Kepler-Newton, qui permet de traiter des mouvements orbitaux réciproques de deux corps de masse quelconque :

$$\frac{G(m_1+m_2)}{4\pi^2} = \frac{(a_1+a_2)^3}{T^2} \quad (\text{A3})$$

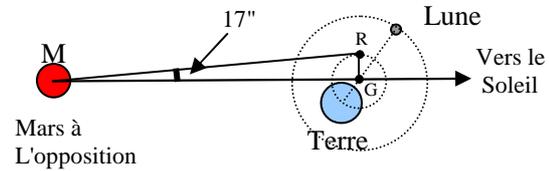
La Terre et la Lune tournent autour du centre de masse commun (encadré A). L'orbite de la Terre autour de ce point produit un mouvement parasite d'oscillation dont la période est précisément la période de révolution de la Lune autour de ce centre de masse.

La Terre oscille donc. Cela signifie que tous les astres observés depuis la Terre vont refléter ce mouvement en ayant un mouvement apparent de même période résultant de cet effet de parallaxe.

Pour les corps proches l'effet sera mesurable. Une vieille édition du livre de George Abell « *Exploration of the Universe* » donne l'exemple de la planète Mars qui est affectée d'un petit mouvement oscillant apparent avec la période attendue. Quand la planète Mars est la plus proche de la Terre, ce qu'on appelle l'opposition, Mars est alors à une distance à la Terre d'environ  $MG = 5,7 \times 10^7$  km. L'amplitude maximale de l'oscillation que l'on déduit pour l'instant précis de l'opposition est de  $17''$ , un angle très petit, certes, mais mesurable.

Calculons en kilomètres l'amplitude  $a = RG$  (voir les schémas ci-dessous) de l'oscillation du centre de la Terre (distance entre le centre de la Terre et le

centre de gravité du couple Terre-Lune). En supposant que le mouvement de la Terre autour du centre de masse Terre-Lune est dans le plan de l'orbite de Mars, il se trouve que Mars en opposition est aligné avec le segment reliant le Soleil au centre de masse  $G$  du couple Terre-Lune.:



$$a = MG \times \tan(17'') = 5,7 \times 10^7 \times \tan(17'') \approx 4700 \text{ km}$$

Notons que  $G$ , le centre de masse Terre-Lune, est environ à 1 670 km sous la surface de la Terre.

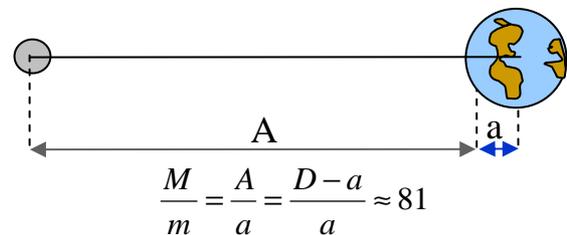
$M$  étant toujours la masse de la Terre et  $m$  la masse de la Lune, la distance entre le centre de la Lune et le centre de masse du couple Terre Lune est notée  $A$ , tandis que  $a$  est, comme vu plus haut, la distance entre ce même centre de masse et le centre de la Terre (voir schémas). En utilisant la relation du centre de masse (Rel. A1/A2), nous obtenons :

$$M \cdot a = m \cdot A,$$

et avec la distance Terre-Lune :

A

$$D = a + A \approx 384\,000 \text{ km, on trouve que :}$$



La masse de la Lune est 81 fois plus petite que celle de la Terre, c'est-à-dire :

$$m = 7,36 \times 10^{22} \text{ kg}$$

Ce rapport entre la masse de la Terre et la masse de la Lune est nécessaire, puisque c'est de la masse de la Terre que nous déduisons la masse de la Lune.

La connaissance de ce rapport a été améliorée par la mesure de l'accélération que la Lune produit sur les sondes, soit celles lancées sur la Lune, soit celles passant à proximité. En octobre 1967, l'analyse du mouvement de la sonde Mariner V a conduit à la valeur :

$$\frac{M}{m} = 81,3004 \pm 0,0007$$

La détermination de la masse de la Terre est donc fondamentale pour déterminer la masse de la Lune et toutes les masses dans le système solaire et même dans l'Univers. Dans l'exercice que nous proposons en 2009, la partie expérimentale consistait à mesurer la masse de la Terre avec un pendule simple, en supposant connue la constante de la gravitation universelle  $G = 6,67 \times 10^{-11}$  S.I.<sup>3</sup> et le rayon de la Terre. Nous allons revenir sur cette mesure, en déduisant l'accélération de la pesanteur de la mesure du temps de chute d'un corps.

## Mesure de la masse de la Terre

Nous allons chronométrer le temps d'une chute de 60 cm de hauteur avec un petit appareil de réalisation simple (figure 1). Pourvu d'un mécanisme à ressort, l'appareil libère la masse d'essai à un instant précis. C'est au moment où le *clapet* s'ouvre que le contact s'établit pour faire démarrer le chronomètre. Ce contact produit l'équivalent d'une pression sur le bouton marche/arrêt du chronomètre. Quand le corps en chute libre arrive sur la *plaque de réception*, un autre microcontact provoque l'arrêt du chronomètre. Un chronomètre électronique très ordinaire a été utilisé. Deux fils très fins ont été soudés aux bornes du contact marche/arrêt, de telle sorte qu'un microcontact extérieur permet de démarrer ou d'arrêter le chronomètre. Une astuce (voir la figure 1 et l'encadré B) permet de démarrer le chronomètre avec un contact qui s'ouvre.

À partir de la hauteur de chute  $h$  et du temps de chute  $t$ , on déduit  $g = 2h/t^2$ , lui-même relié à la masse et au rayon de la Terre par  $g = G.M / R^2$ .

Les mesures effectuées par le public, lors d'une journée "portes ouvertes" à l'Observatoire de Lyon, ont conduit aux résultats donnés par la figure 2, ci-dessous. La moyenne obtenue est :

$M = (5,952 \pm 0,016) \times 10^{24}$  kg, ce qui conduit à une masse de la Lune<sup>4</sup> :

$$m = \frac{M}{81,3} = (7,32 \pm 0,02) \times 10^{22} \text{ kg,}$$

La valeur admise aujourd'hui est :

$$m = 7,349 \times 10^{22} \text{ kg.}$$

<sup>3</sup> S.I. système international d'unités ; les longueurs sont en mètre, les masses en kilogramme, les forces en newton, le temps en seconde.

<sup>4</sup> L'incertitude est en réalité plus importante car toutes les mesures étaient faites avec le même appareil, celui-ci pouvant engendrer une erreur systématique, sans parler de l'incertitude liée à la non sphéricité de la Terre.

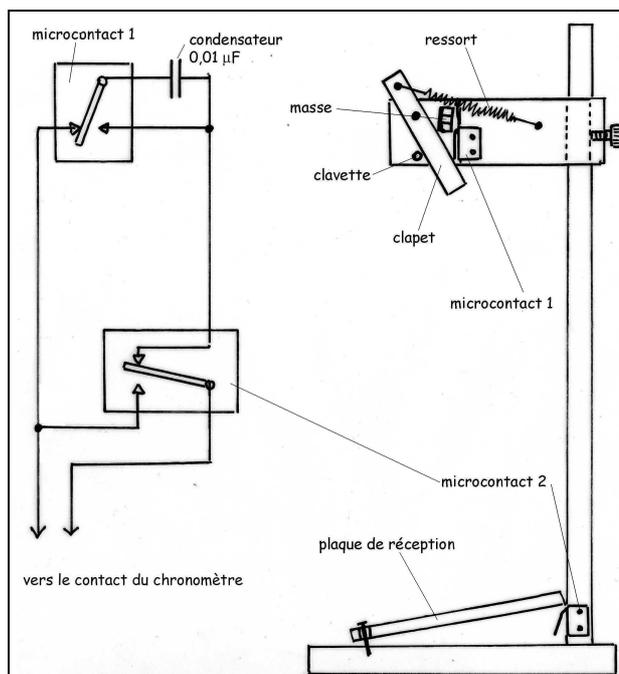


Fig.1. L'appareil et le schéma du circuit déclencheur (voir encadré B).

### Encadré B : Explication du circuit déclencheur du chronomètre.

Quand le clapet est fermé, le condensateur est déchargé (il est en court-circuit).

Quand le clapet s'ouvre, le condensateur se trouve alors connecté, par le microcontact numéro 1, aux bornes du bouton de démarrage du chronomètre. Le contact s'établit pendant le temps que le condensateur met à se charger (la constante de temps "RC" est de quelques dizaines de nanosecondes).

Quand la masse en chute libre arrive sur la plaque de réception, le microcontact numéro 2 se ferme et arrête le chronomètre.

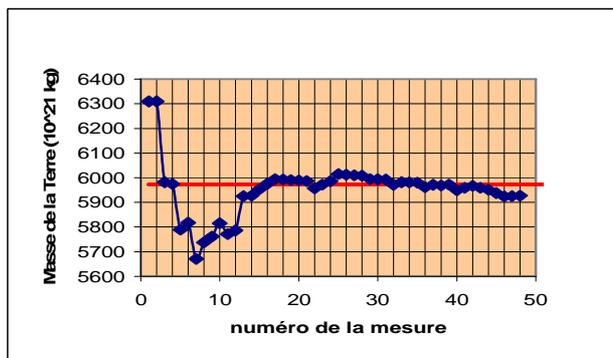


Fig.2. Évolution de la moyenne des mesures de la masse de la Terre en fonction des mesures successives.

## De la Lune des poètes à la Lune des savants

Jean-Luc Fouquet

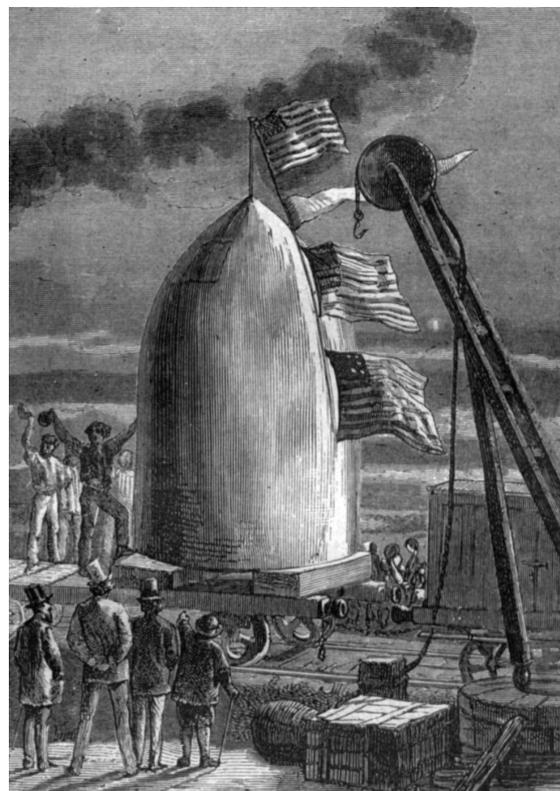
*Jean-Luc Fouquet nous propose ici un survol des œuvres littéraires s'intéressant au voyage vers la Lune en relation avec les connaissances scientifiques de leur époque.*

Très tôt, les hommes ont imaginé les voyages dans l'espace. Mais quitter la Terre est matériellement bien difficile. Aussi, pendant plusieurs siècles, poètes et romanciers ont décrit des épopées de pure fiction, sans se préoccuper de considérations techniques ou de l'état des savoirs de leur époque jusqu'à la Renaissance, puis en faisant souvent œuvre de vulgarisation après la révolution copernicienne. Quels sont donc les liens entre écrits romanesques et découvertes scientifiques tout au long de l'histoire ?

La Lune fut rapidement un but à atteindre. Dès l'Antiquité classique, les savants grecs ont pu définir avec une assez bonne précision sa forme, sa taille et sa distance. Aristarque au III<sup>e</sup> siècle avant notre ère, puis plus tard Hipparque et Posidonius ont pu parvenir, grâce à la géométrie et à l'observation des éclipses de Lune, à des mesures précises de sa circonférence et de son éloignement. Cependant, sa nature « parfaite » établie par Aristote s'impose longtemps, avec sa surface si blanche et si lisse que les montagnes terrestres peuvent s'y refléter, faisant apparaître par endroits des taches sombres.

Pour atteindre la Lune, les auteurs ont proposé les moyens de locomotion les plus inattendus et les plus extravagants. Au II<sup>e</sup> siècle déjà, dans *Histoire véritable*, qu'on pourrait considérer comme le premier récit de science-fiction, Lucien de Samosate imagine ses voyageurs involontaires comme des marins sur un bateau emporté dans les airs par une tempête de sept jours entiers. L'absence d'air entre Terre et Lune n'était pas un obstacle à certaines propositions, avec un char tiré par quatre chevaux ailés dans *Roland Furieux* de l'Arioste en 1516, sur le dos d'un aigle pour Alexandre Dumas en 1860, ou grâce à des ballons remplis de fumée (Cyrano de Bergerac, début XVIII<sup>e</sup>) ou gonflés avec un gaz 40 fois moins dense que l'hydrogène (Edgar

Allan Poe dans *Hans Pfaal* en 1835). En fait, bon nombre d'intrépides aéronautes apparurent dans les romans après les premières expériences des frères Montgolfier dans les jardins de Versailles en 1784. Au XIX<sup>e</sup> siècle, les récits seront étayés d'une multitude de détails techniques s'appuyant sur les connaissances scientifiques de l'époque. Jules Verne consulte un mathématicien et un astronome (Jules Janssen) pour décrire avec grande précision les aventures des trois explorateurs quittant la Terre à bord de leur obus lancé par un canon à Cap Canaveral que les Américains choisiront plus tard comme base de lancement.



*Fig.1. L'arrivée du projectile à Stone-Hill  
(De la Terre à la Lune, Jules Verne).*

Vitesse, apesanteur, accélération au décollage, vide spatial..., tout sera étudié de manière très argumentée. À l'inverse, quelques dizaines d'années plus tard, les premiers ingénieurs de l'aéronautique s'inspireront de ce roman et opteront pour quelques unes des solutions techniques qu'il propose.

Il est donc très intéressant de rechercher ces liens entre découvertes et propositions techniques des auteurs, même si les solutions proposées restent toujours très romancées. D'ailleurs, l'imagination débordante des poètes ne pousse-t-elle pas vers de nouvelles recherches ? La première étape importante est l'observation de la Lune à l'aide des premières lunettes par Galilée. Notre satellite ressemble à la Terre, avec des plaines, des montagnes.

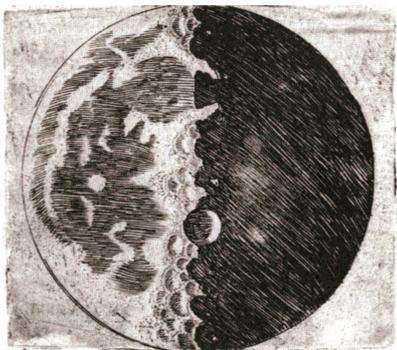


Fig.2. La Lune dessinée par Galilée dans le *Sidereus Nuncius*.

Ce n'est plus ce monde parfait décrit par Aristote, et dès 1629, Descartes se demande si la lunette astronomique va permettre de « voir s'il y a des animaux sur la Lune ». C'est à la même époque, en 1634, que paraît, publié par son fils, l'ouvrage posthume de Kepler. Ce roman, *le Songe*, a un caractère scientifique marqué, avec un grand nombre de notes et de calculs, et décrit les habitants de la Lune vivant dans des cavernes, avec de grandes précisions. On les appelle « les Sélénites », du nom de la déesse grecque de la Lune, Séléné, sœur jumelle du dieu Soleil, Hélios. Ces nouveaux habitants sont de grande taille, pour différentes raisons. Pour Kepler, c'est parce que leur journée dure quinze jours terrestres et qu'ils sont entourés de montagnes bien plus hautes, de plaines bien plus vastes. Plus tard sera évoquée la faible gravité sur ce satellite. Ces êtres sont parfois difformes, monstrueux, avec des organes hypertrophiés ou absents, mais ils restent suffisamment semblables aux Terriens pour que l'on puisse suggérer certaines comparaisons entre eux et nous. Pour Cyrano de Bergerac dans *Histoire comique des États et Empires de la Lune* en 1657, le voyage dans la Lune devient un prétexte pour entreprendre une satire des mœurs européennes de son époque, sans trop de risques puisque les idées réputées dangereuses aux yeux des princes ou du clergé étaient prêtées aux habitants de ces contrées lointaines.

La méthode sera reprise dans *les Voyages de Gulliver* de Swift en 1726, puis par Voltaire dans *Micromégas* en 1752. Cyrano, pour ce voyage dans la Lune, essaie de construire des machines reposant sur les principes physiques de l'époque, énoncés par Descartes, intégrant les découvertes essentielles du début de son siècle avec les mouvements de la Terre et des planètes décrits par Copernic, puis par Galilée et Kepler. Il ne fait que vulgariser les idées de Gassendi qui écrit que la Lune et, vraisemblablement, d'autres astres sont peuplés d'êtres vivants, et il ne faut pas oublier la fin tragique sur le bûcher de Giordano Bruno, soixante ans plus tôt seulement, pour ses croyances quant à la pluralité des mondes.

Ces « gens de la Lune » décrits par Cyrano de Bergerac perdureront jusqu'au début du XIX<sup>e</sup> siècle, avec d'autres hypothèses sur une civilisation peuplant la face cachée, ou sur une eau souterraine courant dans des cavernes invisibles depuis la Terre. Mais pour d'autres savants comme Huygens en 1698 dans *Cosmotheoros*, la Lune est un astre mort et inhabité, sans eau, sans atmosphère. Les rêves d'une civilisation extraterrestre se sont alors reportés, un siècle plus tard, sur la planète Mars.



Fig.3. Couverture de « *Histoire comique contenant les États et Empires de la lune* » où Cyrano utilise des fioles de rosée pour essayer d'atteindre la Lune.

Au  $XX^e$  siècle, les échanges entre écrivains et savants seront de plus en plus fréquents, et dans les ouvrages de science-fiction, les techniques de navigation dans l'espace se feront de plus en plus précises et élaborées. Le père de l'astronautique moderne est un modeste mais génial instituteur russe : Konstantin Tsiolkovski. Cet érudit autodidacte conçoit dès 1903 dans une série de petits mémoires, la fusée propulsée en utilisant des propergols liquides, voire même le mélange d'oxygène et d'hydrogène des lanceurs Ariane ou Saturn utilisé soixante ans plus tard. Il invente la fusée à étages, la vie des cosmonautes à bord, les combinaisons pour leur sortie dans l'espace. Vingt ans plus tard, l'américain Robert Goddard sera l'ingénieur qui mettra en œuvre toutes ces idées nouvelles. La technique s'ouvre à grands pas aux voyages spatiaux avec des concepteurs jeunes et audacieux, tels l'Allemand Oberth dont la vocation a été fortement stimulée par les récits de Jules Verne, et qui, en 1928, joue le rôle de conseiller technique auprès de Fritz Lang, pour la réalisation du film *Une femme dans la Lune*. Pourquoi donc les auteurs de science-fiction n'ont-ils pas imaginé ce moyen de locomotion dans l'espace ? Le principe de la fusée avait, en fait, été énoncé par Isaac Newton lui-même dans son « principe de l'action et de la réaction », deux cents ans plus tôt ! Un seul romancier, Achille Eyraud, avait proposé cette propulsion pour un astronave dans son *Voyage à Vénus* en 1863, précédé, il est vrai, par un auteur débordant d'imagination, Cyrano de Bergerac, qui osa décrire en 1662 un véhicule « mû par des feux successifs de salpêtre », une fusée à étages en quelque sorte.

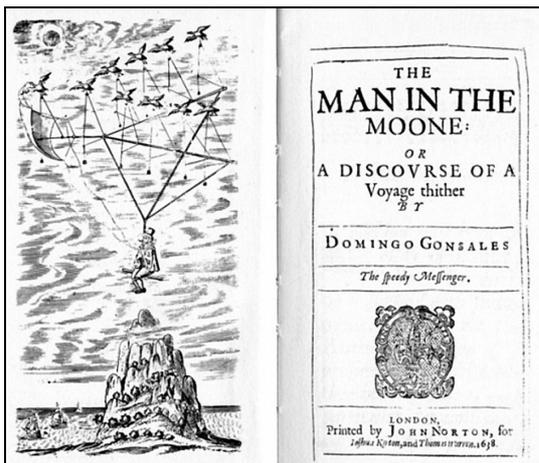


Fig.4. « L'homme dans la Lune » de Francis Godwin (1638). C'est un vol d'oiseaux sauvages qui permet au héros de décoller.

On le voit, les créations de tous ces gens qui ont fait l'histoire, romanciers ou ingénieurs, poètes ou techniciens, se croisent et se nourrissent les uns

des autres. Certes, pour ce voyage dans l'espace, les récits ont pu paraître fantaisistes pendant quelques siècles avant que des arguments plus scientifiques ne soient utilisés.

## Le jeu

La page suivante propose une sorte de jeu de l'oie comportant trois sortes de cases, littérature, science et technique<sup>1</sup>. Ce jeu est en fait une triple frise chronologique.

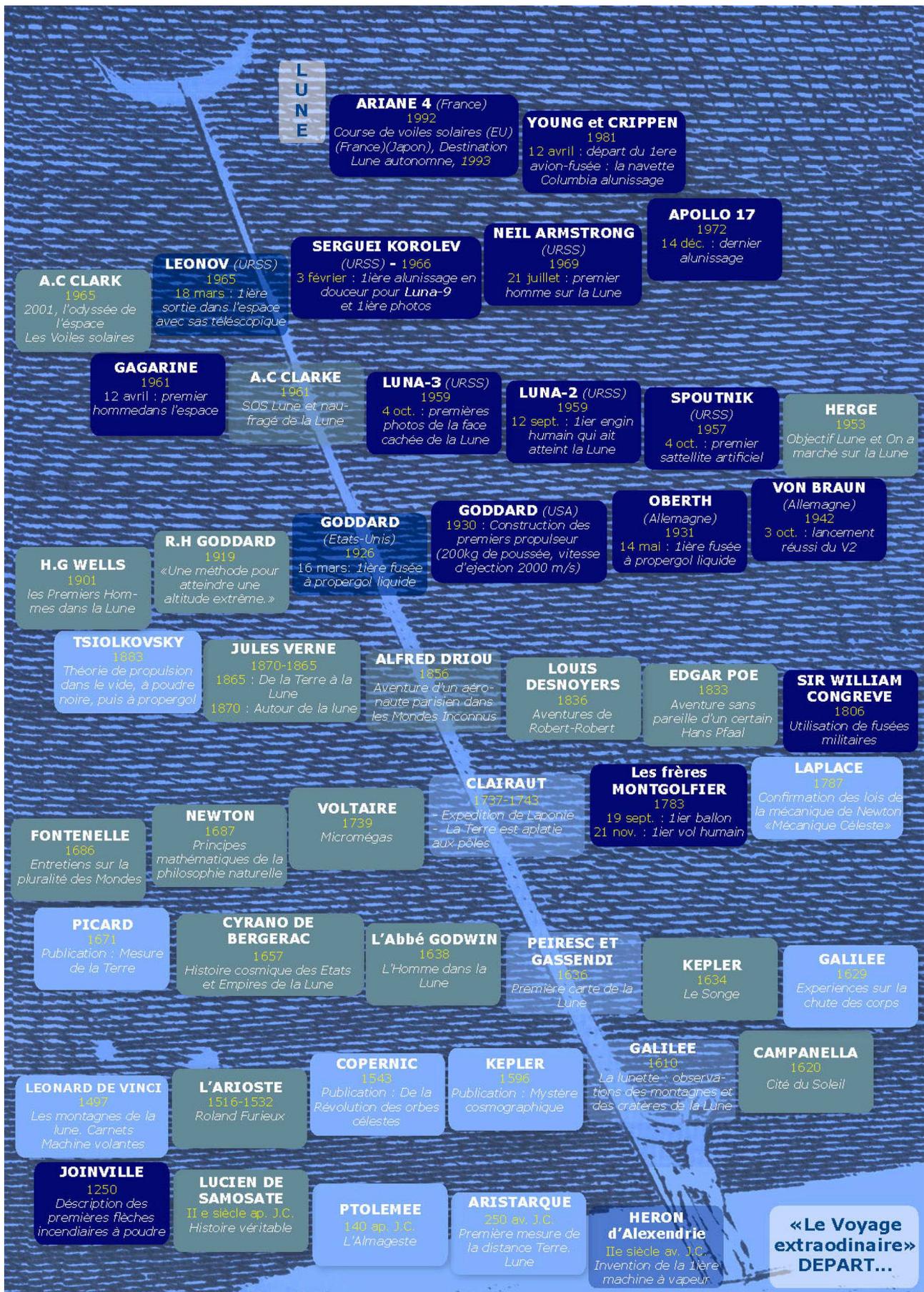
Les cases bleu-vert représentent la succession des romanciers et des poètes ayant imaginé avec plus ou moins de respect des savoirs de leur époque, et souvent avec beaucoup de fantaisie, ce long voyage jusqu'à la Lune. La frise bleu ciel porte les noms de beaucoup de savants ayant par leurs écrits et par leurs expériences ou leurs mesures fait progresser les connaissances, les moyens de propulsion... Enfin sur les cases bleu foncé figurent les noms des ingénieurs et des techniciens ayant inventé les machines réelles et les méthodes ayant permis ce voyage.

Les trois frises sont interdépendantes, et les liens entre chacune d'entre elles peuvent être souvent explicités. Par exemple, pendant plusieurs décennies, c'est « un ballon » qui permet aux héros des romans d'Edgar Poe, de Louis Desnoyers ou d'Alfred Driou de quitter la Terre, bien après que les frères Montgolfier réussirent leur premier vol, le siècle précédent. À la fin du  $XVIII^e$  siècle, les écrivains devinrent plus précis sur les techniques des moyens de locomotion de leurs personnages, avec des descriptions plus complexes et des mots plus savants, alors que dans les siècles précédents, seuls les voyages et le caractère des voyageurs paraissaient intéressants. À partir des années 1920, les échanges entre romanciers et savants devinrent incessants, et l'histoire se précipita. Une quarantaine d'années seulement sépare les théories de Tsiolkovsky sur la propulsion à propergol et le lancement de la première fusée, et quarante ans encore avant que Neil Armstrong ne pose le premier le pied sur la Lune.

### Petite bibliographie

1. De Plutarque au Space Art, ils ont rêvé l'espace, de Pierre Poix (Hatier).
2. La science-fiction, lectures d'avenir ? de Christian Grenier (Presses Universitaires de Nancy).
3. Cyrano de Bergerac, l'autre monde, préface et notes de Henri Weber, éditions sociales.
4. Histoire véritable de Lucien, par Perrot d'Ablancourt, Université de Nancy.

<sup>1</sup> Ce jeu est aussi disponible sur le site des éditions Belin Pour la Science en supplément au livre « La Lune à portée de main » dont JL Fouquet est coauteur.



# AVEC NOS ÉLÈVES

## Jeu n° 1. Trouver l'erreur

Pierre Causeret

Les photos proposées ci-dessous sont toutes truquées. On demande, pour chacune d'elles, de trouver l'erreur ou les erreurs qu'elle contient.



1. Croissant de Lune sur le port de St Usage (21).



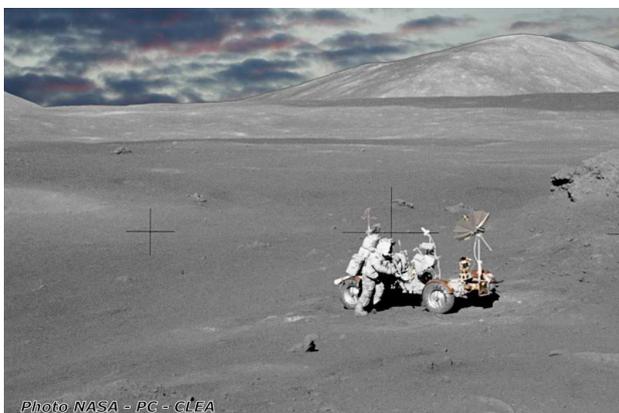
4. Croissant de Lune du soir.



2. Quartier de Lune sur la Saône.



5. Exploration lunaire (2).



3. Exploration lunaire (1).



6. Pleine Lune.

Et voici deux autres "photos" totalement fausses qui ne sont pourtant pas annoncées comme truquées :



7. Lune et Soleil au pôle Nord.



8. Phases de la Lune.

## Solutions

**Photo 1.** On sait que la Lune et le Soleil ont quasiment le même diamètre apparent, un demi degré. On s'en aperçoit lors des éclipses de Soleil où la Lune cache exactement le Soleil. Sur l'image, la Lune est beaucoup trop grosse comparée au Soleil couchant.

**Photo 2.** La Lune est éclairée par le Soleil. Or, c'est le côté droit de la Lune qui est éclairé ici alors que le Soleil est situé à gauche sur la photo.

**Photo 3.** Il n'y a pas d'atmosphère sur la Lune et le ciel y est donc toujours noir...

**Photo 4.** Plusieurs étoiles se trouvent devant la partie non éclairée de la Lune. Une étoile plus proche que la Lune, cela ne s'est jamais vu... Deux photos ont été superposées, celle de la Lune était bien un croissant de Lune du soir.

**Photo 5.** Les noisetiers ne sont encore pas arrivés sur la Lune.

**Photo 6.** Trois erreurs sont visibles sur cette photo. La première est que la Lune ne peut pas se trouver dans la Grande Ourse. En effet, comme elle tourne autour de la Terre approximativement dans le plan de l'écliptique, elle est toujours proche des constellations du zodiaque et ne peut pas s'approcher de l'étoile Polaire comme ici.

Deuxième erreur, la Lune est trop grosse comparée à la Grande Ourse. En effet, sur la photo, la Lune tiendrait ici tout juste entre Dubhé et Mérahk, les deux étoiles de droite de la casserole alors que leur distance angulaire vaut en réalité 10 fois le diamètre de la Lune.

Enfin, troisième erreur, la pleine Lune est trop lumineuse pour que l'on puisse voir les étoiles faibles de la Grande Ourse comme celle de la tête et des pattes de l'ourse.

**Photo 7.** C'est une image que l'on a beaucoup vue sur Internet. Rappelons que la Lune et le Soleil, vus depuis la Terre, ont à peu près le même diamètre apparent. La Lune est ici plus de 10 fois plus grosse que le Soleil...

La deuxième erreur est dans l'orientation du croissant. On ne peut voir la Lune ainsi que du côté des tropiques et sûrement pas vers les pôles.

**Photo 8.** C'est une image qui est vendue avec la légende « Phases de la Lune ». Il suffit de connaître un peu la disposition des mers lunaires pour voir que deux des images sont truquées. À droite, il s'agit d'une vraie photo de la pleine Lune, avec la Mer des Crises tout en haut de l'image. Le nord de la Lune est donc situé à gauche et le sud à droite. Le terminateur (la limite jour-nuit) passe normalement à peu près par les pôles. Sur les deux images de gauche, il va d'est en ouest et non du nord au sud. Sur la photo du milieu, on le voit traverser la Mer des Crises, ce qui est totalement impossible.

Il s'agit donc d'une photo de la pleine Lune sur laquelle on a ajouté un masque noir mal placé. De plus, le terminateur est toujours net et irrégulier à cause des cratères alors qu'on le voit ici flou et régulier.

*Une vraie photo de Lune gibbeuse, tournée pour que les mers soient disposées comme sur l'image 8. On voit que le terminateur ne traverse pas du tout les mêmes régions et n'est pas flou comme sur l'image truquée.*



## Jeu n° 2. Phase ou éclipse ?

Les photos qui suivent sont ici de vraies photos, non truquées. On demande, pour chacune d'elles, de trouver s'il s'agit d'une éclipse de Lune, d'une éclipse de Soleil, ou d'une phase de la Lune.



*Photo 1.*



*Photo 4.*



*Photo 2.*



*Photo 5.*



*Photo 3.*



*Photo 6.*

## Solutions

**Photo 1.** Il s'agit de l'éclipse de Soleil du 11 août 1999, avant la totalité. La photo ressemble un peu à un mauvais dessin de croissant de Lune. Mais lorsque l'on voit la Lune en croissant, la limite jour-nuit a une forme de demi-ellipse et non d'arc de cercle comme ici. De plus elle devrait être irrégulière à cause du relief lunaire (voir CC 139 notions de base).

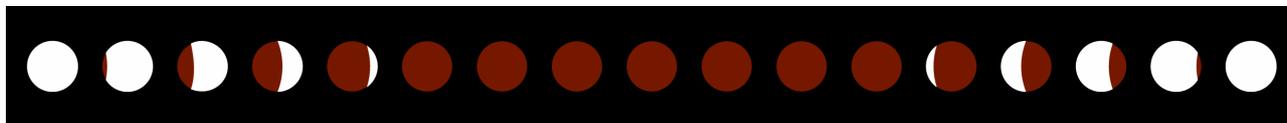
On peut vérifier avec un calque sur lequel on aura tracé des cercles de différents diamètres que la courbure du bord gauche du Soleil est la même que la courbure de l'astre qui cache le Soleil : Lune et Soleil ont presque le même diamètre apparent.

**Photo 2.** Phase (Lune gibbeuse). Il n'y a pas de confusion possible ici avec une éclipse.

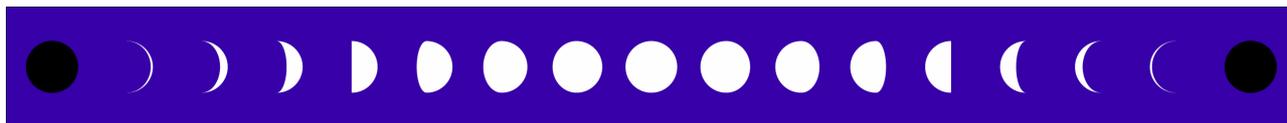
**Photo 3.** Éclipse de Soleil du 31 mai 2003. La forme du Soleil éclipsé ressemble à celle de la photo 1 à cette différence près que, le Soleil se levant, il apparaît aplati à cause de la réfraction atmosphérique.

### Les bons dessins

Pour bien comprendre les différences entre la forme d'une éclipse de Lune, d'une phase et d'une éclipse de Soleil, voici les formes correctes et leur évolution :



Éclipse de Lune (une image toutes les 15 minutes).



Phase de la Lune (une image tous les 1/16 de lunaison, soit tous les 1 j 20 h).



Éclipse de Soleil (une image toutes les 8 minutes).

### Remue méninges

Quand on observe cette photo du système Terre-Lune prise par la sonde Galileo (déjà présentée dans le dernier numéro des Cahiers Clairaut), on peut se demander quelle est la phase de la Lune vue depuis la Terre. Question plus difficile qu'il n'y paraît au premier abord. Petite aide : sur l'image de la NASA, le diamètre de la Lune fait 114 pixels et celui de la Terre 400 pixels.

Merci à Jean-Luc qui avait apporté cette devinette à l'école d'été.  
(solution p 23)



# TÉMOIGNAGE

## Petite enquête sur deux pleines Lunes

Daniel Bardin

*Au cours de l'école d'été de Gap (août 2012), un groupe de stagiaires recevait pour documents deux photos de la pleine Lune légèrement différentes. En examinant ces images, le groupe était invité à poser des questions pour remonter à l'origine de ces deux clichés et découvrir des informations que ces images pouvaient recéler. Les propos tenus au cours de cet atelier sont transcrits en italique, précédés de « S » pour les stagiaires et de « A » pour l'animateur ; le reste est en caractères ordinaires.*



*S : Les deux images n'ont pas la même taille. Si elles proviennent de deux clichés numériques, ont-elles été tirées sur papier avec des rapports d'agrandissement quelconques ?*

*A : Le labo a soigneusement agrandi les images numériques au même rapport.*

*S : Est-ce que l'objectif photo était le même à chaque prise de vue ?*

*A : Oui, un Nikon de 600 mm de focale couplé avec un doubleur Nikon T.C.301 (spécial grandes focales) ce qui donne 1 200 mm de focale résultante.*

*S : Les détails de la surface lunaire ne sont pas centrés de la même manière sur chaque cliché ; quelle en est la cause ?*

*A : Nous verrons cela un peu plus tard.*

*S : Les deux images ont été probablement prises à des moments différents... ?*

*A : En effet. S : À quelles dates ?*

*A : Des dates en 2011 mais, là encore, nous les déterminerons tout à l'heure.*

*S : Nous savons que la distance Terre-Lune varie au cours de chaque lunaison ; les photos ont donc été prises lorsque la Lune était proche de la Terre, pour l'une, et loin pour l'autre ?*

*A : Oui, et chacune à un moment de pleine Lune.*

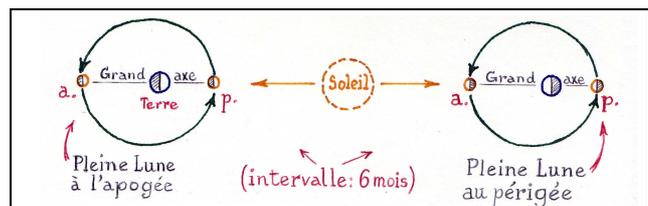
*S : Au cours d'une lunaison, le rapprochement minimum et l'éloignement maximum se nomment bien périgée et apogée sur l'orbite de notre satellite ?*

*A : Oui, ce sont les extrémités du grand axe de l'ellipse.*

*S : Est-ce que l'orientation du grand axe est immuable ?*

*A : Pas vraiment, mais la rotation de cette ligne s'effectue en presque neuf ans et nous pouvons la négliger pour cette enquête ; cherchons donc les configurations Soleil-Terre-Lune pour que les attractions gravitationnelles soient les plus fortes et aboutissent à des périgées et des apogées les plus importants grâce à l'alignement des trois astres.*

Après quelques rapides essais fut proposé le croquis ci-dessous (aux proportions aménagées pour être plus explicites). Il a donc fallu choisir des situations de part et d'autre du Soleil.



*Fig.1. (le plan de l'écliptique est dans le plan de la feuille).*

S : Les deux prises de vues sont probablement espacées de six mois afin qu'à chaque fois le grand axe soit orienté vers le Soleil ?

A : Bonne approximation en effet ; plus la correspondance entre ces moments et les instants exacts des pleines Lunes est bonne et plus la chance de trouver des distances Terre-Lune extrêmes sera grande.

S : Nous proposons maintenant de mesurer les diamètres des deux photos ; aurions-nous pu faire les mesures sur des images d'ordinateur ?

A : Oui, en comptant les pixels sur les diamètres. Ici, nous mesurerons en millimètres. Nous chercherons ensuite dans des bases de données pour comparer nos mesures avec les valeurs données dans la littérature.

Les moyennes des mesures effectuées donnent : photo n° 1 : 120,5 mm ; photo n° 2 : 106 mm. Rapport :  $120,5/106 = 1,1368$ .

S : On trouve dans les ouvrages de vulgarisation cette indication : « le diamètre de la Lune à l'apogée augmenté de un septième donne le diamètre au périgée » ; calculons cette formule plus imagée :

Différence entre les deux mesures :  $120,5 \text{ mm} - 106 \text{ mm} = 14,5 \text{ mm}$ . La proportion  $106/14,5 = 7,3$  signifie que le diamètre apparent de la Lune vers l'apogée augmenté de  $1/7,3$  (un « petit » septième) donne le diamètre apparent de la Lune vers le périgée.

S : Où trouver les valeurs extrêmes possibles de la distance Terre-Lune ?

A : Sur Internet mais aussi dans les livres. Pour trouver rapidement, voici un ouvrage publié par Belin « La Lune à portée de main » (P. Causeret, J-L. Fouquet et L. Sarrazin-Vilas). Les auteurs sont des amis très impliqués dans l'action du CLEA. On trouve, à la page 212, de nombreux renseignements concernant la Lune :

Diamètre : 3 475 km ; excentricité de l'orbite : 0,055 (avec des variations comprises entre 0,045 et 0,065 dues essentiellement aux attractions différentielles de la Terre et du Soleil et à la position de la Lune au cours de sa lunaison) ; distance minimale au périgée : 356 400 km ; distance maximale à l'apogée : 40 700 km.

S : Calculons le diamètre apparent de la Lune à ses positions extrêmes :

$$\tan^{-1}(3475/356400) = 0,558632^\circ = 33,52' \text{ soit } 33' 31''$$

$$\tan^{-1}(3475/406700) = 0,48955^\circ = 29,37' \text{ soit } 29' 22''$$

Puisque nous sommes en présence d'angles très petits, nous pouvons appliquer à ces valeurs le même calcul que celui des proportions entre diamètres linéaires ci-dessus :  $33,52/29,37 = 1,1413$ .

Ce nombre un peu plus grand que le 1,1368 trouvé plus haut en diffère peu ; les photos ont été prises alors que la Lune ne devait pas être bien loin des positions extrêmes.

A : En effet ; il faut maintenant trouver les dates de ces positions. Là encore, pour aller vite, consultons les éphémérides de la Société Astronomique de France pour 2011 aux pages consacrées à notre satellite.

Les résultats (les heures sont en temps universel) où la correspondance est la meilleure :

Périgée le 19 mars à 19 h ; distance 356 575 km.

Pleine Lune : le 19 mars à 18 h 10.

Apogée le 12 octobre à 12 h ; distance 406 434 km.

Pleine Lune : le 12 octobre à 02 h 06.

Les photos : 19 mars à 21 h 50 et 11 octobre à 21 h 30 ; nous n'étions pas loin des moments optimums.

S : D'autre part, nous avons signalé au début que les détails de la surface lunaire n'étaient pas centrés de la même manière sur le disque ; puisque la Lune présente toujours le même côté vers la Terre, n'est-ce pas cela que l'on nomme les librations ?

A : Oui, et elles sont au nombre de trois : en longitude, en latitude et diurne. La libration en longitude ( $\pm 7,8^\circ$ ) s'explique par la différence entre la rotation régulière de la Lune et sa vitesse de révolution autour de la Terre. Cette vitesse varie comme varie la distance Terre-Lune (loi des aires de Kepler) : rapide au périgée, la Lune est plus lente à l'apogée. Lorsque la Lune prend « de l'avance » sur son orbite, la rotation semble avoir du retard et une petite partie « du côté droit » de la Lune devient alors visible (fig. 2b). (« Côté droit » : vu par un observateur situé dans l'hémisphère nord de la Terre).

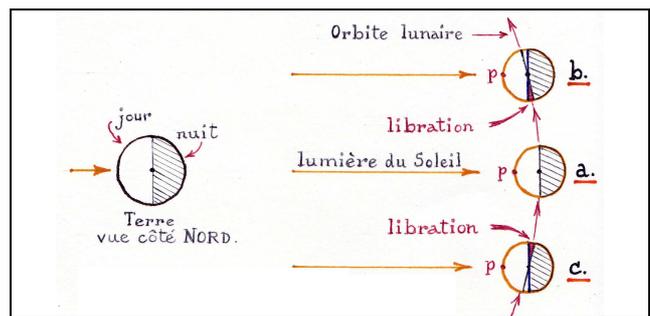


Fig.2. (le plan de l'écliptique est dans le plan de la feuille).

Quand la Lune est « en retard » sur son orbite, c'est un peu du « bord gauche » qui se dévoile (fig. 2c) ; dans les deux cas, on a accès à des secteurs éclairés de manière très rasante par le Soleil.

Les astronomes ont déterminé un point central de la face visible sur l'équateur de la Lune ; si l'orbite de notre satellite était rigoureusement circulaire (avec la rotation toujours constante), ce point, noté « p » resterait toujours immobile au centre du disque (fig. 2a).

La libration en latitude ( $\pm 6,7^\circ$ ) intervient dans le basculement apparent du disque dans le sens vertical : elle a pour cause l'inclinaison de l'axe de rotation de la Lune et, dans une mesure moindre, l'inclinaison du plan de l'orbite lunaire par rapport au plan de l'écliptique.

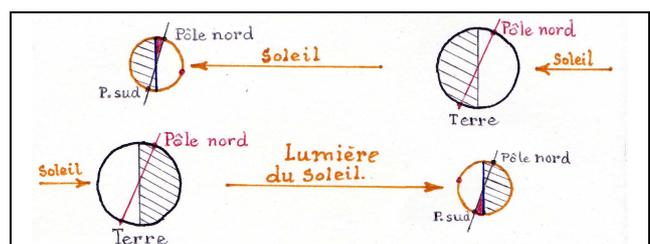


Fig.3. (les axes des pôles sont dans le plan de la feuille).

On peut donc observer un peu « en arrière » au-delà du pôle sud ou un peu au-delà du pôle nord suivant les moments de la lunaison.

La libration diurne ( $\pm 1^\circ$ ) a pour origine la position de l'observateur sur la Terre : un astronome qui voit la pleine Lune se coucher et un autre (situé  $180^\circ$  de longitude plus loin) qui la voit, peu après, se lever sont tous deux distants l'un de l'autre de 12 000 km au maximum, soit presque un diamètre terrestre ; même constatation si les deux personnages sont l'un dans l'extrême nord de l'Europe et l'autre dans l'océan, au sud du cap de Bonne Espérance, à condition que la Lune soit proche de l'équateur céleste .

Les deux librations principales montrent donc au fil des semaines le point « p » qui se promène en dansant lentement dans le secteur central du disque lunaire et surtout les points marginaux (fig.4) dont les distances au bord du limbe varient continuellement. Ces basculements permettent d'apercevoir des secteurs ou le terminateur reste visible malgré tout: sur la photo n° 1, le bord entre Platon et la Mer des Crises paraît assez accidenté ; sur la photo n° 2, c'est entre les voisinages de Tycho et de Grimaldi que l'on aperçoit des ombres au bord du disque.

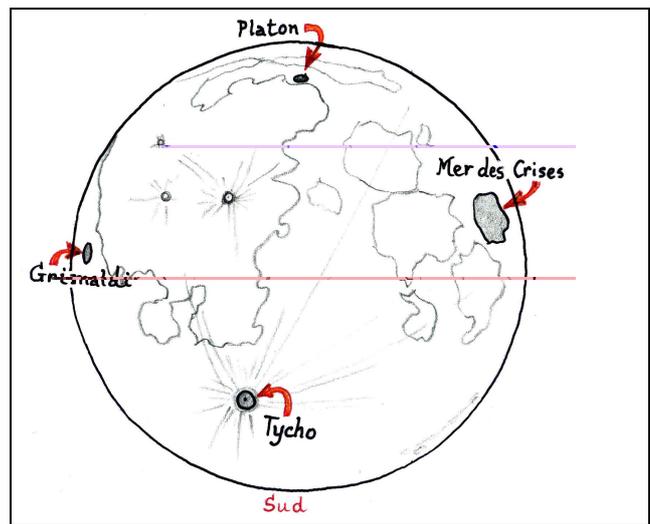


Fig.4.

L'analyse de ces images pourrait sans doute révéler d'autres subtilités. En tout cas, l'animateur tient à féliciter et remercier les stagiaires dont le sérieux, les connaissances préalables et la sagacité ont rendu cette petite enquête fort agréable. ■

## AVEC NOS ÉLÈVES

# Ombre d'une montagne sur la Lune

Pierre Causeret

Dans plusieurs ouvrages d'activités astronomiques, on propose de mesurer l'ombre d'une montagne sur la Lune pour déterminer sa hauteur. On peut se poser la question de la direction de cette ombre pour savoir comment effectuer la mesure.

Il suffit de regarder la photo ci-dessous pour voir que le problème n'est pas évident. La boule en polystyrène représente la Lune, les punaises sont les montagnes et l'ensemble est éclairé par le Soleil. Les ombres n'ont pas toutes la même direction.

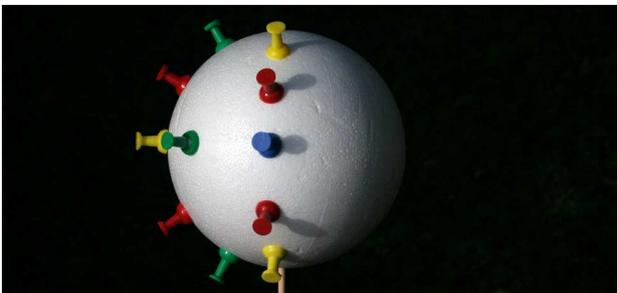


Fig.1. Globe lunaire et punaises "verticales" (les montagnes) éclairées par le Soleil.

On peut distinguer trois cas. Dans chaque cas, on modélisera une montagne par un segment vertical

(donc sur une droite passant par le centre de la Lune) et on cherchera son ombre<sup>1</sup>. Le Soleil sera considéré comme ponctuel.

### Premier cas, la montagne est sur l'« équateur »

Pour simplifier, on appelle ici « équateur » de la Lune l'intersection de la sphère lunaire avec le plan contenant l'observateur, le Soleil et le centre de la Lune. Il est légèrement différent du vrai équateur lunaire. Si l'on appelle C et D les « cornes » de la

<sup>1</sup> Un segment n'ayant pas d'épaisseur, un puriste me dira qu'il ne peut pas avoir d'ombre, ou que son ombre a une épaisseur nulle, ce qui est difficile à distinguer. Pour être plus précis, on cherchera donc l'intersection du plan contenant le segment montagne et le centre du Soleil avec la surface lunaire considérée comme sphérique.

Lune, notre faux équateur est perpendiculaire à la ligne des cornes [CD].

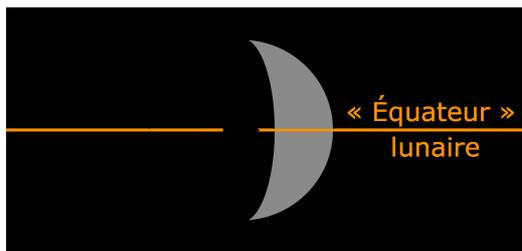


Fig.2. Premier cas : montagne A sur l'« équateur » lunaire. La flèche indique la direction de son ombre.

Si la montagne est sur l'équateur, il paraît évident pour des raisons de symétrie que son ombre suivra ce même équateur.

## Deuxième cas, la Lune est au premier ou au dernier quartier

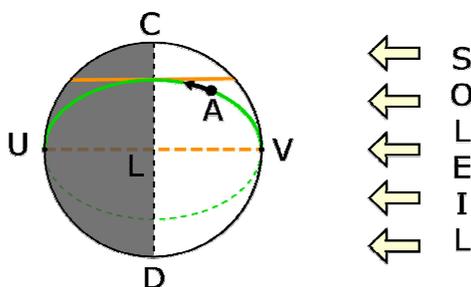


Fig.3. La montagne A n'est pas sur l'équateur et la Lune est au premier quartier. Pour l'observateur, son ombre n'est pas perpendiculaire à [CD].

Le Soleil est situé sur la droite (UV). Les rayons qui viennent frapper la montagne sont situés dans le plan AVL où L est le centre de la Lune. Ce plan qui contient la montagne verticale et le Soleil. L'ombre suivra donc l'intersection de ce plan avec la sphère lunaire, c'est-à-dire le grand cercle de diamètre [UV] passant par A, en vert sur la figure 3.

Dans les ouvrages proposant de mesurer la hauteur d'une montagne, il est courant de mesurer l'ombre perpendiculairement à la ligne [CD], ce qui ne correspond pas à la bonne direction. Mais plus la

montagne est proche du terminateur et plus l'erreur est faible. Les montagnes n'étant pas très escarpées sur la Lune, leur ombre n'est visible qu'à proximité du terminateur. L'erreur est donc limitée.

## Troisième cas, la phase est quelconque

On reprend la figure 3 en changeant le point de vue de l'observateur. Il suffit que celui-ci se déplace vers la droite pour voir une Lune gibbeuse ou vers la gauche pour une Lune en croissant, tout en restant dans le plan de l'« équateur » (figure 4).

Comme dans le cas précédent, l'ombre doit suivre le grand cercle de diamètre [UV] passant par la montagne A. Mais on ne voit plus [UV] comme sur la figure 3.

La remarque faite au cas précédent est toujours valable : plus la montagne est proche du terminateur, plus la direction de l'ombre est proche d'un parallèle à l'équateur.

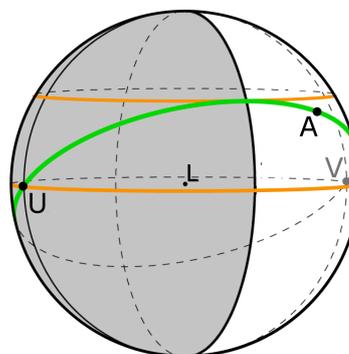


Fig.4. Cas général : l'ombre de la montagne A suit le grand cercle vert.

## Conclusion

Quand on veut déterminer la hauteur d'une montagne sur la Lune, on cherche en général un ordre de grandeur et non une mesure précise. Mesurer l'ombre perpendiculairement à la ligne des cornes n'apporte donc pas une erreur trop importante si la montagne en question est proche du terminateur.

## Réponse au remue méninges de la page 19

Sur la photo, la Terre et la Lune semblent être côte à côte alors que leur distance réelle vaut 30 fois le diamètre de la Terre. Terre, Lune et sonde sont presque alignées ; la Lune est donc devant ou derrière la Terre. Comment trouver laquelle des deux situations est la bonne ?

Le rapport des diamètres apparents sur l'image est de 3,5 (400 pixels/114 pixels). Or, le rapport du diamètre réel de la Terre sur le diamètre réel de la Lune donne 3,66 (en prenant le diamètre polaire de la Terre). C'est donc que, sur la photo, la Terre est trop petite comparée à la Lune, elle est donc plus éloignée : la Terre est en arrière plan et la Lune au premier plan. Ce qui fait que l'on voit la face cachée de la Lune. C'est sans doute pour cette raison que l'on ne reconnaît pas la surface de la Lune.

Il faut maintenant savoir si le nord est en haut ou en bas sur la photo. On devine un continent sur la surface terrestre qui est l'Australie. L'Antarctique est en bas à droite. Ce n'est pas évident mais j'ai vérifié sur le site de la NASA et c'est ce qui est dit... On trouve d'ailleurs cette photo sur Internet dans les deux sens, le nord en haut ou en bas.

On peut maintenant conclure : si la Lune est au premier plan et le nord en haut, depuis l'hémisphère nord de la Terre, on voit le côté gauche de la Lune éclairé, c'est donc le dernier quartier.

Pour vérifier, il suffit de savoir que cette image a été prise le 16 décembre 1992 qui est bien le jour du dernier quartier. En recherchant la trajectoire de Galileo, on peut vérifier que la Lune était bien entre la sonde et la Terre.

Voir la page : <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/pia00134>

## Naissances et Lune, une enquête en direct

Christophe Vuillemot et Pierre Causeret, planétarium du Jardin des Sciences de Dijon (21)  
(Cet article est déjà paru dans la revue *Planétariums de l'APLF*)

Le jardin des Sciences de Dijon abrite, dans le même bâtiment, un planétarium, une exposition permanente sur la Terre et l'Univers ainsi qu'une exposition temporaire conçue localement. Une des dernières en date s'intitulait "De Lune à l'autre" ; elle présentait la Lune sous ses différents aspects en abordant son observation, ses phases, son exploration, les éclipses, les calendriers mais aussi la mythologie, la symbolique, la peinture, la littérature et ... ses influences.

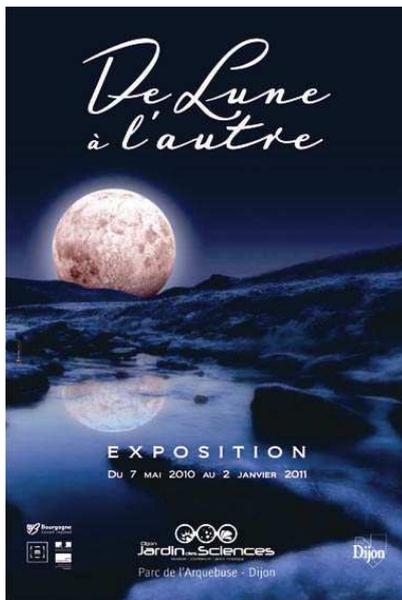


Fig.1. L'affiche de l'exposition.

Mais comment aborder le problème des influences de la Lune ? C'est un sujet délicat sur lequel beaucoup de personnes ont des idées arrêtées. Et par quel sujet commencer ? Il n'est pas facile de parler de jardinage, de météo ou de sommeil, les paramètres sont nombreux. Par contre, l'étude du nombre de naissances en fonction de la phase de la Lune est simple et de très nombreuses enquêtes de ce type ont déjà été réalisées. Elles ont toutes montré que le nombre de naissances ne variait quasiment pas avec l'âge de la Lune. Plus précisément, les quelques différences trouvées sont toujours inférieures à 2 % et sont indétectables dans une maternité.

Pour aborder le sujet dans l'exposition, nous aurions pu nous contenter de donner ces résultats mais souvent, ils ne suffisent pas à convaincre. Nous avons préféré proposer aux visiteurs de participer eux-mêmes activement à une étude à partir de leur date de naissance. Un des buts importants de cette opération était aussi de montrer, en particulier aux jeunes, comment on étudie scientifiquement une question, si possible sans a priori.

### Principe de l'étude

On appelle âge de la Lune le nombre de jours écoulés depuis la dernière nouvelle Lune. Il varie de 0 à 29 (0 pour la nouvelle Lune, 7 pour le premier quartier, 15 pour la pleine Lune, 22 pour le dernier quartier).

Chaque visiteur devait d'abord trouver l'âge de la Lune pour le jour de sa naissance. Pour cela, deux solutions étaient envisageables :

- on tape sa date de naissance sur un clavier, un ordinateur calcule l'âge de la Lune, ajoute ce résultat aux précédents et affiche l'histogramme du nombre de naissances en fonction de l'âge de la Lune ;

- on lit l'âge de la Lune sur un calendrier de son année de naissance, ce qui nécessite de fabriquer toute une série de calendriers.

La première solution est la plus sûre et engendre moins d'erreurs. La deuxième demande davantage de participation au visiteur mais celui-ci peut aussi plus facilement se tromper. Nous avons choisi la deuxième solution qui est plus visuelle.

Nous avons donc fabriqué une série de calendriers, de 1920 à 2010, indiquant, pour chaque date, le jour de la semaine, l'âge de la Lune et sa forme, à partir des données de l'IMCCE (figure 2). Ce fut un gros travail et le résultat est à disposition de tous ceux qui voudraient l'utiliser<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Ces calendriers sont disponibles en PDF sur le site du Rectorat de l'Académie de Dijon à l'adresse [www.ac-dijon.fr](http://www.ac-dijon.fr) (ressources pédagogiques / art et culture / astronomie / dossiers / enquête) ou en demandant aux auteurs.

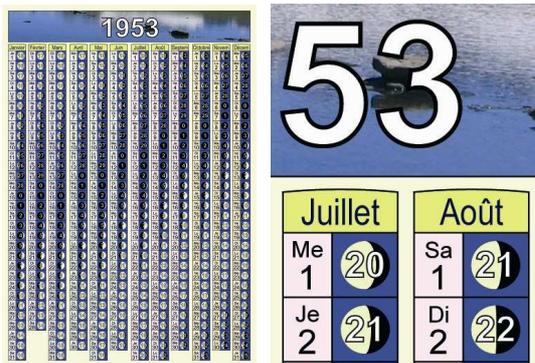


Fig.2. Le calendrier de 1953, avec un agrandissement d'une petite partie à droite. On peut lire que, le 1er juillet 1953, la Lune avait 20 jours et c'était un mercredi. Le dessin montre la forme de la Lune (gibbeuse décroissante).

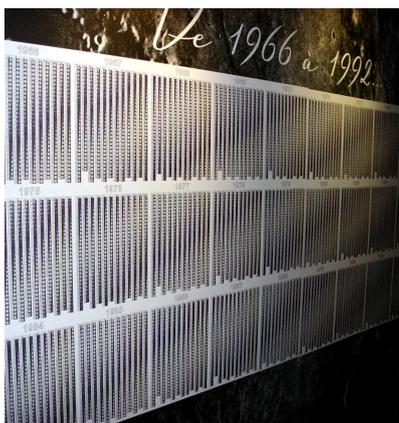


Fig.3. Une partie des 80 calendriers affichés.

Ces calendriers ont été imprimés sur papier peint et collés à la fin de l'exposition (figure 3).

Pour enregistrer les résultats, nous avons disposé 30 tubes en plexiglas, numérotés de 0 à 29. Chaque visiteur recevait à l'entrée une boule de cotillon et devait la placer dans le bon tube après avoir cherché sur les murs de calendriers l'âge de la Lune correspondant à sa date de naissance (figures 4 et 6). L'histogramme se construisait donc au fur et à mesure sous les yeux des visiteurs. Certains revenaient même régulièrement pour voir où en était l'expérience.

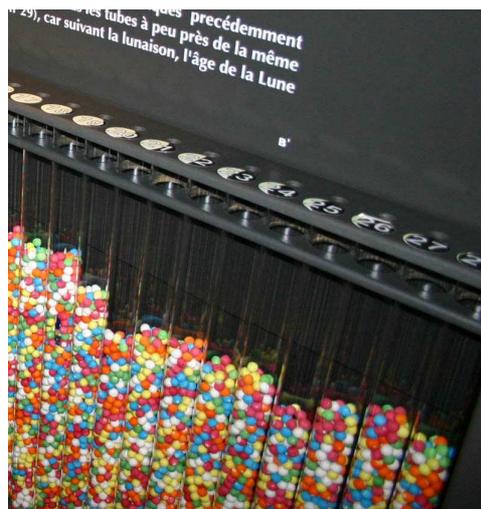


Fig.4. Une partie du dispositif expérimental.

### Participez à une étude statistique sur les naissances et le calendrier lunaire :

- > Retrouvez votre date de naissance sur les calendriers
- > Repérez "l'âge" de la Lune correspondant à votre jour de naissance à l'aide des symboles, par exemple :

- 0 - Nouvelle Lune
- 7 - Premier quartier
- 15 - Pleine Lune
- 22 - Dernier quartier

- > Placez dans le tube correspondant à votre jour de naissance, la boule qui vous a été distribuée à l'accueil.

Au fur et à mesure du déroulement de l'exposition vous verrez le niveau monter dans différents tubes et vous pourrez savoir s'il y a plus de naissances en nouvelle Lune, au premier quartier, en pleine Lune ou au dernier quartier...

Si l'enquête donne les mêmes résultats que les études statistiques précédemment réalisées, nous devrions voir le niveau monter dans tous les tubes à peu près de la même manière, à l'exception du dernier tube (le n°29) car, suivant la lunaison, l'âge de la Lune varie de 0 à 28 ou de 0 à 29.

Fig.5. Le texte explicatif placé au-dessus des tubes.

L'exposition ayant reçu plus de 10 000 visiteurs, les tubes se sont vite remplis. Au bout de 6 mois, le tube "pleine Lune" était plein, dépassant les autres d'environ 25% (figure 6a). Nous avons alors tout vidé pour repartir à zéro. C'est ensuite le tube "nouvelle Lune" qui a commencé à se remplir plus rapidement, rattrapé après quelques semaines par d'autres tubes dont le "pleine Lune" (figure 6b).



**Fig.6.** Le dispositif expérimental. Après 6 mois, le tube "pleine Lune" était plein (en haut). L'expérience a été remise à zéro et c'est le tube "nouvelle Lune" (âge = 0) qui s'est rempli le plus rapidement au début, rattrapé ensuite par d'autres (en bas). Il est normal que le dernier tube (âge de la Lune = 29) soit beaucoup moins rempli puisque la lunaison dure 29,5 jours.

Nos résultats ne correspondaient donc pas aux autres enquêtes, menées avec plus de précautions. Notre protocole n'était donc pas fiable et certains visiteurs ont dû repartir avec l'idée qu'il y a davantage de naissances à la pleine Lune, malgré le texte explicatif (figure 5).

Les résultats obtenus par l'expérience n'étant, de toute évidence, pas le reflet de la réalité, il fallait tenter de comprendre les erreurs les plus courantes et le meilleur moyen d'y parvenir était de s'immerger dans les groupes scolaires qui visitaient l'exposition. Mais, là encore, il semblait nécessaire de savoir comment les erreurs étaient commises. Pour cette raison, avec certains groupes, l'expérience était détaillée et expliquée alors que pour d'autres groupes, la participation se faisait de façon autonome. Et le constat effectué est que cette expérience qui avait pour objectif la démonstration

qu'astronomiquement parlant, les naissances ne sont pas régies par les phases de la Lune, contrairement aux idées reçues, reflétait surtout des comportements sociologiques.

Ainsi, avec les groupes qui avaient bénéficié d'explications, les erreurs constatées étaient les suivantes :

- non assimilation des explications conduisant à reproduire l'ensemble des erreurs constatées en visites libres ;
- certains élèves souhaitant faire l'expérience pour leurs parents, s'apercevaient après coup qu'ils s'étaient trompés de date (souvent d'année) ;
- certains élèves se contentaient de glisser leur boule dans la même colonne que le copain ou la copine (notamment dans les classes de collèges).

Pour les groupes en visite libre :

- non assimilation des explications et de l'expérience.
- Les élèves glissaient leur boule dans la colonne correspondant au jour de leur naissance (né le 5 par exemple, qui glisse sa bille dans la colonne 5).
- les élèves se trompaient d'années en consultant les tableaux ;
  - certains élèves se trompaient en voulant être le premier à positionner sa bille (erreur constatée en classe de primaire) ;
  - certains élèves positionnant leur bille dans la colonne qu'ils croyaient correspondre au maximum de naissances (donc souvent la colonne pleine Lune).

Outre ces erreurs, nous avons pu constater que dès lors que la colonne pleine Lune contenait un surplus visible, les visiteurs passaient plus facilement outre les explications et positionnaient leur bille dans la colonne, augmentant encore plus le déséquilibre.

Au final, on peut conclure que cette expérience ne peut avoir de valeur que dans le cadre d'animations bien contrôlées. En visite libre, cette expérience fait plutôt ressortir le côté croyance et va à l'encontre de l'objectif fixé.

Pour cette raison et afin d'avoir un résultat sur une période plus longue, nous avons décidé de maintenir cette expérience dans un cadre différent. Après la fermeture de l'exposition, le matériel sera positionné en salle d'animation et l'accès aux différentes colonnes se fera sous le contrôle de l'animateur. ■

## La face cachée de la Lune

Béatrice Sandré

Pourquoi la Lune nous présente-t-elle toujours la même face ? À cause des forces de marée de la Terre sur la Lune lit-on souvent. Béatrice Sandré nous détaille ici les calculs.

### Champ de marée sur la Lune

Un point matériel de masse  $m$  est immobile en un point  $A$  de la surface lunaire. Faisons le bilan des forces qui s'exercent sur lui. Outre la réaction du sol, il est soumis à la force de gravitation exercée par la Lune. Mais la Lune ayant un mouvement de rotation par rapport au référentiel « lunocentrique », on doit ajouter à la force de gravitation une force d'inertie centrifuge. Comme sur Terre, nous appellerons poids de  $m$  la somme de la force de gravitation lunaire et de cette force d'inertie centrifuge.

Le bilan de force serait terminé si la Lune était seule dans l'univers. Mais la Terre, le Soleil et les autres astres exercent sur chaque point de la Lune un champ de gravitation  $\vec{g}_{\text{ext}}$  qui vaut  $\vec{g}_{\text{Aext}}$  au point  $A$ .

Ce champ a deux effets :

- le point matériel  $m$  est soumis à la force

supplémentaire  $m \vec{g}_{\text{Aext}}$

- la Lune toute entière est soumise à la force

$$\iiint_{\text{Lune}} \vec{g}_{\text{ext}} dm$$

D'après la loi de Newton, le centre d'inertie  $C$  de la Lune est animé d'un mouvement approximativement elliptique autour de la Terre (approximativement seulement à cause du Soleil et des autres astres) donnant au référentiel lunocentrique un mouvement de translation

d'accélération  $\frac{1}{M_L} \iiint_{\text{Lune}} \vec{g}_{\text{ext}} dm$ . Comme son

expression le montre, cette accélération est la valeur moyenne de  $\vec{g}_{\text{ext}}$  sur l'ensemble de la Lune. Nous

la noterons  $\vec{g}_{\text{Cext}}$  car elle est pratiquement égale à

$\vec{g}_{\text{ext}}$  au point  $C$ .

Il est donc nécessaire de reprendre le bilan des forces en ajoutant la force  $m \vec{g}_{\text{Aext}}$  et la force d'inertie d'entraînement due au caractère non galiléen du référentiel lunocentrique,  $-m \vec{g}_{\text{Cext}}$ . La somme de ces deux forces,  $m \left( \vec{g}_{\text{Aext}} - \vec{g}_{\text{Cext}} \right)$  est appelée force de marée en  $A$  et  $\vec{g}_{\text{Am}} = \left( \vec{g}_{\text{Aext}} - \vec{g}_{\text{Cext}} \right)$  est le champ de marée au point  $A$ .

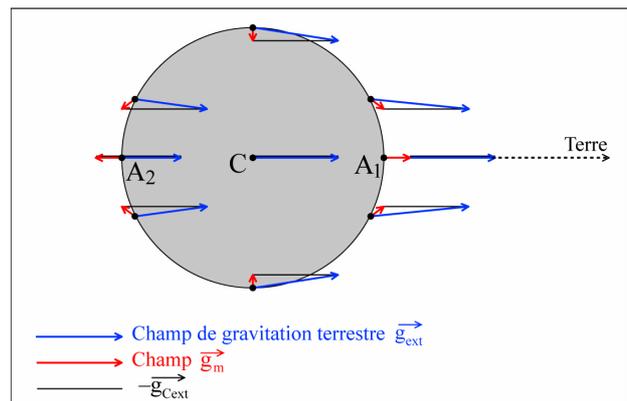


Fig.1.

La figure 1 représente le champ de marée créé par la Terre en quelques points de la surface lunaire.

$A_1$  est plus près de la Terre que  $C$  ;  $\vec{g}_{\text{A1ext}} > \vec{g}_{\text{Cext}}$  et le champ de marée en  $A_1$  est orienté vers l'extérieur de la Lune.  $A_2$  est plus loin de la Terre que  $C$  ;  $\vec{g}_{\text{A2ext}} < \vec{g}_{\text{Cext}}$  et le champ de marée en  $A_2$  est encore orienté vers l'extérieur de la Lune.

C'est en  $A_1$  et  $A_2$  qu'il est maximum.

Le calcul de l'encadré 2 montre que le champ de marée créé par le Soleil (et à fortiori par les autres astres) est négligeable devant celui créé par la Terre.

La surface lunaire étant légèrement déformable, la Lune prend la forme d'un ballon ovale dont le grand axe est pointé vers la Terre. Le champ de marée a

détruit la symétrie sphérique de la Lune et pour modéliser facilement cette déformation, nous ajouterons à la sphère Lune deux masses  $M$  diamétralement opposées (figure 2). Mais la non fluidité de la Lune ne permet pas à la déformation de se propager. Les masses  $M$  sont liées à deux points de la surface lunaire.

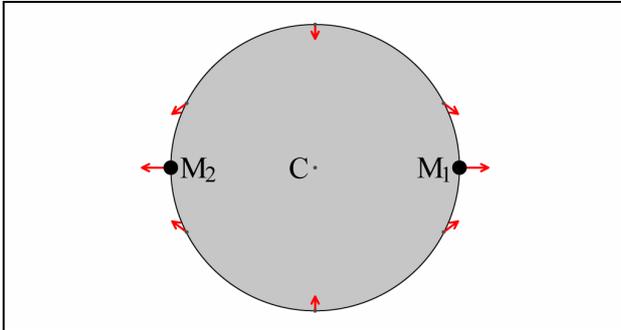


Fig.2.

### Moments des forces de marées

Comment s'oriente la Lune ainsi déformée dans le référentiel lunocentrique ? Pour répondre à cette question, il suffit de considérer la somme des moments des forces extérieures et d'inertie d'entraînement qui s'exercent sur chaque point de la Lune et donc la somme des moments des forces de marée. Si la Lune avait gardé sa symétrie sphérique, la somme des moments des forces de marées serait nulle. Mais comme le montre les figures 3a et 3b, la présence des deux masses  $M$  crée un couple qui ramène à chaque instant le grand axe de la Lune dans la direction de la Terre. La vitesse de rotation de la Lune par rapport à son référentiel barycentrique est identique à la vitesse angulaire de son barycentre autour de la Terre. Le point  $M_1$  reste face à la Terre et la demi-sphère de sommet  $M_2$  reste invisible aux terriens et on l'appelle face cachée de la Lune.

Les périodes de rotation de la Lune sur elle-même et de son centre autour de la Terre sont égales

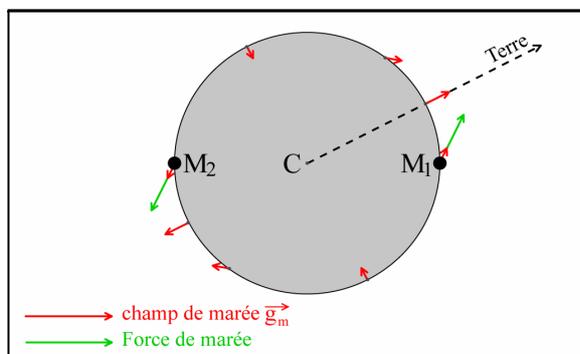


Fig.3a.

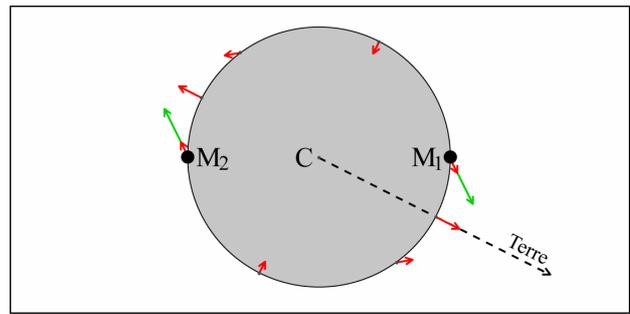


Fig.3b.

### Évolution du système Terre-Lune

La Lune exerce elle aussi des marées sur la Terre. La Terre étant en partie fluide, la déformation se déplace à sa surface. Ce sont les marées océaniques. Elles sont à l'origine de frottements sur le fond des océans ; l'énergie du système Terre-Lune diminue progressivement et les caractéristiques  $\Omega$ ,  $\omega$ , et  $D$  du système (voir encadré 1) se modifient.

Pour simplifier le problème sans changer la nature des résultats, nous supposons l'axe de rotation de la Lune parallèle à celui de la Terre (la Lune est dans le plan de l'équateur) et les mouvements de la Terre et de la Lune tous uniformes.

$\Omega$  et  $D$  sont liés l'un à l'autre par la troisième loi de Kepler :  $\Omega^2 D^3 = G(M_T + M_L)$  est une constante du mouvement. Si  $\Omega$  diminue,  $D$  augmente et inversement.  $M_T$  étant bien supérieure à  $M_L$ , pour simplifier les expressions nous écrirons :  $\Omega^2 D^3 = GM_T$

On applique le théorème du moment cinétique barycentrique au système Terre-Lune. Le champ de forces extérieures (attraction du Soleil et des autres astres) étant quasi uniforme, son moment cinétique  $\vec{L}$  est constant.

Si on assimile la Terre et la Lune à des sphères homogènes de moment d'inertie  $J = \frac{2}{5} MR^2$ ,

$$\vec{L} = \frac{2}{5} M_T R_T^2 \vec{\omega} + \frac{2}{5} M_L R_L^2 \vec{\Omega} + M_L D^2 \vec{\Omega}$$

La distance  $D$  étant très grande devant  $R_T$  et les vecteurs rotation assimilés à des vecteurs parallèles et de même sens,

$$L = \frac{2}{5} M_T R_T^2 \omega + M_L D^2 \Omega \text{ et avec la troisième loi}$$

$$\text{de Kepler, } L = \frac{2}{5} M_T R_T^2 \omega + M_L \sqrt{GM_T} \sqrt{D}$$

$L$  est une deuxième constante du mouvement. Son expression montre que  $\omega$  diminue si  $D$  augmente et inversement.

Il nous reste à comparer la « rapidité » avec laquelle  $\omega$  et  $\Omega$  varient avec  $D$ .

$$\frac{d\omega}{dD} = -\frac{5 M_L \sqrt{GM_T}}{4 M_T R_T^2 \sqrt{D}}$$

$$\frac{2d\Omega}{\Omega} + \frac{3dD}{D} = 0$$

$$\frac{d\Omega}{dD} = -\frac{3 \Omega}{2 D} = -\frac{3 \sqrt{GM_T}}{2 D^2 \sqrt{D}}$$

On retrouve bien sûr que  $\frac{d\Omega}{dD}$  et  $\frac{d\omega}{dD}$  sont

négatives. De plus,  $\frac{d\omega}{d\Omega} = \frac{5 M_L D^2}{6 M_T R_T^2} \approx 300$

$\omega$  varie beaucoup plus vite que  $\Omega$ .

L'étude des anneaux de croissance des coraux fossiles montre qu'il y a 500 millions d'années, la durée du jour n'était que de 21 heures actuelles ; la perte d'énergie du système se traduit par une

diminution de  $\omega$ , donc une diminution 300 fois plus faible de  $\Omega$  et une augmentation de  $D$ . La Lune s'éloigne de la Terre. Actuellement  $\omega$  est supérieur à  $\Omega$  ; il arrivera donc un moment où la vitesse de rotation de la Terre rejoindra celle de la Lune. Le jour terrestre sera identique au mois lunaire et la Terre présentera toujours la même face à la Lune. Un tel phénomène de synchronisation a dû se produire pour la Lune dans son histoire antérieure. De même qu'aujourd'hui la Terre n'est visible que de la moitié de la Lune, dans des temps très lointains, la Lune ne sera plus visible que de la moitié de la Terre et il n'y aura plus de marées océaniques. (Il restera néanmoins les marées dues au Soleil, de moindre amplitude).

Mais il est probable que le Soleil évoluera plus rapidement et que transformé en géante rouge il englobe Terre et Lune avant que la synchronisation ne soit établie.

### Encadré 1

Caractéristiques actuelles du système Terre Lune

Les masses  $M_T = 6 \times 10^{24}$  kg et  $M_L = 7 \times 10^{22}$  kg

les rayons  $R_T = 6400$  km et  $R_L = 1700$  km

Les périodes sidérales de rotation  $T_T = 23,9$  heures et  $T_L = 27,3$  jours

Vitesses angulaires  $\omega = \frac{2\pi}{T_T}$  et  $\Omega = \frac{2\pi}{T_L}$

Distance Terre-Lune  $D = 380\,000$  km

### Encadré 2

$M_T$  étant la masse de la Terre,  $D$  la distance du centre de la Terre au centre de la Lune et  $R$  le rayon de la Lune et  $G$  la constante gravitationnelle,  $g_{\text{Cext}} = G \frac{M_T}{D^2}$ ,  $g_{A_1\text{ext}} = G \frac{M_T}{(D-R)^2}$ ,  $g_{A_2\text{ext}} = G \frac{M_T}{(D+R)^2}$

En  $A_1$ ,  $g_{A_1\text{m}} = g_{\text{Cext}} \left( \frac{D^2}{(D-R)^2} - 1 \right) = G \frac{M_T}{D^2} \left( \left( 1 - \frac{R}{D} \right)^{-2} - 1 \right) = G \frac{M_T}{D^2} \left( \frac{2R}{D} \right)$  en négligeant les termes

d'ordre 2 en  $\frac{R}{D}$  très petit devant 1.

Pour comparer les champs de marée lunaires créés par la Terre et le Soleil, il suffit de comparer  $\frac{M_T}{D^3}$  et  $\frac{M_S}{a^3}$ ,

$M_S$  étant la masse du Soleil et  $a$  la distance Soleil Lune.

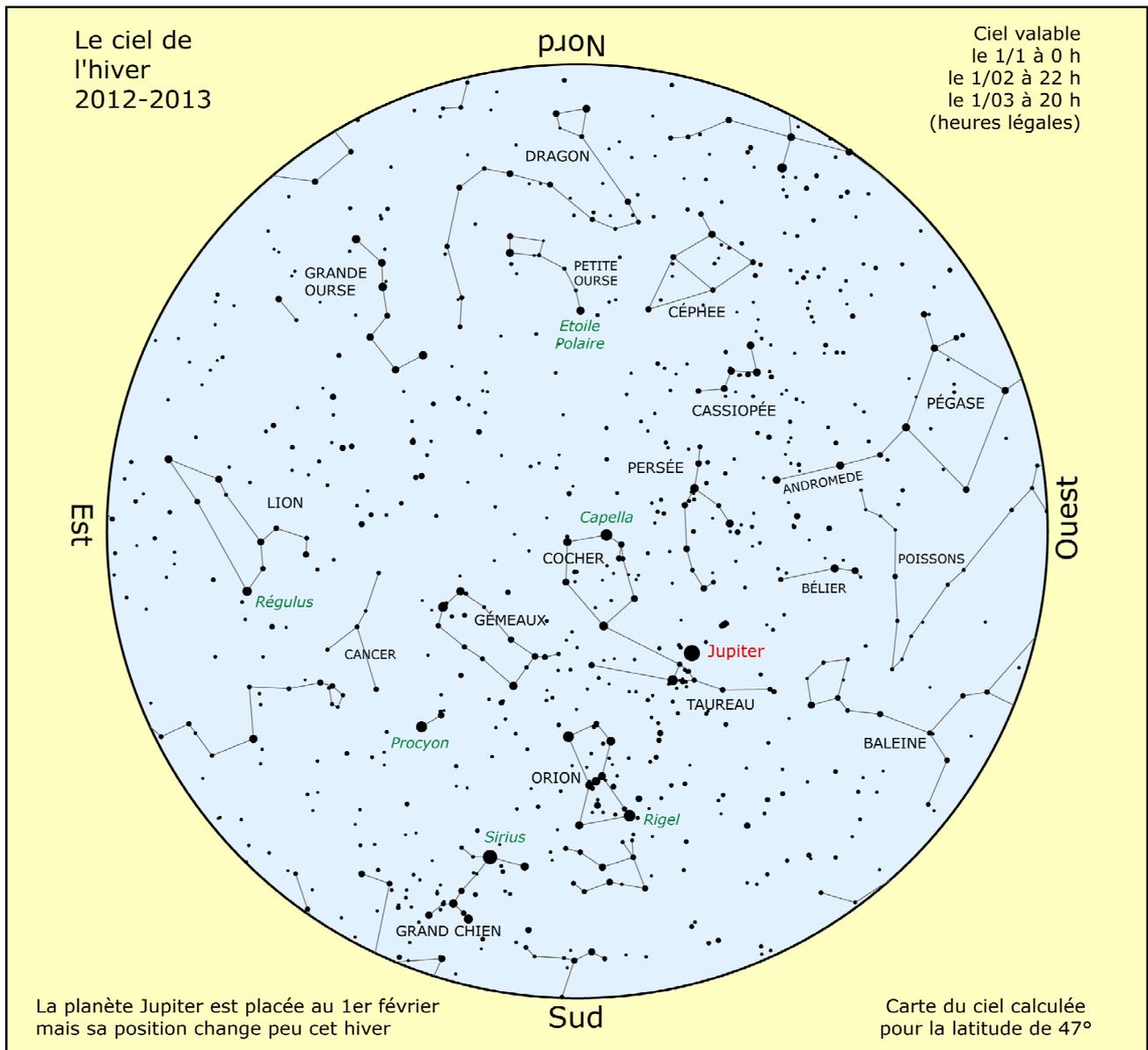
$M_T = 6 \times 10^{24}$  kg,  $M_S = 2 \times 10^{30}$  kg

$D = 380\,000$  km,  $a = 150 \times 10^6$  km

$$\frac{M_T}{M_S} \times \left( \frac{a}{D} \right)^3 = 2 \times 10^2$$

Sur la Lune, le champ de marées solaire peut être négligé devant le champ de marée terrestre.

# Le ciel de l'hiver 2012-2013



## Visibilité des planètes

**Jupiter** est bien visible le soir pendant tout l'hiver dans la constellation du Taureau. C'est le moment de suivre le mouvement de ses satellites.

**Saturne** est à observer le matin, dans la constellation de la Balance (opposition fin avril).

On peut apercevoir **Mars** le soir au début de l'hiver peu après le coucher du Soleil au sud-ouest.

**Vénus** est encore visible le matin à l'aube en janvier, côté est, elle passe derrière le Soleil fin mars.

**Mercur**e est à rechercher le soir mi février une demi heure à une heure après le coucher du Soleil à l'horizon ouest.

La comète **C/2011 L4 Panstarrs** sera à observer fin mars et sera sans doute visible à l'œil nu.

## Quelques événements (heures légales)

02/01 : périhélie. La Terre passe au plus près du Soleil, à 147 098 159 km.

03/01 : maximum des Quadrantides (étoiles filantes).

22/01 (matin) : rapprochement Lune-Jupiter (un degré les sépare à 5 h à leur coucher).

8/02 (soir) : rapprochement Mercure Mars (0,3°) difficile à observer à l'horizon O-S-O au coucher du Soleil.

10/02 : nouvelle Lune et nouvel an chinois.

18/02 et 17/03 (soir) : rapprochement Lune-Jupiter-Pléiades.

20/03 : équinoxe de printemps à 12 h 01.

## Lune

Pleine Lune : 25/12, 27/01, 25/02.

Nouvelle Lune : 11/01, 10/02, 11/03.

# AVEC NOS ÉLÈVES

## L'astronomie du bout des doigts, « l'équerre d'astronome »

Jacques AURIAU, Astronomie Côte Basque

L'auteur nous propose une activité qu'il met en œuvre dans des clubs d'astronomie du Pays-Basque. Elle permet de visualiser par pliage un certain nombre d'angles et de lignes que l'on retrouve sur le globe terrestre et dans le mouvement apparent du Soleil. Cette méthode mériterait d'être testée en milieu scolaire.

### Pourquoi ce titre ?

Lors d'un exposé, pour répondre à une question qui m'a été posée : « comment peut-on situer dans le ciel la position du Soleil avec précision le jour de l'été », m'est venue l'idée d'utiliser un pliage papier tiré de mes notes de conférence, et j'ai pu répondre à la question.

### Quelle est ma démarche ?

Que les personnes s'approprient, grâce au corps et à des gestes simples, des notions fondamentales de l'astronomie :

- pour l'astronomie de jour, ce sera la course du Soleil, les mouvements de la Terre et leurs conséquences ;
- pour les cadrans solaires, leur fonctionnement (heure, orientation, positionnement ...)
- pour l'astronomie de nuit, la course des planètes, les élongations, les rétrogradations, les rotations de champs, l'astrométrie, les coordonnées, etc.

### Le matériel :

- une feuille de papier format A4 et deux mains valides ;
- un plan horizontal ou une main horizontale ;
- une paire de ciseaux et un stylo feutre.

### Manipulation :

Après chaque étape, il sera posé une question en lien avec le pliage effectué, afin de m'assurer d'une bonne terminologie.

On demande de plier une feuille en deux n'importe comment (pas bord à bord), [note de l'auteur : pour vérifier si l'interlocuteur est de style scolaire dans son apprentissage] (figure 1).

Question (Q) : comment peut-on appeler cette ligne de pliure en utilisant des termes de géométrie ?

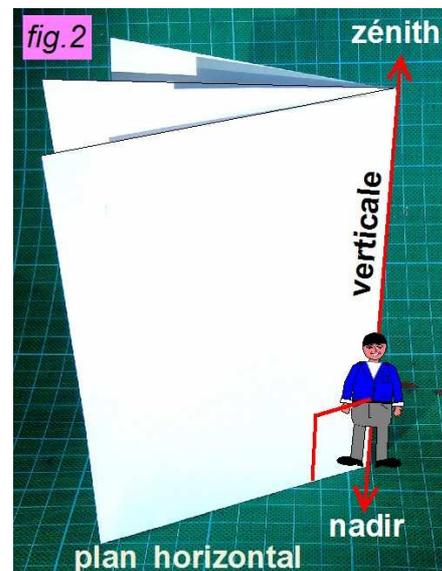
Réponse attendue (RA) : il s'agit d'une ligne droite (ou un segment).



Q : si je pose cette droite au contact d'une surface plane et horizontale, comment s'appellera cette droite ?

RA : une droite horizontale (ou un segment horizontal).

Pliez cette droite horizontale bord à bord (figure 2).



Q : si je laisse l'ancienne ligne horizontale pliée dans un plan horizontal, comment s'appelle la nouvelle ligne de pliure qui ira de haut en bas ?

RA : une droite perpendiculaire ou une droite verticale.

Q : quelle est la direction montrée par cette droite verticale dirigée vers le haut ?

RA : le zénith (de l'arabe zana'a, monter).

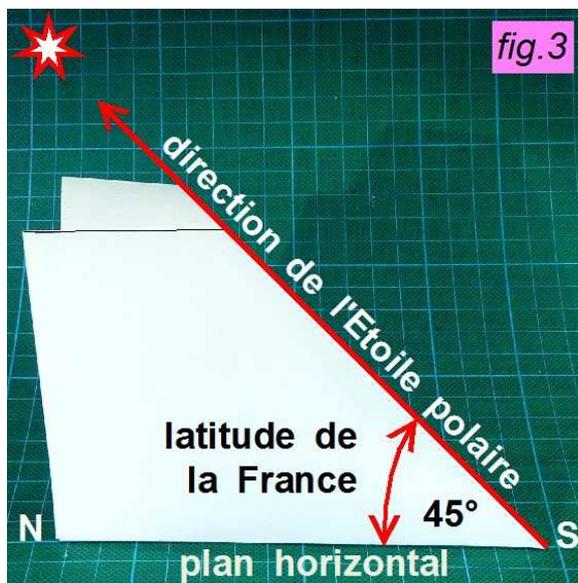
Q : quelle est la direction montrée par cette droite verticale dirigée vers le bas ?

RA : le nadir (mot arabe pour opposé).

Q : quel est l'angle formé entre la droite horizontale et cette perpendiculaire ? (question pour les enfants)

RA : un angle droit.

Pliez cet angle droit en mettant bord à bord la droite horizontale et la droite perpendiculaire (figure 3).



Q : quelle est la valeur de cet angle obtenu ?

RA : 45°.

Q : si je place l'arête dans un plan vertical contenant la direction nord-sud (la pointe vers le sud), que pointe cette arête vers le haut ?

RA : l'étoile Polaire.

En France, la hauteur de l'étoile Polaire est de 45° à la latitude de Bordeaux.

On peut, de manière simplifiée, dire que la hauteur de l'étoile polaire au-dessus de l'horizon est égale à la latitude du lieu.

Je plie cet angle de 45° en deux, soigneusement bord à bord (figure 4).



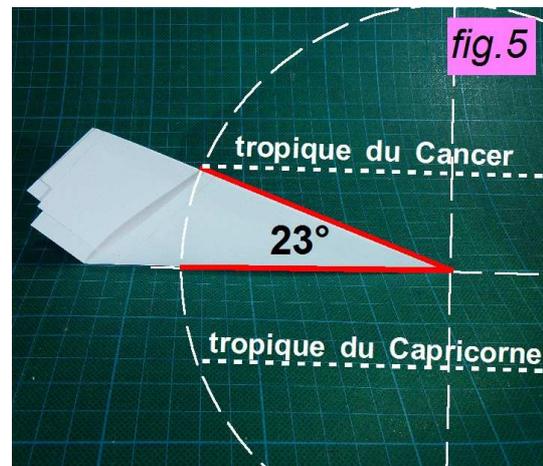
Q : quelle est la valeur de cet angle ?

RA : 22,5° (que je propose d'arrondir à 23°).

Q : à quoi correspondent ces 23 ?

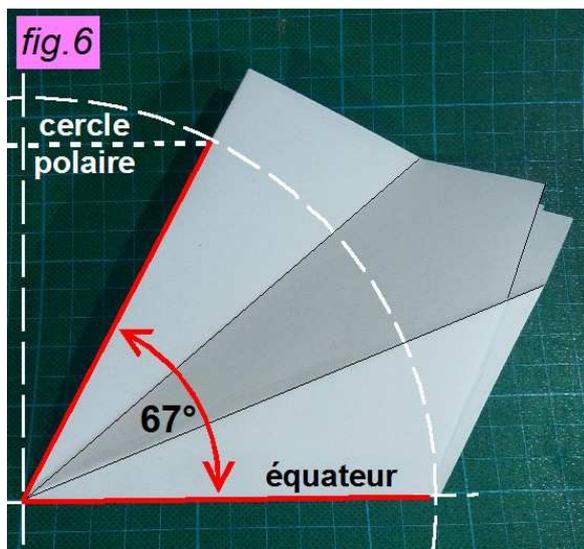
RA : c'est la valeur approchée (23° 26') de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport à la perpendiculaire au plan de l'écliptique dans son voyage au cours de l'année.

Cet angle de 23° est la valeur approchée de la latitude des tropiques par rapport à l'équateur terrestre (figure 5).



Le terme tropique a pour origine le mot grec « tropikos » (retourner) : c'est au moment des solstices (du verbe latin sistere : sembler s'arrêter) que le Soleil, arrivé à la verticale des tropiques, entame sa « marche en arrière ».

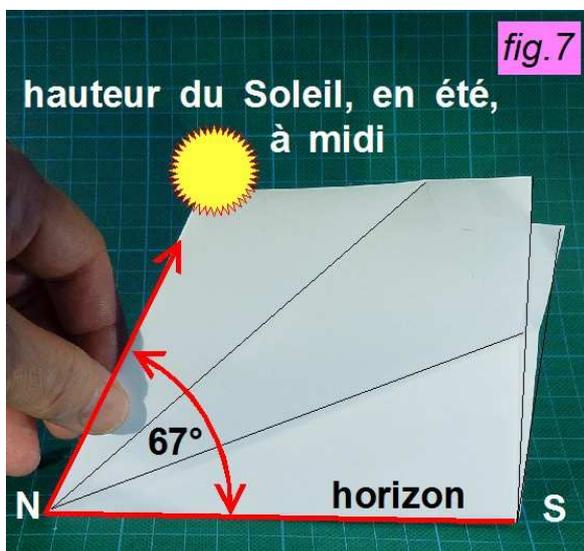
Je déplie la feuille et ne garde que 3 sections de notre pliage (3 × 22,5 = 67,5 (que j'arrondis à 67), nombre approchant de la latitude des cercles polaires (66° 33') (par rapport à l'équateur terrestre) (figure 6).



Cercles polaires : cercles déterminant, au moment des solstices, des zones polaires soit totalement éclairées sur plusieurs jours, soit totalement dans la nuit sur plusieurs jours.

Le cercle polaire arctique tire son nom du mot arktos (ours).

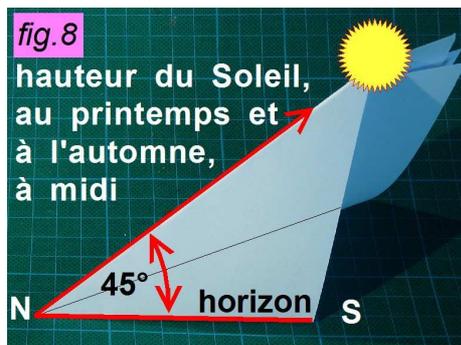
Nous gardons ces trois mêmes sections (angle arrondi à 67°), que nous plaçons dans un plan vertical contenant la direction nord-sud, une arête placée dans le plan horizontal (la pointe vers le nord), (figure 7).



Q : que montre l'arête montante vers le sud de cet angle de 67° ?

RA : la hauteur du Soleil à midi solaire le jour de l'été.

Nous replions une des trois sections pour avoir un angle de 45° et gardons la même position (figure 8).



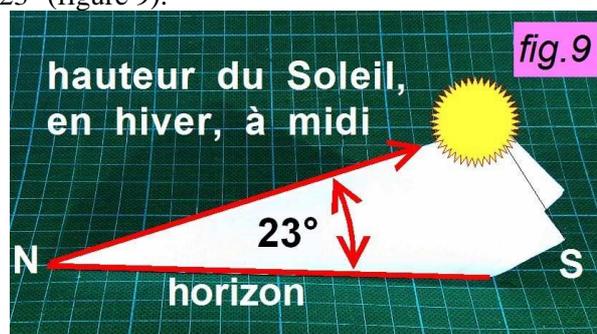
Q : quelle est la direction montrée par cette arête ?

RA : la direction du Soleil à midi solaire, les jours de l'équinoxe de printemps et de l'équinoxe d'automne.

Équinoxe : equi = égalité ; nox = nuit.

Tous les habitants de la Terre ont les mêmes heures de lever et de coucher de Soleil et la durée d'ensoleillement est égale à la durée de la nuit (12 h + 12 h).

Nous replions pour retrouver notre angle arrondi à 23° (figure 9).



Q : quelle direction montre maintenant, par rapport à l'horizon, l'arête montant vers le sud ?

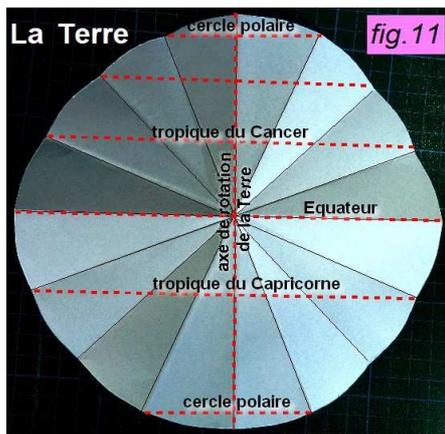
RA : la hauteur du Soleil à midi solaire le jour de l'hiver.

Avec les ciseaux, découpez le pliage (suivant la photo) en veillant à ce que toutes les épaisseurs de papier soient coupées en même temps, et en donnant une découpe légèrement arrondie (figure 10).



Dépliez le pliage.  
On va obtenir une forme circulaire avec une série de plis à  $22,5^\circ$  ( $23^\circ$ ).  
Elle représentera la Terre.

Je trace suivant une ligne de pliage de haut en bas l'axe de rotation de la Terre.  
Mettre le Pôle Nord en haut et le pôle Sud en bas le long de ce trait (figure 11).



Je trace une ligne perpendiculaire de droite à gauche suivant une ligne de pliage afin d'obtenir l'équateur. À partir de la première ligne de pliage au dessus de l'équateur qui intercepte le cercle extérieur, je vais tracer une parallèle à l'équateur jusqu'à l'autre ligne de pliage.

Q : comment s'appelle cette ligne remarquable ?  
RA : ce parallèle remarquable s'appelle le Tropique du Cancer.

Q : d'où vient le terme « Cancer » ?  
RA : le jour où le Soleil se trouve à la verticale du Tropique (solstice de juin), vu depuis la Terre, le Soleil se trouve devant les étoiles de la constellation du Cancer (historiquement).

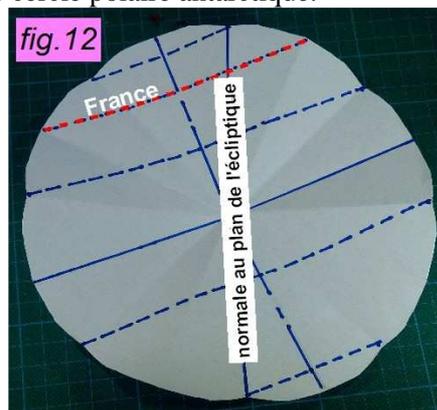
On fait la même chose pour l'hémisphère sud  
Q : qu'obtient-on ?  
RA : le Tropique du Capricorne.

Q : d'où vient le terme « Capricorne » ?

RA : le jour où le Soleil se trouve à la verticale du Tropique (solstice de décembre), vu depuis la Terre, le Soleil se trouve devant les étoiles de la constellation du Capricorne (historiquement).

La même chose au pôle Nord.  
Q : qu'obtient-on ?  
RA : le cercle polaire arctique.

La même chose au pôle Sud.  
Q : qu'obtient-on ?  
RA : le cercle polaire antarctique.



La ligne rejoignant les pliages situés à égale distance entre le pôle N et l'équateur nous permettra de tracer le parallèle de la France ( $45^\circ$  à Bordeaux).

À l'aide de cette construction, nous sommes passés par plusieurs inclinaisons des arêtes représentant un rayon de Soleil dirigé vers la Terre. L'ensemble de ces inclinaisons représentant la variation de la hauteur du soleil au cours de l'année, perçue depuis la France, correspond à des variations de climats (climat vient d'un mot grec signifiant incliné). Les régions climatiques sont bien déterminées par l'inclinaison avec laquelle les rayons solaires arrivent jusqu'au sol, et leur durée d'ensoleillement.

Pour mémoire, pour la France, la durée moyenne d'ensoleillement est de 16 h en été, 8 h en hiver, et 12 h au printemps et à l'automne. ■

### N'oubliez pas de vous réabonner rapidement.

Avant l'équinoxe de mars vous avez une réduction de 2 €. Ceux qui se réabonnent tardivement, nous obligent à faire des envois séparés qui ont un coût non négligeable pour l'association.

Nous vous rappelons qu'à l'adresse : <http://acces.inrp.fr/clea/> vous pouvez retrouver presque tous les numéros des Cahiers Clairaut (merci à celles et ceux qui participent à leur indexation) sauf ceux des deux dernières années. Ceux-ci ainsi que d'autres documents ne sont accessibles qu'à ceux qui ont choisi un abonnement numérique.

# AVEC NOS ÉLÈVES

## Projet « Hubble Tuning Fork Diagram » avec utilisation des télescopes de Faulkes.

Hervé FAIVRE, enseignant en sciences physiques et mathématiques. Atelier d'astronomie au collège Christiane Perceret de Semur en Auxois. (21) Sciences à l'école, EU HOU, Galileo Teacher.

*Depuis plusieurs années, Hervé Faivre s'occupe d'un atelier astronomie dans son collège de Bourgogne. Après nous avoir présenté ses observations (CC 128) et sa maquette de Saturne (CC 133), il nous propose ici son exploration du bestiaire des galaxies grâce aux télescopes de Faulkes, un projet ambitieux.*

### Les télescopes de Faulkes

Le projet de télescope Faulkes, comme on peut le lire sur leur site, a été créé pour inciter les jeunes élèves à étudier la vraie science et à y prendre part. Ce projet est géré par le personnel de l'Université de Glamorgan. Le projet de télescopes Faulkes peut fournir 1500 heures d'observation sur deux télescopes de 2 mètres, l'un sur l'île de Maui à Hawaii (Faulkes télescope du Nord) et l'autre à Siding Spring en Australie (Faulkes télescope du Sud). Ceci est disponible gratuitement via l'Internet dans les écoles du Royaume-Uni et permet des observations en direct à partir de la salle de classe.

Les télescopes ont été initialement financés par la fondation Dill Faulkes mais sont maintenant détenus et gérés par Las Cumbres Observatory Global Network Telescope (LCOGT).

La Dr Sarah Roberts est la directrice éducation. C'est auprès d'elle que l'atelier d'astronomie du collège a obtenu un compte pour l'utilisation des

télescopes et avec qui nous correspondrons pour publier nos résultats.

Voir notre article :

<http://www.faulkes-telescope.com/news/2485>

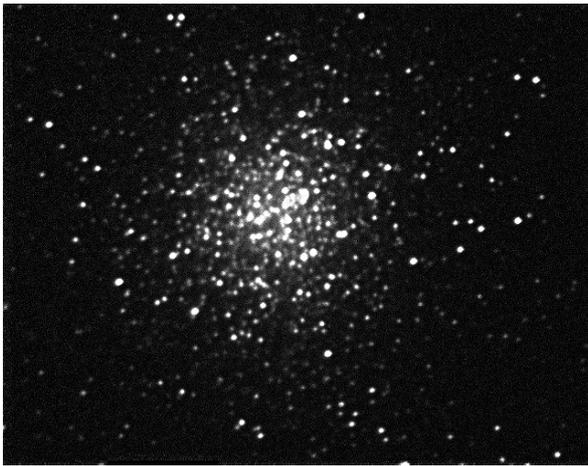
Le projet a été organisé par l'Université de Cardiff entre 2003 et 2010. Depuis 2010, il a été hébergé par l'Université de Glamorgan. Pour plus d'informations, voir les sites web : [www.faulkes-telescope.com](http://www.faulkes-telescope.com) et [www.LCOGT.net](http://www.LCOGT.net)

Les applications sont nombreuses et les avantages évidents :

Les images sont d'une très grande qualité. Les observations se font en pleine journée ici compte tenu du décalage horaire. La météo est souvent plus favorable à Hawaï et en Australie qu'ici selon les saisons.

Exemple : Pour comparaison, des images de M13, une obtenue avec le C8 de l'atelier d'astronomie du collège en dotation de Sciences à l'école et celle obtenue avec le FTN (Hawaï).





Ci-dessus avec un C8 + DMK, stack de 12 images de 20 s de pose chacune et traitement avec IRIS.

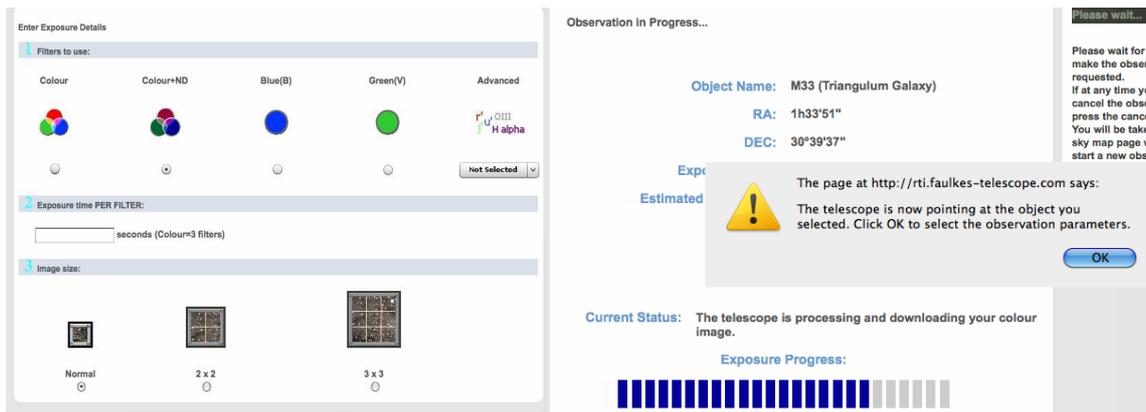


Ci-contre, pose de 20 s par filtre RGB sur le FTN.

L'interface de pilotage des télescopes de Faulkes est très simple d'utilisation. Un tutoriel et un mode démonstration sont disponibles sur le site. Voici quelques copies d'écrans :

The screenshot shows the Faulkes Telescope Project Real-time Control Interface. The main area displays a star map with various constellations labeled. On the right, there is a search panel with buttons for 'Guided Tour', 'Search / Browse', 'Enter RA and Dec', and 'Back to Welcome'. A zoomed-in view of the M33 (Triangulum Galaxy) is shown on the right side of the interface, with a red box highlighting the galaxy and its coordinates: RA: 1h33'12", Dec: 30d31'30".

The screenshot shows a live webcam view of the telescope and a 'What next?' panel. The webcam view shows the telescope structure. The 'What next?' panel displays the target coordinates: Target RA: 1h33'51", Target Dec: 30°39'37". There is a 'Cancel Move' button and an 'OK' button. A warning message is also visible: 'The page at http://rti.faulkes-telescope.com says: The telescope is now pointing at the object you selected. Click OK to select the observation parameters.'



## EU HOU et NUCLIO

Ces associations européennes de promotion de l'astronomie en milieu scolaire, dont le but est la formation des enseignants (stages, production de documents pédagogiques et de logiciels pour le e-learning), nous ont permis de prendre contact avec les télescopes de Faulkes.

Cela a commencé notamment avec un stage à Pampilhosa da Serra au Portugal auquel j'ai participé avec mon collègue Fabien Pradel. Ce stage nous a permis de prendre en main de petits radiotélescopes (à Onsala en Suède) afin de commencer une cartographie de notre galaxie.

Là encore l'interface et l'acquisition sont assez simples mais l'interprétation des résultats est trop complexe pour des collégiens plutôt attirés par le visuel et donc par l'utilisation des télescopes de Faulkes.

## Le projet Hubble Tuning Fork

Le projet de l'atelier d'astronomie du collège est décidé. Nous explorons le bestiaire des galaxies avec la première classification telle qu'elle a été faite par Edwin Hubble dans son diagramme très connu en diapason (tuning fork). Nous nous lançons dans une série d'acquisitions d'images avec les télescopes de Faulkes pour illustrer les différentes classes de galaxies.

Les élèves de l'atelier effectuent des recherches et rédigent un exposé sur la classification des galaxies. Claire, une élève de 5<sup>e</sup>, finalise et présente l'exposé devant le groupe sur un TBI (Gros succès.)

Pour la recherche de cibles depuis Hawaï et l'Australie, les élèves de l'atelier sont répartis en groupes.

Les outils sont simples : à ce stade on utilise surtout Stellarium et Wikipedia. C'est bien sûr dans le catalogue Messier que l'on va piocher en premier lieu.

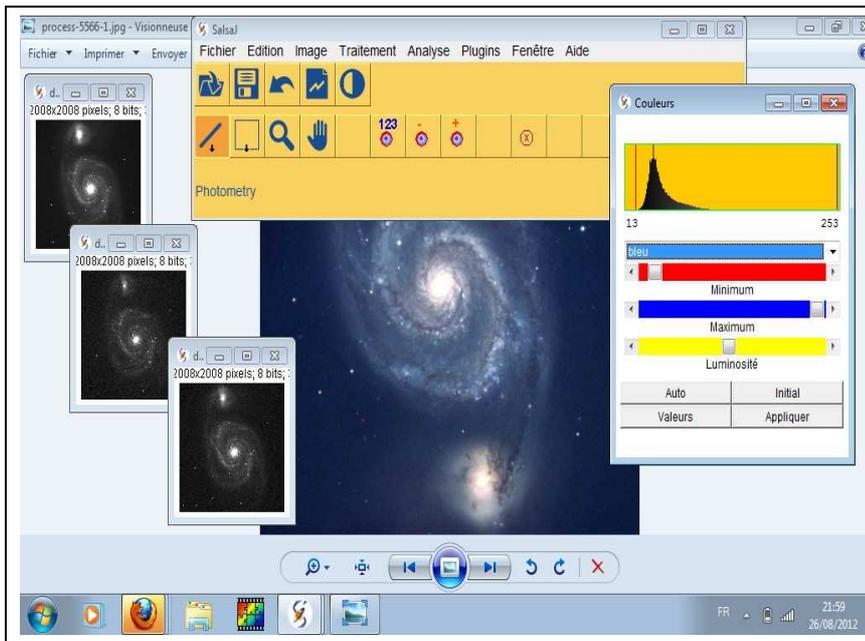
Il faut collecter les coordonnées et les magnitudes afin d'évaluer les temps de pose nécessaires et vérifier que les objets sont bien visibles lors des créneaux réservés (loin de la Lune, assez hauts au-dessus de l'horizon ...).

Au vu des résultats en lignes des autres établissements ayant utilisé les télescopes, parfois sur les mêmes objets, on ajuste nos paramètres.

Bien au chaud dans la salle de classe en plein midi on n'est pourtant pas à l'abri d'aléas climatiques : nous perdons plusieurs créneaux sur le télescope australien en raison de la pluie. Les cibles visées seront alors piochées dans les archives de LCOGT.



Les séances d'acquisition d'images sont vraiment de grands moments pleins de suspense en attendant l'arrivée des images sur l'écran.



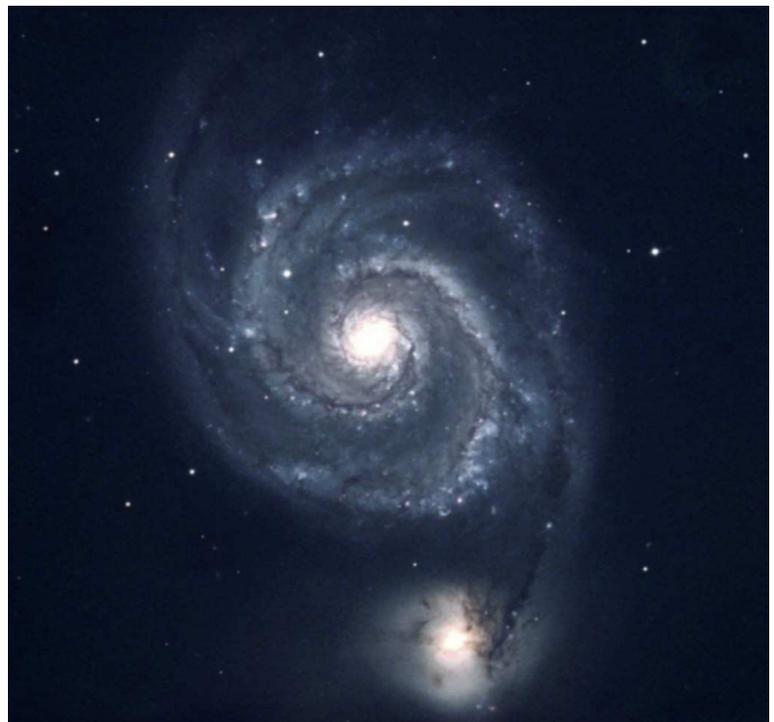
Le traitement des images est réalisé à l'aide de Salsa J (par Quentin 4<sup>e</sup>), un logiciel Java gratuit spécialisé dans le traitement d'images astronomiques développé par EU HOU.

On commence par récupérer les fichiers Fits des images R,G,B. Ces fichiers sont lourds (10 Mo chacun). Il faut les aligner, les retoucher légèrement (retouches cosmétiques : équilibre RGB, contraste, atténuation du bruit thermique par flou gaussien). Ces manipulations sont tout à fait accessibles à des élèves de collège. Le logiciel est vraiment conçu pour cela.

Les traitements plus complexes que l'on fait habituellement avec la caméra DMK de l'atelier, Flat et Dark, par exemple, ne sont pas possibles, on suppose que le prétraitement est opéré par le télescope.

On se contente donc de légers masques flous, de déconvolution de Van Cittert (RichardsonLucy) (sous IRIS)

Ci-contre M51, le 13/04/2012 à 11 h 47 UT avec FTN (Hawaï)  
120 s par filtre Rouge, Vert et Bleu.  
2 008×2 008 pixels.

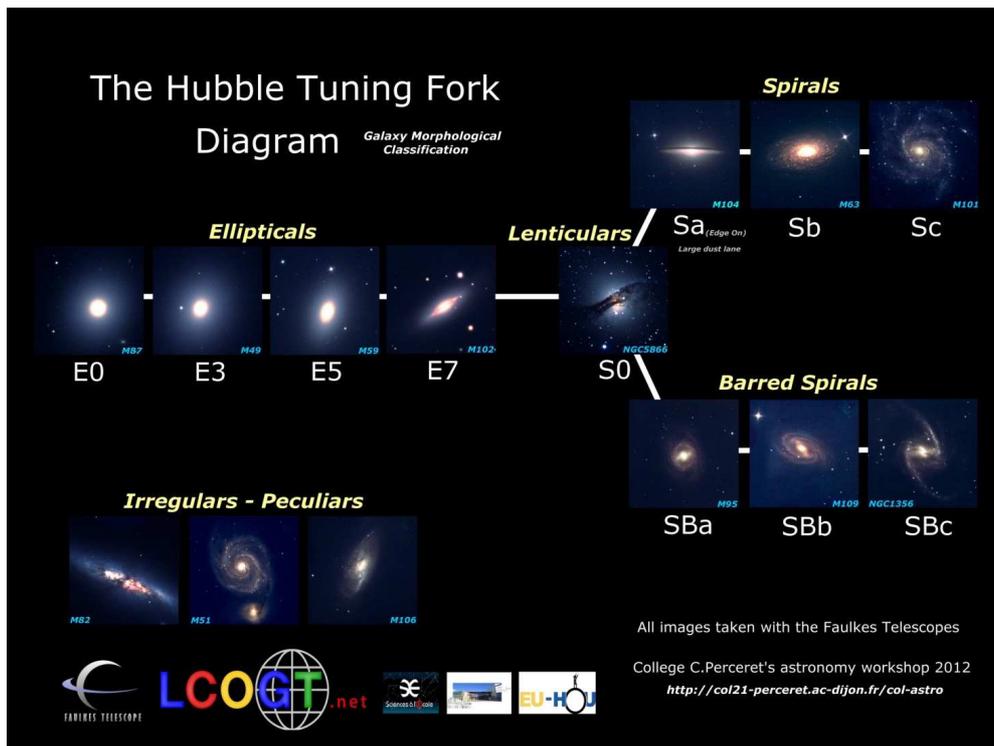


La langue anglaise est utilisée pour la publication sur le site de Faulkes et EU HOU. Ça ne pose pas vraiment de problème. On se fait aider des collègues de langue au besoin.

La réalisation d'un poster est l'aboutissement de notre projet. Le fond du poster est proposé sur le site de Faulkes. On ajoute les clichés de nos cibles et on complète avec des archives de LCOGT voir page suivante).

## Prolongements de notre projet avec Galaxy Zoo

Sur les conseils de Roger Ferlet, Directeur de Recherche à l'Institut d'Astrophysique de Paris et EU HOU que nous avons rencontré lors du stage national Sciences à l'École à l'Observatoire de Haute Provence en avril 2012 avec mon collègue Yann Gardiennet, nous prolongeons notre projet avec Galaxy Zoo.



« Bienvenue à Galaxy Zoo, où vous pouvez aider les astronomes à explorer l'Univers. Hubble utilise des images magnifiques des centaines de milliers de galaxies tirées des archives de la NASA Hubble Space Telescope. Pour comprendre ces galaxies, nous avons besoin de votre aide pour les classer en fonction de leurs formes - une tâche à laquelle votre cerveau est meilleur que l'ordinateur le plus avancé. Si vous êtes rapide, vous pouvez même être la première personne dans l'histoire à voir chacune des galaxies vous êtes invité à classer. ».

C'est ainsi que nous accueillons le site de Galaxy Zoo du projet global Zooniverse.

Nos élèves participent donc à ce projet en classant les galaxies selon leur forme. Très vite pris au jeu, ils classeront plus de 2 000 galaxies en une semaine : c'est une goutte d'eau dans l'océan mais on retire une certaine fierté malgré tout à participer à un projet international. Juste comme ça, pour le plaisir, pour la science. Les internautes bénévoles doivent travailler sur des images prises par le programme Sloan Digital Sky Survey et décider si les galaxies sont elliptiques ou spirales et signaler si elles possèdent des particularités comme avoir un bulbe barré ou bien avoir subi des transformations, si elles sont vues de profil ou encore présentent une large bande de poussière... Le but de ce recensement est de valider les différents modèles galactiques proposés par les scientifiques.

Là encore l'interface est en anglais, et c'est encore Quentin qui est chargé, pour ses camarades de l'atelier, de présenter un tutoriel et l'algorithme de classification. L'occasion d'apprendre pas mal de vocabulaire en anglais.

### La suite dans les idées :

Les élèves vont bien profiter de leurs vacances mais se retrouveront en octobre pour la reprise de l'atelier avec de nouveaux projets pour 2012/2013.

Toujours sur le thème des galaxies, on essaiera de les mesurer, de les peser, de les modéliser... Pourquoi ne pas se frotter un peu plus tard à la loi de Hubble, à l'âge de l'univers... sans oublier de réaliser une maquette peut-être.

Mais il y a aussi la recherche de super novae avec le projet TAROT qui nous tente bien... mais ça c'est une autre histoire... à suivre.

### Webographie :

- <http://www.faulkes-telescope.com/news/2485> : notre article sur Faulkes
- <http://lcogt.net/observations/user/5106> : nos images
- <http://www.fr.euhou.net/> : EU HOU
- <http://col21-perceret.ac-dijon.fr/col-astro> : le site de l'atelier du collège
- <http://www.galaxyzoo.org> : Galaxy Zoo
- <http://www.site.galileoteachers.org> : Galileo Teachers Training Program

# VIE ASSOCIATIVE

## Assemblée Générale de l'association Rendez-vous à la Cité de l'Espace à Toulouse en février 2013

Nous vous rappelons que l'assemblée générale de l'association qui se déroulait habituellement en novembre a été reportée en début d'année. Ceci afin de pouvoir valider l'ensemble des comptes de l'année civile précédente.

Cette année elle se déroulera à **Toulouse le 10 février 2013 de 9 h à 12 h 30** (les adhérents recevront les convocations en temps utile).

Habituellement cette AG est précédée le samedi après-midi d'une réunion des membres du Conseil d'Administration. Exceptionnellement cette année, nous avons programmé cette réunion du CA le samedi matin de 9 h à 13 h afin que tous les membres du CLEA et les accompagnateurs puissent profiter de la **visite commentée de la Cité de l'Espace à partir de 15 h** (visite offerte par la Cité de l'Espace).

Pour les adhérents non membres du CA et les accompagnateurs, **une visite de Toulouse sera proposée samedi matin**. Le samedi soir, nous pourrons nous retrouver au centre ville pour dîner.

**Dimanche à 14 h 30 nous aurons la chance d'avoir une conférence de Sylvestre Maurice**, astrophysicien à l'Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie, responsable de la camera chemcam, il nous donnera les dernières nouvelles de Curiosity.

Si vous souhaitez des informations entre autre sur l'hébergement, vous pouvez me contacter.

Jean Ripert, Impasse des Mouyracs 46090 PRADINES

[jripert@ac-toulouse.fr](mailto:jripert@ac-toulouse.fr)

Quelques images pour vous donner envie.



*Curiosity sur le sol martien .... de la Cité !*

*La station Mir.*

*Un moteur Viking.*

*Et si vous voulez voir la fusée Ariane à l'échelle 1, venez à l'AG.* ■

## Écoles d'Été d'Astronomie



Vous souhaitez débiter en astronomie ?

Vous souhaitez vous perfectionner ?

Vous avez le projet d'animer un club ?

Venez participer à une école d'été d'astronomie, au col Bayard, à 1 200 m d'altitude, dans un cadre prestigieux.



Des exposés accessibles à tous



Des ateliers pratiques et des observations

Toutes les activités sont encadrées par des astronomes professionnels et des animateurs chevronnés.

**Renseignements sur le site du CLEA**

Voir la vidéo à l'adresse :

[accs.ens-lyon.fr/clea/aLaUne/EEA-clea](http://accs.ens-lyon.fr/clea/aLaUne/EEA-clea)

## Les productions du CLEA <sup>(1)</sup>

*En plus du bulletin de liaison entre les abonnés que sont les Cahiers Clairaut, le CLEA a réalisé diverses productions.*

*Fruit d'expérimentations, d'échanges, de mises au point et de réflexions pédagogiques d'astronomes et d'enseignants d'écoles, de collèges, de lycées, ces productions se présentent sous différentes formes :*

### Fiches pédagogiques

Ce sont des hors série des Cahiers Clairaut conçus par le Groupe de Recherche Pédagogique du CLEA : astronomie à l'école, la Lune, gravitation et lumière, mathématique et astronomie, ...

### Fascicules thématiques de la formation des maîtres, en astronomie

Repérage dans l'espace et le temps, le mouvement des astres, la lumière messagère des astres, vie et mort des étoiles, univers extragalactique et cosmologique, ...

### Matériel

Filtres colorés et réseaux de diffraction

### DVD

Les archives du CLEA de 1978 à 2006 (Cahiers Clairaut et Écoles d'Été d'Astronomie)

**Le formulaire de commande est sur le site.**

(1) vente aux adhérents uniquement

### Planétarium

Il est possible également de louer le planétarium gonflable (starlab) du CLEA. Cette année 2012, il sera en Région Midi-Pyrénées.(uniquement pour le planétarium contact : [jean.a.ripert@wanadoo.fr](mailto:jean.a.ripert@wanadoo.fr))

## Le site internet

**Une information toujours actualisée**

[www.clea-astro.eu](http://www.clea-astro.eu)



# LES CAHIERS CLAIRAUT



**Publiés quatre fois par an, aux équinoxes et aux solstices, les Cahiers Clairaut offrent des rubriques très variées:**

Articles de fond  
Réflexions  
Reportages  
Textes : extraits, citations, analyses  
Pédagogie de la maternelle au supérieur  
TP et exercices  
Curiosités  
Histoire de l'astronomie  
Réalizations d'instruments et de maquettes  
Observations  
Informatique  
Les Potins de la Voie Lactée

# COMMENT NOUS JOINDRE ?

**Informations générales :**

[www.clea-astro.eu](http://www.clea-astro.eu)

OU

[www.ac-nice.fr/clea](http://www.ac-nice.fr/clea)

**Siège Social :**

CLEA, c/o CFEED  
5, rue Thomas Mann  
case courrier 7078  
75205 PARIS Cedex

**École d'Été d'Astronomie :**

[daniele.imbault@cea.fr](mailto:daniele.imbault@cea.fr)

**Cahiers Clairaut :**

[christianlarcher3@gmail.com](mailto:christianlarcher3@gmail.com)

**Ventes des productions :**

[www.clea-astro.eu](http://www.clea-astro.eu)

**Site internet :**

[berthomi@ac-nice.fr](mailto:berthomi@ac-nice.fr)  
[charles-henri.eyraud@ens-lyon.fr](mailto:charles-henri.eyraud@ens-lyon.fr)

**Adhésion / Abonnement :**

Adhésion CLEA pour 2011 :	<b>5 €</b>
Abonnement CC pour 2011 :	<b>25 €</b>
Adhésion + abonnement CC :	<b>30 €</b>
Adhésion + abonnement CC + abonnement numérique :	<b>35 €</b>

Chèque à l'ordre du CLEA, à envoyer à :

Roseline Jamet  
83, rue Pierre Curie  
33140 VILLENAVE D'ORNON

Directrice de la Publication : Cécile Ferrari  
Rédacteur de publication : Christian Larcher  
Imprimerie France Quercy 46090 MERCUËS

Premier dépôt légal : 1er trimestre 1979  
Numéro CPPAP : 0315 G 89368

Prix au numéro : 7 €

Revue trimestrielle : numéro 140, décembre 2012