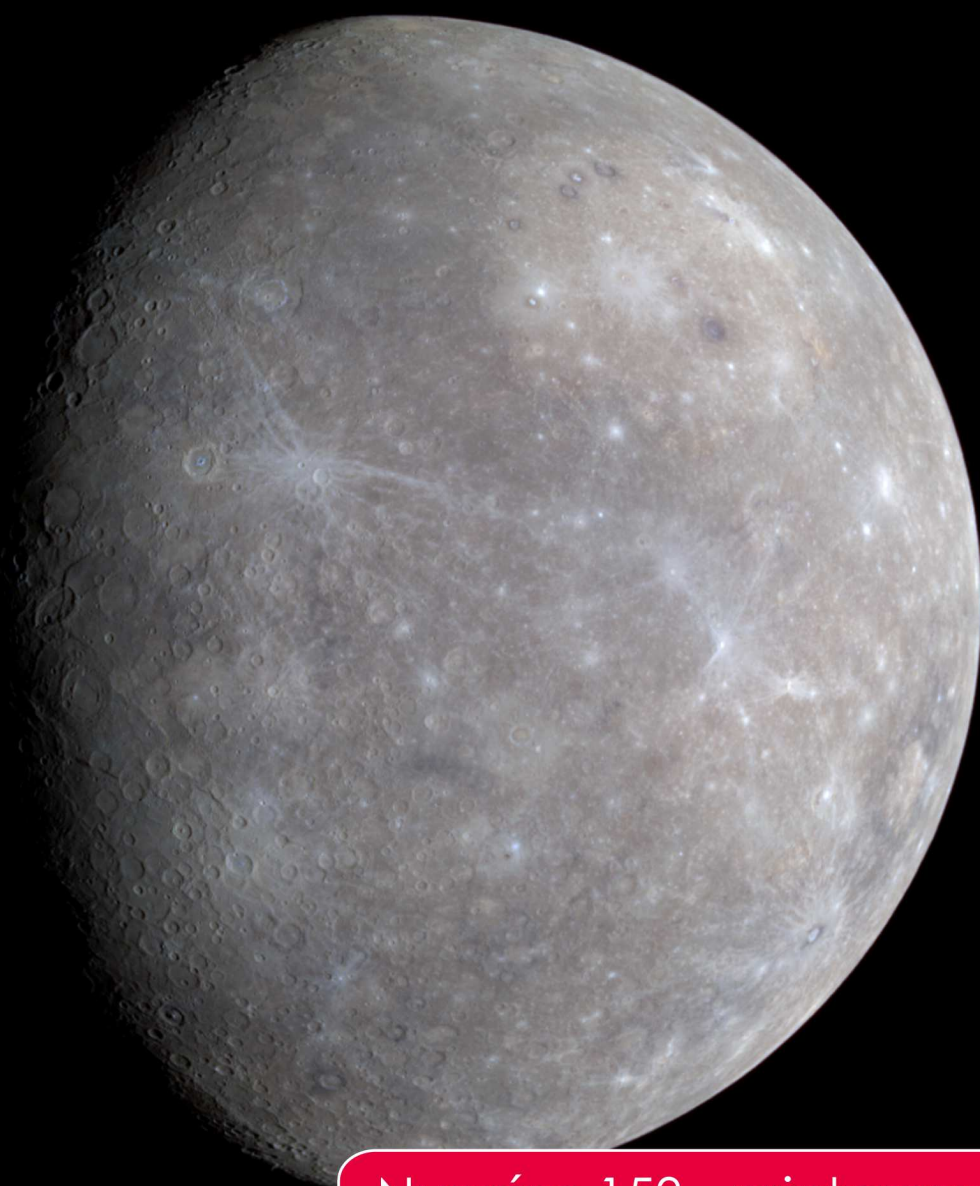


LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 153 - Mars 2016 9 €

Bulletin du Comité de Liaison Enseignants et Astronomes



Numéro 153 - printemps 2016



ISSN 0758-234X

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 2015

Présidente : Cécile Ferrari
Trésorière : Sylvie Thiault
Trésorière adjointe : Chantal Lecoutre
Secrétaire : Danièle Imbault
Secrétaire adjoint : Jean-Luc Fouquet

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



Merci à celles et ceux qui ont permis la réalisation de ce numéro des Cahiers Clairaut, nous citerons : Danielle Briot, Nathalie Cartier, Sylvain Chaty, Pierre Causeret, Gilles Dodray, Cécile Ferrari, Jean-Luc Fouquet, Maryse Fouquet, Christian Larcher, Chantal Lecoutre, Georges Lecoutre, Roseline Primout, Johan Richard, Jean Ripert, Béatrice Sandré, Gilles Theureau.

Les auteurs recevront plusieurs numéros 153, afin de faire connaître la revue autour d'eux.

Mercury photographiée le 14 janvier 2008 par la sonde MESSENGER (Mercury Surface, Space Environment, Geochemistry and Ranging), lors de son premier survol. Les couleurs ont été obtenues à partir de trois images faites dans trois longueurs d'onde différentes (infrarouge, rouge lointain, violet).

On distingue en haut à droite une grande zone circulaire de couleur claire, c'est la partie intérieure du bassin Caloris, un impact météoritique d'environ 1300 km de diamètre.

On distingue aussi de nombreux cratères entourés parfois de rayons.

Les Cahiers Clairaut

Printemps 2016

Éditorial

L'avez-vous déjà vu, cet astre consacré à Hermès, que cite Platon dans « Le Timée » (section 37 – 38) ? Cet astre « *qui apparaît le soir quand on l'attend le matin* », et réciproquement ; cet astre « *facteur de discorde ou voleur caché entre les reliefs de l'horizon [...]* ; cet astre qui régulièrement vient passer devant le Soleil comme s'il voulait l'occulter mais ne fera en fait qu'un « passage » devant le Soleil car il nous apparaîtra 157 fois plus petit que lui ; cet astre que Gassendi (1592 – 1655) fut le premier à voir passer devant le Soleil le 7 novembre 1631, avec une légitime fierté : « *j'ai été plus heureux que tous ces philosophes hermétiques occupés à chercher (la pierre philosophale), je l'ai trouvé, je l'ai contemplé, là où personne avant moi ne l'avait vu* » « *le rusé Mercure voulait passer inaperçu, il était entré plus tôt qu'on s'y attendait* » (p. 23).

En lisant attentivement ce numéro vous saurez comment l'observer à votre tour le 9 mai 2016 entre 13 h 12 et 20 h 41 (heures légales françaises), si toutefois Hélios nous sourit.

Nous vous convions à un détour dans le désert d'Atacama dans le nord du Chili ; d'une part pour revenir au VLT afin de retrouver le dispositif MUSE (présenté lors de l'AG 2015 du CLEA à Lyon) qui livre à présent ses premiers résultats (p. 2) et d'autre part pour une expédition, dans la même région mais sur le plateau de Chajnantor, à plus 5 000 m d'altitude. Sur ce plateau se trouve ALMA le plus grand réseau interférométrique d'antennes radio au monde (p. 6).

Mais revenons en France avec le « grand radiotélescope de Nançay » (en Sologne) qui fêtait l'an dernier le cinquantenaire de son inauguration par le général de Gaulle le 15 mai 1965 (p. 34). Cet instrument servit aux travaux de trois éminents astronomes du CLEA : Lucette Botticelli, Lucienne Gouguenheim et Georges Paturel.

Enfin les professeurs de physique qui enseignent en collège trouveront un exemple d'une « démarche d'investigation » à travailler avec leurs élèves (p. 30).

Nous espérons que les nombreux astronomes amateurs du CLEA nous adresseront des clichés de leurs observations du passage de Mercure ou de la rétrogradation de Mars.

Bon ciel à tous

Christian Larcher, pour l'équipe.

Article de fond

MUSE une nouvelle fenêtre sur l'Univers

Johan Richard p 2

Reportage

ALMA grand réseau millimétrique de l'Atacama

Sylvain Chaty p 6

Thème : MERCURE

p 9

Histoire

Mercure, une planète et une figure mythologique

Maryse et Jean-Luc Fouquet p 10

Article de fond

Mercure sœur de nébuleuse

Cécile Ferrari p 13

Observation

Observer Mercure

Gilles Dodray p 16

Jeux

Mots croisés : Mercure

Pierre Causeret p 20

Histoire

Première observation d'un transit de planète

Danielle Briot p 21

Notions de base : Mercure

Pierre Causeret p 25

Avec nos élèves

Six idées d'activités autour du passage de Mercure

Pierre Causeret p 26

Ciel d'hiver

Pierre Causeret p 29

Avec nos élèves

Analyse de faits divers avec des élèves à travers une démarche d'investigation

Roseline Primout p 30

Histoire

Le grand radiotélescope de Nançay a 50 ans

Gilles Theureau p 34

Éclipse annulaire de Soleil à La Réunion p 36

Reportage

Visite du « studio » de Pavie

Georges Paturel p 37

Vie associative

EEA 2016, AG 23015 p 39

Solutions mots croisés p 40

MUSE: une nouvelle fenêtre sur l'univers lointain

Johan Richard

Centre de Recherche Astrophysique de Lyon, Observatoire de Lyon

Depuis 2014, une fantastique machine à remonter le temps a été mise en place sur un des Very Large Telescope, situé dans le désert de l'Atacama au Chili. MUSE, pour Multi Unit Spectroscopic Explorer, est un nouvel instrument avec des capacités uniques. Nous détaillons dans cet article son fonctionnement, ainsi que les tout premiers résultats scientifiques qu'il a déjà permis d'obtenir.

Un spectrographe intégral de champ de toute dernière génération

En astrophysique, la spectroscopie est une technique fondamentale, car elle permet, en dispersant la lumière des étoiles et galaxies selon leur longueur d'onde, de mesurer un grand nombre de paramètres physiques : vitesse, composition chimique, masse, température, ou encore distance (via le décalage spectral cosmologique). On va ainsi au-delà de la simple mesure photométrique qui se limite à donner la quantité de lumière à une position donnée du ciel.

En spectroscopie classique, on procède en sélectionnant à l'aide d'une ou plusieurs fentes la ou les zones du ciel dont on veut disperser la lumière, puis on collecte les spectres sur un détecteur (figure 1a). Un des inconvénients majeurs de cette technique est la nécessité de présélectionner les objets à observer selon des critères photométriques (couleur, brillance, morphologie), ce qui limite le pouvoir de découverte : on ne mesure que les spectres de sources déjà connues.

Plus récemment s'est développée une nouvelle technique, dite de spectrographie intégrale de champ, qui permet cette fois d'obtenir un spectre en chaque point d'une région du ciel de manière systématique. En particulier, l'utilisation de découpeurs d'images (figure 1b) a permis de développer cette technique tout en conservant une efficacité optique maximale, comme c'est le cas pour MUSE.

Les caractéristiques principales de MUSE sont les suivantes : c'est un spectrographe intégral de champ qui couvre le domaine spectral dans le visible et proche-infrarouge de 475 à 930 nm, avec une résolution spectrale de $\Delta\lambda = 0.25$ nm ($R = 1\,800$ à $3\,720$), et un champ de vue de 1×1 arcmin²

échantillonné à 0.2" par pixel, le tout avec une transmission (de l'entrée de l'instrument jusqu'au détecteur) de l'ordre de 60 %. Il est ainsi 3,5 fois plus sensible et couvre un champ 20 fois plus étendu que son prédécesseur sur le VLT.

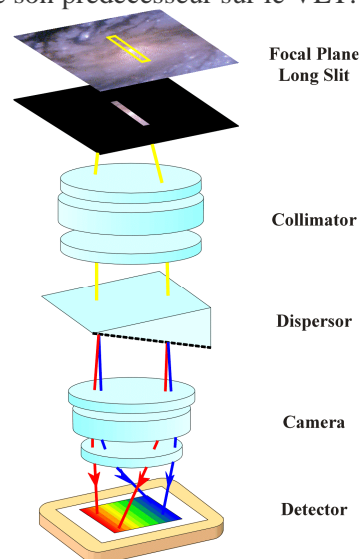


Fig.1. (a) Spectroscopie classique. La lumière d'une fente est collimatée, dispersée par un prisme ou réseau, puis focalisée sur un détecteur.

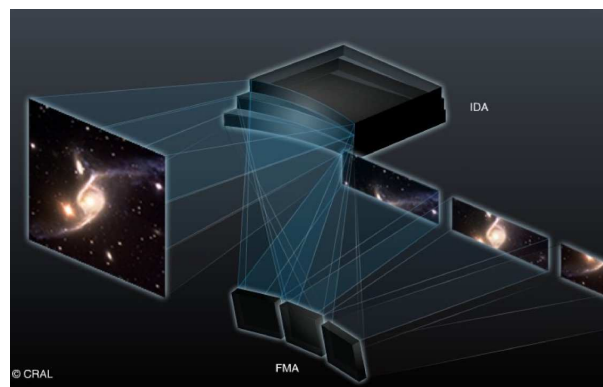


Fig.1. (b) Ci-dessus : principe du découpeur d'images. Un champ de vue couvrant une galaxie illumine un empilement de miroirs sphériques (IDA) qui le découpe en plusieurs faisceaux qui sont ré-imaginés par des miroirs plans (FMA).

Pour arriver à de tels chiffres, ce sont plusieurs milliers de pièces opto-mécaniques de haute technologie qui sont assemblées en une impressionnante machine pesant près de 7 tonnes (figure 2a). Au cours de son trajet dans l'instrument, la lumière provenant du télescope va ainsi être séparée en 24 faisceaux couvrant une partie du champ de vue.

Un jeu de miroirs va renvoyer les rayons dans 24 modules (ou unités) identiques, chacun opérant sur une fraction du champ (figure 2c). D'où le nom donné à MUSE : explorateur spectroscopique multi-unités. À l'intérieur de chacun de ces 24 modules, on opère un second découpage de chaque portion de ciel avec un petit découpeur d'image, qui permet de réaligner 48 fentes en entrée du spectrographe. Ces 48 faisceaux sont alors dispersés par un réseau puissant et les spectres obtenus envoyés sur un détecteur ultrasensible.

On obtient au final 24 images de $4\,096 \times 4\,096$ pixels, soit environ 380 millions de pixels.

Un énorme travail informatique permet ensuite de reconstituer le puzzle et de remonter à un cube d'information : les deux dimensions spatiales sur le ciel et la troisième dimension donnant la longueur d'onde.



Fig.2a. Vue générale de l'instrument MUSE sur le Very Large Telescope. Crédits : P. Caillier.



Fig.2b. Mise en place de l'instrument sur le télescope. Crédits : E. Le Roux / UCBL.

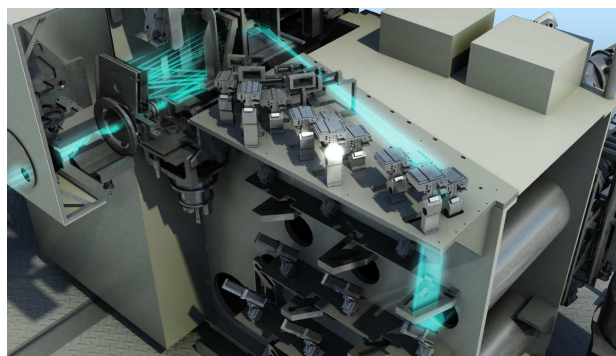


Fig.2c. Illustration du découpage de champ de MUSE et des optiques relais.

Conçu par un consortium d'instituts astrophysiques européens regroupant le Centre de Recherche Astrophysique de Lyon (qui est le pilote du projet), l'Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie à Toulouse, les instituts astrophysiques de Göttingen et de Potsdam en Allemagne, l'observatoire astronomique de Leiden aux Pays-Bas et l'institut ETH à Zurich en Suisse, le projet instrumental MUSE a débuté en 2001. La construction, l'assemblage final et les tests se sont achevés en 2013 sur le site de l'observatoire de Lyon à Saint-Genis-Laval, puis l'instrument a été démonté et envoyé au Chili. Il a été remonté et testé à nouveau sur place avant d'être mis sur le télescope en janvier 2014. Tâche délicate, il a fallu le suspendre au bout d'une grue pour le faire rentrer par l'ouverture du télescope ! (figure 2b).

Après un ultime alignement de l'instrument avec le télescope, c'est le moment magique dit de la "première lumière" : le 31 janvier 2014, MUSE a observé sa toute première étoile. Le choix s'est porté sur une petite étoile de la constellation du Peintre, nommée étoile de Kapteyn. En effet, distante de 13 années-lumière, les photons recueillis par MUSE ont mis autant de temps à voyager que la durée de réalisation du projet... Tout un symbole !

Des résultats scientifiques impressionnants

Commissioning

Entre février et août 2014 ont ensuite eu lieu toute une série de tests intensifs de l'instrument avec le télescope, sous forme de trois séries de 10 à 15 nuits d'observation chacune : c'est la phase dite de "commissioning". Dès les premières nuits d'observation qui ont suivi la première lumière, MUSE a montré ses capacités exceptionnelles en fournissant des données de très grande qualité et exploitables par la communauté scientifique. Parmi les tests auxquels a été soumis l'instrument,

beaucoup concernaient la qualité des données et leur calibration, en particulier la correction des effets de l'atmosphère, la stabilité de l'instrument sur de longs temps de pose et dans le temps, et l'efficacité du système de guidage qui permet de conserver une position précise sur le ciel.

Les sources astrophysiques observées pendant le commissioning vont des planètes géantes (Jupiter, Saturne) aux galaxies les plus distantes, en passant par les amas globulaires, nébuleuses planétaires et galaxies proches. Toutes offrent des images magnifiques et riches d'informations : pour chacune des images de la "grande galerie de MUSE" (figure 3), il faut garder en tête que la troisième dimension spectrale nous offre encore plus d'informations que ce que peuvent montrer ces images.

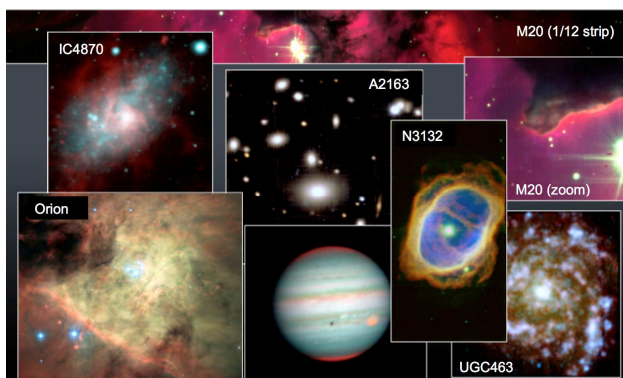


Fig.3. La grande galerie de MUSE : images de planètes, nébuleuses et galaxies prises pendant le Commissioning.

Mais un des résultats les plus spectaculaires qui est ressorti du commissioning est le pouvoir de découverte de MUSE. Au cours de l'observation d'une nébuleuse planétaire brillante, couvrant l'ensemble du champ de vue par des raies d'émission de gaz d'hydrogène, oxygène ou azote, une source en arrière-plan, inconnue jusqu'alors, est apparue dans le cube de données à une longueur d'onde ne correspondant à aucune émission de la nébuleuse (figure 4).

Il s'agit en fait d'une galaxie distante, située à 300 millions d'années-lumière (par rapport à la distance de la nébuleuse qui est de 3 900 al), et qui apparaît au travers de son émission d'hydrogène décalée vers le rouge. Cette galaxie n'aurait jamais pu être détectée sans la capacité de MUSE à sélectionner une longueur d'onde particulière.

Depuis septembre 2014, MUSE est passé en mode opération. Entre les mains expertes des astronomes de l'observatoire Paranal, il est régulièrement utilisé par la communauté scientifique pour diverses observations. Nous présentons ci-après quelques-

uns des résultats majeurs obtenus après un an d'opérations.

Nébuleuses

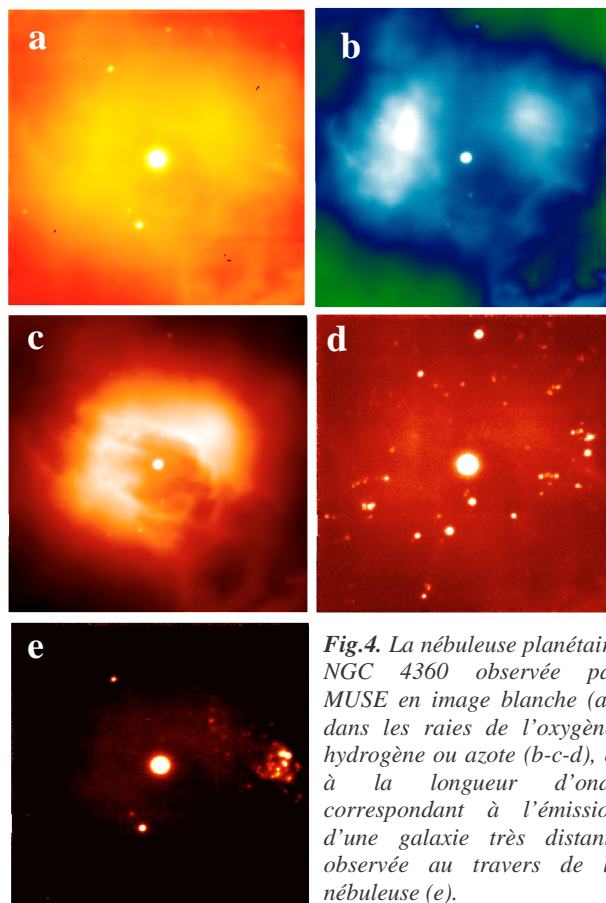


Fig.4. La nébuleuse planétaire NGC 4360 observée par MUSE en image blanche (a), dans les raies de l'oxygène, hydrogène ou azote (b-c-d), et à la longueur d'onde correspondant à l'émission d'une galaxie très distante observée au travers de la nébuleuse (e).

Le champ de vue de MUSE, utilisé en mode mosaïque, permet de couvrir des nébuleuses diffuses avec une finesse de détails impressionnante (voir la nébuleuse d'Orion figure 3). Deux résultats importants ont été obtenus sur de telles nébuleuses :
 - l'observation des "piliers de la création" une nébuleuse diffuse célèbre pour ses images prises par Hubble, permet d'analyser l'émission nébulaire et de séparer les piliers suivant leur position tridimensionnelle (figure 5). Ces nouvelles données suggèrent que les piliers seront détruits d'ici quelques millions d'années seulement.

- la nébuleuse d'Orion, une des nébuleuses les plus célèbres visibles à l'œil nu, révèle une quantité importante d'éléments chimiques, avec notamment un grand nombre de raies d'émission faibles non identifiées jusqu'à présent. MUSE permet aussi d'étudier plus précisément les "proplyds", qui sont des cocons d'étoiles en formation.



Fig.5. Reconstitution tridimensionnelle des "piliers de la création".

Amas globulaires

Les amas globulaires, ces concentrations de plusieurs milliers d'étoiles, sont également des sujets de choix pour MUSE, qui a la capacité de faire plusieurs centaines de spectres d'étoiles en une seule pose (figure 6).



Fig.6. Image couleur d'un amas globulaire observé par MUSE.

L'analyse de ces données est complexe, car elle demande de "démêler" le signal des différentes étoiles. Mais l'intérêt est d'étudier les vitesses des étoiles dans l'amas, de regarder la distribution des éléments chimiques les plus lourds en fonction de la distance au cœur de l'amas, et par conséquent de comparer ces résultats avec les mécanismes de formation des amas globulaires.

En conclusion, MUSE est clairement une révolution en matière d'instrumentation astronomique. Il a des capacités uniques pour un télescope de cette taille,

et un potentiel de découverte inégalé. Nous attendons davantage de résultats impressionnants avec l'observation du champ "Ultra-Profond" de Hubble (UDF), prévu dans les prochaines années.

Galaxies distantes

Comme nous l'avons montré, MUSE est un instrument particulièrement polyvalent, mais il a été optimisé en prévision de l'observation de champs de galaxies très profonds. En effet, sa résolution et sa sensibilité lui permettent de repérer les galaxies les plus distantes au travers de leur émission dans la raie de l'hydrogène Lyman- α (1 216 angströms au repos), et ce jusqu'à des distances de 12 milliards d'années-lumière.

Un des premiers résultats dans ce domaine a été l'observation du champ profond de Hubble Sud (HDFS). Les données MUSE ont permis de mesurer la distance de plusieurs centaines de galaxies, dont certaines très distantes. Mais le résultat le plus impressionnant a été la découverte de plus d'une vingtaine de galaxies très distantes que le télescope spatial Hubble n'avait pas pu identifier dans ses images très profondes (figure 7). Ce résultat est essentiel pour obtenir un recensement plus complet des galaxies dans l'Univers distant.

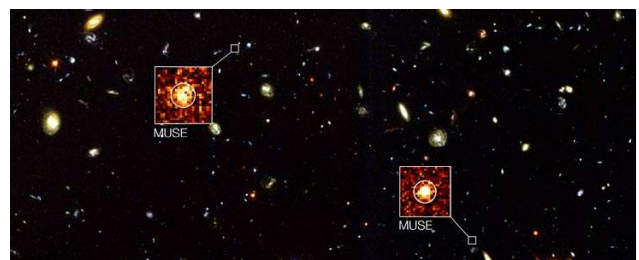


Fig.7. Exemple de détections de galaxies distantes avec MUSE, là où l'image Hubble ne révèle aucune galaxie.

REPORTAGE

ALMA - Atacama Large Millimeter Array (Grand réseau millimétrique de l'Atacama)

Sylvain Chaty, Professeur à l'Université Paris Diderot,
Astrophysicien CEA, membre de l'Institut Universitaire de France.

Sur le plateau de Chajnantor dans le désert Atacama se trouve un « troupeau » d'immenses antennes radio orientables qui peut adopter différentes configurations et se répartir sur des distances allant jusqu'à 16 km. Plus elles sont éloignées meilleure sera la résolution spatiale des astres observés de l'Univers froid.

Perché à 5 100 m d'altitude sur le plateau de Chajnantor, au sein du désert le plus aride du monde, le désert d'Atacama, au nord du Chili, ALMA est le plus grand réseau interférométrique d'antennes radio au monde. C'est aussi la plus grande collaboration scientifique internationale, constituée entre Européens (ESO), Nord-Américains (NRAO) et Asiatiques (NOAJ).

Accéder à ce site hors du commun constitue déjà une aventure extraordinaire à part entière : j'ai eu la chance de vivre cette aventure en mars dernier, à la suite d'une mission d'observation à l'observatoire astronomique de Paranal, en compagnie d'Alexis Coleiro, collègue astrophysicien de l'Université Paris Diderot, et de Pascale Autran, journaliste du quotidien Le Parisien - Aujourd'hui en France (cf. blog de l'Université Paris Diderot, lien ci-dessous).

Notre visite débute par une escale d'une nuit à San Pedro de Atacama, la ville-oasis la plus proche du site d'ALMA, en plein désert d'Atacama. Une fois rejoint, le matin à 8 h 30, par notre guide Francisco Rodriguez, travaillant au service de communication et de relation avec la presse de l'ESO (Organisation de l'Observatoire Européen Austral), nous partons à 2 véhicules 4x4, en roulant tout d'abord une bonne demi-heure, avant d'effectuer un arrêt obligatoire à l'accueil sécurité de ALMA, situé à 2 000 m d'altitude. Là, nous montrons tout d'abord patte blanche en fournissant nos passeports, et en signant le registre d'entrée du site. Puis, nous visionnons une vidéo décrivant le site, les risques liés à l'altitude, à l'ensoleillement, au froid, à l'aridité, etc., ainsi que les recommandations pour prévenir l'ensemble de ces risques. Après cela, nous remontons dans les véhicules pour rouler jusqu'au camp de base, dit OSF (Observatory Science Facility), à 2 900m d'altitude. C'est ici que notre niveau de stress monte quelque peu, car il nous faut absolument réussir un examen médical de pression sanguine et teneur en oxygène dans le sang.

Si un seul des tests n'est pas satisfaisant, il nous faudra attendre 5 minutes avant de nous soumettre à

un deuxième – et ultime – essai, en tâchant de nous calmer, de ne pas paniquer... Une fois l'examen passé *avec succès et soulagement*, le médecin nous délivre le sésame du laisser-passer.

Francisco nous fournit alors à chacun une petite bouteille d'oxygène, qui nous permettra de lutter, si besoin, contre la fatigue, le mal de tête, ou encore la nausée, qui sont tous des maux de l'altitude.

Nous pouvons dès lors initier notre montée vers ALMA, grâce à nos deux véhicules 4x4, spécialement réglés pour pouvoir rouler en altitude, dans une atmosphère à faible teneur en oxygène, direction : le plateau de Chajnantor ! Francisco nous a en effet donné la consigne de ne pas nous arrêter pendant tout le temps que dure la montée, et nous le suivons donc sagement pendant environ 45 minutes. Nous ne nous arrêterons qu'une seule fois, à sa demande, car il semble avoir quelques problèmes de voiture, peut-être liés au GPS qui bride le moteur lorsque le véhicule s'approche de la frontière bolivienne, mais finalement il peut continuer la montée... Nous dépassons peu à peu les panneaux indiquant les différentes altitudes : 3 500m, 4 000m, 4 500m, puis 5 000m, pour finalement atteindre le plateau de Chajnantor, à 5 100m d'altitude... Nous sommes euphoriques lors de cette montée, serait-ce le premier effet de l'altitude ?



Le champ d'antennes.

La première vision que l'on découvre en arrivant, est la montagne Cerro Chajnantor, dominant le plateau du haut de son sommet, situé à 5 600m d'altitude. Nous descendons doucement, avec précaution, du véhicule, car nous commençons tous

à ressentir les premiers effets de l'altitude, avec une légère sensation d'étourdissement, presque de vertige ! Nous pénétrons alors dans le bâtiment technique, pressurisé, pour le traverser jusqu'à arriver à la salle de contrôle.

C'est à ce moment-là que, par les vitres du bâtiment, nous découvrons avec émerveillement et fascination, au loin devant nous, le champ d'antennes, tel un troupeau de monstres blancs regroupés tous ensemble au milieu du plateau, et je ne peux m'empêcher de penser aux manchots empereurs de l'Antarctique, se regroupant ainsi pour se protéger du vent et du froid !

Nous commençons par visiter le bâtiment technique, avec tout d'abord la salle des serveurs réseaux, que Carlos, l'un des ingénieurs qui nous accompagne lors de cette visite, appelle le « cœur » ("el corazon") d'ALMA. Puis, nous entrons dans la salle des corrections de phase des signaux radio, encore nommée par Carlos le « réseau de circulation sanguine ».

Nous entrons enfin, presque religieusement, dans une dernière salle, celle des corrélateurs, que Juan Carlos, un autre ingénieur, décrit de sa voix de basse (il est d'ailleurs surnommé ici le « Barry White d'ALMA »), par cette phrase inoubliable : *le cerveau humain a deux hémisphères, le cerveau d'ALMA, lui, en a quatre !* Carlos nous montre ensuite de nombreuses photos qu'il a prises lui-même, de jour comme de nuit, sur ce site exceptionnel, en nous promettant de nous en envoyer quelques-unes !

Nous nous dirigeons ensuite [enfin !] vers les antennes, aujourd'hui toutes rassemblées, mais pointant dans des directions différentes, les ingénieurs effectuant à ce moment des tests techniques.



Les antennes d'ALMA.

Deux configurations du réseau d'antennes sont en effet possibles : la première, dite compacte, consiste à regrouper les antennes pour former un cœur compact, dans le but d'obtenir le plus grand champ de vue possible, tel un objectif grand angle. Cette configuration est aussi utilisée pour la maintenance lors du temps technique. Dans la deuxième configuration, dite large, les antennes sont espacées

sur une distance totale de 16 km sur le plateau, offrant un champ de vue plus restreint, mais permettant d'obtenir les détails les plus fins, et donc la meilleure résolution spatiale, tel un téléobjectif superpuissant.

Les antennes ont été construites pour un tiers par les Européens, un autre tiers par les Américains, et un dernier tiers par les Asiatiques. Les antennes européennes et américaines font 12 m de diamètre, et les japonaises 7 m de diamètre.

L'extraordinaire beauté du site (et probablement aussi le manque d'oxygène !) nous rendent totalement euphoriques. Nous nous promenons sur ce plateau situé à 5 000 m d'altitude, excités comme des enfants au milieu de ces 67 antennes, imposantes géantes du désert, rassemblées telles des moutons pour se tenir chaud, luttant contre le vent puissant à cette altitude, et nous recherchons en vain le berger qui sûrement passe ses nuits à les surveiller.

Alors que nous nous demandons à haute voix où se trouve le chien du berger, que nous aimerions tant voir courir après les antennes, Francisco nous répond avec malice qu'il n'y a pas un mais deux chiens : le premier s'appelle Lore, le deuxième Ote... Il nous explique qu'il s'agit de 2 camions-grue de 130 tonnes, construits exprès pour pouvoir transporter les antennes (d'une masse de 100 tonnes !) d'un point à l'autre sur le plateau, ou même les amener depuis le camp de base jusqu'au plateau, avec la plus grande douceur requise, parcourant à peine quarante kilomètres en 6 h, à raison d'environ 6 km/h (la vitesse d'une marche à pied, déconseillée à cette altitude !). Ces camions-grues sont de véritables monstres, à la hauteur des dimensions et du caractère unique des antennes : ils consomment 4 000 litres d'essence aux 100 km, délivrant une puissance de 1 300 chevaux ! Deux monstres que Stéphane Léon, astronome à ALMA, appelle tendrement Hansel et Gretel...



Un camion-grue.

Les déplacements d'antennes sur le plateau sont fréquents (environ une centaine par an à raison de 4 antennes maximum par jour), afin de changer la configuration du réseau interférométrique, entre le

mode compact ou large. Il arrive aussi que des antennes soient descendues à l'OSF à 2 900m pour en effectuer la maintenance.

Pour terminer en beauté notre visite de ce site exceptionnel, nous nous dirigeons ensuite vers Cerro Chico, une *petite* montagne (altitude du sommet 5 300m tout de même !) dominant le plateau, d'où nous découvrons une vue spectaculaire sur l'ensemble du plateau de Chajnantor, englobant les antennes du réseau interférométrique ALMA, mais aussi l'antenne APEX, prototype des antennes d'ALMA. Au passage, nous nous rendons compte, en marchant au sommet à 5 300m, que chaque pas effectué un peu vite coûte beaucoup (trop ?) d'énergie... J'ai une pensée émue, en me rappelant que j'étais venu en 2005 sur ce plateau, pour tourner avec l'équipe du studio vidéo de Paris Diderot le documentaire « Le ciel, la cordillère et l'astrophysicien », réalisé par Jean-Louis Berdot et Jean-Paul Flourat, et qu'il n'y avait à l'époque que l'antenne APEX...

Francisco nous rappelle alors que nous devons descendre rapidement, pour deux raisons : la première est que le temps de visite sur le plateau ne doit pas dépasser 2 heures, par sécurité pour l'organisme, la deuxième, et probablement la plus importante, est que le déjeuner ne sera bientôt plus servi au camp de base ! Notre organisme apprécie grandement le retour à une altitude plus humaine de 2 900 m, surtout accompagnée de nourritures terrestres... Quelques interviews d'astronomes sur place, puis du directeur d'ALMA, Pierre Cox, directeur de cette organisation internationale. Il nous explique que sur ALMA il n'y aura jamais d'observation en mode visiteur comme à Paranal, mais uniquement des observations de service, car les conditions d'observation sont trop variables sur le site, et probablement aussi car les risques au niveau de la santé humaine sont trop importants ! Nous quittons enfin le site d'ALMA en repassant par la sécurité, avant de nous diriger vers la Vallée de la Lune, afin d'admirer le coucher du Soleil, dans un environnement de couleurs écarlates, surplombée par le volcan Licancabur, lui-même survolé par la Lune, pleine ce soir. Nous avons bien mérité notre Pisco Sour (boisson nationale du Chili) ce soir !



Le volcan Licancabur.

Pourquoi ALMA est-il situé si haut en altitude ?

À 5 100m, 90 % de l'atmosphère se trouve en-dessous de nos pieds : on est donc quasiment dans l'espace (et cela se ressent avec le manque d'oxygène !). Construire ALMA dans un site très sec (et donc très haut) était nécessaire, afin d'être en mesure d'effectuer les meilleures observations possibles : ce sont en effet les molécules d'eau, présentes en grande quantité dans l'atmosphère, qui absorbent le rayonnement des astres à ces longueurs d'onde.

Qu'observe-t-on avec ALMA ?

Cet observatoire de pointe est dédié à l'observation de l'Univers froid, c'est-à-dire à l'étude du rayonnement provenant des objets les plus froids de l'Univers. À ces longueurs d'onde submillimétriques, notre vision de l'Univers est en effet totalement différente de ce qu'on a l'habitude de voir dans le visible : on observe le gaz froid de l'Univers (quelques dizaines de degrés au-dessus du zéro absolu) : planètes, étoiles, et même galaxies en formation. Cet observatoire permet donc d'accéder à des phénomènes physiques inédits, permettant d'affiner les modèles de formation des planètes autour des étoiles, d'étudier la naissance des étoiles au sein des nuages de gaz interstellaires, ou encore l'origine des galaxies au sein des amas galactiques.

Comment fonctionne ALMA ?

Comme tout interféromètre, ALMA observe en combinant les faisceaux des 67 antennes radio. Il s'agit d'un véritable challenge technologique, non seulement au niveau des communications entre antennes et corrélateur, mais aussi en ce qui concerne les calculs informatiques effectués en temps réel sur d'énormes quantités de données.

Pour en savoir plus :

* Site officiel d'ALMA :

<http://www.almaobservatory.org>

* Site officiel d'ALMA (ESO) :

<https://www.eso.org/sci/facilities/alma.html>

* Article et vidéo sur ALMA dans Le Parisien - Aujourd'hui en France (écrit et réalisé par P. Autran, journaliste qui m'a accompagné en mars 2015) :

[http://www.leparisien.fr/sciences/video-chili-au-plus-pres-desetoiles-29-03-2015-](http://www.leparisien.fr/sciences/video-chili-au-plus-pres-desetoiles-29-03-2015-4647111.php#xtref=https%3A%2F%2Fwww.google.fr%2F)

[4647111.php#xtref=https%3A%2F%2Fwww.google.fr%2F](http://www.leparisien.fr/sciences/video-chili-au-plus-pres-desetoiles-29-03-2015-4647111.php#xtref=https%3A%2F%2Fwww.google.fr%2F)

* Blog de l'université Paris Diderot sur ma mission d'observation de mars 2015 :

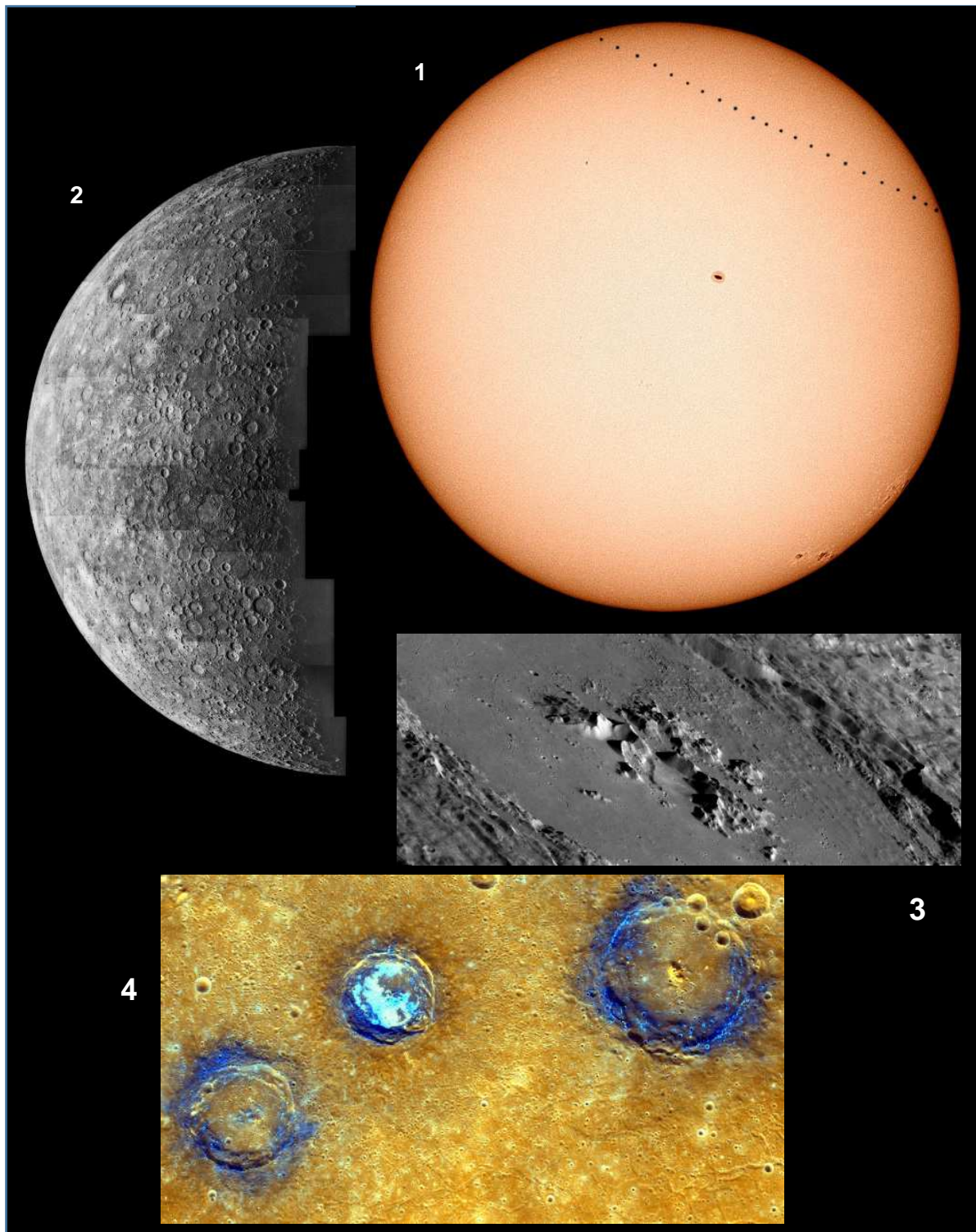
[http://www.univ-paris-](http://www.univ-paris-diderot.fr/sc/site.php?bc=accueil&np=pageActu&ref=7078)

[diderot.fr/sc/site.php?bc=accueil&np=pageActu&ref=7078](http://www.univ-paris-diderot.fr/sc/site.php?bc=accueil&np=pageActu&ref=7078)
Documentaire « Le ciel, la cordillère et l'astrophysicien » réalisé par Jean-Louis Berdot et Jean-Paul Flourat, de l'université Paris Diderot:

[http://www.univ-paris-](http://www.univ-paris-diderot.fr/Mediatheque/spip.php?article488)

[diderot.fr/Mediatheque/spip.php?article488](http://www.univ-paris-diderot.fr/Mediatheque/spip.php?article488)

THÈME : Mercure



1. Passage de Mercure devant le Soleil le 7 mai 2003 (photo D. Dierick), 155 EDFS Starfire and Nikon D100 with Baader solar Foil.
2. Mercure photographiée en 1974 par Mariner 10, la première sonde à l'avoir approchée (crédit NASA/JPL).
3. Intérieur du cratère Abedin photographié par MESSENGER (Crédit photo NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington).
4. Autre image de MESSENGER, trois cratères en fausses couleurs, situés dans le bassin Caloris. Ils mesurent 61, 52 et 81 km de diamètre (Crédit photo NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington).

Mercure, une planète et une figure mythologique

Maryse & Jean-Luc Fouquet, La Flotte (17)

Maryse et Jean-Luc nous plongent dans la mythologie à travers des siècles et dans cet article à deux mains nous font découvrir un des dieux les plus pittoresques de l'Olympe : Hermès. Nous découvrons également les divers noms qu'a portés dans différentes civilisations cette planète que nous appelons Mercure.

Comme les autres planètes, Mercure porte le nom d'un dieu antique. Qu'est-ce qui a dicté ce choix : hasard ou analogies tissant des liens entre ce dieu et la planète observée ? La terminologie ayant évolué au cours du temps, quelles dénominations successives ont été adoptées ? En quoi ces dernières sont-elles révélatrices d'un changement de regard des Anciens sur le ciel ? Comment s'imbriquent et s'enrichissent discours mythologique, poétique, religieux, scientifique et astrologique ? Que peut apporter à un scientifique le fait de confronter la vie d'un dieu, ses attributs et son caractère avec les caractéristiques physiques de la planète qui lui est associée ?

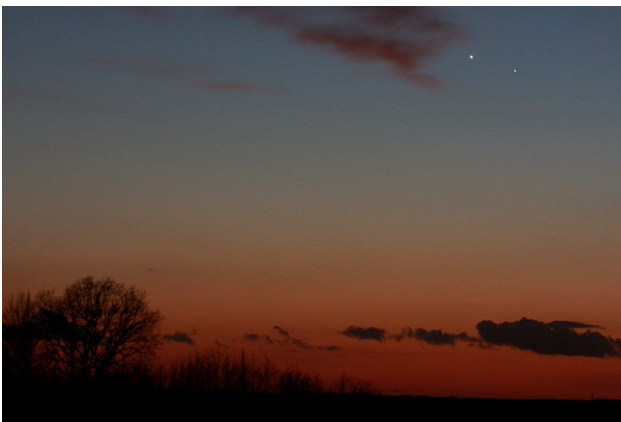


Fig.1. *Vénus et Mercure côte à côte dans le ciel du soir, le 11 janvier 2015. Ces deux planètes ne s'éloignent jamais du Soleil et sont visibles soit le soir, soit le matin. Vénus est la plus lumineuse des deux.*

Un nom puisé dans l'imaginaire de la mythologie

Le nom de nos planètes est emprunté à l'Olympe gréco-latin sur un modèle oriental. En effet, les Babyloniens qui, dès la fin du XII^e siècle avant notre ère, avaient su distinguer des étoiles fixes les astres errants, ont désigné chaque planète par le nom d'une divinité à laquelle elle était consacrée. Ainsi, c'est à Nabou qu'ils attribuèrent la planète Mercure. Son

nom pourrait se rapprocher de la racine sémitique signifiant « prophète », ou d'une autre signifiant « brillant ». Il était chargé d'inscrire sur ses tablettes le destin de chaque humain. Il était le dieu de la sagesse mais aussi le messager des dieux. Lorsque les premiers Pythagoriciens ont au V^e siècle introduit la nomenclature des astres errants, ils ont identifié les dieux sémitiques aux dieux grecs qui avaient des attributs à peu près équivalents. Par assimilation, en gardant les mêmes caractéristiques, les Grecs en firent Hermès comme en témoigne Platon dans le *Timée*. À l'époque de Varron, fin connaisseur de la nomenclature hellénique, les Romains ont substitué aux noms grecs les noms de leurs dieux correspondants. L'astre d'Hermès devient celui de Mercure comme en témoigne l'allusion de Cicéron dans le *Songe de Scipion*, les Romains continuant à associer comme dans les civilisations précédentes, la planète au dieu sur laquelle celui-ci exerçait une tutelle. Le nom Mercure vient d'un mot latin « merx, mercis » qui signifie « marchandise ». Mercure était en effet le dieu du commerce.

Une double identification liée à une erreur

Des cinq planètes connues depuis près de deux mille ans avant notre ère, Mercure est la plus difficilement observable. Vue depuis la Terre, elle reste très proche du Soleil et ne s'en écarte jamais de plus de 28°. Ses levers et couchers ne diffèrent de ceux de l'astre du jour que de deux heures au plus, et elle n'est donc visible très près de l'horizon que par temps clair. Comme pour Vénus, on a cru d'abord dans la plus haute Antiquité que l'astre du matin, apparaissant juste avant le lever du Soleil, était différent de celui du soir et on avait nommé différemment chacun d'eux. La planète du matin, nommée Horus en Égypte, a été consacrée, dans le peuple grec et auparavant en Chaldée, à Apollon,

dieu de la lumière et du jour, comme l'atteste Plin l'Ancien dans ses écrits. La planète du soir, appelée Seth au bord du Nil, a été désignée par Hermès, dieu de la nuit et de l'obscurité. En Égypte, on a remarqué assez tôt qu'un seul des deux astres était visible à la fois et que ces apparitions ne se rapportaient qu'à une seule et même planète. Mais pour le peuple grec, on a continué à distinguer les deux planètes jusqu'au IV^e siècle avant notre ère bien que Pythagore ait démontré selon certaines sources qu'il s'agissait du même astre.

La science l'emporte sur le mythe

Par la suite, cette terminologie liée à la mythologie est contestée pour des raisons différentes. Ceux qui étaient animés d'une croyance religieuse estimaient que donner aux planètes un nom choisi parmi les dieux de l'Olympe était sacrilège, alors que les plus sceptiques pensaient que ce patronage n'avait pas de sens. On cherche donc pour nommer les planètes une solution plus scientifique. Les Babyloniens, quelques siècles auparavant, s'étaient déjà attachés à trouver des noms en relation avec la couleur et l'éclat des astres, et ce choix a été adopté, à l'époque alexandrine, par des savants et des philosophes tels qu'Archimède et Posidonius. Ainsi la planète Mercure s'est trouvée nommée « Stilbon », mot qui signifie en grec « le Scintillant ». Dénomination encore inconnue d'Aristote qui affirme que les planètes ne scintillent pas à la différence des étoiles, elle se répand dans les milieux cultivés mais elle n'obtient pas à Rome un grand succès et il n'y a pas eu de traduction latine du mot « Stilbon ».

Astronomie et astrologie

Le développement de nouvelles croyances sous l'influence de l'astrologie contribue à l'abandon de cette nomenclature laïque et au retour au sein du peuple grec de l'ancienne référence à la mythologie, mais avec une évolution significative. On passe de l'expression « l'astre d'Hermès/Mercure » qui suppose que le dieu exerce une simple tutelle sur l'astre, au raccourci « Hermès ou Mercure » qui identifie la planète à l'être divin lui-même. En effet, les astrologues de la Grèce antique eurent besoin, pour dresser leurs horoscopes, de prêter aux planètes des forces animées agissant sur les destinées des hommes, comme ils inventèrent à la même époque des personnages dans le zodiaque, en créant un Verseau à la place de « la Cruche » ou un Sagittaire à la place de la « Flèche ». Cette personnification s'ancra d'autant plus dans le peuple que la semaine

était adoptée dans le calendrier, le cinquième jour (le mercredi) étant placé sous le patronage de Mercure. C'est ainsi que « l'astre de Mercure » devint Mercure ...



Credit photo 123RF/Robert Wilson

Fig.2. Statue dorée de Mercure à Stuttgart. Il tient un caducée, une baguette surmontée de deux ailes et entourée de deux serpents. C'est un symbole du commerce et un des attributs du dieu.

Les ressemblances entre le dieu et la planète

Un mouvement rapide...

Pour les conteurs de légendes, tout ce qu'accomplit le jeune Hermès le jour même de sa naissance suffirait à mesurer la précocité, la vivacité d'intelligence, la rapidité d'action de ce nouveau-né qui deviendra l'un des dieux les plus pittoresques de l'Olympe. Hésiode dans l'hymne à Hermès raconte comment ce fils de Zeus et de la nymphe Maïa, né dans une caverne du mont Cyllène au nord de l'Arcadie, délia les bandelettes dont il était entouré, quitta son berceau et réussit à voler à son frère Apollon tout un troupeau de bœufs qu'il conduisit en marche arrière afin que les traces des sabots trompent ceux qui le chercheraient. Cet enfant frondeur dont les doigts agiles feront aussi le dieu des voleurs, dans la même journée parvient à inventer la lyre qu'il donne à Apollon pour le calmer, construit aussi la flûte de pan qui sera échangée contre la houlette de berger d'Apollon qui deviendra plus tard le caducée. Laissons « l'agile dieu du Cyllène » se présenter lui-même dans les Métamorphoses d'Ovide et révéler la fonction que lui attribue Zeus : « Je suis le petit-fils d'Atlas et de Pléioné et c'est moi qui porte à travers les airs les

ordres de mon père ; et mon père est Jupiter en personne. » C'est sa célérité qui vaudra au « dieu porteur du caducée » d'être le messager des dieux, le héraut divin, le médiateur entre le ciel et la Terre comme le confirme Jupiter lui-même, toujours dans les *Métamorphoses* d'Ovide : « Fidèle exécuter de mes ordres, mon fils, ne perds pas un instant et, en hâte, descends sur Terre de ton train accoutumé... » La présence des ailes attachées à ses sandales symbolise sa rapidité de mouvement. Ainsi Virgile décrit les préparatifs de Mercure que Jupiter envoie pour rappeler Enée à ses devoirs : « Il attache à ses pieds ses sandales d'or dont les ailes, aussi rapides que le vent, le porte dans les airs au-dessus des eaux et de la Terre ». Cette vélocité lui vaut aussi d'être le dieu des voyageurs.

Pour les astronomes, la planète Mercure se déplace rapidement sur le fond du ciel étoilé, sa période de révolution autour du Soleil n'étant que de 88 jours. Pour les chimistes, le mercure, métal liquide, doit son nom à la rapidité du dieu.

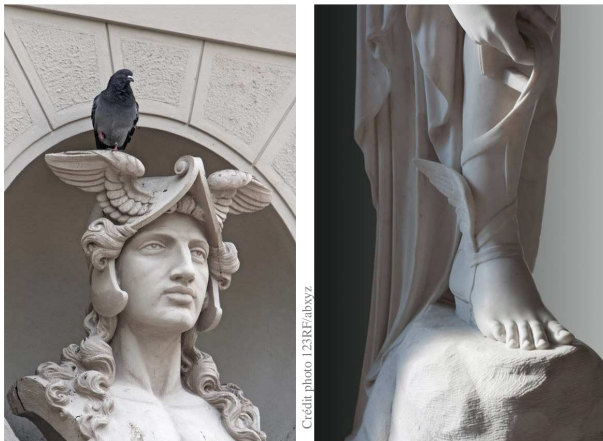


Fig.3. Des ailes sur son casque et sur ses sandales pour aller plus vite...

Un éclat remarquable...

La deuxième caractéristique qui ressort des descriptions ou représentations du dieu, c'est la brillance de certains éléments vestimentaires ou attributs. Virgile avait déjà évoqué ses sandales d'or et Ovide décrit, toujours dans les *Métamorphoses*, ainsi les préparatifs de Mercure : « Il lisse ses cheveux, dispose sa chlamyde, de façon qu'elle tombe en plis harmonieux, que la bordure, que l'or des broderies se voient en entier ; il veut que la baguette qui suscite ou écarte les songes soit bien polie dans sa main droite, qu'à ses pieds nets brillent ses talonnières. » Cette houlette de berger reçue d'Apollon était en or.

Pour les astronomes, la planète Mercure a un éclat qui rivalise avec les astres les plus brillants.

Une trajectoire centrée sur le Soleil...

Dans le *Songe de Scipion*, Cicéron décrit Mercure et Vénus comme les « compagnons dociles du Soleil », reprenant ainsi les observations de certains savants grecs tels Aristarque de Samos au III^e siècle avant J.-C. qui remarquèrent que ces deux planètes ne s'éloignaient jamais du Soleil.

Conclusion

On pourrait s'appuyer sur le titre d'un livre récemment paru, destiné aux enfants, « Le feuilleton d'Hermès, la mythologie grecque en cent épisodes » pour rendre compte des différentes facettes du personnage. Le terme de « feuilleton » dit bien la part d'humanité qui transparait à travers les qualités et les défauts de ce dieu : rusé, menteur, voleur, il est aussi doué d'une intelligence vive et remarquable comme en témoignent les multiples inventions qu'on lui prête. Par ailleurs, choisir Hermès comme fil conducteur pour évoquer une centaine de récits mythologiques dans lesquels, le plus souvent, il n'est pas le personnage principal, c'est dire l'importance du rôle de médiateur rapide, efficace, omniprésent qu'il incarne.

D'un point de vue astronomique, la planète Mercure a longtemps gardé tout son mystère, difficilement observable dans les lueurs du Soleil tout proche. Elle ne fut vraiment connue en détails que lorsque la sonde Mariner 10 s'en approcha en 1974. C'est d'ailleurs son rapide mouvement de révolution autour du Soleil qui fit croire parfois aux Anciens que Mercure jouait le rôle de médiateur auprès des autres planètes, se dirigeant pendant quelques jours vers l'une d'elles puis rebroussant son chemin, recommençant ce jeu-là avec une autre planète quelques semaines plus tard.

Bibliographie

- Dictionnaire de la mythologie, de Pierre Grimal aux Presses Universitaires de France.
- Les mythes grecs, de Robert Graves, le livre de poche.
- Hésiode, *Théogonie, Les travaux et les jours*, Hymnes homériques, folio classique.
- Ovide, *les Métamorphoses*, édition Garnier Flammarion.
- Virgile, *Enéide*, Les Belles Lettres.
- Les noms latins d'astres et de constellations, d'André Le Boeuffe, Les Belles Lettres.
- Le ciel des Romains, d'André Le Boeuffe, éditions De Boccard.
- L'astronomie dans l'Antiquité classique, Les Belles Lettres.
- Le feuilleton Hermès, la mythologie grecque en cent épisodes, de Muriel Szac, éditions Bayard.

Mercure, sœur de nébuleuse

Cécile Ferrari, Professeure à l'Université Paris–Diderot & Chercheure de l'Unité Mixte de Recherche AIM (CNRS-CEA/Irfu-Université Paris Diderot)

La mission NASA/Messenger (2011-2015) a révélé que la plus petite des planètes telluriques, dont la taille relative du cœur de fer étonne, n'est pas aussi exotique qu'on le pensait. L'abondance des éléments radioactifs des roches à sa surface est tout à fait similaire à celle des chondrites et de ses sœurs telluriques.

La planète Mercure, enfouie au cœur de notre Système solaire, à 0,39 UA de notre étoile, se rappelle régulièrement à notre bon souvenir par ses tentatives régulières d'éclipse du Soleil, plus connues sous le nom de transit, attendues certaines années début mai ou mi-novembre (n'y voyez aucune corrélation avec l'actualité française). Le prochain aura lieu le 9 mai 2016. Cependant l'« actualité » de cette star de la banlieue proche du Soleil, c'est aussi la reprise récente de son exploration spatiale par la NASA (Messenger, 2011-2015), bientôt poursuivie par l'Europe et le Japon (mission ESA-JAXA Bepi-Colombo à l'horizon 2020-2025), après presque 40 ans d'abandon.

Des premiers survols de la sonde Mariner 10 en 1974 et 1975, on a pu constater que la surface de Mercure a peu évolué depuis 4,5 milliards d'années, car elle est très cratérisée au contraire de ses voisines telluriques. On espère de facto y lire les premières étapes de formation de la croûte qui ont été effacées par ailleurs. Mercure serait alors un témoin des premières étapes de la formation des planètes telluriques. Pourtant Mercure présente des traits plutôt exotiques. Elle est trois fois plus petite que la Terre, elle semble abriter un énorme cœur de fer. En effet, une très haute densité globale, de l'ordre de $5\,430\text{ kg/m}^3$, donne l'idée d'un cœur dense et gros de fer et de nickel, occupant 80 % du volume de la planète.

Elle est en cela unique en son genre. Exotique alors ou sœur de nébuleuse proto-planétaire ? Cette particularité interroge donc sur le scénario de sa formation. La température excessive au plus proche du jeune Soleil aurait-elle empêché la condensation des éléments les plus légers dans la nébuleuse proto-solaire à partir de laquelle Mercure se serait formée ? Ou bien une éjection importante de matière du jeune Soleil aurait-elle provoqué l'évaporation d'une partie de la roche à la surface et érodé Mercure pour la réduire à une si petite taille ?

Ou bien encore un impact géant aurait-il arraché le manteau rocheux d'un Mercure adolescent ? Doit-on croire que cette planète est faite de peu d'éléments volatils, évaporés du fait de hautes températures ? Le piège n'est pas loin.

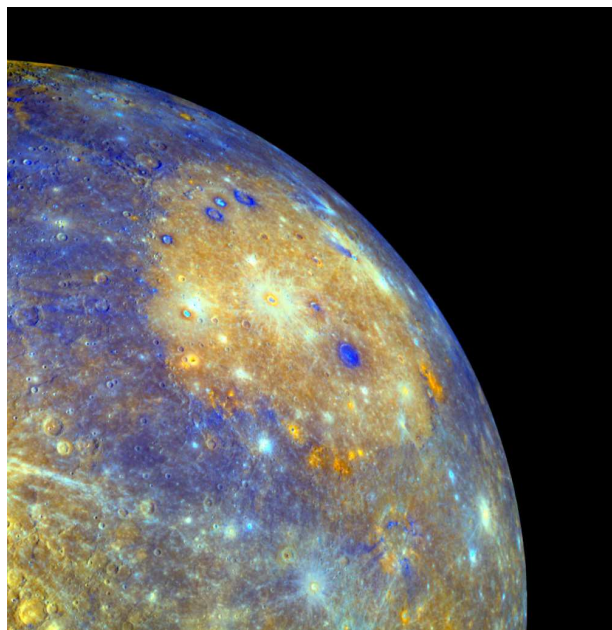


Fig.51. Le bassin Caloris observé par la caméra grand-angle de l'instrument MDIS de la sonde Messenger. Les couleurs sont exagérées pour marquer des différences de composition minéralogique, en réalité très subtiles. La résolution est de 2,3 km/pixel.

Jusqu'à récemment, il manquait une évaluation claire de la présence ou non d'éléments légers pour se forger une conviction à ce sujet. Quelques indices cependant sont apparus avant l'arrivée de Messenger. La sonde Mariner 10 a détecté une exosphère d'éléments volatils tels que le potassium K, le sodium Na et le calcium Ca. Grâce à l'observation spectroscopique de la surface de Mercure depuis le sol terrestre, on a constaté sa similitude avec les hauts plateaux feldspathiques de la Lune. L'idée vient alors de mesurer la radioactivité de la surface dont le potassium est le

premier contributeur. Connaître la radioactivité des roches c'est aussi rassembler des indices pour comprendre l'histoire de l'intérieur de la planète car ce sont les éléments radioactifs qui génèrent la chaleur sur de longues échelles de temps et donc contrôlent pour beaucoup son évolution thermique. Cette évolution se manifeste par son volcanisme, l'existence d'un champ magnétique généré par une dynamo... Les éléments naturels radioactifs émettent dans le domaine des rayonnements gamma. Les éléments prépondérants dans les roches (Si, Mg, O, Ca, Fe, Ti, S entre autres), du fait de leurs bombardements par les rayons cosmiques (protons et particules α de haute énergie) et de leurs interactions avec les neutrons rapides produits, se désexcitent aussi en émettant des rayons de haute énergie. L'émission gamma de la surface nous renseigne donc sur la composition des roches dans les premiers mètres de profondeur.

Mercure a attendu longtemps le retour de visiteurs terrestres. Il est en effet difficile d'acquérir la vitesse suffisante pour la rattraper sur son orbite, lois de Kepler obligent. La sonde Messenger arrive en mars 2011 après un voyage de 7 années et plusieurs survols de Vénus pour prendre de la vitesse par rapport au Soleil suivant le principe de la fronde gravitationnelle. De plus, les conditions d'observation sont difficiles car il y fait très chaud, plus de 700 K en journée à la surface et 90 K la nuit. La sonde Messenger recouverte d'isolants thermiques dernier cri, à l'ossature de titane, abrite une électronique de bord qui peut donc fonctionner à une température de 20 °C derrière des panneaux à plus de 370 °C. L'orbite est aussi adaptée pour limiter le rayonnement thermique de Mercure sur la sonde tout en offrant des passages à basse altitude sur le pôle Nord pour obtenir une bonne résolution spatiale de la surface. Les orbites sont polaires, durent 12 h, alignées sur les terminateurs jour/nuit. Elles frôlent le pôle Nord à environ 200 km d'altitude.

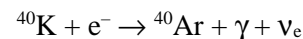
Messenger a embarqué une multitude d'instruments dont le spectromètre GRNS (acronyme de « Gamma Ray and Neutron Spectrometer »), apte à mesurer les rayons gamma d'énergie comprise entre 0,25 et 9 MeV. Ceci se fait grâce à un détecteur au Germanium très pur (High Purity Germanium ou HPGe) qui est sensible aux rayons gamma. Le rayon gamma incident y génère des électrons et un courant électrique dont l'intensité est proportionnelle à l'énergie du photon déposée. Le nombre de photons comptés à une énergie donnée résulte d'une calibration méticuleuse de l'instrument. Il baigne de fait dans un scintillateur plastique qui permet de

distinguer ce qui vient de la cible du bruit ambiant car hélas 80 % des photons gamma détectés proviennent des interactions du vent solaire avec les matériaux qui composent l'instrument. Pour améliorer la détection de ces pics d'émission à des énergies discrètes, les comptages sont moyennés sur plusieurs orbites, sur des durées de l'ordre d'une semaine, et rapportés en comptages par minute.

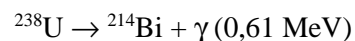


Fig.2. La sonde Messenger en cours de tests de tenue aux vibrations importantes que génère la séquence de lancement.

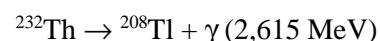
Les éléments prépondérants dans l'émission radioactive des roches sont les isotopes du potassium ^{40}K , du thorium ^{232}Th et de l'uranium ^{235}U . Le noyau de potassium ^{40}K , par capture d'un électron des couches profondes, produit de l'argon ^{40}Ar qui se désexcite en produisant un photon γ à 1,46 MeV et un neutrino électronique ν_e suivant la réaction :



avec un temps de demi-vie $\tau = 1,248 \times 10^9$ ans. La probabilité de cette désintégration est de 11 %, le potassium ^{40}K se désintégrant plus probablement en ^{40}Ca suivant une désintégration β^- (production d'un électron et transformation d'un neutron en proton). L'uranium ^{238}U , qui constitue 99,3 % de l'uranium naturel, suit une chaîne de désintégrations β plus complexe, dont la plus probable est :



avec un temps de demi-vie de $\tau = 4,47 \times 10^9$ ans et une probabilité de 46 %. D'autres photons sont en effet émis par la désintégration du bismuth à plus haute énergie. Enfin l'isotope ^{232}Th suit aussi une chaîne de désintégrations radioactives α qui le conduisent dans un premier temps à se transformer en tantale suivant :



avec un temps de demi-vie de $\tau = 14 \times 10^9$ ans. La probabilité d'une telle désintégration du ^{232}Th en ^{208}Tl en ^{208}Pb est de 36 %.

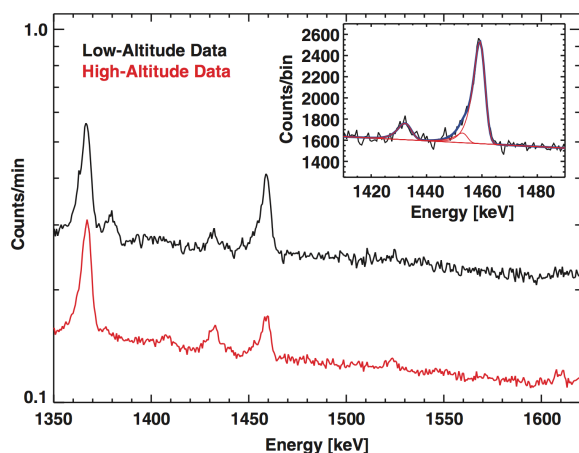


Fig.3. Comptage de l'émission radioactive du potassium à 1,461 MeV mesurée à haute (rouge) et basse (noire) altitude par le spectromètre GRSN de la sonde Messenger. Les autres pics correspondent à l'interaction des neutrons rapides émis par la surface de Mercure avec la sonde.

Le compte des photons émis par la surface permet donc de remonter à l'abondance de ces éléments. Ils sont comparés à ceux générés par des modèles calculant l'émission γ d'un sol de composition minéralogique donnée pour être convertis en abondance (en partie par million – ppm – ou par milliard – ppb). On comprend au vu des temps de demi-vie que ces trois isotopes soient aptes à générer de la chaleur en interne sur les durées de l'ordre de l'âge du Système solaire. Les flux de chaleur produits par ces désintégrations sont à l'heure actuelle de l'ordre de 10^{-12} W/kg de roche et ont été environ 20 fois plus importants il y a 4,5 milliard d'années.

Les abondances mesurées pour ces trois éléments sont sur l'hémisphère nord de Mercure de 1150 ± 220 ppm pour K, 220 ± 60 ppb pour Th et 90 ± 20 ppb pour U. Le rapport d'abondance K/Th de l'élément modérément volatil sur le réfractaire, est de 5200 ± 1800 , en bonne harmonie avec les mesures faites dans la croûte terrestre, les météorites martiennes ou par les spectromètres CRS embarqués sur les atterrisseurs vénusiens russes. Il diffère par contre totalement de celui mesuré sur la Lune (360). Le rapport Th/U est lui de $2,5 \pm 0,9$. Cette abondance somme toute « normale » de potassium élimine les théories de formation exotiques citées plus haut. En effet, les modèles d'évaporation de la croûte de Mercure dans une nébuleuse chaude à 2 500 K ou 3 000 K prévoient un épuisement important en K et en U que l'on

n'observe donc pas. Ces modèles prévoient en effet un rapport Th/U de l'ordre de 1 000 ! Les théories d'impact sont aussi exclues par là même.

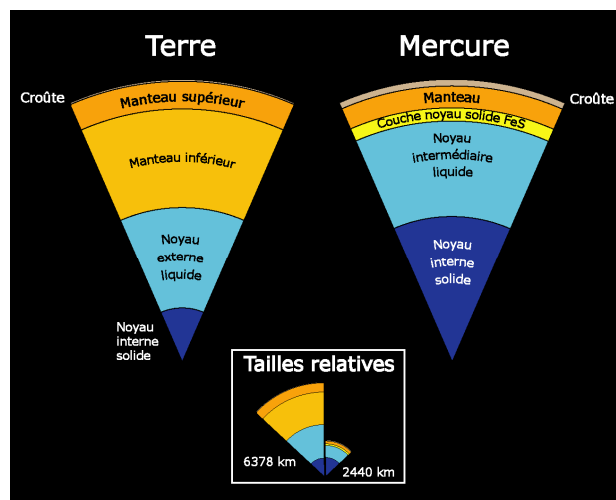


Fig.4. Comparatif des modèles de structure interne de la Terre et de Mercure.

Des modèles de formation ont été élaborés pour expliquer la faible teneur en fer des minéraux à la surface de Mercure, observée en spectroscopie proche-infrarouge, depuis la Terre, entre les missions Mariner 10 et Messenger. Ils prédisent la formation de Mercure à partir de condensats d'éléments volatils et d'une proportion importante d'éléments réfractaires plus abondants près du Soleil. Mercure aurait pu se former à partir de chondrites à fort rapport métal / silicates. Les rapports prédits seraient $\text{K/Th} \approx 4\,300$ et $\text{Th/U} \approx 3$, tout à fait compatibles avec les mesures du spectromètre GRSN. Les abondances de ces éléments radioactifs indiquent par ailleurs que la radioactivité de Mercure a largement baissé depuis sa formation et qu'elle peut expliquer un volcanisme important juste après le bombardement lourd tardif à $-3,8$ milliards d'années, plus circonscrit ensuite.

Une certaine harmonie règnerait donc aux origines des planètes telluriques Mercure, Vénus, Gaïa et Mars, par-delà leurs différences. Un message de sororité nébuleuse, de fraternité mythologique ? À méditer.

Crédits images : NASA / Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory / Carnegie Institution of Washington.

Sur la Toile : <http://messenger.jhuapl.edu/>

OBSERVATION

Observer Mercure

Gilles Dodray, lycée Gaston Bachelard, Chelles (77)

Parmi les cinq planètes visibles à l'œil nu, Mercure est la plus difficile à trouver. Gilles Dodray nous fait partager ici ses observations, dans le ciel du matin tout d'abord, puis lors de son passage devant notre étoile en 2003. Vous pourrez l'imiter très prochainement avec une très bonne période d'observation les soirs d'avril puis avec le passage de Mercure devant le Soleil le 9 mai.

Quand observer Mercure ?

Les mythes associés à la planète Mercure ne sont pas du tout artificiels. Mercure (ou Hermès pour les Grecs) parcourt le ciel pour porter les messages du dieu du soleil, Hélios, et pour l'informer des nouvelles célestes et terrestres en retour. Mercure peut aussi être facteur de discorde ou voleur caché entre les reliefs de l'horizon, apparaissant le matin quand on l'attend le soir ou restant caché pour mieux accomplir ses forfaits comme le vol de bétail.

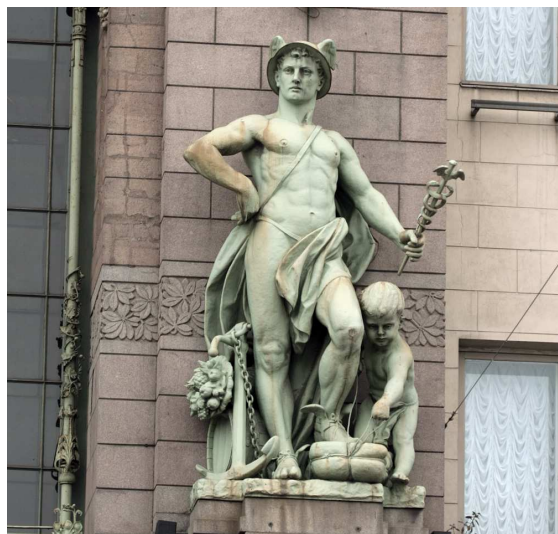


Fig.1. Mercure en devanture de magasin avec son caducée et ses autres attributs : chapeau pétase, chaussures talaria...

Quel rapport peut-on y trouver avec l'astronomie ?

Mercure est la planète la plus proche du Soleil, ne s'en éloignant pas plus de 30° en apparence, vue depuis la Terre.

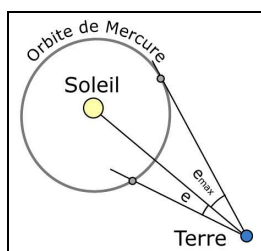


Fig.2. L'élongation (e) de Mercure est l'angle Soleil Terre Mercure. On observera Mercure de préférence lorsqu'elle semble éloignée du Soleil donc quand l'élongation est maximale (e_{max}) ; $e_{max} < 30^\circ$.

Elle a de plus la période la plus courte parmi les planètes : environ 116 jours pour la voir réapparaître un nouveau soir¹ et 88 jours pour accomplir un tour complet autour du Soleil. La connaissance de sa période apparente – 116 jours – permet d'anticiper les dates de ses élongations maximales par rapport au Soleil et de savoir si Mercure sera observable le soir ou bien le matin car les deux ne sont pas possibles : Mercure est rapide, certes, mais ne peut pas faire le tour du Soleil en une nuit ! Le fait que la trajectoire de Mercure soit excentrique par rapport au Soleil et inclinée par rapport à l'écliptique² agit aussi sur ses conditions de visibilité³.

Mais cela ne suffit pas. L'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre joue un rôle essentiel dans la réussite d'une observation (figures 3 et 4).

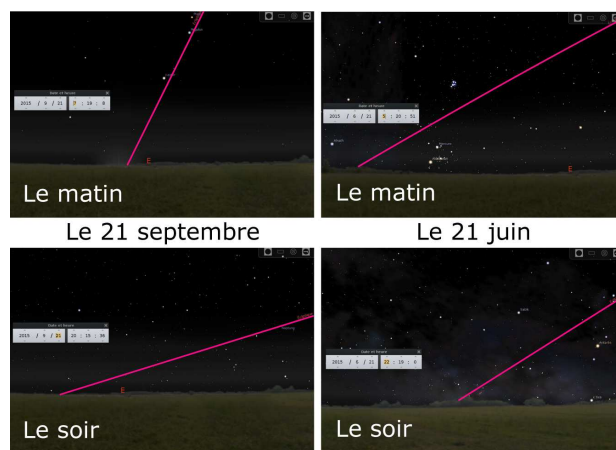


Fig.3. L'écliptique (trait rose) et son inclinaison sur l'horizon en fonction des heures et des saisons (images réalisées avec Stellarium).

¹ J'évoque ici la période synodique, c'est à dire le temps mis par Mercure pour revenir dans la même configuration avec le Soleil et la Terre.

² L'écliptique est le plan dans lequel la Terre (et les autres planètes approximativement) tourne(nt) autour du Soleil.

³ L'élongation maximale de Mercure varie entre 16° et 28° suivant la position de la planète sur son orbite elliptique.

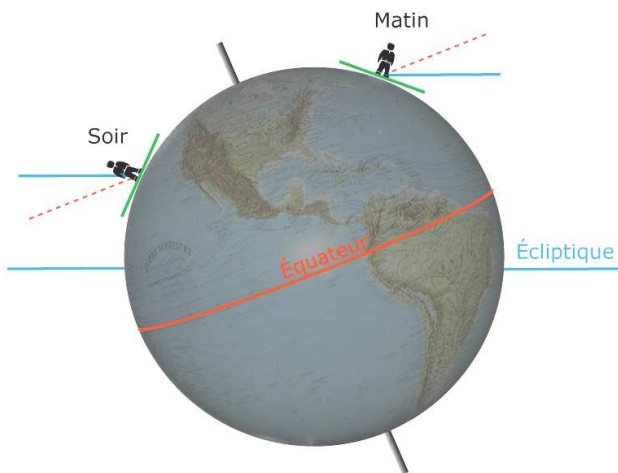


Fig.4. Ce schéma permet de comprendre pourquoi l'inclinaison de l'écliptique change. La Terre est représentée le 20 mars, à l'équinoxe de printemps. On a représenté l'écliptique en bleu et l'équateur en rouge. Le Soleil est derrière la Terre. Les deux observateurs regardent en direction du Soleil. Pour l'observateur de droite, c'est le matin, l'écliptique est bas. Pour l'observateur de gauche, c'est le soir, l'écliptique est haut ; une planète comme Mercure, qui est approximativement sur l'écliptique, sera plus facilement visible.

Les périodes d'observation de Mercure seront les plus favorables le matin en été et en automne et le soir en hiver et au printemps.

Remarque : ce « jeu » de l'écliptique avec l'horizon intervient de façon identique pour l'observation de la lumière zodiacale représentant l'éclairage par le Soleil des particules situées sur l'écliptique : on observe au mieux la lumière zodiacale le matin en septembre - octobre et le soir en mars - avril.

Une observation de Mercure

Bien qu'étant observateur en astronomie, je n'avais jamais photographié Mercure hors de son passage devant le Soleil en 2003. Je ne l'avais vue que deux fois tout à fait par hasard lors de ballades estivales en soirée. La perspective d'un nouveau passage, l'exceptionnel alignement planétaire et le beau temps prévu en banlieue parisienne en octobre 2015 m'ont fait franchir le pas. Surtout que Mercure était en phase de grande élongation par rapport au Soleil. Un horizon dégagé à l'est au petit matin, un simple appareil photo reflex numérique sur pied : prêt pour une première session.

Le 9 octobre 2015 à 6 heures 30

Le ciel est particulièrement limpide en cette fin de nuit, les planètes s'égrènent sous la constellation du Lion. Je les photographie (figure 5) en diagonale pour mieux en saisir l'étendue et ne pas rater un éventuel Mercure en maraude. Hélas, la lumière du jour monte, les étoiles s'éteignent une à une, Vénus, la Lune et Jupiter attendent aussi en vain le rendez-vous.



Fig.5. L'horizon est au matin du 9 octobre 2015. R=Régulus ; V=Vénus ; L=Lune ; M=Mars ; J=Jupiter.

Le lendemain 10 octobre même heure

Le ciel est toujours dégagé mais brumeux. La Lune s'est abaissée vers l'horizon. L'alignement des planètes et l'usage du logiciel Stellarium permettent d'espérer surprendre Mercure presque symétrique de Vénus par rapport à la Lune. La brume rend l'horizon opaque. J'attends que Mercure en sorte. Encore hélas, le jour se lève en même temps que les planètes montent. Mercure m'est encore restée invisible. Heureusement, des clichés pris toutes les cinq minutes ont pu montrer sa présence après des examens très attentifs sur plusieurs clichés pour pouvoir écarter l'éventualité d'avions très fréquents à cette heure, et si près de Roissy (figure 6).

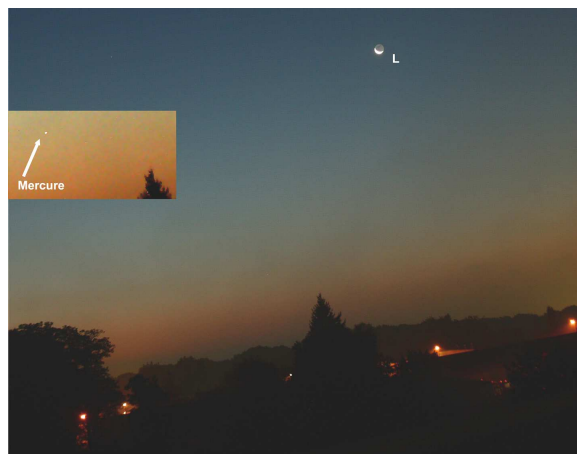


Fig.6. Au matin du 10 octobre 2015, Mercure apparaît très discrètement à gauche du sapin. Zoom en médaillon à gauche.

Le 11 octobre même heure encore

Le ciel est un peu nuageux mais plus limpide que la veille là où il est dégagé. L'élongation de Mercure a encore progressé d'après Stellarium et atteint presque son maximum. Une sentinelle est de plus présente pour une éventuelle interception de Mercure : la Lune maintenant en fin croissant est à 2° à l'ouest-nord-ouest de la position supposée de Mercure. Malgré le jour poignant, Mercure sort enfin de la brume (figure 7).

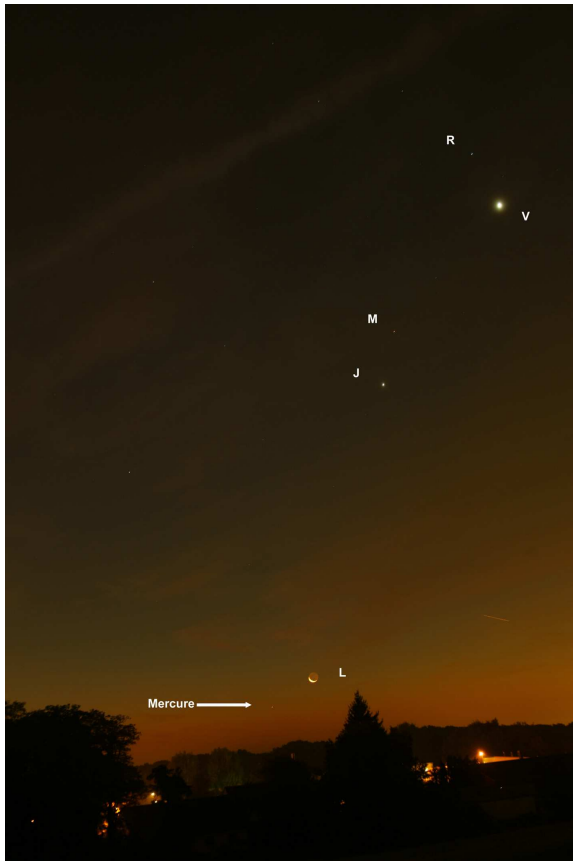


Fig.7. Au matin du 11 octobre 2015, Mercure visible à l'œil nu à l'est-sud-est de la Lune.

Quel magnifique rendez-vous se sont donnés la Lune et Mercure ce matin-là !
Vite, quelques clichés supplémentaires au téléobjectif 100 mm pour l'immortaliser (figure 8).



Fig.8. Au matin du 11 octobre 2015, Mercure avec le croissant lunaire pris avec un téléobjectif de 100 mm.

Complément : synthèse pour la réussite d'une observation de Mercure

Choisir à l'aide d'un logiciel comme Stellarium une période à la fois de grande élongation de Mercure et d'écliptique très redressé par rapport à l'horizon. Une hauteur de 5° pour Mercure alors que les

étoiles sont encore (ou déjà !) visibles semble suffisante. L'horizon doit être bien dégagé dans la direction supposée de Mercure. Un simple appareil photo sur pied ou bien calé est suffisant. Choisir des poses de quelques secondes seulement à faible sensibilité. Prendre des clichés toutes les cinq minutes en ajustant le temps de pose en fonction de l'évolution de la lumière du crépuscule. Utiliser la fonction retardateur pour éviter les vibrations au moment du déclenchement.

Si, de plus, la chance est avec vous (temps dégagé et non brumeux), alors Mercure sera emprisonné dans votre boîtier photographique... Avec le bétail volé ?

Prochaine période favorable : avril 2016 le soir (élongation maximale le 18).

L'observation du passage de Mercure le 9 mai 2016

Mercure « s'attrape » plus facilement lorsque exceptionnellement elle passe devant le Soleil : il suffit de viser le Soleil. Le matériel à utiliser est cependant bien plus sophistiqué. Une lunette ou un télescope et un filtre solaire pleine ouverture semblent nécessaires. Les Solarscope ne sont pas certains d'être opérants car Mercure sera un tout petit point cheminant sur notre astre, d'à peine un millimètre de diamètre. Mais autant le sortir pour essayer. Et si de plus il y a de belles taches solaires...

Pour de simples clichés, la motorisation de la lunette n'est pas absolument nécessaire. Profiter de la présence de taches solaires pour effectuer la mise au point à l'oculaire : Mercure sera plus facile à repérer.

Réaliser des images

Pour faire des images, les récepteurs les plus divers sont possibles : appareil photo avec bague d'adaptation au foyer de l'instrument, webcam ou caméra numérique pour composer les films en images seules. Une image (ou un film d'une dizaine de secondes) tous les quarts d'heures est un choix raisonnable en réglant à chaque fois la luminosité qui est très variable en plusieurs heures d'observation. Les téléphones portables maniés par de jeunes mains expertes peuvent aussi être capables de réussir des images derrière l'oculaire. Ce serait alors une première au smartphone pour un passage de Mercure car le précédent eut lieu en 2006.

Un exemple de cliché est donné ci-dessous lors du passage du 7 mai 2003, le dernier visible en France métropolitaine.

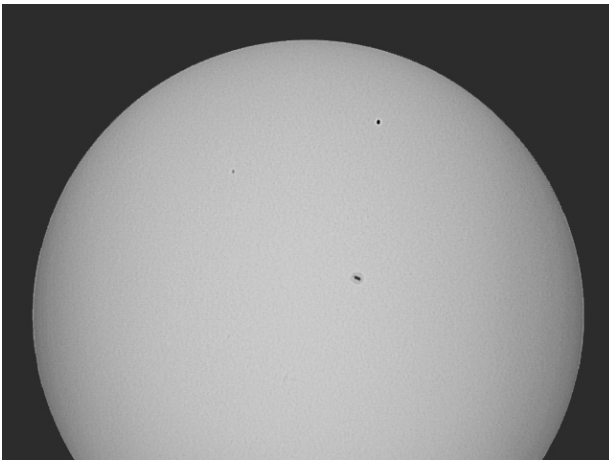


Fig.9. Mercure devant le Soleil le 7 mai 2003 à 7 h 32 TU. Mercure est le petit point vers le haut. Les autres sont des taches solaires. Image prise en webcam avec une lunette de 800 mm de focale.

Réaliser un chapelet (1)

Il est très tentant de réaliser un chapelet du passage. Les résultats seront très différents selon le choix de prise de vues. Pour espérer un passage parfaitement rectiligne, la lunette doit être mise en station précisément de nuit le matin du 9 mai 2016. Un moteur réglé sur le Soleil est préférable à un moteur réglé sur les étoiles⁴. Une orientation standardisée de récepteur photo s'obtient en le plaçant horizontal en visant plein Sud, la longueur de la photo est alors parallèle à l'équateur céleste. Pour une orientation précise, si on utilise la raquette de la lunette en ascension droite, le Soleil doit rester tangent au bord inférieur de l'écran. On peut aussi, par fantaisie, ne pas être aussi rigoureux et découvrir la courbe finale parcourue en apparence par Mercure sur le Soleil. Dans ce cas, on n'est pas obligé d'utiliser la motorisation de la lunette, mais il ne faut surtout pas changer la position du récepteur dans le porte oculaire pendant toute l'observation, en recentrant régulièrement le Soleil à l'écran du récepteur⁵.

Par la suite, on composite avec un logiciel (par exemple Registax) les images obtenues en effectuant un alignement de celles-ci sur le Soleil entier ou sur ses bords. Le résultat dépend de la qualité de l'alignement logiciel et manque de contraste à cause de l'empilement des images (figure 10).

⁴ Le Soleil effectue un tour en 24 heures, les étoiles l'effectuent en 23 heures et 56 minutes. Du début à la fin du transit, le décalage entre les deux sera de 0,3°.

⁵ Observation en groupe et recherche d'un chapelet nécessitent donc au moins deux appareils d'observation à moins d'utiliser un système de projection efficace malgré le plein Soleil.

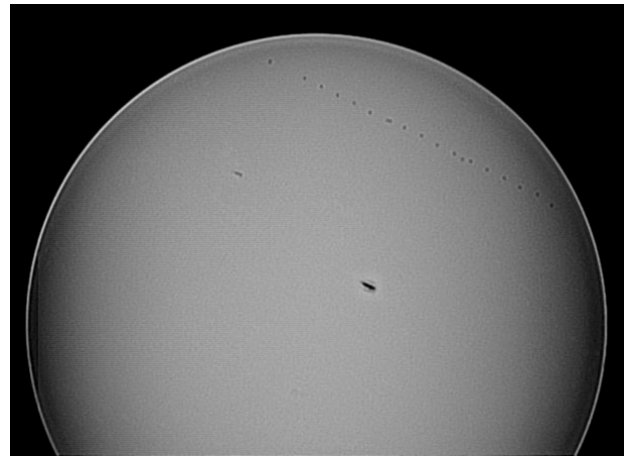


Fig.10. Chapelet du passage à partir de 19 images. L'alignement obtenu par logiciel n'est pas parfait. On remarque aussi la déformation des taches solaires liée à la rotation du Soleil sur lui-même au cours de la journée.

Réaliser un chapelet (2)

Le chapelet rectiligne peut aussi être réalisé avec un logiciel classique de traitement d'images comme Gimp ou Photoshop. On superpose précisément par calques toutes les images obtenues du Soleil. On lie tous les calques entre eux et on coupe comme des tranches de saumon les différentes strates de façon à ce qu'un seul Mercure par image se retrouve sur le dessus de l'image finale (figure 11). Les traits de coupes restent, hélas, toujours un peu apparents car le Soleil n'a pas la même luminosité au centre que sur ses bords.

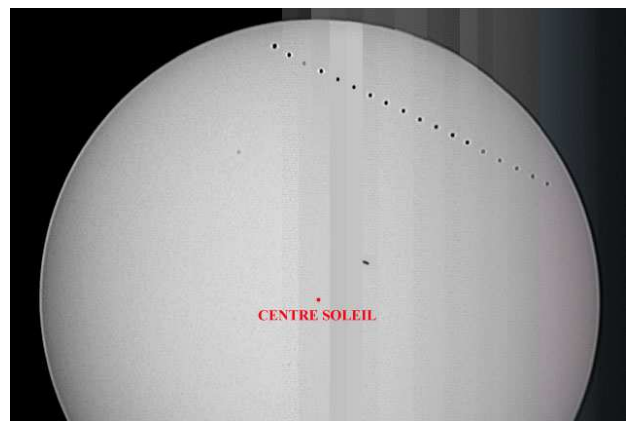


Fig.11. Autre chapelet avec un réaligement manuel. Mais les irrégularités de luminosité solaire subsistent.

Réaliser un chapelet (3)

Pour un chapelet, rectiligne ou pas, on peut superposer les calques comme en 2 puis effectuer des « trous » à bords estompés de façon à faire apparaître Mercure en « perçant » jusqu'à la profondeur en calques voulue. Il ne reste au final qu'une seule image, celle du dessus de la pile, avec les autres Mercure par les petits trous réalisés.

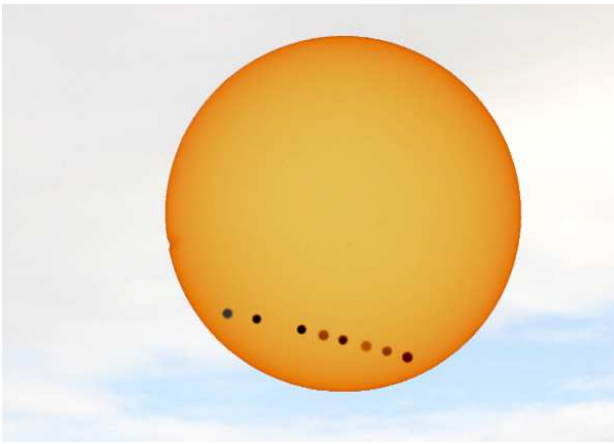


Fig.12. *Chapelet du passage de Vénus du 8 juin 2004 depuis le Spitzberg. Les irrégularités de teintes de Vénus proviennent de passages nuageux. Les absences de disques de Vénus correspondent à des moments de couverture complète du ciel. Le fond de ciel clair a été ajouté ensuite.*

Les gouttes noires

Principalement pour le début du passage (le Soleil sera bas pour la fin), on pourra s'intéresser au phénomène dit de « goutte noire » ou de « cornes » qui ont alimenté des centaines d'heures de débats dans les observatoires par le passé à l'analyse des différents passages de Mercure mais surtout de Vénus. En effet, le chronométrage précis des débuts et fins de passage de Vénus devant le Soleil permettait d'en déduire la distance Terre-Soleil : l'unité astronomique.

Ce phénomène, réel et conséquent pour Vénus est aussi présent pour Mercure à degré moindre (figure 13).

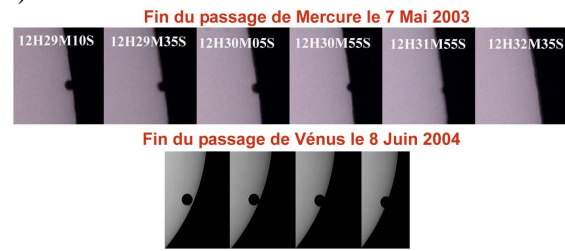


Fig.13. *Le phénomène dit de « goutte noire » pour un passage de Mercure (en haut) et de Vénus (en bas) devant le Soleil depuis mon lycée à Chelles (77).*

Conclusion

Pour plus d'informations et de précisions sur ce passage de Mercure du 9 mai 2016, on pourra consulter le site de l'[IMCCE](#) et les pages des sites scientifiques généralistes. Pour mieux garantir la réussite de l'observation, il vaut mieux l'anticiper en utilisant le logiciel Stellarium qui est exact et simule très bien les phénomènes astronomiques. Que la météo soit aussi clémente qu'en 2003 et 2004 pour les précédents passages visibles en France métropolitaine ! Et que cet événement exceptionnel vous donne envie d'observer ensuite Mercure dans des conditions classiques mais néanmoins surprenantes !

Les images sont de l'auteur et du club astronomie du lycée Gaston Bachelard de Chelles. ■

Horizontalement

1. Comme une année de 88 jours.
2. Son site avait retransmis le dernier passage de Mercure. Il y en a plus à Mercurey que sur Mercure.
3. Zéro pour Mercure.
4. Peinai. Ses grandes antennes écoutent la Terre plus que l'espace.
5. Le 9 mai pour Mercure.
6. Tuent. Satellite.
7. Préfixe bien de chez nous, pas de Mercure ni de Mars. Canard.
8. On lui doit l'explication de l'avance du périhélie de Mercure. Participe.
9. Fruit phonétique. Comme les reliefs de Mercure.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1											
2				■							■
3										■	
4					■		■	■			
5		■								■	
6							■		■		
7				■						■	
8									■		
9			■								

Mots croisés sur Mercure

Verticalement

1. Elle s'est scratchée sur Mercure.
2. Amateur de lentilles. Le nôtre est équipé d'une lentille.
3. Celle de Mercure est très lente.
4. On y trouve le plus grand télescope du XIX^e siècle. Élément chimique pas très catholique.
5. Adresse. Sommet des Pyrénées.
6. Décéléérées.
7. Cette population ne contiendrait que H et He. Émetts.
8. Là où on verra Mercure début juin. Fille de Pierre et Marie.
9. N'avouent jamais.
10. En panne. 297 Hz.
11. Principale formation sur Mercure.

Réponses p. 40

Première observation d'un transit de planète

le passage de Mercure devant le Soleil par Pierre Gassendi en 1631

et ce qui s'en est suivi

Danielle Briot, observatoire de Paris

La première observation d'un passage de planète sur le Soleil fut réalisée à l'occasion du passage (en anglais, transit) de Mercure qui eut lieu en 1631, par Pierre Gassendi (1592-1655). Après avoir évoqué cette très importante observation, Danielle Briot nous parle d'autres passages dans le Système solaire et montre enfin combien les passages de planètes devant leur étoile constituent à l'heure actuelle un domaine de l'astronomie extrêmement fécond et en plein essor.

Contexte scientifique de l'époque

Cette première observation se situe dans une époque de grands bouleversements dans les connaissances astronomiques. Depuis l'Antiquité, le monde était décrit par le système dit de Ptolémée : la Terre est au centre du monde, et la Lune, les planètes Mercure et Vénus, le Soleil et enfin les planètes Mars, Jupiter et Saturne sont en orbite autour de la Terre.

En 1543 paraît le livre de Nicolas Copernic (1473-1543) *De Revolutionibus orbium coelestium* (*Des révolutions des orbés célestes*), décrivant un monde dont le Soleil constitue le centre, la Lune tournant autour de la Terre et les planètes étant en orbite autour du Soleil. À ces deux systèmes principaux, il convient d'ajouter le système conçu par Tycho Brahé (1546-1601) qui tente de faire la synthèse entre les deux systèmes précédents.

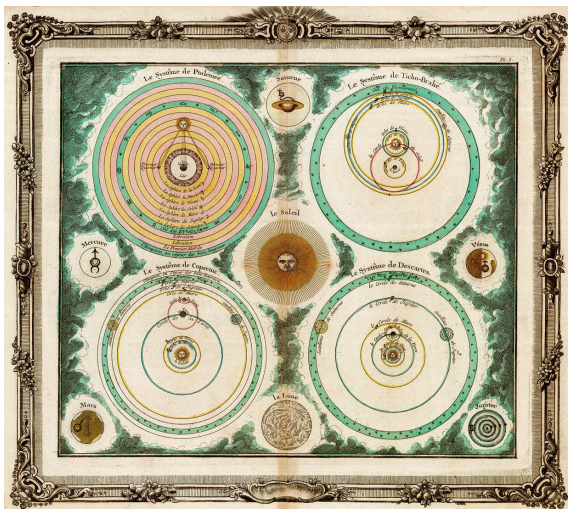


Fig.1. Les différents systèmes du monde existant au XVII^e siècle. Extrait de Louis Charles Desnos et Louis Brion de la Tour, *Atlas général civil et ecclésiastique, méthodique et élémentaire pour l'étude de la géographie et de l'histoire*, édité à Paris chez le sieur Desnos, ingénieur géographe pour les globes et les sphères, Vol. 1, Pl. 6, 1766.

Dans ce système la Lune et le Soleil tournent autour de la Terre, Mercure et Vénus tournent autour du Soleil et les orbites des autres planètes englobent à la fois la Terre et le Soleil. La figure 1 montre ces trois systèmes.

Dans chacun de ces trois systèmes, il est possible d'observer des passages des planètes inférieures, c'est-à-dire Mercure et Vénus, devant le Soleil. Déjà quand une tache noire avait été vue devant le Soleil en 807, sous le règne de Charlemagne, cela avait été interprété comme un passage de Mercure, bien que la tache ait été visible pendant huit jours.

En 1609, Galilée (1564-1642) effectue les premières observations astronomiques avec un instrument muni de pièces d'optique, la lunette astronomique.

Cette nouvelle instrumentation permet très vite une très riche moisson de découvertes. Une nouvelle ère de l'astronomie commence. En 1627, Johannes Kepler (1571-1630) publie les *Tables Rudolphines*, ainsi appelées en l'honneur de son ancien protecteur l'empereur Rodolphe II de Habsbourg (1552-1612). Ces tables astronomiques sont fondées sur les trois lois des mouvements des planètes que Kepler avait publiées en 1609 et 1618, et basées sur les observations de Tycho Brahé (1546-1601). La découverte des logarithmes par l'Écossais John Napier (1550-1617) – les Français l'appellent Neper, selon la prononciation de Napier par les Écossais – a été grandement appréciée par Kepler et a facilité l'établissement de ses tables. En 1630, il publie les éphémérides pour les années 1629-1639, basées sur ses *Tables Rudolphines*, dans lesquelles il rédige un *Avertissement aux astronomes* (*Admonitio ad astronomos, rerumque coelestium studiosos, De raris mirisq; Anni 1631, Phaenomenis, veneris pvta et mercvrii in Solem incurso, Excerpta Ex Ephemeride Anni 1631. & certo authoris consilio huic praemissa, iterumq,* que nous désignerons plus simplement sous le nom d'*Admonitio, ou Avertisse-*

ment) indiquant qu'il y aura un passage de Vénus devant le Soleil le 6 décembre 1631, visible depuis l'Amérique, suivant ses calculs. Cependant comme il peut y avoir une petite erreur dans ses prévisions, il conseille aux astronomes d'Europe d'observer le Soleil ce jour-là. De plus, le 7 novembre de la même année, il y aura un passage de Mercure devant le Soleil. Cependant, à cause des difficultés d'observation de Mercure, cette date n'est pas sûre et Kepler conseille de commencer les observations le 6 et de persévérer jusqu'au 8 novembre. L'*Avertissement* est diffusé à travers l'Europe à destination des personnes instruites. Il semblerait que les plus sérieux des astronomes aient préparé l'observation de ces passages annoncés.

Brève biographie de Gassendi

Pierre Gassendi naquit en 1592 dans le territoire de Digne. Il fut un homme de sciences, un philosophe, un théologien et un musicien. Même en nous limitant à ses travaux scientifiques, son apport est très important. En effet, il apporta son concours à des sciences très diverses et fit d'importantes découvertes dans plusieurs domaines. Il fut un scientifique reconnu à travers l'Europe, fut en contact avec de nombreux savants qu'il rencontra après parfois de longs voyages.

Ses observations astronomiques furent nombreuses et assidues. Elles concernèrent entre autres les planètes et les éclipses. Avec l'aide de son ami



Fig.2. Une représentation populaire de P. Gassendi (fin du XIX^e siècle).

Nicolas Peiresc (1580-1637), il établit le premier atlas lunaire. En météorologie, il observa, étudia et décrivit le phénomène auquel il donna le nom *d'aurore boréale*, nom toujours utilisé actuellement. Il travailla aussi l'anatomie et participa à des dissections d'animaux. Il réalisa des travaux et des études de géologie. En physique, il fit la première expérience de la chute des corps dans un véhicule en mouvement en faisant tomber une pierre depuis le mât d'un bateau et il observa alors que la pierre tombe au pied du mât.

L'observation du passage de Mercure par Gassendi

En se basant sur l'*Avertissement* de Kepler, Gassendi prépara très soigneusement l'observation du passage de Mercure sur le Soleil. À la date prévue, Gassendi était à Paris. Kepler avait conseillé de projeter l'image du Soleil sur un papier à l'aide d'une lunette astronomique, ou d'une simple « camera obscura » en cas de l'absence d'une lunette.

La camera obscura (en français chambre noire) est formée d'une enceinte, boîte ou pièce dans un bâtiment, fermée et percée d'un seul petit trou sur un des côtés. Un écran ou un simple papier blanc est disposé sur le côté opposé au trou. Les rayons lumineux provenant d'une scène extérieure passent à travers le trou, et forment l'image de la scène sur l'écran. Les couleurs sont conservées mais l'image est inversée. On peut munir la camera obscura d'un instrument optique, simple lentille ou lunette, ainsi que d'un miroir qui redressera l'image obtenue. La figure 3 qui montre l'observation des taches solaires par Christoph Scheiner (1575-1650), est une bonne illustration de la technique d'observation du Soleil au début du XVII^e siècle.

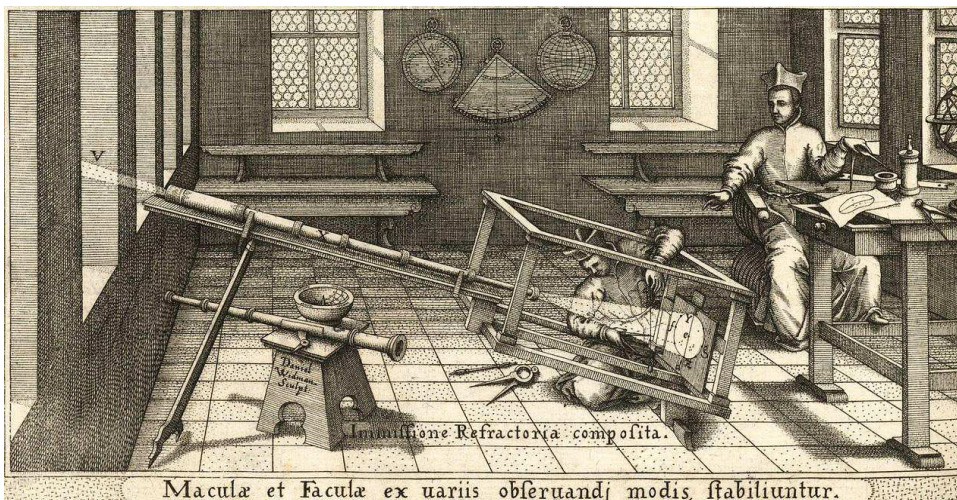


Fig.3. Observation des taches solaires par Christoph Scheiner.

Extrait de *Rosa Ursina sive Sol*, de Christoph Scheiner, 1630. Houghton Library, Harvard University.

(le titre complet est *Rosa Ursina sive Sol ex admirando facularum & macularum suarum phaenomeno varivis, necnon circa centrum suum & axem fixum ab occasu in ortum annua, circa[ue] alium axem mobilem ab ortu in occasum conuersione quasi menstrua, super polos proprios, libris quatuor mobilis ostensus, a Christophoro Scheiner germano svevo, e Societate Iesu. Ad Pavlym Iordanvm II. Vrsinvm Bracciani dvcem*).

Gassendi possédait déjà une instrumentation qu'il utilisait pour observer les taches et les éclipses du Soleil. Dans la chambre noire qu'il utilisait, les rayons lumineux provenant du Soleil traversaient une lunette astronomique dite type galiléenne et formaient l'image du Soleil sur une feuille de papier. Il ajusta la distance de façon que cette image du Soleil ait un diamètre d'environ 25 cm. Il traça un cercle de cette taille sur sa feuille de papier et en divisa le diamètre en 60 parts égales.

À l'étage en dessous, un assistant était en faction avec un quart-de-cercle. Un quart-de-cercle (voir figure 4) est un instrument d'astronomie dit de position, muni d'une lunette astronomique et, comme son nom l'indique, d'un quart de cercle gradué, et qui sert à mesurer des angles. Cet assistant devait observer la hauteur du Soleil et la noter, chaque fois que Gassendi tapait du pied, ce qui devait lui donner le temps vrai de chaque observation. Gassendi était prêt à commencer les observations le 5 novembre, mais il plut toute la journée. Le 6 novembre, le ciel fut également couvert. Le 7 novembre, le ciel se dégagait à 9 h du matin, et Gassendi observa quelque chose comme un point noir, une très petite tache noire, sur le Soleil. Très surpris par la petitesse de cette tache, il pensa d'abord à une tache solaire. Il n'en marqua la position que de manière assez vague. Cependant, à l'observation suivante, il remarqua que cette "tache" se déplaçait trop vite pour être une tache du Soleil, et il sut alors qu'il observait Mercure. Il tapa du pied pour avertir son assistant de noter la hauteur du Soleil. Cependant, cet assistant avait déserté son poste, faisant ainsi perdre un temps précieux à Gassendi. Il put cependant noter le moment de l'émergence de Mercure.

Gassendi rend compte de ses observations, qu'il décrit en détails d'abord dans des lettres à Wilhelm Schickard (1592-1635) et un peu plus tard dans le livre *Mercurius in sole visu et Venus invisus* publié en 1632. « J'ai été plus heureux que tous ces philosophes hermétiques occupés à chercher *Mercurium in sole* (c'est-à-dire la pierre philosophale) : je l'ai trouvé, je l'ai contemplé, là où personne avant moi ne l'avait vu » et aussi « Le rusé Mercure voulait passer sans être aperçu, il était entré plus tôt qu'on ne s'y attendait ».

Il fut très surpris par la petitesse de l'image de Mercure sur le Soleil : « J'étais loin, en effet, de soupçonner Mercure de projeter une si petite ombre... Je pensais que c'était plutôt une tache, qui, bien qu'elle n'ait pas été notée là sur le Soleil le jour précédent, néanmoins aurait pu également naître depuis ce temps, et j'avais ailleurs appris ce fait ».

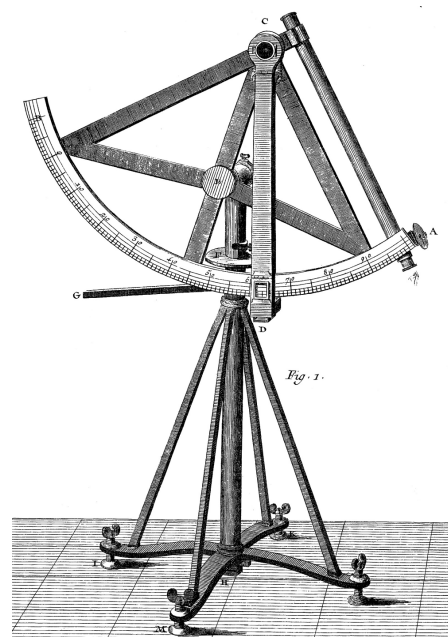


Fig. 4. Un quart-de-cercle
(extrait de l'encyclopédie de Diderot et d'Alembert, XVIII^e siècle).

Cependant, pour diverses raisons, peu d'observateurs réussirent à voir Mercure sur le Soleil. Une des raisons fut le mauvais temps fréquent sous nos climats en novembre. Le Soleil ne fut visible que de façon intermittente, ce qui a lassé la patience de certains observateurs. De plus, comme Mercure était apparu beaucoup plus petit que ce à quoi l'on s'attendait, les observateurs qui n'utilisaient qu'une camera obscura sans adjonction d'aucune pièce d'optique n'ont pu observer le phénomène.

Ce passage de Mercure fut également observé par Jean-Baptiste Cysatus, jésuite, à Innsbruck, par Jean Remus Quietanus, médecin et mathématicien de l'empereur Mathias, à Rufac en Alsace et par un anonyme à Ingolstadt, en Bavière. Nous ne connaissons aucune circonstance de ces observations, aussi l'observation de Gassendi est-elle la seule dont on ait pu tirer des conséquences astronomiques et donc la seule que l'on peut considérer comme véritablement scientifique.

L'histoire signale d'autres circonstances où l'on a cru observer un passage de Mercure. Ainsi en 1607, sur la base des observations de Tycho Brahé, Kepler avait calculé qu'un passage de Mercure devant le Soleil se produirait à la fin de mai 1607. Il observa le Soleil le 28 mai à l'aide d'une camera obscura, de fortune, et qui n'était munie d'aucune lentille. Il détecta effectivement une tache noire sur le Soleil qu'il supposa être Mercure. Cependant quelque temps après, vers 1610, les taches solaires furent découvertes à l'aide d'observations faites avec des instruments d'optique. Kepler comprit alors qu'il avait observé une tache solaire et reconnut son

erreur. Rappelons brièvement que la découverte des taches solaires avait donné lieu à controverse : doit-on attribuer cette découverte à Galilée, à Thomas Harriot (1560-1621), à Christoph Scheiner (1575-1650) (voir la figure 3), ou bien à David Fabricius (1564-1617) et à son fils Johannes Fabricius (1586-1615) ? La figure 3 qui montre l'observation des taches solaires par Scheiner est une bonne illustration de la technique d'observation du Soleil au début du XVII^e siècle.

Le passage de Mercure de 1631 par Gassendi a permis aux astronomes de corriger les données de Kepler sur Mercure. L'inclinaison de Mercure sur l'écliptique et la trajectoire de Mercure devenaient beaucoup plus précises. La conséquence la plus importante des observations de Gassendi fut une réévaluation de l'inclinaison de l'orbite de Mercure sur l'écliptique et une réévaluation du diamètre de Mercure. Ce dernier point impliquait que les diamètres des planètes ne pouvaient pas être estimés à partir de leur brillance.

Quelques mots sur les passages de Vénus

Dans son *Admiratio*, Kepler avait annoncé un passage de Vénus devant le Soleil pour le 7 décembre 1631. Mais ce passage ne put être observé depuis l'Europe, ce qui explique la deuxième partie du titre du livre de Gassendi : *et Venus invisita*. Kepler avait prévu que le prochain passage de Vénus se produirait en 1761, soit 120 ans plus tard. Ainsi les astronomes intéressés portèrent leurs efforts vers d'autres sujets. Cependant en Angleterre, Jeremiah Horrocks (1618-1641) étudia les Tables Rudolphines de Kepler et en octobre 1639 il détermina que le passage suivant se produirait le 4 décembre 1639 (calendrier grégorien), soit 8 ans seulement après le passage de 1631. Il avisa son ami et correspondant William Crabtree (1610-1644) afin qu'il observe ce phénomène. Ce furent les deux seuls et les premiers observateurs d'un passage de Vénus, confirmant ainsi la valeur des tables de Kepler.

Nous savons maintenant que les passages de Vénus se produisent par « paire », deux passages séparés par huit ans, et qu'entre deux paires il s'écoule plus d'un siècle, alors que les passages de Mercure se produisent 13 ou 14 fois par siècle.

Après une observation d'un passage de Mercure depuis l'île de Sainte-Hélène en 1677, Edmond Halley (1656-1742) montra que les observations des passages des planètes inférieures Mercure et Vénus permettent de déterminer la parallaxe solaire, donc la distance du Soleil à la Terre, et par suite toutes

les distances à l'intérieur du système solaire. Rappelons que la parallaxe diurne d'un objet du Système solaire est l'angle sous lequel depuis cet objet on voit le rayon de la Terre. Cette quantité ne doit pas être confondue avec la parallaxe d'une étoile qui est l'angle sous lequel depuis cette étoile on voit le rayon de la trajectoire terrestre.

La méthode de Halley est basée sur la comparaison des temps de passage de Vénus observé depuis des lieux de latitudes différentes. Halley exclut les passages de Mercure parce que la parallaxe de Mercure est plus faible et ses passages plus difficiles à observer. Ainsi les durées des passages de Mercure vus de différents points de la Terre ne sont pas suffisamment différentes.

Les passages de Vénus suivants eurent lieu en 1761 et 1769. Ils suscitèrent de nombreuses expéditions à travers le monde par des astronomes de plusieurs pays. Les passages du XIX^e siècle en 1874 et 1882 suscitèrent des expéditions plus nombreuses encore. Les relations des différentes expéditions du XVIII^e et XIX^e siècles représentent une partie passionnante, souvent très pittoresque et parfois tragique de l'histoire de l'astronomie. Il n'y eut pas de passage de Vénus durant le XX^e siècle, et quand arrivèrent les passages du XXI^e siècle en 2004 et 2012 la distance Terre-Soleil était déterminée par des méthodes beaucoup plus précises.

Un grand saut dans l'espace plus lointain et dans un temps plus proche : les transits de planètes extrasolaires

Les transits dans le système solaire ont été des phénomènes très observés. Nous pouvons maintenant quitter le Système solaire, puisque la découverte de la première planète extrasolaire 51 Peg b en 1995 a ouvert un nouveau et très fécond domaine de l'astronomie et de l'astrophysique. Or, depuis longtemps il avait été prévu que des planètes pourraient être détectées en observant des baisses régulières de luminosité de certaines étoiles. Le premier transit observé d'une planète extrasolaire l'a été dès 1999, pour la planète HD 209458 b nouvellement découverte par la méthode des vitesses radiales (voir la figure 5).

Les observations de transits de planètes extrasolaires se sont révélées très fécondes. En effet, d'abord elles permettent de déterminer de nombreux paramètres physiques de la planète, son rayon, son pouvoir réfléchissant (albédo), la composition chimique de son atmosphère, le sens de sa rotation...

Ensuite cette méthode s'est révélée un formidable outil de détection de planètes. Deux engins spatiaux ont été conçus pour ce programme de détection. Le satellite CoRoT d'initiative française a permis de détecter 34 planètes extrasolaires. Le télescope spatial américain Kepler a atteint à ce jour la formidable performance de 1 039 planètes découvertes, ce qui correspond à plus de la moitié des planètes extrasolaires connues. De plus, plus de 3 500 « planètes candidates » découvertes par Kepler attendent une éventuelle confirmation pour augmenter encore la quantité de planètes connues. Les observations et études de transits de planètes sont maintenant parmi les domaines les plus actifs de l'astrophysique.

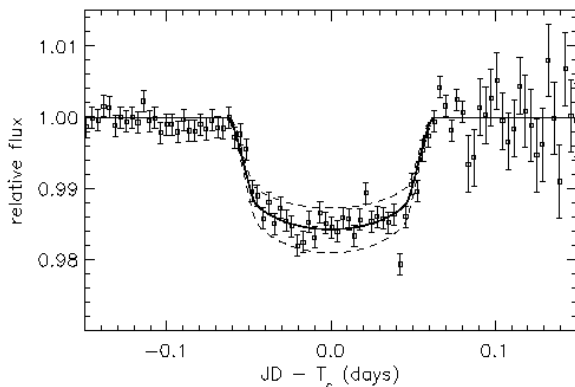


Fig.5. Courbe de luminosité de l'étoile HD 209458 pendant le transit de sa planète. Les courbes correspondant à deux transits ont été superposées. Cette figure correspond au premier transit de planète extrasolaire jamais observé. (D. Charbonneau et al., 2000)

Conclusion

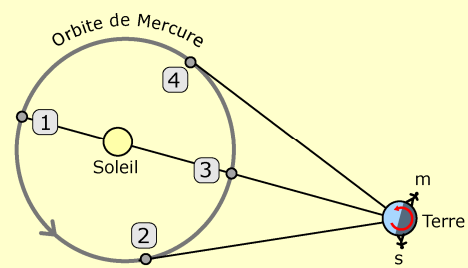
L'observation du passage de Mercure par Pierre Gassendi en 1631, première observation d'un passage, ou transit, d'une planète devant son étoile, observation qui fut menée avec une grande rigueur scientifique, est malheureusement trop peu connue. Les passages de Vénus qui sont plus faciles à observer, qui ont suscité de nombreuses missions et qui ont une histoire plus fournie et plus pittoresque, sont beaucoup mieux mis en valeur, comme nous l'avons vu lors du passage de Vénus en 2004.

Maintenant que, grâce à la mission spatiale Kepler de la NASA, plus de la moitié des quelques deux-mille planètes extrasolaires ont été découvertes grâce à leur passage devant leur étoile, on voit combien les études et observations de passages de planètes devant leur étoile constituent de nouveau un très important domaine de l'astronomie.

Il est clair que Gassendi n'a pas actuellement la célébrité qui devrait être la sienne : à quand une mission spatiale à laquelle sera attribué le nom de Gassendi ?

Mercure, notions de base

Configurations



1. Conjonction supérieure de Mercure.
 3. Conjonction inférieure.
- De 1 à 3, Mercure est visible le soir (par le personnage en s).
De 3 à 1, elle est visible le matin (personnage en m).
 2. Élongation maximale est.
 4. Élongation maximale ouest.

L'élongation est l'angle Soleil Terre Mercure.

Périodes de révolution

Période de révolution sidérale : 88 jours (mesurée par rapport aux étoiles).

Période de révolution synodique : 116 jours.

En 116 jours, la Terre effectue 0,32 tour autour du Soleil et Mercure 1,32 tour, exactement un tour de plus. Si le Soleil, Mercure et la Terre sont alignés (conjonction inférieure de Mercure), on retrouve ce même alignement 116 jours plus tard.

Orbite

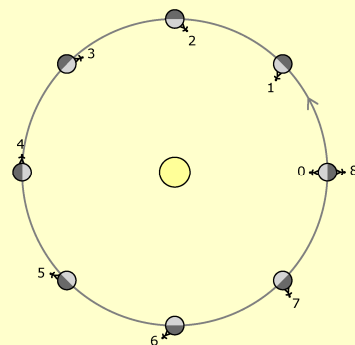
L'orbite de Mercure est la plus excentrique des planètes du système solaire (la distance Soleil Mercure varie de 46 à 70 millions de km) mais aussi la plus inclinée par rapport au plan de l'orbite terrestre (7°).

Rotation

Période de rotation sidérale : 58,65 j.

Durée du jour sur Mercure : 176 j soit deux années mercuriennes.

La différence entre ces deux périodes et la longueur du jour peuvent surprendre. Le schéma ci-dessous représente un personnage sur Mercure à midi solaire (position 0) puis tous les 11 jours. En une révolution (1 an sur Mercure), il est passé de midi à minuit.



AVEC NOS ÉLÈVES

Six idées d'activités autour du passage de Mercure

Pierre Causeret

Que faire pour préparer le passage de Mercure devant le Soleil du 9 mai ? Voici quelques idées d'activités de différents niveaux (de l'école primaire à la Terminale, voire plus) qui pourront aider à mieux comprendre le phénomène. Et il est toujours intéressant de profiter de l'actualité pour motiver nos élèves...

1. Faire une maquette du passage de Mercure à l'échelle

Prendre une même échelle pour distances et diamètres montre la difficulté d'observer le passage de Mercure à l'œil nu.

Données

Diamètre du Soleil : 1 400 000 km

Diamètre de la Terre : 12 700 km

Diamètre de Mercure : 4 900 km

Distance Terre Soleil : 151 000 000 km

Distance Terre Mercure : 83 000 000 km

Énoncé

Représenter les trois astres à l'échelle de 1 / 1 000 000 000 (ou 1 / 2 000 000 000).

Résultats

Il faudra réaliser un soleil de 1,4 m de diamètre (ou 70 cm) sur un grand carton par exemple, et le placer à 151 m (ou 75 m). Mercure sera une perle de 5 mm de diamètre (ou une épingle de 2,5 mm) placée à 83 m (ou 41,5 m) et la Terre une bille de 13 mm (ou 6 mm). On s'aperçoit alors que Mercure n'est pas visible à l'œil nu, il faut des jumelles !

Si vous faites cette maquette en extérieur, attention à ce que personne ne dirige les jumelles vers le vrai Soleil...

2. Comparer Mercure et le Soleil

De quelle taille doit apparaître Mercure sur le disque du Soleil ? On peut comparer les diamètres apparents sans les calculer.

Énoncé

On veut calculer combien de fois Mercure apparaîtra plus petite que le Soleil.

On pourra aussi chercher le diamètre de Mercure quand on projette le Soleil sous la forme d'un disque de 9 cm de diamètre, comme dans un Solarscope.

Données

Diamètre du Soleil : 1 400 000 km

Diamètre de Mercure : 4 900 km

Distance Terre Soleil : 151 000 000 km

Distance Terre Mercure : 83 000 000 km

Résultats

$1\,400\,000 / 4\,900 \approx 286$.

Le Soleil est 286 fois plus gros que Mercure.

$151/83 \approx 1,82$.

Mercure est 1,86 fois plus proche que le Soleil.

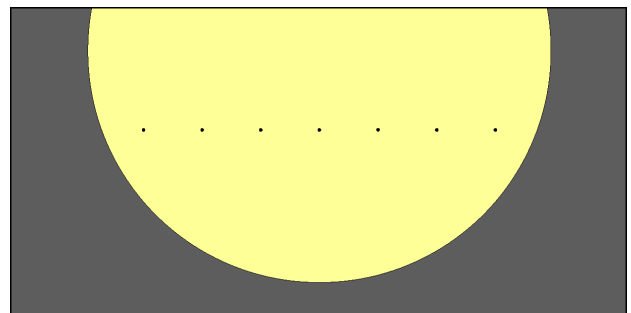
$286/1,82 \approx 157$

Mercure apparaîtra 157 fois plus petite que le Soleil. Si l'image du Soleil a un diamètre de 9 cm, celle de Mercure sera une minuscule tache de 0,6 mm de diamètre.

3. Dessiner le passage de Mercure

Énoncé

En prenant 1 cm pour 2', dessiner le passage de Mercure devant le Soleil.



Données

Diamètre apparent de Mercure : 0,2'

Diamètre apparent du Soleil : 31,7'

Distance apparente entre le centre du Soleil et Mercure au milieu du passage : 5,3'

Vitesse apparente de Mercure sur le disque du Soleil : 4' par heure

Résultats

Le Soleil devra mesurer 15,9 cm de diamètre, Mercure 1 mm et passer à 27 mm du centre du Soleil à la vitesse de 2 cm par heure.

4. Calculer la baisse de luminosité du Soleil

La majorité des exoplanètes ont été détectées par une baisse de luminosité de leur étoile pendant un transit. Des extraterrestres pourraient-ils détecter le passage de Mercure ?

Énoncé

Calculer la baisse de luminosité du Soleil au moment du passage, en %. On supposera le disque solaire uniformément brillant.

On pourra chercher aussi sa variation de magnitude (on rappelle que la formule de la magnitude est de la forme $-2,5 \log E + C$ ou E est l'éclat de l'astre et C une constante).

Données

Diamètre apparent de Mercure : 0,2'

Diamètre apparent du Soleil : 31,7'

Résultats

L'aire est proportionnelle au carré du rayon, la baisse de luminosité, en %, sera donnée par le rapport des carrés des rayons :

$0,2^2/31,7^2 = 0,000\ 04$ soit 0,004 % ou 40 parties par million. C'est vraiment très peu...

En magnitude : on appelle E_0 et m_0 l'éclat et la magnitude du Soleil avant le passage, E et m leurs valeurs pendant le passage.

$m - m_0 = -2,5 \log E + 2,5 \log E_0 = -2,5 \log(E/E_0)$
 $= -2,5 \log [(31,7^2 - 0,2^2)/31,7^2] = 0,000\ 1.$

Une baisse de luminosité qui correspond à une augmentation de magnitude infime et qui devrait pourtant être détectable par le satellite Kepler pour une étoile de magnitude 12.

5. Calculer la durée d'un transit

On ne cherche ici qu'un ordre de grandeur en simplifiant énormément les données.

Énoncé

Calculer la durée maximale d'un passage de Mercure devant le Soleil en supposant qu'elle et la Terre parcourent des orbites circulaires à vitesse constante.

Données

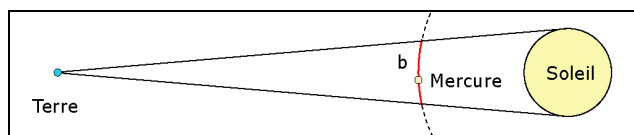
Période synodique de Mercure : 116 jours

Distance moyenne Soleil Mercure : 58 000 000 km

Distance Soleil Terre : 150 000 000 km

Résultats

On se place dans un repère où la Terre et le Soleil sont fixes, la droite Soleil Terre servant d'axe. C'est pour cette raison que l'on utilise la période synodique de Mercure de 116 jours : Mercure repasse en conjonction inférieure (entre le Soleil et la Terre) tous les 116 jours. C'est une notion un peu délicate à faire comprendre à des élèves.



Vitesse de Mercure dans ce repère :

$58\ 000\ 000\ \text{km} \times 2\pi / (116 \times 24\ \text{h}) = 130\ 000\ \text{km/h}$

Distance b à parcourir par Mercure (pour simplifier, on assimile l'arc d'ellipse à un segment), avec le théorème de Thalès (unité, le million de km) :

$1,4/b = 150/(150 - 58),$

d'où $b = 0,86$ millions de km ou 860 000 km.

Temps de parcours = $860\ 000 / 130\ 000 \approx 6,6$ h soit environ 6 h 40 min.

Le passage du 9 mai va durer 50 min de plus, 7 h 30. Mais Mercure se déplace sur une orbite très excentrique et à vitesse variable. Le 9 mai, elle sera plus éloignée du Soleil (68 millions de km) et se déplacera donc plus lentement que d'habitude.

Le même calcul pour Vénus donne 8 heures.

6. Calculer la date d'un prochain passage

Nous chercherons les différentes périodicités possibles de ces transits, sans entrer dans le détail des calculs.

Énoncé

Mercure passe devant le Soleil le 9 mai 2016. Dans combien de temps un tel passage peut-il se reproduire ?

Données

Période synodique de Mercure : $S = 115,877$ jours

Période draconitique de Mercure : $D = 87,969$ jours

Résultats

Pour apercevoir Mercure devant le Soleil, il faut d'une part que la planète se trouve en conjonction inférieure, ce qui se reproduit tous les 116 jours, et d'autre part qu'elle soit dans le plan de l'écliptique pour qu'elle ne passe ni au nord ni au sud du Soleil mais devant. L'orbite de Mercure est inclinée de 7° sur le plan de l'écliptique et elle le traverse en deux points appelés les nœuds (un nœud ascendant et un nœud descendant). Le 9 mai, Mercure passe au nœud descendant. La période draconitique est l'intervalle de temps entre deux passages de Mercure au même nœud.

Nous cherchons quand peut se produire le prochain passage au nœud descendant. Depuis le 9 mai, il se sera écoulé un certain nombre a (entier) de périodes synodiques et un certain nombre b (entier) de périodes draconitiques. On doit donc avoir $a \times 115,877 = b \times 87,969$ ou $115,877/87,969 = b/a$ avec a et b entier. Il existe une technique pour trouver des fractions aussi proches que l'on veut

d'un décimal donné. C'est ce qu'on appelle les fractions continues (*). On obtient la suite 4/3, 25/19, 29/22, 54/41, 137/104, 191/145... Une des premières bonnes approximations est 54/41 :

$$115,877/87,969 \approx 54/41$$

donc $41 \times 115,877 \text{ j} \approx 54 \times 87,969 \text{ j} \approx 13 \text{ ans}$.

Il n'y aura pourtant pas de passage de Mercure dans 13 ans mais il y en a eu un il y a 13 ans, le 7 mai 2003.

L'approximation suivante, plus précise, est 137/104, ce qui correspond à 33 ans. Il y aura bien un passage de Mercure dans 33 ans, le 7 mai 2049.

Une approximation encore meilleure est 191/145 (46 ans) et il y aura un passage le 10 mai 2062.

Cette méthode donne des dates possibles de passage mais ensuite, il faut des calculs plus complexes pour savoir si le passage aura vraiment lieu.

La même chose peut être faite avec le passage de Mercure au nœud ascendant, ce qui donne des transits ayant lieu en novembre.

(*) Vous trouverez le détail des calculs réalisés par Philippe Merlin, de l'observatoire de Lyon, à l'adresse : http://cral.univ-lyon1.fr/labo/fc/ateliers_2015-16/PassageMercure/Documents/fract_cont_Mercure-Terre.pdf

Six questions sur le passage de Mercure

Pourquoi les passages de Mercure sont-ils rares ?

Parce que l'orbite de Mercure est inclinée (de 7°) par rapport à l'orbite de la Terre.

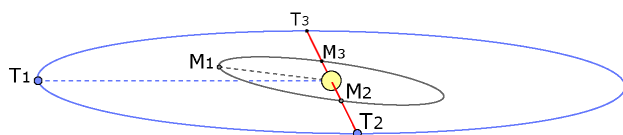


Fig.1. Orbites de Mercure (en gris) et de la Terre (en bleu). La ligne rouge est la ligne des nœuds, intersection de l'orbite de Mercure avec le plan de l'orbite terrestre.

Sur la figure ci-dessus, quand la Terre est en T₁ et Mercure en M₁, un observateur terrestre verra Mercure passer au nord du Soleil. Par contre, si la Terre est en T₂ et Mercure en M₂, on observera bien un passage de Mercure devant le Soleil, de même que pour les positions M₃ et T₃.

Pourquoi ces passages ont-ils toujours lieu en mai ou en novembre ?

La ligne des nœuds est quasiment fixe dans l'espace (le décalage est de l'ordre de 1° par siècle). Quand il y a un passage de Mercure, la Terre est en T₂ ou en T₃. Elle passe en T₂ en mai et en T₃ en novembre.

Quand auront lieu les prochains passages ?

Voici les dates calculées par l'IMCCE

Date	Heure maximum	Durée
09/05/2016	14 h 57	07 h 33
11/11/2019	15 h 19	05 h 30
13/11/2032	08 h 54	04 h 28
07/11/2039	08 h 46	03 h 00
07/05/2049	14 h 24	06 h 45
09/11/2052	02 h 29	05 h 14
10/05/2062	21 h 37	06 h 45
11/11/2065	20 h 06	05 h 25
14/11/2078	13 h 41	03 h 59
07/11/2085	13 h 34	03 h 46
08/05/2095	21 h 06	07 h 33
10/11/2098	07 h 17	05 h 24

On peut savoir en fonction de l'heure du maximum si le passage sera visible ou non en France. Celui du

11/11/2019 le sera (maximum à 15 h 19). Pour le suivant (maximum à 8 h 54 en novembre), on ne verra pas le début mais la fin sera observable. Celui du 9/11/2052 sera invisible, il aura lieu en pleine nuit pour nous.

Comment observer ce passage de Mercure ?

Deux conditions pour le voir :

1. Filtrer la lumière du Soleil pour ne pas devenir aveugle. Il faut pour cela utiliser des filtres certifiés.
2. Grossir suffisamment pour que le minuscule disque de Mercure soit visible. Inutile d'essayer de l'observer avec un viséclipse. L'œil humain est capable de détecter des détails de l'ordre de 1' et Mercure ne mesurera que 0,2'.

Un télescope avec un filtre solaire pleine ouverture (à l'entrée du télescope) est le mieux. Il ne faut pas utiliser les filtres "sun" à visser sur l'oculaire que l'on trouve avec certaines lunettes : comme toute la lumière du Soleil rentre dans l'instrument et se concentre sur l'oculaire, le filtre s'échauffe et peut se fendre.

Pour observer ce passage, vous trouverez plus de précision page 16.

Que verra-t-on ?

Un petit point noir qui traversera le disque solaire entre 13 h 12 et 20 h 41 (heures légales). Les horaires ne diffèrent que de quelques secondes d'un bout à l'autre de la France.

Pourra-t-on calculer la distance du Soleil ?

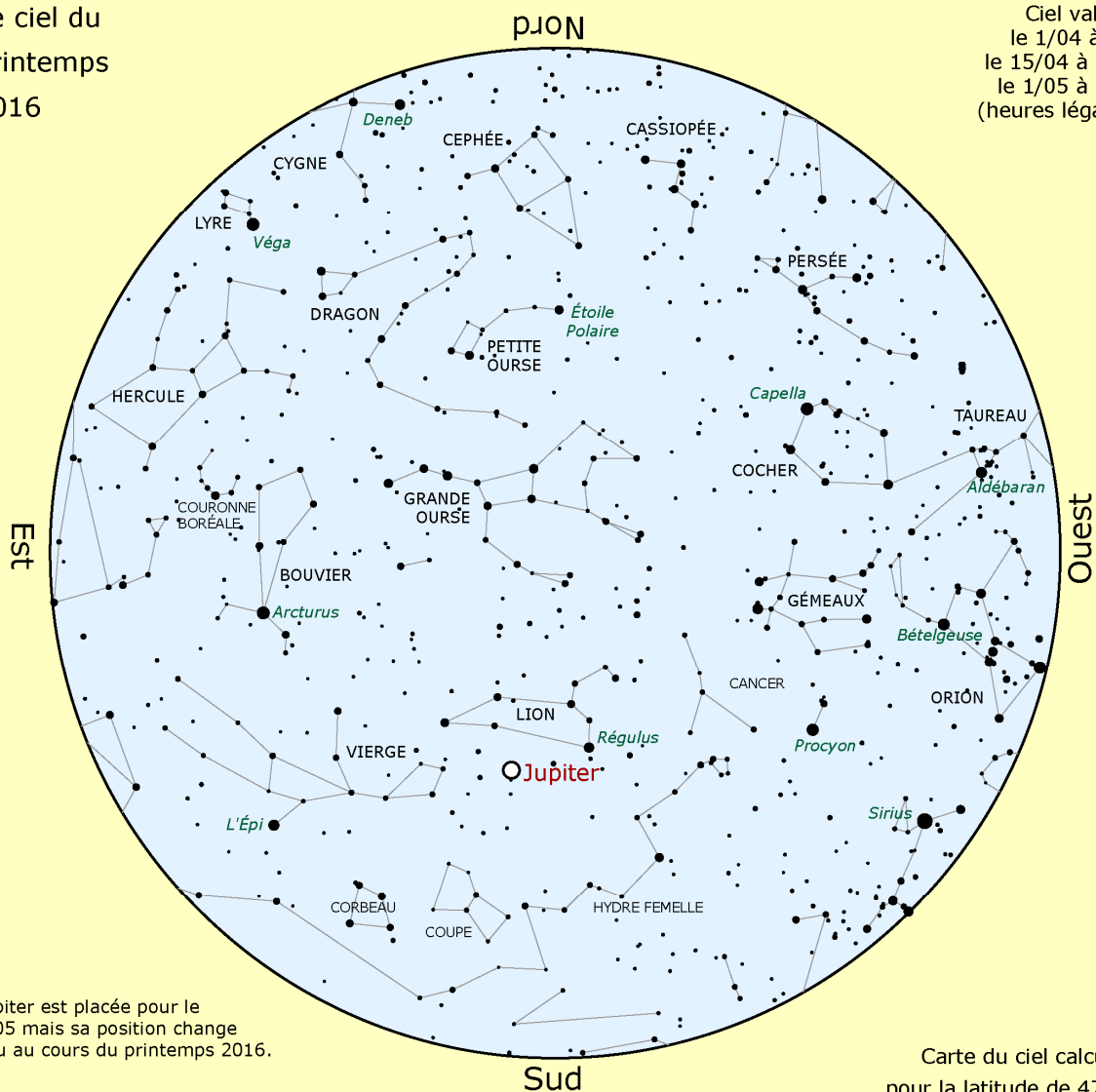
Le 8 juin 2004, nous avons photographié Vénus devant le Soleil exactement à la même heure depuis deux lieux éloignés (France métropolitaine et île de La Réunion). Les deux images montraient un léger décalage de Vénus sur fond de Soleil. La mesure de ce décalage nous avait permis de calculer la distance du Soleil.

Avec Mercure, le décalage est 3 fois plus faible. Le CLEA propose un protocole de prise de vue pour tenter ce calcul mais nous ne sommes pas du tout certains d'arriver à un résultat. Les personnes intéressées pour participer à l'opération peuvent s'inscrire à la liste des observateurs sur le site du CLEA (avec nos élèves / observations / page publique)

LE CIEL DU PRINTEMPS 2016

Le ciel du
printemps
2016

Ciel valable
le 1/04 à 0 h
le 15/04 à 23 h
le 1/05 à 22 h
(heures légales)



Jupiter est placée pour le 1/05 mais sa position change peu au cours du printemps 2016.

Carte du ciel calculée pour la latitude de 47° N

Visibilité des planètes

Quatre planètes sont faciles à observer ce printemps, dont Mars et Saturne qui passent à l'opposition à 12 jours d'intervalle. Profitez-en pour sortir vos instruments !

On trouvera **Mercure** le soir mi-avril à l'ouest (élongation maximale le 18). Une heure après le coucher du Soleil, elle est encore à 9° au-dessus de l'horizon.

Vénus passe derrière le Soleil le 6 juin. Elle n'est donc pratiquement pas observable au printemps.

Mars passe à l'opposition le 22 mai, dans le Scorpion. Diamètre apparent : 18". Vous pourrez photographier la planète rouge à côté d'Antarès et de Saturne.

Jupiter est visible le soir pendant tout le printemps, toujours très brillante, dans la constellation du Lion.

Saturne est à l'opposé du Soleil le 3 juin dans Ophiucus, à proximité de Mars

Quelques événements (heures légales)

20/03 : équinoxe de printemps à 5 h 30.

27/03 : passage à l'heure d'été (de TU + 1 à TU + 2).

10/04 (soir) : la Lune en croissant (3 jours) traverse l'amas des Hyades.

5/05 : maximum de l'essaim des Éta aquarides (étoiles filantes).

9/05 : passage de Mercure devant le Soleil de 13 h 12 à 20 h 41. À observer avec instrument et filtre. Voir les pages sur le phénomène dans ce numéro.

21/06 : solstice d'été à 0 h 34 (mais c'est le 20 juin à 22 h 34 en Temps Universel).

Lune

Pleine Lune : les 23/03, 22/04, 21/05, 20/06.

Nouvelle Lune : les 7/04, 6/05, 5/06.

AVEC NOS ÉLÈVES

Analyse de faits divers avec des élèves à travers une démarche d'investigation

Roseline Primout (enseignante de physique-chimie au collège) et sa fille Clémence Jamet

Débattre avec les élèves d'un fait divers et surtout développer leur esprit critique, tel est l'objet de cet article proposé par Roseline, démarche qu'elle a testée lors de stages avec des enseignants.

Les raisons de la démarche d'investigation présentée

Les peurs ancestrales perdurent malgré l'évolution de la société et l'augmentation des connaissances scientifiques. La plus connue est la crainte que quelque chose nous tombe sur la tête. Une autre assez fréquente, concerne l'invasion par une communauté extraterrestre.

À la sortie du film « 2012 », quel enseignant en sciences ne s'est pas fait apostrophé par ses élèves avec diverses questions sur la fin du monde plus ou moins proche et des interrogations du type « Madame, ma mère veut savoir... », « mon père m'a dit de vous demander... » ? Visiblement, les enseignants laissent leurs élèves quitter l'école avec des craintes en rapport avec des phénomènes naturels et sans leur avoir donné les moyens d'analyser leur environnement avec intelligence.

Lors de chaque occultation du Soleil par la Lune (ou éclipse solaire), visible en France le mot d'ordre de l'Éducation Nationale est d'enfermer les élèves dans un lieu permettant de ne rien observer au dehors. Cette attitude crée des angoisses chez les jeunes, face aux phénomènes naturels et entretient les angoisses de leurs parents qui s'assurent auprès des enseignants du respect de la consigne.

Apprendre aux jeunes à analyser des articles de faits divers peut leur permettre à l'âge adulte de savoir être critique face aux médias et peut les motiver à apprendre, car un minimum de connaissances scientifiques est nécessaire pour ne pas rester dans l'obscurantisme.

Déroulement de la démarche d'investigation

Présentation de la situation problème

Au lycée, l'accompagnement éducatif peut être l'occasion de donner aux élèves des méthodes pour analyser des articles ou des extraits de journal

télévisé ou radiophonique. C'est l'occasion de pratiquer une démarche d'investigation à partir de documents.

Pour commencer la séquence, demander aux élèves de lire la lettre (annexe 1) puis l'article de journal (annexe 2).

Recueillir leurs impressions et poser quelques questions pour débroussailler, du type : que s'est-il passé d'après l'article et la lettre ? Le journaliste peut-il faire une erreur d'interprétation ? Si ce n'est pas un OVNI, que s'est-il passé ? Quelles informations peut-on extraire pour chercher le phénomène qui s'est produit ?

La lettre parle d'un vaisseau spatial orange, en mouvement, qui est apparu à Landreville. Cet OVNI était invisible au même moment au Canada.

L'extrait du journal possède deux rubriques inutiles : le saint et le dicton du jour. L'article sur le phénomène surnaturel indique un objet orange, mobile, immense, bas sur l'horizon et que ce fait s'est déjà produit le 6 août 2009. L'horoscope indique que la Lune est quasi pleine et la météo est nuageuse.

Ces informations permettent-elles de trouver le phénomène astronomique mis en jeu ?

Résoudre la situation problème

Pour guider les élèves, leur distribuer les calendriers de 2014 et de 2009 indiquant :

- les phases de la Lune ;
- les levers et les couchers du Soleil et de la Lune ou utiliser un logiciel. Pour chacune des dates citées, la Lune est pleine (c'est bien connu, lors de la pleine Lune, il se passe des phénomènes étranges) et se lève au coucher du Soleil. À partir de leur vécu, les jeunes pourront dire que la Lune est parfois orange lorsque le Soleil se couche et plus grosse.

La coloration de la Lune

Lorsque la Lune est proche de l'horizon, les rayons solaires traversant l'atmosphère terrestre traversent une grande quantité d'air. La lumière solaire étant

composée d'un mélange de lumières colorées, seule la composante rouge nous parvient, les autres ayant été diffusées.

La taille de la Lune

Sa dimension dépend d'une illusion optique et de sa trajectoire elliptique (argument négligeable devant le premier).

Scientifiquement, on sait que la Lune apparaît plus grosse lorsqu'elle est basse sur l'horizon car le cerveau la compare à des objets lointains comme des arbres ou des toits de maisons alors qu'en hauteur, le cerveau la confronte à des objets proches.

Distribuer un document sur les périgées et apogées de la Lune. Celle-ci est à son périgée le 12 juillet 2014. Elle semble plus grosse car sa taille apparente varie de 14 % entre ces extrêmes.

L'effet d'une Lune mouvante

De par la présence des nuages, la Lune orangée peut ne pas être visible dans sa totalité, la rendant moins identifiable et le mouvement des cumulus peut faire croire que l'astre se déplace.

De plus, pour les enfants qui courent, la distance enfant-lune est beaucoup plus grande que la distance parcourue, si bien qu'ils ont l'impression que l'astre les suit.

Ainsi, l'article du journal et la lettre parlent d'un phénomène astronomique très courant, mal interprété. Comment transformer un événement « quotidien » en fait divers ? Comment apeurer les lecteurs ?

Analyse d'un article de journal ou d'un extrait de journal télévisé ou radio-phonique

Pour influencer un lecteur, plusieurs techniques utilisées sont récurrentes. En voici les plus courantes.

Méconnaissance du phénomène naturel

Très souvent, des faits divers parlent de l'apparition d'OVNI (ou PAN, phénomène aérospatial non identifié). Au lieu de rechercher des explications en relation avec des phénomènes naturels, le journaliste profite de l'ignorance des lecteurs, joue sur ses croyances, pour l'entraîner vers des interprétations non scientifiques.

La vérification de l'information

Le professeur cité dans l'article est-il un professeur ? Si oui, il enseigne quelle discipline ?

Ici, le journaliste s'appuie sur les propos du professeur Lenoble, astrologue sur Troyes (ville proche de Landreville) et Mme Brouillard de Vreese, ayant étudié le droit.

Pourquoi le journaliste n'a pas interviewé un astronome ou un astrophysicien ?

Les choix du vocabulaire et des référents des personnes qui transmettent l'information

Ces choix peuvent induire en erreur. Toutes les personnes référentes de ces documents ont un titre qui en impose et ce « grade » laisse croire que leurs propos ne peuvent être remis en question.

Ici, sont cités : le maire, le professeur Lenoble, Mme Brouillard de Vreese, un prêtre, un doyen. Mme Brouillard de Vreese « a étudié à la capitale », le fait d'apprendre à « la capitale » laisse supposer que cette personne en sait vraiment beaucoup.

Le vocabulaire utilisé

Le vocabulaire et les attitudes sont en relation avec la peur : *couraient partout, tous peur, plus eu le contrôle de son véhicule, les gens courent partout, son véhicule a ralenti.*

Certains termes ou expressions insistent ou sont excessifs : *attirance violente et soudaine, galopé, le diable aux fesses, énorme, très secoués, la frayeur, pétrifiés, immobilisés, carnage.*

Les effets de la peur

Pour persuader le lecteur d'un phénomène surnaturel, il faut l'impressionner en tenant compte des effets de la peur, comme :

- *les enfants qui sont attirés* : qui n'est pas poussé par sa curiosité face à un événement saugrenu ?
- les attitudes extrêmes avec les enfants qui courent partout alors que les adultes sont paralysés (*relâchement de l'accélérateur*).

La répétition d'un phénomène

Dans le cas présent, l'OVNI a été visible en 2009 et en 2014. La multiplication de l'événement n'est pas une raison pour ne pas rechercher une explication scientifique au phénomène.

Le lieu

La situation géographique est à prendre en compte. Le phénomène est observable en France et pas à Montréal, ce n'est pas une preuve de la non existence du phénomène. Un contre témoignage ne prouve pas qui a raison.

Le nombre de témoignages

Le professeur, la personne qui a étudié le droit, le prêtre et le doyen témoignent en donnant une mauvaise interprétation d'un phénomène naturel. Ce nombre de témoignages ne démontre pas la véracité du fait.

Parmi cette énumération de techniques utilisées pour influencer le jugement du lecteur, tous les

points ne sont pas présents en même temps dans un même article. Dans certains cas, il faut aussi prendre en compte le contexte historique.

Conclusion

Cette démarche d'investigation a été présentée lors d'un atelier à l'EEA 2014 et aussi lors du stage CLEA/PAF 2015 à Bordeaux. Des enseignants adultes, de tous niveaux, de toutes disciplines, se sont prêtés au jeu. Certains se sont interrogés sur les origines de l'article et de la lettre : sont-ils des canulars ?

D'après Henri Broch du laboratoire de zététique de l'université de Nice-Sophia Antipolis, « le degré de croyance au paranormal est *directement* proportionnel au niveau des études effectuées » et « il est tristement remarquable que les professeurs, bien qu'ayant un niveau de croyance en astrologie « faible » (près de 30 % tout de même !), ont un niveau de croyance au paranormal *supérieur* à la moyenne française ».

Ces statistiques donnent à réfléchir. Si les enseignants sont sensibles à certaines croyances dont certaines ne sont pas prouvées scientifiquement, à ce jour, quel message font-ils passer auprès de leurs élèves ?

Bibliographie

L'extrait de journal et la lettre ont été conçus et écrits en 2014, par Clémence Jamet, selon le cahier des charges de sa mère. Sa signature est la photo de la publicité de l'extrait de journal (*parapluie des constellations réalisé lors d'une EEA*).

Les sites utilisés : http://www.energie-sante.net/fr/ao/AO107_meteo-astro-juillet-2014.php et <http://www.terrafemina.com/societe/buzz/articles/46233-meteo-france-previsions-pour-le-weekend-des-12-13-14-juillet-2014.html>

Le livre « La Lune à portée de main », édité par Belin, de P Causeret - JL Fouquet - L Sarrazin

L'article du BUP, référence 7597, écrit en mai 1999 par Henri Broch

L'article « expliquez-nous l'astrologie » tiré de http://www.unice.fr/zetetique/articles/astrologie_jdd.html

Au sujet de la dimension de Lune lors de sa position sur son orbite :

<http://www.sciencesetavenir.fr/espace/20140808.OBS5874/super-lune-pourquoi-le-diametre-de-la-pleine-lune-varie.html?xtor=RSS-24>

Annexe 1

Chère Maman,

Je suis bien arrivé chez les cousins, même s'ils ont la tête ailleurs en ce moment tout va bien. Landreville est plutôt joli mais les gens courent partout. Il paraît qu'un OVNI est passé au-dessus des maisons il y a deux jours. Le village entier en parle. A chaque fois que je vais chercher le pain il y a un attroupement dans la boutique qui débat de la taille du vaisseau spatial. J'ai l'impression qu'il grossit chaque jour ! Une chose est sûre, il était orange. « Le plus bel orange que j'ai vu de toute ma vie », s'écrie à loisir la voisine. Comme elle a étudié à la capitale, les autres s'empressent d'approuver. Le maire était dans sa voiture à cet instant. Il est d'autant plus convaincu de l'existence de l'OVNI que son véhicule a ralenti en entrant dans « son champ d'action », comme il dit. L'autre influence extraterrestre a été une attirance violente et soudaine pour le vaisseau spatial. Tous les enfants du village sont sortis et ont galopé comme s'ils avaient le diable aux fesses, vers l'OVNI. Ce dernier est devenu le nouveau Joueur de Flûte. Les parents râlent encore du bazar que ça a été, de tous les rapatrier.

C'est drôle car il y a deux jours, j'étais à Montréal avec Oncle Ben (il venait me déposer à l'aéroport) et nous n'avons strictement rien vu. Je te joins l'article du journal local qui traite du sujet.

Bien à toi,

Marcus

Annexe 2

Extraits de

*Ayez la tête dans les étoiles
avec le nouveau parapluie*

ASTROTONER



Phénomène surnaturel à Landreville

Le 12 juillet 2014 au soir, le village entier de Landreville s'est retrouvé dans les rues à contempler le ciel, alors relativement dégagé si l'on exceptait un ou deux gros cumulus. La vision était malgré tout optimale afin d'observer l'OVNI qui serait passé, énorme, en frôlant les toits pointus. Son apparition a causé l'émoi des habitants, qui s'avouent très secoués. Les enfants ont voulu poursuivre l'appareil, suscitant la frayeur de leurs parents. « Les enfants couraient partout, c'était impressionnant, » raconte le professeur Lenoble de passage à Landreville. « Je ne les ai jamais vu courir aussi vite, même pour sortir de mes cours ! Je crois que nous avons tous peur qu'ils soient kidnappés. » Les adultes, eux, étaient pétrifiés. « Une autre influence du vaisseau spatial, pour mieux accomplir leurs plans », assure Mme Brouillard de Vreese qui a étudié le droit à la capitale. « C'est une chance qu'aucun routier ne soit passé à ce moment, car il n'aurait probablement plus eu le contrôle de son véhicule, et entre les enfants et nous, immobilisés en plein milieu des rues, c'aurait été un carnage. » Le prêtre garantit que ces Martiens sont des païens. En effet, après qu'il se soit signé, l'OVNI aurait disparu au loin. Le doyen de Landreville rappelle que cinq ans plus tôt, le 6 août 2009, un phénomène analogue s'était produit. Que cela soit véridique ou non, cette histoire demeurera dans les annales.

Le saint du jour

Henri

Empereur du saint empire romain-germanique, il œuvre pour la réforme du clergé, des monastères et de la papauté.

Né à Abbach en Bavière, il est proclamé empereur de Germanie en 1002 et couronné par le pape en 1014.

Avec son épouse Ste Cunégonde, il mène une vie quasi-monastique.

Dicton du jour

Quand reviendra la Saint Henri,
tu planteras ton céleri.

Horoscope

Hier, le ciel était contre tous les signes, et son influence sera aujourd'hui identique. Le carré formé par Pluton, Mars, Jupiter et Uranus entraînera de fortes tensions. Faites attention à ne pas vous énerver pour un rien. Votre attitude explosive pourrait vous amener à accomplir des choses que vous regretterez par la suite. Dans des cas extrêmes, cette association d'astres conduira certains au fanatisme ou au terrorisme. Armez-vous de patience, donc, mais également de courage, car en outre ce soir la lune est quasi pleine dans l'axe du cancer-capricorne. Cela réveillera vos peurs les plus profondes et vos angoisses les plus irrationnelles, ce qui renforcera l'instabilité de vos émotions.

Météo



WE du 14 juillet.

Suite à un samedi 12 juillet assez gris où des pluies sont tombées un peu partout avec des températures moyennes pour la saison, voire un peu basses, la journée du dimanche 13 juillet sera particulièrement instable avec de fortes précipitations par endroits. Mais le 14 juillet devrait apporter une embellie avec des éclaircies et des températures qui commencent à grimper. ■

HISTOIRE

Le grand radiotélescope de Nançay a 50 ans

Gilles Theureau, Astronome, Observatoire de Paris et Université d'Orléans

L'auteur nous présente les premiers pas de ce radiotélescope et sa mise à jour instrumentale permanente qui contribue toujours à une recherche de pointe, en particulier sur les pulsars.

La station de radioastronomie de Nançay prend naissance en 1953 sur un terrain de 150 ha que vient d'acquérir l'École normale supérieure. Plusieurs très grands instruments vont y être construits, couvrant les différents domaines de longueur d'onde radio utilisables pour l'astrophysique, de quelques centimètres (3,5 GHz) à quelques dizaines de mètres (10 MHz). Les rayonnements radio des astres étant très faibles, c'est la grande taille des antennes qui permet d'atteindre la sensibilité suffisante pour sonder l'Univers jusqu'aux échelles cosmologiques, qui se mesurent en centaines de millions d'années de lumière. Celui que l'on appelle le grand radiotélescope de Nançay a été inauguré il y a 50 ans, le 15 mai 1965, par le général De Gaulle, après cinq années de construction. C'est à l'époque la plus grande antenne au monde entièrement dédiée à l'astronomie, équivalent d'une

parabole de 94 m, devant le Lovell Telescope (76 m, Manchester, Royaume-Uni, inauguré en 1957) et le radiotélescope de Parkes (64 m, Australie, inauguré en 1961). Avec ses 7 000 m² de surface collectrice et ses dimensions imposantes (300 m × 35 m pour le miroir sphérique principal, 200 m × 40 m et 400 tonnes pour le déflecteur mobile), l'instrument de Nançay reste aujourd'hui le quatrième plus grand télescope d'une seule pièce. Si ses poutrelles et pylônes sont d'origine et défient encore le temps, l'élément central, constitué des récepteurs et analyseurs du signal, a été constamment mise à jour et amélioré pour rester scientifiquement compétitif et aborder de nouveaux domaines de l'astrophysique et de la cosmologie (figure 1).

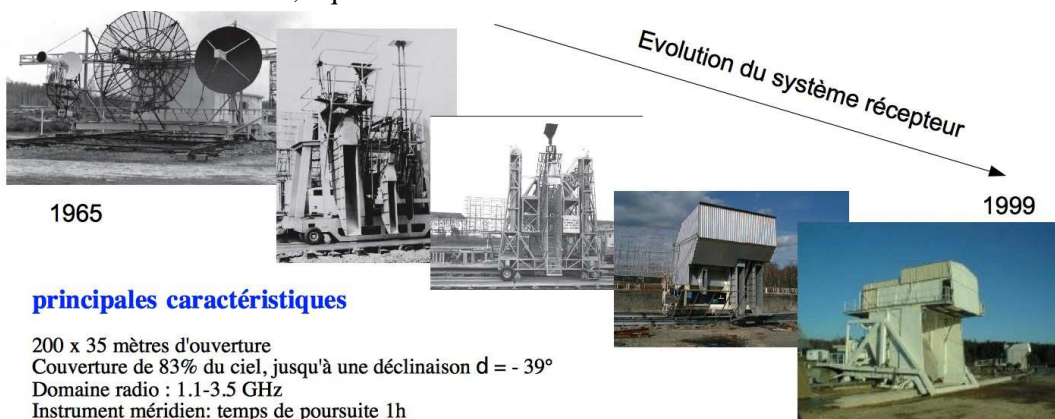


Fig.1. Principales caractéristiques du grand radiotélescope décimétrique de Nançay. En bas une photographie aérienne des structures des miroirs. Le miroir de droite est inclinable pour pointer en altitude, le miroir de gauche est fixe, avec la forme d'une portion de sphère pour concentrer le rayonnement collecté vers le foyer mobile au centre. Le foyer et ses instruments récepteurs se déplacent le long d'une voie est-ouest de 80 mètres, permettant le suivi d'une source astronomique pendant une heure de part et d'autre de son passage au méridien. (Copyright Observatoire de Paris).

Le grand radiotélescope opère dans la bande décimétrique, entre 1 et 3,5 GHz, un domaine de fréquence où l'on recueille l'émission diffuse d'un des principaux constituants de l'Univers, carburant essentiel des étoiles et traceur des plus grandes structures, depuis les galaxies jusqu'aux dimensions cosmologiques : l'hydrogène.

Ce gaz, le plus simple élément de la matière ordinaire, est constitué d'un proton et d'un électron, et possède la propriété d'émettre ou d'absorber la lumière à la longueur d'onde de 21 cm, dans le domaine des ondes radio à 1 420 MHz (figure 2).

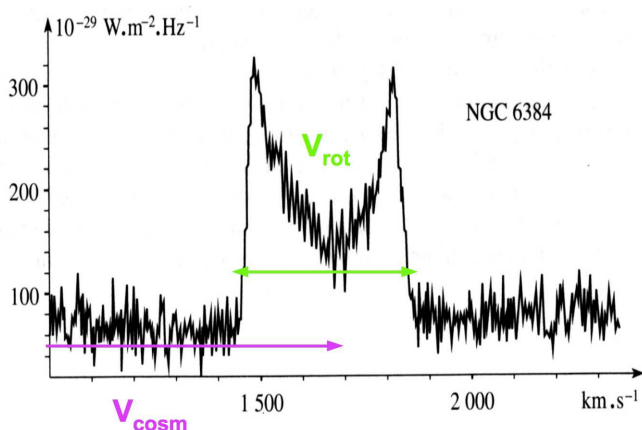


Fig.2. Spectre 21-cm (raie de l'hydrogène neutre ou raie HI) de la galaxie NGC 6384. La position de la raie en fréquence indique directement la vitesse de la galaxie par rapport à l'observatoire, ici une vitesse de fuite de 1660 km/s. La largeur de la raie observée donne une mesure de la vitesse de rotation projetée le long de la ligne de visée, donc à l'inclinaison près, cette mesure est un indicateur de la masse totale de galaxie, et donc de sa luminosité intrinsèque et de sa distance. (Copyright Observatoire de Paris) Distance (Mpc).

Il est partout, et sa cartographie à grande échelle a été un des premiers objectifs de l'instrument, collectant dans sa carrière des mesures pour plus de 12 000 galaxies lointaines, un record pour la discipline.

Ces observations ont permis la cartographie tridimensionnelle des grandes structures de notre univers local, notamment grâce aux travaux de trois astronomes bien connus des lecteurs des Cahiers Clairaut : Lucette Bottinelli, Lucienne Gouguenheim et Georges Paturel.

Leurs études ont permis les premières mesures de la constante d'expansion (la constante de Hubble H_0) et de la densité de matière (le paramètre de densité Ω_0) jusqu'aux échelles cosmologiques, à travers la mesure des distances et vitesses particulières des grandes galaxies spirales, jusqu'à plusieurs dizaines de millions de parsecs (Figure 3).

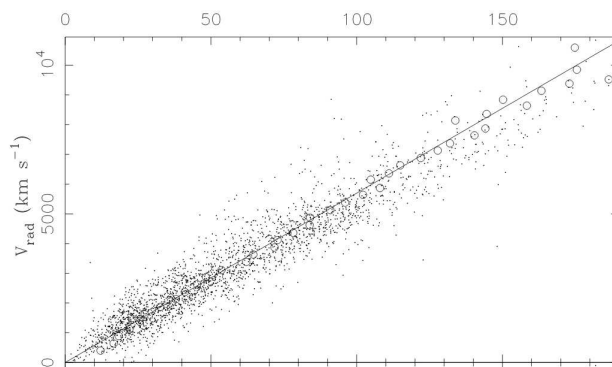


Fig.3. Diagramme de Hubble « vitesse-distance » montrant la linéarité de l'expansion jusqu'à 180 Mpc. Chaque point est une galaxie spirale dont la distance et la vitesse cosmologique ont été déduites de la mesure de la raie 21 cm de l'hydrogène. Les ronds sont les valeurs moyennes de la distance des galaxies par tranche de 250 km/s (extrait de l'article Theureau, G.; Rauzy, S.; Bottinelli, L.; Gouguenheim, L., 1997, A&A 340, 21). (Copyright Observatoire de Paris).

Depuis une dizaine d'années, grâce à une très large bande radio accessible instantanément, le grand radiotélescope s'est majoritairement tourné vers l'étude du rayonnement continu d'un des objets astrophysiques les plus curieux, les étoiles à neutrons, astres ultra compacts (un soleil compressé aux dimensions de la région parisienne) et à la rotation incroyablement rapide (plus de 700 tours par seconde), balayant le ciel de leur faisceau, comme les lentilles de multiples phares galactiques (figure 4).

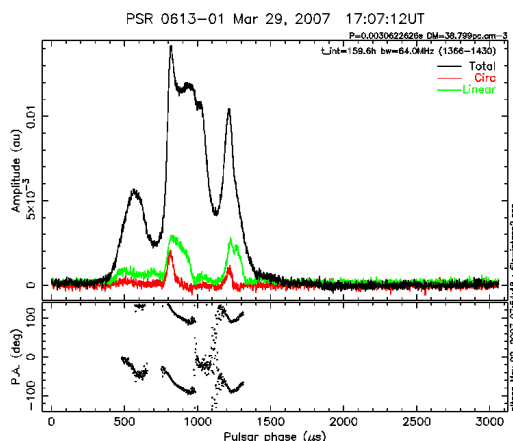


Fig.4. Profil du faisceau du pulsar PSRB0613-01 capté par le grand radiotélescope de Nançay. La figure représente le rayonnement mesuré lorsque le faisceau intercepte la Terre, à chaque tour de l'étoile à neutrons, toutes les 3 millisecondes. Les couleurs indiquent le taux de polarisation linéaire et circulaire du signal reçu. En bas, on voit la variation de l'angle de polarisation de l'onde le long du faisceau avec la phase rotationnelle du pulsar. (Copyright I.Cognard, Observatoire de Paris).

Ces objets, surnommés « pulsars », sont la clé de nombreuses questions de physique fondamentale, en relativité générale en particulier, comme celle de

l'existence d'ondes gravitationnelles. Pour le programme de chronométrie des pulsars (figure 5), l'instrument produit aujourd'hui les meilleures données européennes avec une extrême régularité et participe à un réseau d'observation mondial baptisé IPTA (International Pulsar Timing Array).

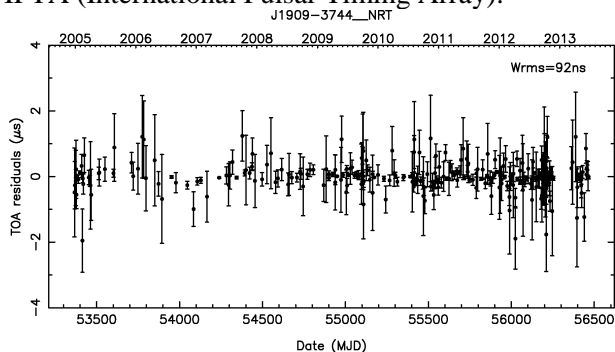


Fig.5. Variation relative des temps d'arrivée des pulsations du pulsar PSR J1909-3744 entre fin 2004 et début 2013. Le pulsar ne s'écarte pas de plus de 92 nanosecondes de la rotation parfaite, ce qui en fait une horloge naturelle extrêmement stable et un outil unique pour tester les théories de la gravitation. (Copyright I.Cognard, Observatoire de Paris).

Une première série de résultats publiée en 2015 montre que l'on n'est pas loin de détecter l'émission gravitationnelle (si elle existe comme le prédit la

Relativité Générale !) en provenance des couples de trous noirs supermassifs (~ milliards de masses solaires) réunis au cœur des galaxies au cours de leur processus d'évolution et de fusion.

Enfin, le grand radiotélescope apporte une contribution très importante à notre compréhension des comètes, notamment leur composition en eau, et sa flexibilité de programmation lui permet de pointer rapidement vers des phénomènes nouveaux, explosions de supernovae, suivi des mystérieux sursauts gamma, ou de suivre sur plusieurs années les variations de l'émission de la matière chutant sur certains trous noirs.

On y teste également de nouveaux récepteurs et on y élabore des techniques d'analyse du signal qui serviront à d'autres générations de radiotélescopes, comme NenuFAR, nouveau géant de Nançay dont la construction est en cours, avec ses milliers d'antennes basse fréquence (10-85 MHz) déployées sur une surface équivalente de 10 ha, ou comme le SKA (Square Kilometre Array), projet de radiotélescope mondial, qui sera construit dans les déserts australien et sud-africain à partir de 2020. ■

L'éclipse annulaire de Soleil du 01/09/2016 à La Réunion : le point à 6 mois de l'éclipse

Pour cette éclipse, la dynamique équipe de l'observatoire des Makes a préparé diverses activités.

1- pour les scolaires

- 220 000 « lunettes-éclipse » sont offertes au Rectorat par Muta-Solaire,
- La Mutualité sponsorise également une brochure fruit du partenariat entre l'IMCCE et notre observatoire. 15000 exemplaires seront distribués vers fin février à tous les enseignants,
- La formation des maîtres du premier degré est bien avancée ; celle des professeurs du second degré tarde un peu et va être gênée par la réforme des collèges,
- Un comité de pilotage est enfin en place.

2- pour le grand public

- Un autre sponsor doit envoyer un petit document à tous les foyers réunionnais et financer une émission que je présenterai sur Réunion-Première (discussions en cours). Il vendra des « lunettes-éclipse » à un prix modique dans ses magasins.
- Nous aurons des brochures et des « lunettes-éclipse » pour ceux qui passeront à l'observatoire.
- La Mairie de Saint-Louis va aménager un « village-éclipse » à l'étang du Gol pour accueillir, dans de bonnes conditions, grand-public et astronomes amateurs. Des réunions ont lieu tous les mois avec le directeur de l'observatoire. L'entrée est gratuite.

3- Le monde du tourisme participe activement à la promotion de l'île en parlant de l'éclipse en Europe, Inde et Chine par ses relais. L'IRT (émanation de la Région Réunion) distribuera des lunettes aux visiteurs. Ces derniers seront informés des possibilités de visites diurnes et soirées d'observation à l'observatoire et de l'existence du village-éclipse.

Additif pour les groupes d'amateurs : s'inscrire avant l'équinoxe de mars pour être prioritaire.

Voir les informations sur le site :

<http://clea-astro.eu/actualites/jeudi-1er-septembre-2016-eclipse-annulaire-de-soleil-a-la-reunion/>

Michel Vignand

Association Astronomique de la Réunion Observatoire des Makes

REPORTAGE

Visite du "Studio" de Pavie

Georges Paturel, astronome retraité de l'Observatoire de Lyon

Avec un collègue, nous avons eu l'occasion de visiter l'université de Pavie en 2003. Nous y avons découvert plusieurs richesses extraordinaires, historiques et scientifiques, que je voudrais vous faire partager.



Introduction

Le dynamisme italien en recherche fondamentale est connu. À Pavie, il y a eu une synergie entre recherche médicale et recherche fondamentale. Cette tradition née avant Volta et Scarpa se poursuit encore aujourd'hui. Un musée remarquable, dédié à ces deux figures légendaires de l'électricité et de la chirurgie nous a été ouvert. Nous relatons à travers cette visite les multiples préoccupations scientifiques de Volta.

Un ami scientifique me rapportait la réponse d'un étudiant à la question : « À qui doit-on les noms des unités d'intensité et de tension électriques ? ». L'étudiant répondit sans hésiter : « Ampère et Voltaire ». C'est bien la preuve que Volta est mal connu. Je dois avouer qu'avant d'avoir visité Pavie en Italie, à l'occasion d'un congrès, je n'aurais pas su dire dans quelle ville travaillait Volta. L'université de Pavie, créée en 970 sous l'appellation de « Studio », est avec Bologne l'une des plus anciennes universités.

C'est là que Volta a fabriqué la première pile électrique, un empilement (d'où le nom de pile) de

rondelles alternativement de cuivre et de zinc, séparées par des rondelles de feutre imbibées d'acide (figure 1).



Fig.1. La pile de Volta.

Alessandro Volta

En visitant le musée de l'université de Pavie grâce à l'aimable obligeance du directeur de l'Institut de Physique Nucléaire de Pavie, le Professeur D. Scannicchio, nous avons découvert que Volta travaillait dans bien des domaines : la mécanique (poulie, coin, plan incliné), l'astronomie (il avait une lunette de dimension respectable – figure 2), la métrologie (il possédait une réplique du mètre

étalon proposé par la France après la révolution de 1789) et l'électricité, bien sûr.

L'histoire commence quand Galvani, un contemporain de Volta, découvre que les muscles d'une grenouille, placée sur une plaque de zinc, se contractent brusquement lors d'un contact avec une pièce de cuivre.



Fig.2. La lunette de Volta.

Volta, qui utilisait un appareil simple de son invention, "l'électrophore" (figure 3), pour produire des charges sur un disque isolé, comprit l'intérêt de l'expérience de Galvani.



Fig.3. L'électrophore, longtemps la seule source électrique.

Il étudia quelques animaux marins capables de provoquer des décharges électriques et découvrit que l'organe électrique de l'animal était constitué d'un empilement de disques. C'est, dit-on, de là que lui vint l'idée de la pile, la pile Volta.

Avec les premiers électromètres de sa fabrication, simple bouteille de verre à l'intérieur de laquelle pendaient deux fils, il parvenait à mesurer les tensions élevées emmagasinées dans son électrophore. Il quantifia les tensions en mesurant l'angle dont les deux fils s'écartaient sous l'action des charges de même signe. C'est de là que naquirent les Volts.

Plus tard, il construisit un électromètre plus sensible, avec une balance de torsion. Il put mesurer ainsi la tension de sa nouvelle pile.

On peut dire que l'électricité est née de cette symbiose étroite entre physiologie (animale) et physique.

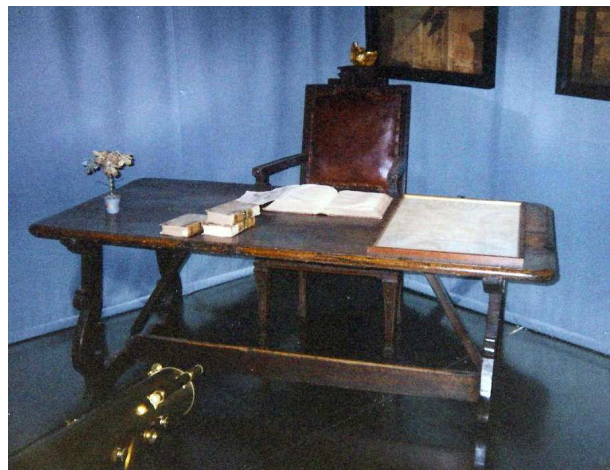


Fig.4. Table de travail de Volta.

Les sciences n'étaient pas aussi compartimentées qu'aujourd'hui. Nous avons imaginé Volta à sa table de travail (figure 4). Instant émouvant. Mais nous allons découvrir d'autres choses tout aussi émouvantes.

Antonio Scarpa

Nous poursuivîmes la visite par le domaine consacré à la médecine et à la chirurgie. Parmi les nombreuses vitrines montrant les dissections d'organes sains et pathologiques (à déconseiller aux âmes sensibles), nous avons découvert une lettre d'Albert Einstein, écrite quand sa famille avait déménagé d'Allemagne en Italie, où un de ses oncles avait une entreprise de matériel électrique (héritage de Volta ?). Le principal intérêt de cette lettre adressée à une jeune étudiante, dont le jeune Albert était peut-être amoureux, réside dans une courte remarque sur la dictature en place. Il fait suivre le nom de Mussolini d'un petit dessin représentant un pendu.

Enfin pour clore la visite, nous eûmes un tête à tête bien réel avec le grand Scarpa (mort en 1832 à l'âge de 80 ans). En effet ce célèbre chirurgien fut disséqué après sa mort et sa tête soigneusement conservée dans un bocal rempli de liquide (probablement du formol). Après plus de 170 ans passés ainsi, il ne faisait pas son âge.

La beauté antique de l'université de Pavie justifie le détour si vous passez à Milan (Pavie n'est qu'à une vingtaine de minutes de Milan).

Bruno Bertotti (1930-)

Après cette visite nous sommes allés rencontrer un chercheur réputé, mais peu connu du grand public : Bruno Bertotti. Il a découvert un nouveau test de la théorie de la relativité générale. J'ai trouvé sa rencontre un peu surréaliste. Nous sommes entrés dans un bâtiment, qui semblait vide. Nous y avons trouvé une grande salle, allongée et sombre. Au fond, il y avait un bureau sur lequel travaillait un petit homme, frêle et souriant. C'était le Professeur Bertotti (figure 5). Il venait de publier un article dans "Nature", la revue prestigieuse. De quoi s'agissait-il ?

Selon la relativité générale, les photons sont déviés et retardés par la courbure de l'espace-temps produite par une masse. Bertotti *et alter* ont mesuré le décalage des fréquences des photons radio lors du passage de la sonde Cassini près du Soleil. L'estimation du test se fait par l'évaluation de la quantité γ , qui vaut 0 en physique newtonienne et 1 en relativité générale.

La mesure a donné :

$$\gamma = 1,000021 \pm 0,000023.$$

La Relativité Générale est bien vérifiée.



Fig.5. Bruno Bertotti, lors d'un groupe de travail du Groupe de Recherche Gravitation et Expérience, à Nice.

LA VIE ASSOCIATIVE

École d'Été d'Astronomie du CLEA 2016 Elle se déroulera à Gap-Bayard du 18 au 25 août

Le thème sera :

Images d'astronomie, pour quoi faire ?

(des ondes radio au rayonnement gamma...)

Visite de l'observatoire de radioastronomie NOEMA de l'IRAM, sur le Plateau de Bure.

Informations, programme et inscriptions (ouvertes le jour de l'équinoxe de mars) sur : <http://clea-astro.eu/aLaUne/EcoledEtedAstronomie>

Date limite d'inscription : 31 mai !
Pour les « espaces famille », réserver très tôt.



Compte-rendu de l'assemblée générale 2015

L'assemblée générale du CLEA pour l'année 2015 s'est tenue à la FIAP Jean Monnet à Paris le 31 Janvier 2016. Cette année 2015 aura été marquée pour nombre de membres du CLEA de tristes événements et de vents contraires. C. Ferrari adresse à tous ses meilleurs vœux pour l'année 2016. Le CLEA est resté malgré tout actif et productif, comme en témoigne le succès des productions pédagogiques, la satisfaction des lecteurs des Cahiers Clairaut et des stagiaires de son école d'été annuelle. L'investissement important des années précédentes



dans le site de vente en ligne et des facilités de gestion qu'il a permises n'y est pas étranger. Ces succès garantissent la bonne santé financière du CLEA et un investissement indispensable dans de nouvelles productions ou dans l'achat de matériel pédagogique en soutien aux ateliers de l'école d'été. Le CLEA reste soucieux cependant de l'adaptation de ses ressources pédagogiques au monde numérique, de sa visibilité auprès des enseignants de l'école primaire et des collègues débutants dans la profession.

Après l'adoption des rapports moral et financier, les 40 membres du nouveau CA pour l'année 2016 sont :

T. Appéré, D. Balin, D. Bardin, F. Berthomieu, F. Grauss, M. Bobin, A. Brahic, N. Cartier, P. Causeret, R. Cavaroz, S. Chaty, C. Dehossou, M.-F. Duval, Ch.-E. Eyraud, C. Ferrari, J.-L. Fouquet, B. Garreau, O. Gayraud, B. Grauss, V. Hauguel, D. Imbault, E. Josselin, J.-M. Jouvard, E. Jougulet, M.-A. Lahellec, C. Larcher, P. Le Fur, C. Le Lay, G. Lecoutre, C. Lecoutre, A. Malingreau, D. Maurel, D. Paupart, J.C. Pecker, F. Pitout, R. Primout, J. Ripert, J. Sert, S. Thiault et J.-M. Vienney.



Le bureau du CLEA élu pour l'année 2016 est composé de C. Ferrari (Présidente), D. Imbault (Secrétaire), S. Thiault (Trésorière), J.-L. Fouquet (Secrétaire Adjoint) et C. Lecoutre (Trésorière Adjointe). L'assemblée générale est levée à 12 h 30 et les convives se rassemblent à nouveau autour d'un repas plein de saveurs proposé par la FIAP. Enfin Sonia Fornasier, Maître des Conférences à Paris Diderot et chercheur au Laboratoire d'Études Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique de l'Observatoire de Meudon nous délivre les derniers résultats de la mission Rosetta après un an et demi d'observations de la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko ».

Le compte-rendu complet de l'assemblée générale sera mis en ligne sur le site du CLEA dans les prochaines semaines.

Solutions des mots croisés de la page 20

Horizontalement

1. Mercurienne. 2. ESO. Raisin. 3. Satellite. 4. Suai. NSA. 5. Transit. 6. Noient. Io. 7. Géo. Eider. 8. Einstein. Ri. 9. RL. Bosselés.

Verticalement

1. Messenger (la sonde s'est écrasée sur Mercure le 30 avril dernier). 2. Esäi. Œil. 3. Rotation. 4. Eire (le télescope de William Parsons, comte de Rosse, mesurait 187 cm de diamètre). Sb (l'antimoine). 5. URL. Aneto. 6. ralenties. 7. III (les étoiles de population III seraient les toutes premières étoiles, formées avant même les galaxies). Dis. 8. Est. Irène. 9. Nient. 10. NN. Ré. 11. Caloris (le bassin Caloris mesure 1 300 km de diamètre).

École d'Été d'Astronomie



Vous souhaitez débiter ou vous perfectionner en astronomie ?

Vous avez envie de développer vos savoir-faire pédagogiques au contact de collègues expérimentés ?

Venez participer au col Bayard, à une école d'été d'astronomie, dans un cadre majestueux.



Exposés accessibles à tous, ateliers pratiques et observations du ciel : toutes les activités sont encadrées par des astronomes professionnels et des animateurs chevronnés.

Renseignements et vidéo sur :
clea-astro.eu/aLaUne/EcoledEtedAstronomie

Les productions du CLEA

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, ...

HS 10 Mathématiques et astronomie (2012)

HS 11 Les constellations (2014)

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).

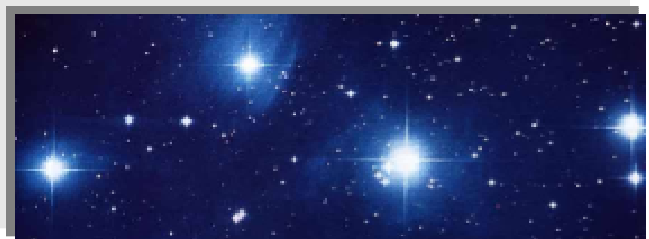
Vous pouvez retrouver ces productions sur le site de vente : <http://ventes.clea-astro.eu/>

Le formulaire de commande est sur le site.

Le site internet

Une information toujours actualisée

www.clea-astro.eu



LES CAHIERS CLAIRAUT

LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 141 - Mars 2013 7 €



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

OU

www.ac-nice.fr/clea

Siège social :

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

École d'Eté d'Astronomie :

daniele.imbault@gmail.com

Cahiers Clairaut :

christianlarcher3@gmail.com

Ventes des productions :

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

Site internet :

berthomi@ac-nice.fr
charles-henri.eyraud@ens-lyon.fr

Adhésion / Abonnement :

Adhésion CLEA pour 2015 :	10 €
Abonnement CC pour 2015 :	25 €
Adhésion + abonnement CC :	35 €
Adhésion + abonnement CC + abonnement numérique :	40 €

Les adhésions, abonnements et achats peuvent se faire directement en ligne sur le site : <http://ventes.clea-astro.eu/>

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

Premier dépôt légal : 1er trimestre 1979
Numéro CPPAP : 0315 G 89368
Prix au numéro : 9 €
Revue trimestrielle : numéro 153 mars 2016