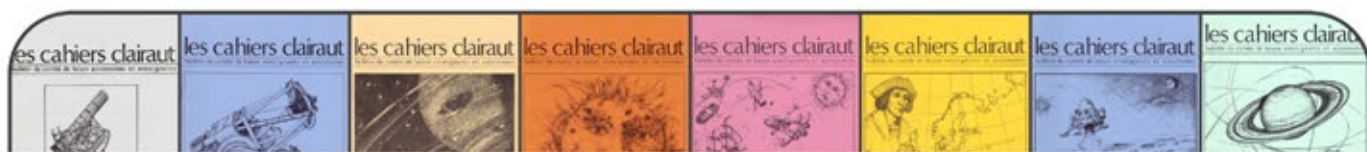


LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 160 - Décembre 2017 9 €



Bulletin du Comité de Liaison Enseignants et Astronomes



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 2017

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 :

Stéphane Basa, Cyrille Baudouin, Francis Berthomieu, Nathalie Cartier, Pierre Causeret, Jean-Louis Coustillet, Nathalie Cugnet, Cécile Ferrari, Laurence Guyader, Véronique Hauguel, François Hurter, Mme Laborde, Mme Lafrance, Christian Larcher, Chantal Lecoutre, Georges Lecoutre, Pierre Le Fur, Jean-Pierre Maillard, Philippe Malburet, Dominique Menel, Guy Pellisier, Jean Ripert, Béatrice Sandré, Pierre Valat.

Les auteurs recevront plusieurs numéros 160, afin de faire connaître la revue autour d'eux.

La couverture de ce n° 160 représente les 56 dessins de couverture différents des 159 numéros précédents.

Dans les 48 premiers numéros, le dessin n'a changé qu'une fois. La couverture a ensuite été modifiée chaque année jusqu'en 2008 et depuis, chaque numéro a sa propre illustration de couverture.

La longueur de notre revue a aussi varié, 26 pages pour le n° 1, pour se stabiliser rapidement à 40.

Vous remarquerez que ce numéro spécial des 40 ans est plus épais comme l'avait été le n° 150.

Les Cahiers Clairaut

Hiver 2017

Éditorial

C'était il y a 40 ans, du 17 au 24 juillet 1977, la première école d'été du CLEA avait lieu à Lanslebourg-Mont-Cenis, le CLEA naissait. Il y avait déjà plus de 60 stagiaires et une bonne douzaine d'astronomes sous la houlette des cinq principaux fondateurs du CLEA: Lucette Bottinelli, Jacky Dupré, Michèle Gerbaldi, Lucienne Gougouenheim et Gilbert Walusinski.

Dans l'esprit des fondateurs il s'agissait de créer un espace de formation et d'échanges en astronomie, d'un style nouveau allant au-delà de la simple transmission d'éléments théoriques. Le CLEA a pour objectif de fournir aux enseignants des outils leur permettant de construire eux-mêmes leur propre démarche. Il se refuse donc à diffuser des T.P. clés en main » (1)

Une des idées était de construire un matériel pédagogique simple (par exemple fabriquer des instruments d'observation ou des maquettes pour modéliser des situations). Par la suite de nombreuses écoles d'été eurent lieu avec un succès sans cesse croissant, avec une ambiance particulière qui résultait en partie de la très grande disponibilité des astronomes et du refus de toute idée de hiérarchie universitaire (une vraie nouveauté à cette époque).

Dès le printemps 1978 le CLEA se dotait d'un bulletin de liaison: les Cahiers Clairaut, à raison de quatre numéros par an, paraissant au moment des solstices et des équinoxes. Le succès de ces Cahiers Clairaut fut immédiat, dès le numéro quatre (printemps 1979) les abonnements frôlaient le millier. Signalons qu'à l'époque il y avait un abondant courrier des lecteurs qui a malheureusement disparu.

Si ce numéro 160 des Cahiers Clairaut fête ces 40 ans d'activités, vous y trouverez aussi les rubriques habituelles avec une partie thématique portant sur «les ressources en astronomie» comportant des exemples de réalisations et des activités à concrétiser avec vos élèves.

Christian Larcher, pour l'équipe

(1) Lucienne Gougouenheim, ASTER n°36, *l'enseignement de l'astronomie* p. 155 ; INRP 2003.

Sommaire

Article de fond

Fin de mission (à propos de la sonde Cassini)

Cécile Ferrari p 2

Thème : Ressources en astronomie

Avec les enseignants

Des stagiaires formés par le CLEA

Pierre Le Fur, Nathalie Cugnet p 7

Avec nos élèves

La tête dans les étoiles

Laurence Guyader p 9

Avec nos élèves

Utiliser des éphémérides avec des élèves

Pierre Causeret p 12

Avec nos élèves

IRiS, un télescope de 50 cm

Cyrille Baudouin, Stéphane Basa p 14

Avec nos élèves

Voyage dans les étoiles

Mme Laborde, Mme Lafrance, M. Pélissier p 17

Avec nos élèves

Utiliser Stellarium

Véronique Hauguel p 20

Mots croisés

p 22

Avec nos élèves

Une séance de planétarium à l'école

Pierre Valat p 23

Avec nos élèves

Réalisation de maquettes du Système solaire

Jean-Louis Coustillet p 25

Histoire

L'observatoire de Saint-Véran

Dominique Menel p 28

Ciel de l'automne

Pierre Causeret p 32

Histoire

Histoire de la spectroscopie (2)

Jean-Pierre Maillard p 34

Lecture pour la marquise

La Terre ne tourne pas rond p 39

À la recherche de l'Univers invisible p 40

Pages spéciales 40 ans p 41

L'assemblée générale du CLEA aura lieu
dimanche 28 janvier 2018 à Paris.

Vous pouvez déjà réserver votre journée.

ARTICLE DE FOND

Fin de mission

Cécile Ferrari, professeure à l'université Paris Diderot

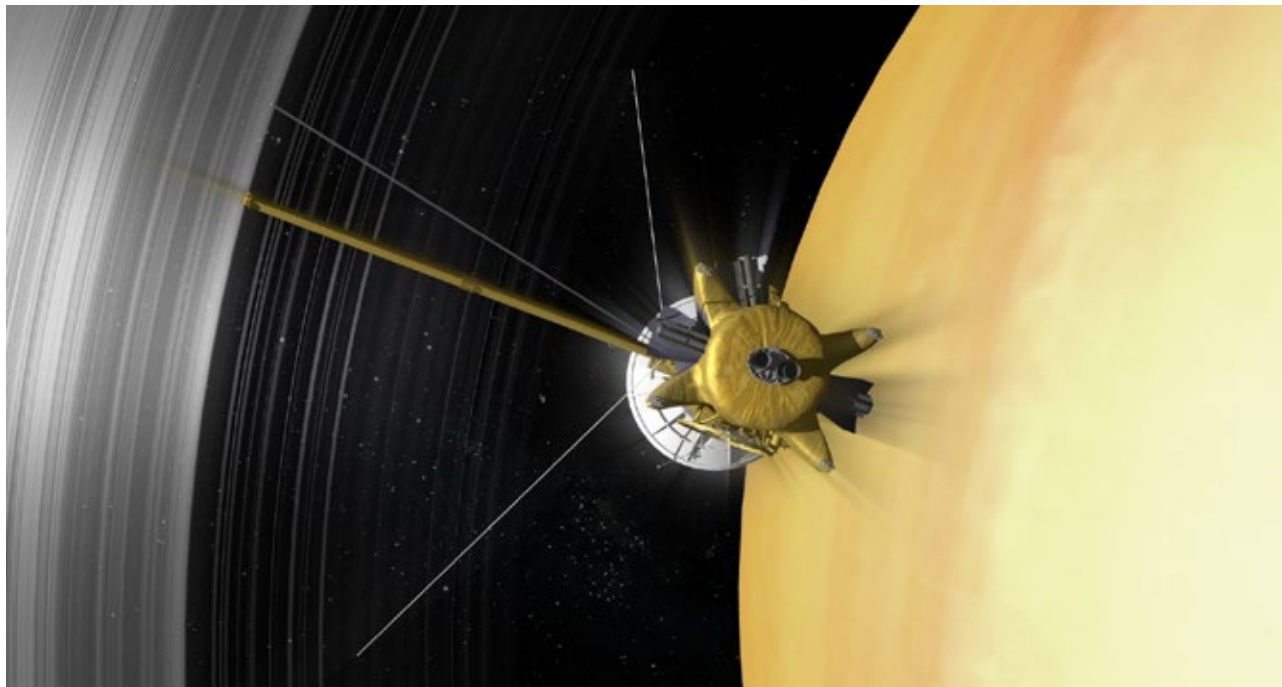


Fig.1. Image d'artiste conceptualisant le plongeon final de la sonde Cassini dans l'atmosphère de Saturne lors du « Grand Finale » du 15 septembre 2017. Crédit image NASA/JPL.

La mission Cassini est officiellement terminée depuis le 15 septembre 2017, 3 h 45 (Pacific Day Time) après un plongeon final dans l'atmosphère de Saturne à plus de 120 000 km/h. Fin de mission palpitante entre anneaux et planète, un endroit jusque-là inexploré. Promesses de résultats uniques à paraître. Une mission extraordinaire, vingt ans d'exploration dont treize dans le système de Saturne qui auront permis d'établir les effets des saisons sur les anneaux, les satellites et les atmosphères. Chroniques de fin.

« You just heard, the signal from the spacecraft has gone and within the next forty-five seconds, so will be the spacecraft. I hope you all as deeply pride of this amazing accomplishment... Congratulations to you all, this has been an incredible mission, an incredible spacecraft and you are all an incredible team...and we will call this the end of mission»¹.

Sur ces mots le chef de projet de la mission Cassini, Earl Maize, clôt l'aventure de la mission Cassini devant le millier de cœurs serrés présents au Jet Propulsion Laboratory et sur le campus du California Institute of Technology de Pasadena.

¹ « Vous venez de l'entendre, le signal provenant de la sonde a disparu et dans les quarante-cinq prochaines secondes, il en sera de même pour la sonde. J'espère que vous êtes tous profondément fiers de cet incroyable accomplissement. Félicitations à vous tous, ceci a été une mission incroyable, une sonde spatiale incroyable et vous tous avez formé une équipe incroyable... et nous appellerons cet instant la fin de la mission. »

Le 15 septembre 2017 à 3 h 45 du matin, heure locale, la sonde a terminé sa mission dans un plongeon fatal, irrémédiablement détruite dans sa traversée de la haute atmosphère de Saturne. Cet événement est évidemment en léger différé, puisqu'au moment de ces mots-là, Cassini a déjà terminé sa course depuis près d'une heure vingt, temps-lumière nécessaire pour que l'information nous arrive. Le vaisseau aura résisté trente secondes de plus que le temps calculé par les modèles. Plus coriace que prévu !

Le cordon ombilical, notre liaison radio avec la sonde, est visualisé sur les écrans géants par les spectres des signaux de communication, en bande S (2 GHz) et en bande X (8,4 GHz) où l'on aperçoit un pic qui démarque la fréquence de l'onde porteuse d'information. Le signal de l'émetteur en bande X disparaît un peu avant celui de la bande S, le pic de la bande S a un soubresaut, puis disparaît

complètement (on pourra le voir à la page <https://saturn.jpl.nasa.gov/resources/7800/> qui montre le signal des porteuses X et S à la fin du plongeon). Le silence se fait dans l'assistance, une minute d'émotion, une minute de silence spontanée. Julie Webster, chef de la sonde, donne l'heure de fin dans un silence assourdissant, Earl Maize conclut dans des applaudissements respectueux et émus. Le freinage par l'atmosphère a commencé à se faire sentir à 1 900 km au-dessus des nuages, les fusées ont commencé à corriger l'orientation de la sonde. Elles ont fonctionné pendant presque deux minutes avant que le signal ne disparaisse. La sonde Cassini ne peut alors plus tenir le pointage vers la Terre et c'est un signal provenant du lobe dit secondaire de l'antenne que l'on capte alors sur Terre quand le soubresaut de la bande S apparaît.

Tous réalisent à ce moment la séparation, pour certains la fin d'un sacerdoce, quotidiennement aux commandes depuis vingt ans, la fin d'une corne d'abondance de données pour d'autres, enfin celle d'une aventure scientifique unique dans l'exploration spatiale du Système solaire. La mission a commencé avec la génération des scientifiques de la mission Voyager, celle qui l'a inventée, elle se termine avec leurs « enfants » et « petits-enfants », ces chercheurs et ces doctorants qu'ils auront formés tout au long de la mission.

« Grand Finale », fin grandiose d'un opéra qui aura duré presque vingt ans, depuis le lancement de Cap Canaveral le 15 octobre 1997, sept ans de voyage pour arriver à Saturne le 1^{er} juillet 2004, et deux-cent-quatre-vingt-treize révolutions autour de Saturne, orbites aux aspects les plus divers, qui ont permis de sonder in situ l'environnement de Saturne à trois dimensions en deçà de l'orbite de Titan, son plus gros satellite. Une demi-année saturnienne à peu près pour observer aussi les variations saisonnières de ce système planétaire, de l'hiver à l'été boréal avec le passage du Soleil dans le plan des anneaux à l'équinoxe, en août 2009.

Une mission unique donc par sa durée, une mission de longue haleine, pour laquelle plusieurs chefs de mission, chefs scientifiques et chefs de bord, prendront le relais et formeront les générations à venir. Finalement, pourquoi sonner la fin de la mission ? La sonde Cassini est partie avec 3 tonnes de propergol, du monométhylhydrazine (carburant, 1 130 kg) et du tétraoxyde d'azote (oxydant, 1 870 kg) pour effectuer les corrections de trajectoire et d'orbite. C'est le réservoir de carburant qui donne à la sonde sa forme allongée. Un réservoir de 132

kg d'hydrazine a aussi été embarqué pour alimenter les 16 petites fusées d'appoint pour le « contrôle d'attitude » et les petites manœuvres. Il en reste une quinzaine de kilogrammes au début du « Grand Finale », une ressource qui a été mise depuis longtemps sous surveillance. Elle va être utilisée pour contrôler l'attitude de la sonde lors de son plongeon final et maintenir l'antenne orientée vers la Terre pour transmettre ainsi en direct les dernières mesures faites dans l'atmosphère de Saturne.

Le « Grand Finale », l'apothéose des vingt-deux dernières révolutions et demie, les orbites 271 à 293, a débuté le 23 avril 2017 (Figure 2). Leur inclinaison est d'environ 60° au-dessus du plan des anneaux.

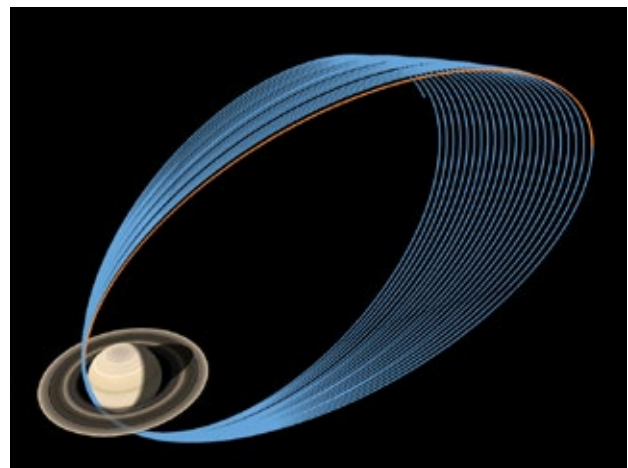


Fig.2. Aspect des vingt-deux dernières orbites de la sonde Cassini autour de Saturne lors du « Grand Finale » qui débute le 23 avril 2017. Le premier passage dans le plan a lieu le 26 avril. La dernière demi-orbite (la révolution 294) est dessinée en rouge.

Leur périastre est situé à environ 63 500 km du centre de la planète, c'est-à-dire à environ 3 500 km au-dessus des nuages de Saturne ou du niveau de pression atmosphérique de 1 bar, une zone où l'anneau D est si ténu qu'il devient indétectable. Le passage est redouté car inconnu, une traversée du plan à plus de 120 000 km/h, dans un environnement électromagnétique intense, un corridor entre l'anneau D et la planète.

Les objectifs scientifiques prioritaires de cette dernière séquence ont été discutés dès 2014, la planification détaillée des observations élaborée en 2015 et 2016 avec une programmation des commandes de la sonde entamée fin 2016. Sur la première de ses orbites, la numéro 271 et les quatre dont le périastre est situé au-delà de ce que l'on pense être le bord intérieur de l'anneau D, la sonde est mise en position de sécurité pour abriter les instruments derrière l'antenne de télécommunication. Sur l'orbite 271 le Cosmic Dust Analyzer (CDA) et le Radio and

Plasma Wave Science (RPWS) vont faire des mesures qui vont être tout de suite envoyées pour analyse sur Terre afin de parer d'éventuels problèmes et corriger la trajectoire si nécessaire. Les cinq dernières orbites 289 à 293 vont être exécutées avec le système de contrôle de réaction sur les petites fusées afin de corriger d'éventuels effets de tumbling dus au frottement dans la haute atmosphère à 62 500 km de distance à Saturne.

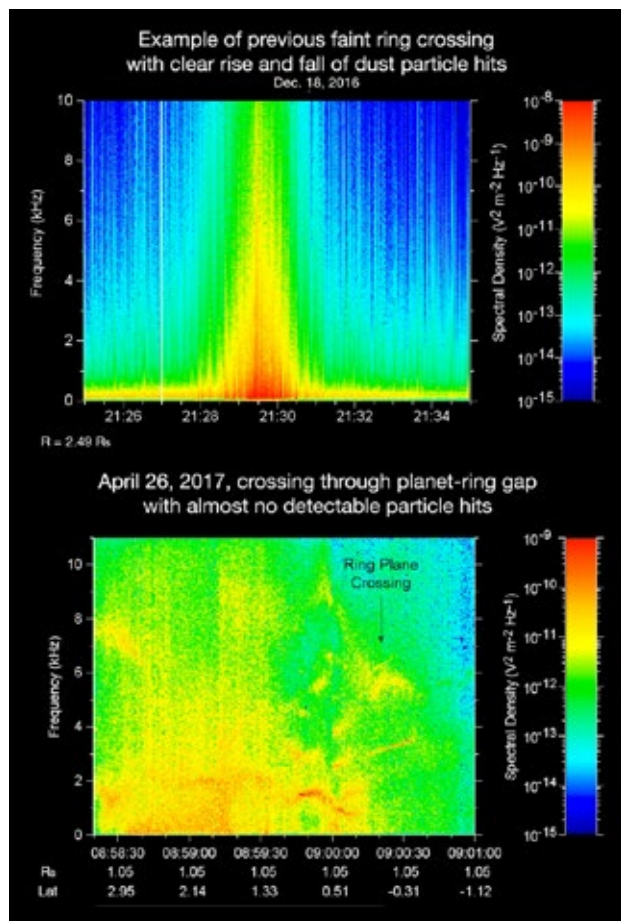


Fig.3. Spectrogramme qui illustre l'intensité des impacts et le bruit qu'ils font sur l'antenne de la sonde Cassini en fonction du temps lors des passages dans le plan des anneaux à 150 000 km de la planète lors des « Proximal orbits » en décembre 2016 (en haut) et lors du périastre du 26 avril 2017 entre l'anneau D et la planète à 63 500 km du centre de Saturne. Dans ce corridor, l'intensité des impacts est clairement de plusieurs ordres de grandeurs en deçà de celle mesurée plus loin. Credit NASA/JPL.

La figure 3 illustre l'intensité des impacts des particules de poussières sur l'antenne de la sonde Cassini, accompagnée d'une cacophonie de sons captée par l'instrument RPWS, qui curieusement ne s'intensifie pas lors du passage dans le plan des anneaux.

Cette intensité est à comparer à celle mesurée lors du passage dans le plan des anneaux en bordure extérieure des anneaux principaux.

On pourra écouter ses impacts à la page : <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2017-127>.

Une fin de mission certes mais pour la science ce « Grand Finale » est une nouvelle mission avec des objectifs scientifiques uniques : sonder les champs gravitationnel et magnétique de la planète au plus proche pour comprendre la structure interne de la planète, ses dissymétries et le lieu de génération du champ magnétique, mesurer la masse des anneaux de Saturne ou analyser la composition chimique des particules de l'anneau D collectées avec l'instrument CDA. Si les premiers échos donnés de ces différentes mesures sont tout à fait enthousiasmants et confirment l'intérêt d'avoir exploré cette zone, il est désormais nécessaire de prendre le temps de définir le contour des certitudes et du doute, probablement pour quelques mois. Le plongeon final même est le moment d'une expérience unique de collecte de donnée en direct. La sonde Cassini est programmée pour maintenir son antenne principale vers la Terre et envoyer en direct les données du spectromètre de masse INMS (Ion and Neutral Mass Spectrometer) qui va analyser le long de sa trajectoire de plongeon final la composition atmosphérique de Saturne.

L'année à venir verra les dernières grandes réunions scientifiques de la mission avant dispersion des équipes scientifiques. Le site NASA du « Grand Finale » est déjà devenu celui de « l'héritage de Cassini ». Nul doute cependant que cette mission aura été trans-générationnelle et aura soudé définitivement une communauté scientifique autour d'objectifs communs dans une approche multi-instrumentale multi-longueur d'onde et ce, sur de longues échelles de temps (figure 4). Citons aussi ceux qui ont permis il y a vingt-cinq ans que tous ces instruments existent et fonctionnent pendant des décennies dans un environnement électromagnétique difficile. Ils auront, eux, connu le frisson du décollage. On peut recommander comme un résumé le visionnage du film de la NASA résumant la mission Cassini et figurant avec des images de synthèse le plongeon final : <https://saturn.jpl.nasa.gov/resources/7628/?category=hall-of-fame>.

La nouvelle génération formée a encore devant elle de beaux jours d'analyse des données de la sonde Cassini. Elle pourra aussi continuer de suivre les évolutions saisonnières du système de Saturne ou compléter les observations faites grâce à des moyens d'observations terrestres aux performances décuplées depuis 20 ans, en particulier le télescope spatial James Webb ou l'observatoire ALMA, et à l'horizon 2025 l'Extremely Large Telescope de l'ESO. De

quoi patienter pendant le voyage des sondes Europa-Clipper (NASA) et JUICE (ESA), lancées entre 2022 et 2025, et dont les arrivées autour des satellites galiléens de Jupiter sont prévues à l'horizon 2030 ! Ainsi vont les alternances entre missions spatiales d'exploration et observations à partir du sol.

La décennie est une bonne échelle de temps pour voir la marche de la science, la démarche scientifique d'investigation à partir des questionnements initiaux qui auront justifié l'envoi de la sonde, mais aussi l'adaptation à la surprise, aux phénomènes inattendus, des questions nouvelles pour lesquelles des stratégies d'observation ont été élaborées au fil de l'eau et qui ont justifié la prolongation de la mission sur une si

longue durée. La mission Cassini-Huygens est un livre de contes scientifiques à cet égard. Chacun d'eux mériterait qu'on y dédie quelques colonnes des Cahiers Clairaut. À bientôt peut-être. En attendant je vous recommande quelques promenades nostalgiques au fil des images de la mission sur : <https://saturn.jpl.nasa.gov/> . ■

En plus d'être présidente du CLEA, Cécile Ferrari est une grande spécialiste de Saturne, puisqu'elle était co-responsable scientifique de l'instrument CIRS (Composite Infra Red Spectrometer) à bord de Cassini et responsable scientifique au service d'astrophysique du CEA de l'exploitation de ces données.



Fig.4. Une bonne partie des membres de la mission Cassini photographiée en juin 2017 sur le site du Jet Propulsion Laboratory - Crédit : NASA/JPL/Caltech.

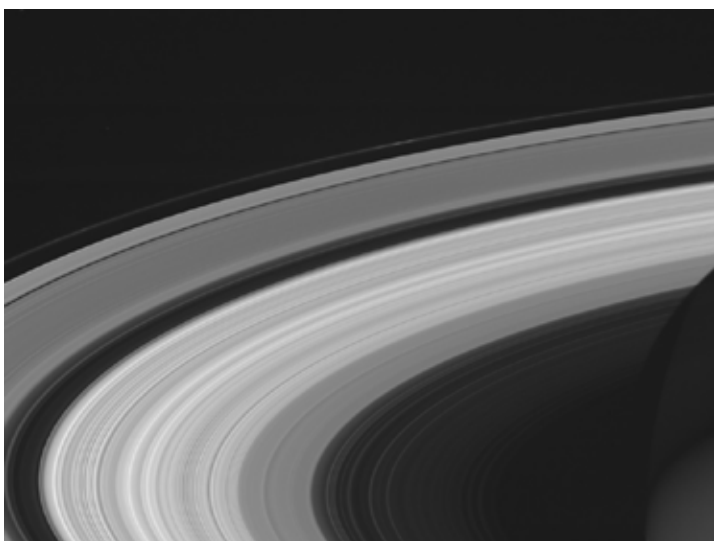


Figure 5.

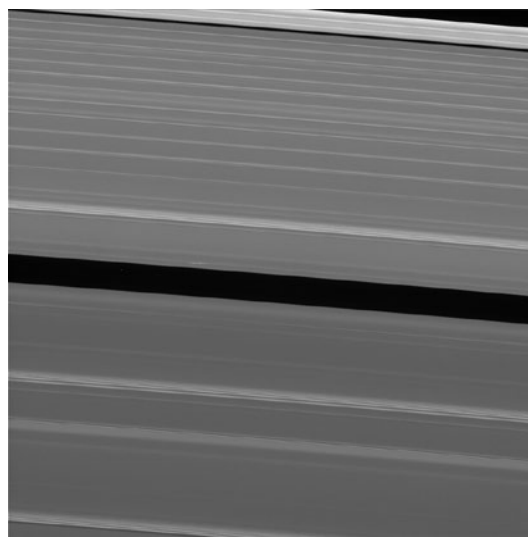


Figure 6.

Fig.5. Cette image des anneaux de Saturne a été prise par Cassini le 13 septembre 2017. C'est parmi les dernières images que Cassini a envoyées à la Terre avant de conclure sa mission le 15 septembre.

La vue a été prise en lumière rouge visible à l'aide de la caméra grand angle de Cassini à une distance de 1,1 million de kilomètres de Saturne.

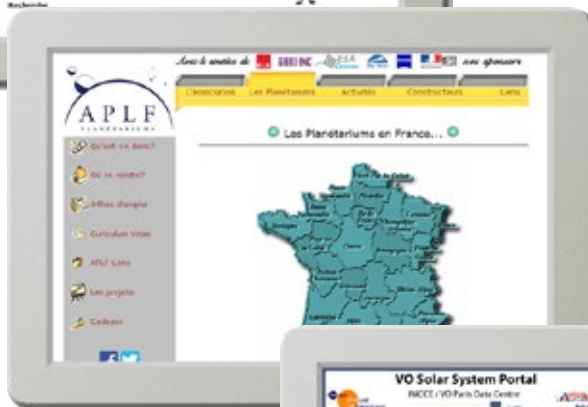
Fig.6. Avant de conclure sa mission le 15 septembre 2017, Cassini a capturé une dernière vue d'une caractéristique unique d'«hélice», une des nombreuses caractéristiques dynamiques à petite échelle créées par les petites lunes intégrées dans les anneaux car elles tentent, sans succès, d'ouvrir des espaces dans le matériau des anneaux. L'image a été prise le 13 septembre 2017 avec la caméra grand angle à une distance de 676 000 km de Saturne. Échelle d'image 3,7 km par pixel. C'est parmi les dernières images que Cassini a envoyées à la Terre.

NDLR : Grand finale est l'expression choisie dans le milieu des astronomes pour la fin de mission de Cassini. En français, c'est un terme musical, en anglais, c'est le bouquet, l'apothéose.

THÈME: RESSOURCES EN ASTRONOMIE



La page d'accueil de Lunap, la petite encyclopédie astronomique du CLEA. Vous pouvez rechercher par grand thème ou par mot (plus de 80 entrées). Vous y trouverez des notions de base, des approfondissements et des activités.



Pour trouver un planétarium près de chez vous, sur le site de l'Association des Planétariums de Langue Française

L'observatoire virtuel de l'Institut de Mécanique Céleste et de Calculs des Éphémérides. Vous pouvez y obtenir les coordonnées de planètes, de comètes ou d'astéroïdes pour n'importe quelles dates.



Stellarium avec ici le ciel du 22 décembre à minuit. La dernière version du logiciel permet aussi d'obtenir des éphémérides de planète.



Le thème de ce numéro concerne les ressources en astronomie. Vous les trouverez à la suite de différents articles sous la forme d'encadrés, pages 7 à 27. Elles sont proposées par la rédaction et sont loin d'être complètes, les oubliés voudront bien nous en excuser.

p 8 Formation continue en astronomie
p 11 Concours scientifiques
p 13 Éphémérides
p 16 Comment observer le ciel
p 19 Sites Internet et ressources astronomiques
p 22 Les logiciels d'astronomie

p 24 Planétariums
p 27 Quelques ressources pour l'école primaire
p 27 Des planétaires pour mieux comprendre le Système solaire
p 27 Des maquettes pour l'astronomie

AVEC LES ENSEIGNANTS

Des stagiaires formés par le CLEA

Pierre Le Fur, Nathalie Cugnet, animateurs de ces stages

La région PACA bénéficie d'un climat particulièrement propice aux observations astronomiques, les formateurs du CLEA profitent de la présence de l'observatoire professionnel de Nice et de l'observatoire du Pic des fées pour organiser de nombreux stages à destination des professeurs des lycées et collèges.

Depuis plus de 15 ans, à l'initiative de Francis Berthomieu, le CLEA organise un stage annuel de formation des professeurs de collèges et lycées, en partenariat avec l'Académie de Nice et les observatoires professionnel de Nice (observatoire de la Côte d'Azur) et amateur d'Hyères -83- (observatoire du Pic des Fées).

Au total, près de 250 enseignants de l'Académie de Nice ont profité de ces deux jours d'astronomie pédagogique. Une partie des professeurs sont convoqués à Hyères, l'autre à Nice. Les stagiaires changent, les animateurs passent, les inspecteurs pédagogiques se renouvellent mais rien n'y fait : le stage poursuit sa vie propre. En effet le terreau local est extrêmement favorable à son épanouissement, comme le climat est propice aux observations. Nice et Hyères constituent deux pôles astronomiques importants dans leurs domaines respectifs, de la recherche et de la médiation scientifique.

Ils ont en commun l'expérience de l'accueil des élèves du primaire au secondaire et des enseignants accompagnateurs. L'OCA a mis sur pied les projets « Educosmos, Medites, Aperla... »¹ orientés vers les élèves de 12 à 19 ans accompagnés de leurs « maîtres ». L'OPF ne cesse de recevoir des classes du primaire au lycée, sous ses coupoles et son planétarium, quand il ne se déplace dans les établissements scolaires, plusieurs fois par mois². Nos stagiaires ne s'y trompent pas, lors de ces deux jours astro-CLEA, ils prennent très souvent contact avec les responsables locaux pour organiser des séances pour leurs élèves. Un rapide comptage montre qu'ainsi plus de mille jeunes ont pu déjà profiter de ces magnifiques observatoires.

Alors comment se déroulent ces deux journées, les jeudi et vendredi (27, 28 avril puis 4 et 5 mai) ?

Typiquement, les professeurs se forment par activités pendant la moitié des 12 h.

L'autre moitié est consacrée aux richesses locales : à Nice, une conférence d'un astronome professionnel pour l'OCA ; cette année c'est Bertrand Chauvineau, cosmologiste au laboratoire Lagrange, qui nous a tenus en haleine avec « relativité et astronomie » où nous avons mieux compris les dernières découvertes sur les ondes gravitationnelles et leurs implications. Pour l'OPF à Hyères, nous avons eu une magnifique séance de planétarium riche d'interactivités avec les participants ; les coordonnées célestes ont pris vie sous nos yeux et les richesses du ciel de printemps nous ont fait rêver.

Bien sûr, dans les deux observatoires nous avons pu explorer les coupoles. Certes, les tailles ne sont pas les mêmes, encore moins les instruments : la grande lunette de l'observatoire n'a ainsi plus de secrets grâce à Jean-Pierre Rivet, chercheur du CNRS au laboratoire Lagrange, qui nous a accordé le privilège de manœuvrer sous nos yeux la grande coupole et sa lunette géante (76 cm de diamètre, focale 17,9 m) toujours opérationnelle, utilisée entre autres pour la recherche sur les étoiles doubles. Si les coupoles de l'OPF restent à taille humaine, leurs équipements performants (5 coupoles et 5 télescopes de 250 à 500 mm) nous ont permis d'admirer les protubérances solaires visibles avec un filtre H alpha (figure 1). De plus, le vendredi soir, les quelques passionnés ont pu s'y retrouver pour contempler le ciel nocturne et ses objets typiques comme les amas globulaires ou Jupiter.

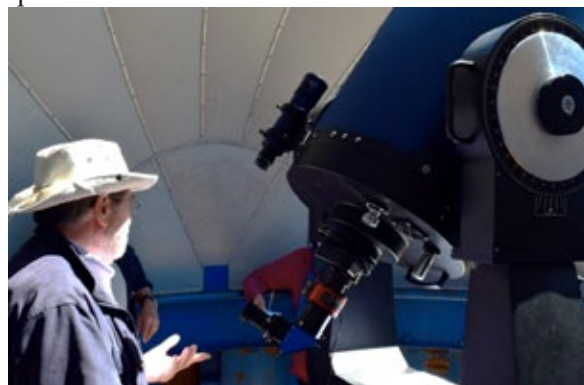


Fig.1. L'intérieur d'une coupole, observation solaire avec un filtre H alpha (OPF).

1 voir <http://www.oca.eu/fr/projets-pedagogiques>, responsable Olga Suarez, ingénieur de recherche.

2 <http://www.astrosurf.com/opf/> ou http://bdressources.ac-nice.fr/documents_pedagogiques/9_3.pdf

Mais revenons aux activités, cette année le thème était l'histoire de l'astronomie. Après un rapide rappel des débuts du 16^e au 17^e siècle, nous nous sommes plongés dans l'utilisation d'une arbalétrille avec la découverte ou l'utilisation du logiciel GeoGebra pour exploiter quantitativement une photo et les mesures prises. Ensuite, nous avons poursuivi jusqu'aux méthodes de mesures utilisées par Galilée et ses confrères (Peiresc, savant provençal que nous ne pouvions pas oublier). Là, notre guide fut un autre logiciel, Stellarium, en complément des observations des astres médicéens datant de 1613. Nous avons ainsi pu comprendre comment se sont construites la vérification et la découverte des lois de Kepler (en particulier la 3^e).



Fig.2. Observation virtuelle des satellites de Jupiter avec la pseudo-lunette de Galilée et son micromètre.

En continuant la découverte des dimensions et des périodes du Système solaire, GeoGebra a permis de construire un planétaire avec ou sans orbites apparentes et d'y faire tourner les planètes. En liaison avec Stellarium et surtout le logiciel Asynx, les rétrogradations de Mars ont été ainsi décortiquées. Le planétaire GeoGebra nous a amenés à appréhender quelles planètes seraient visibles lors des observations du soir. Ce fut aussi l'occasion de travailler sur les coordonnées célestes et les montures de télescopes.



Fig.3. Observatoire du Pic des Fées. Les maquettes de cadrans solaires en carton posées sur le cadran de marbre.

Pour rester dans l'esprit CLEA, il nous fallait réaliser une maquette. Le choix fut évident : chaque stagiaire a pu construire et s'approprier ainsi un cadran solaire équatorial. À Hyères, nous avons même pu comparer

leur fonctionnement avec celui de leur grand frère de marbre trônant à côté des coupoles. Ce magnifique cadran doit son existence aux calculs des membres de l'OPF et à la grande habileté d'un d'entre eux, artisan-artiste marbrier (figure 3).

Cette année il nous fallait innover, compléter notre « offre ». En effet les années précédentes les participants à la session niçoise regrettaient qu'ils ne puissent pas observer de nuit. Certes ils avaient tous profité des instruments lunettes, télescopes, « Coronado », spectroscopes pour découvrir le Soleil, mais il manquait les étoiles, les planètes. Grâce à l'association « Parsec-Astrorama »³, située sur le Col d'Èze (06), nous avons pu organiser une belle soirée d'observation : Jupiter, la Lune, les constellations avec en prime un magnifique flash Iridium. Là encore, l'accueil des animateurs de l'Astrorama fut excellent.

On ne peut donc que remercier les astronomes professionnels, nos inspecteurs MM. Seurat et Rochefeuille, Xavier Henry et son équipe de l'OPF, Djamel Ghouali avec les animateurs de l'Astrorama qui nous ont permis de construire le déroulement de ces stages. Notre seule ambition est de donner une très forte envie d'astronomie aux professeurs, pour que les élèves puissent tourner leur esprit vers les sciences, avec enthousiasme. Pour le CLEA, un indice positif de succès reste la présence de quelques professeurs « redoublants » qui veulent toujours en savoir plus...

Cet article est dédié à Jean Paul et Claudette Rosenstiehl, membres du CLEA, grands animateurs des stages académiques de l'Académie de Nantes dans les années 1980. ■

Formation continue en astronomie

- Stages académiques organisés en relation avec le CLEA en particulier dans les académies de Nice, Toulouse, Paris.
- École d'été d'astronomie du CLEA, une semaine de formation avec cours, ateliers, observations (voir le site du CLEA).
- Plusieurs observatoires proposent des formations pour les enseignants (observatoire de Paris, observatoire de Lyon...).
- Certains IREM proposent aussi des stages autour de l'astronomie.
- Les MOOC (Massive On Line Open Courses) en astronomie sont souvent dispensés en anglais mais on en trouve aussi en français. On pourra chercher sur la plateforme COURSERA ou sur mooc-francophone.com
- Il existe aussi des stages pour astronomes amateurs qui peuvent intéresser les enseignants.

3 <http://www.astrorama.net>

AVEC NOS ÉLÈVES

La tête dans les étoiles

Laurence Guyader, enseignante en sciences physiques, collège Simone Veil (94)

Un bel exemple de travail ludique et planifié avec des élèves pour découvrir l'Univers. Ceux-ci élaborent des cartes à jouer et imaginent des questions pour mettre en place un jeu de société. Ce projet, d'une grande richesse et résolument interdisciplinaire, a été récompensé par plusieurs prix.

Au cours de l'année scolaire 2016-2017, les élèves de la classe de 5^e du collège Simone Veil de Mandres-Les-Roses (Val-de-Marne) ont réalisé un projet avec leur professeure de sciences physiques en l'occurrence, moi-même. L'objectif du projet était de créer un jeu de société basé principalement sur les constellations et les étoiles et de permettre à un large public (enfants, adolescents, adultes) de connaître les étoiles et les constellations en s'amusant.

Le nouveau programme de physique-chimie instauré dans le cadre de la réforme du collège intègre de nombreuses notions en rapport avec l'astronomie et l'Univers. L'objectif du projet était d'aborder, via un travail de groupe, différentes notions du socle commun de compétences (décrire la structure de l'Univers et du Système solaire, ordres de grandeur des distances astronomiques, notion d'année-lumière, matière constituant la Terre et les étoiles).

Certains élèves ne se sentaient pas très forts en sciences mais ils ont été ravis de s'engager dans un projet commun, qui a été proposé aux concours scientifiques «Cgénial», «Faites de la science» et «Découvrir l'Univers». Lors de la création du jeu, la classe a pu découvrir l'espace, l'Univers, l'astronomie, les constellations... et restituer ses nouvelles connaissances en élaborant des cartes et des questions.

Afin d'élargir les connaissances sur l'astronomie, j'ai pris contact, en tout début d'année scolaire, avec

des associations d'astronomie du secteur pour avoir un soutien technique de spécialistes. La Société Astronomique de Montgeron a répondu rapidement et positivement à ma demande en proposant une séance d'initiation à l'observation du ciel.

Avant de participer à cette séance, les élèves devaient se préparer en recherchant la position de la Lune, de Mars et de Vénus (direction, hauteur au dessus de l'horizon...) à l'horaire prévu pour l'observation. L'activité était planifiée un mardi soir de décembre à 18 h et pratiquement toute la classe était présente. Les élèves ont profité d'un télescope motorisé, constitué d'un miroir de 25,4 cm de diamètre avec une distance focale de 1,2 m. Malgré la pollution atmosphérique, les planètes Mars et Vénus ainsi que la Lune et ses cratères ont pu être observés. Les astronomes amateurs ont répondu aux nombreuses questions des élèves sur les supernovas, la création du Système solaire, les aurores boréales, etc. Cette activité n'a pas attiré que les élèves, plusieurs adultes du collège étaient également présents : des professeurs d'éducation musicale, de technologie et d'EPS, deux assistants de vie scolaire et l'agent de maintenance du collège.

Plus tard dans l'année (le 20 mars 2017), la classe a eu la chance de participer à la conférence interactive de Thomas PESQUET, astronaute français en orbite dans la Station spatiale internationale. Voir un astronaute évoluer en direct en apesanteur et répondre aux questions posées (via un forum sur Internet) est un événement exceptionnel que les élèves ont apprécié à sa juste valeur.

Dans le cadre des séances de sciences physiques, des activités expérimentales réalisées par les élèves ont permis de comprendre le fonctionnement des instruments utilisés par les astronomes. En l'absence de miroirs adaptés pour reproduire le fonctionnement du télescope, la démarche expérimentale s'est limitée aux lunettes (la lunette astronomique et la lunette de Galilée) à l'aide des lentilles disponibles au collège. Grâce à ces manipulations, et en utilisant la notion



Cassiopée		
La constellation de Cassiopée est une des plus grandes. Elle se repère facilement grâce à sa forme en «W». Cette constellation, connue depuis l'Antiquité, représente Cassiopée, une reine d'Éthiopie (femme du roi Céphée et mère d'Andromède) condamnée à tourner éternellement autour du pôle Nord. Cassiopée permet de repérer l'étoile Polaire, seule étoile brillante dans le prolongement de la dernière barre du W.		
		
Caph	Shédir	Ruchbah
Etoile de type : F	Etoile de type : K	Etoile de type : A
Magnitude : 1	Magnitude : 2	Magnitude : 1
Distance à la Terre : 54 années lumière	Distance à la Terre : 229 années lumière	Distance à la Terre : 99 années lumière

Fig.1. Une des cartes du jeu.

de distance focale, les élèves ont composé différentes associations pour obtenir des images droites ou inversées.

Les cours de sciences physiques ont également permis de découvrir quels éléments chimiques sont principalement présents sur Terre et dans les étoiles et l'utilisation du logiciel «Stellarium» a permis de découvrir les constellations. Chaque élève devait retrouver le nom des étoiles constituant une constellation ainsi que des caractéristiques comme la magnitude absolue, la distance entre cette étoile et la Terre et son type spectral.

La réalisation du projet «La tête dans les étoiles» ne s'est pas restreinte aux seuls cours de sciences physiques. Une première approche a eu lieu en début d'année lors des cours d'histoire-géographie, le professeur de la classe a abordé des événements et des acteurs de l'histoire des sciences. En parallèle, les élèves ont effectué une recherche bibliographique sur des astronomes et physiciens célèbres (Ptolémée, Galilée, Copernic, Hubble...). Des premières questions sur la nationalité et la période de vie de ces scientifiques ont pu être rédigées.

Dans le cadre du projet, les élèves ont pu réinvestir leurs connaissances ou en acquérir des complémentaires avec l'équipe pédagogique, notamment :

- en français où les élèves ont composé une œuvre individuelle en rapport avec les étoiles sur le thème de l'être humain et la nature ;
- en technologie avec la création d'un livret comprenant notamment l'étymologie du nom des constellations en lien avec la mythologie ;
- en arts plastiques par des propositions d'illustration pour le jeu de société et la création d'affiches en rapport avec le projet ;
- en anglais avec la traduction des termes les plus fréquemment utilisés en astronomie.

L'implication de la classe dans le projet a permis d'augmenter leur attention lorsque des notions du programme, en lien avec l'astronomie, étaient abordées. Cette motivation est ressortie très clairement :

- dans la partie «Transformations de la matière», lorsque la composition de la Terre et des étoiles a permis d'introduire la notion d'atomes ;
- dans la partie «Mouvements et interactions», lorsque le terme de gravitation a permis d'expliquer la constitution du Système solaire, ou lorsque l'année-lumière est apparue comme l'unité la plus adaptée pour mesurer des distances dans l'Univers.

L'utilisation de l'informatique a été nécessaire notamment lors de l'utilisation du logiciel Stellarium,

lors des recherches d'informations (navigation sur Internet) ou lors des rédactions de questions pour le jeu (traitement de texte).

En dehors des approches «disciplinaires», le projet a demandé aux élèves d'être créatifs et inventifs. En effet, pour mettre en place un jeu de société, il est indispensable d'utiliser son imagination pour créer un support (cartes...) et une règle du jeu.

Plusieurs versions du jeu ont été testées en classe au cours de l'année. Lors de ces tests, les élèves ont fait preuve d'esprit d'équipe, d'écoute et de respect de l'avis des autres. Ce projet a permis de créer une cohésion de classe.

Après plusieurs essais et réglages, la règle du jeu a été définie : récolter le plus d'étoiles pour reconstituer les constellations de chaque équipe. La possibilité de pouvoir jouer en équipes s'est avérée rapidement incontournable pour une meilleure convivialité (même s'il est possible de jouer en individuel si on le souhaite). En testant le jeu, la classe a pu se rendre compte des aspects positifs (possibilité de jouer en équipe, jeu motivant et intéressant...) et des points négatifs (difficultés de certaines questions, manque de bonus, jeu trop long...). Des propositions ont été échangées et des améliorations effectuées, comme enlever des questions trop difficiles, ajouter des questions amusantes et plus de questions faciles, et mettre des cartes «bonus» ou «gages» (pioche 2 cartes supplémentaires, échange de cartes...).



Fig.2. Une des cartes du jeu.

La banque de données de questions (y compris le niveau de difficulté) a été enrichie au cours de l'année au fur et à mesure des tests réalisés par les élèves. En voici quelques exemples :

Quelle est la traduction du mot « Lune » en anglais ?	Sun	Earth	Moon
Quel élément chimique de symbole « H » est très présent dans le Soleil ?	Hélium	Oxygène	Hydrogène
À la surface de quel astre du Système solaire fait-il environ 6 000 °C ?	Le Soleil	La Lune	La Terre
Pendant quelle période de l'Histoire a vécu Isaac Newton ?	Époque contemporaine	Moyen Âge	Époque Moderne

Dans la règle du jeu finale, une réponse directe sans lecture des trois propositions de la carte permet de gagner davantage de cartes «Étoiles». Celles-ci permettent de reconstituer les cartes «Constellations». Le gagnant de la partie est celui qui a complété ces constellations le plus rapidement.

Pour que le jeu soit plus gai et plus joli, l'aspect «design» a été pris en compte en ajoutant de la couleur et des images et en créant des cartes avec des matériaux plus rigides. Les élèves ont également proposé des titres et réalisé des dessins pour finaliser le jeu. Au cours d'un vote, le titre du projet «La tête dans les étoiles» a été confirmé comme nom du jeu et les trois meilleurs dessins sélectionnés comme illustrations.



Fig.3. La boîte de jeu.

Le projet a été présenté à trois concours scientifiques. Tous les élèves de la classe ont pu se rendre à la faculté des sciences et technologie de Créteil (Val-de-Marne) pour participer au concours régional «Faites de la science» le 20 avril 2017. En plus de la fierté de présenter leur travail, les élèves ont pu visiter des laboratoires de recherche et découvrir ce qui se passait dans une université. Le jeu de société n'a pas été retenu pour concourir à la finale nationale mais il a eu un grand succès d'estime auprès du public présent.

Le lendemain, trois élèves volontaires pour être les ambassadeurs de la classe devant un jury de scientifiques se sont rendus avec leur professeur de sciences physiques dans l'enceinte du site du CNRS de Villejuif. Ils y ont présenté le projet et le jeu de société «La tête dans les étoiles» au concours «CGénial». À l'issue de la journée, ils ont été récompensés par le prix de la créativité et de nouveau, beaucoup de personnes ont eu plaisir de jouer et s'amuser en découvrant l'astronomie grâce au jeu.

Le 31 mai 2017, le projet a été présenté par 5 élèves ambassadeurs (accompagnés de leurs professeurs d'arts plastiques et de sciences physiques) au jury



Fig.4. Le prix de la créativité au concours CGénial.

du concours «Découvrir l'Univers» organisé par la Société Française d'Astronomie et d'Astrophysique. Il a eu lieu dans l'enceinte de l'Observatoire de Paris et la remise des récompenses s'est faite le 6 juillet en présence de plusieurs élèves de la classe. Le projet a reçu le 2^e prix ex-æquo. ■



Fig.5. Les élèves et leurs enseignants à la faculté de Créteil.



Concours scientifiques

- *Faites de la science*. Pour collégiens et lycéens, avec des finales académiques et nationale.
- *CGénial*. Pour collégiens et lycéens, avec des finales académiques et nationale.
- *Les olympiades de physique*. Pour les lycéens.
- *Découvrir l'Univers*, organisé par la SF2A. Ouvert aux classes des écoles élémentaires, collèges, lycées, d'une région.

Certaines académies organisent aussi leur propre concours.

Liste de concours sur : repertoireconcours.wordpress.com/

AVEC NOS ÉLÈVES

Utiliser des éphémérides avec des élèves

Pierre Causeret, Esbarres

Cet article propose une série de manipulations à réaliser avec les élèves en utilisant des éphémérides. Par exemple déterminer la durée de la journée, dessiner l'orbite d'une planète ou d'une comète ou encore déterminer les variations de distances en fonction du temps.

Pour de nombreuses activités, de l'école primaire au supérieur, nous avons besoin d'éphémérides¹. Voici quelques exemples d'utilisation.

La durée de la journée

C'est un sujet classique dès l'école primaire, que l'on traitait anciennement à partir d'un calendrier des postes donnant les heures des levers et des couchers du Soleil pour Paris.

Mais il est plus intéressant de le faire pour sa propre localité, à condition de connaître ces heures². On peut ensuite, sans calcul, les disposer sur un graphique (figure 1) ou faire calculer la durée de la journée.

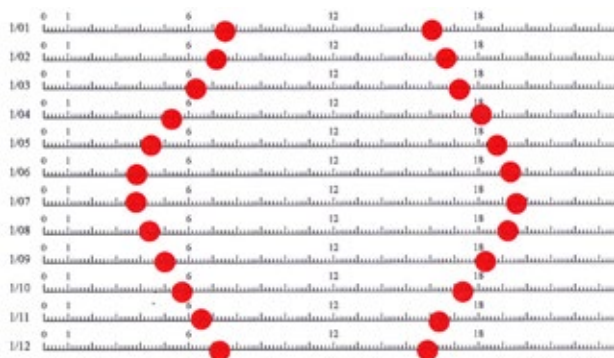


Fig.1. Heures de lever et de coucher du Soleil à Dijon le 1^{er} de chaque mois. Ce type de schéma montre bien les variations de la durée de la journée au cours de l'année (fichiers du CD du HS12, S03 pour les horaires et S07 pour le fond).

Orbite d'une planète

On peut dessiner l'orbite elliptique d'une planète si l'on connaît son excentricité. Si on veut représenter plusieurs orbites, il faut aussi connaître la position des périhélie. Et si, en plus, on veut représenter les planètes à différentes dates, cela se complique. Il

¹ Ephéméride : nom féminin [souvent pluriel]. Table donnant de jour en jour, ou pour d'autres intervalles de temps, les valeurs calculées de diverses grandeurs astronomiques variables. (Larousse).

² Le hors série n° 12 *Astronomie à l'école* donne les heures de lever et de coucher du Soleil pour une dizaine de villes françaises (CD-S03). Voir aussi dans l'encadré en fin d'article.

vaut mieux alors utiliser des éphémérides donnant la longitude écliptique héliocentrique³ des planètes qui nous intéressent ainsi que leur distance au Soleil. On utilise ensuite un logiciel de dessin capable de lire des fichiers de données.

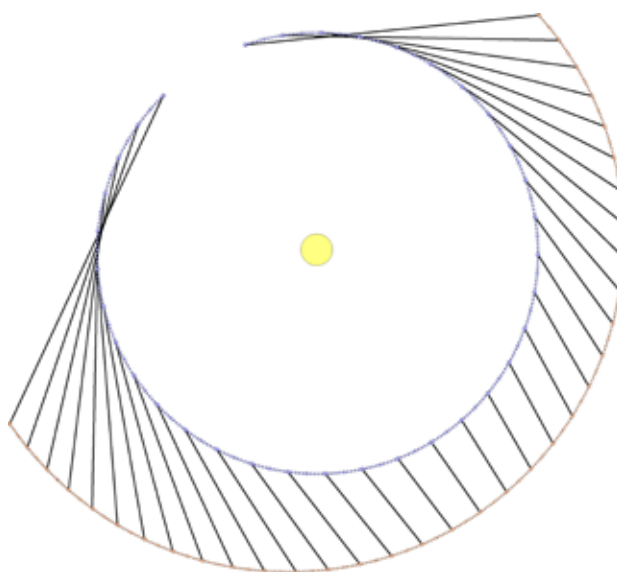


Fig.2. Positions de la Terre (en bleu) et de Mars (en orange) de jour en jour du 4/02/2018 au 10/01/2019. On suppose ici que les deux planètes tournent dans le même plan. On a joint la Terre à Mars tous les 10 jours pour mieux voir les variations de distance et de direction. Ce schéma a été réalisé à partir des éphémérides de l'IMCCE avec le logiciel Processing (même chose pour les schémas suivants).

Rétrogradation de Mars

Si on se place dans un repère géocentrique, on peut visualiser le mouvement apparent de Mars devant les constellations. Comme le plan de l'orbite de Mars n'est pas confondu avec le plan de l'orbite terrestre, on utilisera, en plus de la longitude, la latitude écliptique géocentrique. Le schéma qui suit a été tracé en projection quadratique (l'abscisse est

³ Dans les coordonnées écliptiques héliocentriques, le plan de référence est le plan de l'orbite terrestre (ou plan de l'écliptique) et le centre du repère est le Soleil. Voir le n° 155 des Cahiers Clairaut (automne 2016).

proportionnelle à la latitude et l'ordonnée à la longitude).

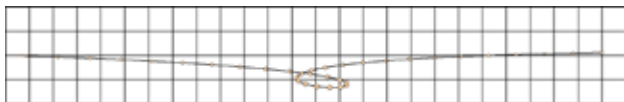


Fig.3. Position de Mars dans le ciel entre le 4 février 2018 (à droite) et le 10 janvier 2019 (à gauche). La rétrogradation y est bien visible. La planète est représentée tous les 10 jours, avec un rayon qui augmente avec son éclat.

Orbite d'une comète

Pour représenter l'orbite de Mars (figure 2), on avait supposé qu'elle était dans le plan de l'écliptique, ce qui est proche de la réalité. Ce n'est plus le cas pour une comète. Comment peut-on alors représenter sa trajectoire ? Il faut supposer qu'elle est contenue dans un plan passant par le Soleil, ce qui est très proche de la réalité, sauf si la comète passe à proximité d'une planète qui va modifier sa course.

Pour positionner la comète jour par jour, il faudrait connaître sa distance au Soleil et l'angle du rayon Soleil-comète avec une position origine (il s'agit de coordonnées polaires dans le plan de l'orbite).

Cela peut se calculer en utilisant les coordonnées cartésiennes (X, Y, Z) de la comète C dans un repère héliocentrique. Connaissant ces coordonnées, on peut :

- calculer la distance Soleil-comète ;
- déterminer la position C_0 de la comète au moment du périhélie (distance au Soleil minimale) ;
- calculer l'angle de SC avec SC_0 . Pour cela, on utilisera le produit scalaire des deux vecteurs.

Il ne reste plus qu'à placer la comète jour après jour avec ces coordonnées polaires.

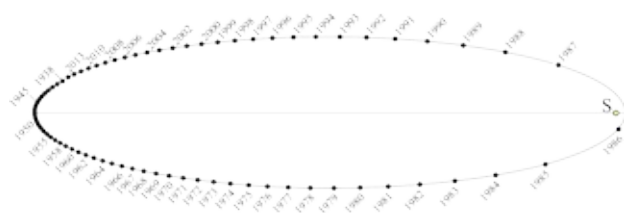


Fig.4. La comète de Halley de 1938 à 2013.

Étude d'une fonction

On peut imaginer diverses fonctions à étudier dans le cadre du programme de maths de lycée. La figure 5a montre la représentation de la distance Terre-Mars en fonction du temps, tracée à partir des éphémérides de l'IMCCE. Il est possible ensuite de comparer avec une modélisation simplifiée (5b).



Fig.5a. Évolution de la distance Terre - Mars de 2015 à 2040.



Fig.5b. Modèle simplifié utilisant des orbites circulaires parcourues à vitesse constante.

L'utilisation des éphémérides permet de nombreuses autres applications, vérification des lois de Kepler, travail sur les mouvements de la Lune, sur les éclipses...

Éphémérides

L'IMCCE (Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides) avait un site de calcul d'éphémérides très facile d'utilisation. Suite à un piratage, il est en reconstruction et doit être totalement opérationnel très prochainement. En attendant, voici quelques pistes pour obtenir des éphémérides

Coordonnées de planètes, comètes, astéroïdes...

- Observatoire virtuel de l'IMCCE. Formulaire Miriade pour les corps du Système solaire sur :

<http://vo.imcce.fr/webservices/miriade/?forms>.

On choisit le corps, la ou les dates, le centre du repère, coordonnées écliptiques ou équatoriales, sphériques ou rectangulaires... et l'on obtient les coordonnées demandées sous forme texte par exemple lisible par un tableur.

- Logiciel Stellarium. La dernière version permet d'obtenir des éphémérides de planète en coordonnées équatoriales ou horizontales.

Heures de lever et de coucher du Soleil

En attendant que le site de l'IMCCE mette un formulaire simple sur le sujet⁴, vous pouvez utiliser le site canadien <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/services/levers/avancees.html>, en français. On donne le nom d'une ville canadienne, d'un observatoire ou les coordonnées d'un lieu dans le monde, le fuseau et l'on obtient les heures de lever, coucher du Soleil ainsi que l'heure du midi pour chaque jour de l'année.

Éphémérides papier

On peut signaler les éphémérides astronomiques de la Société Astronomique de France ainsi que le guide du ciel de Guillaume Cannat.

⁴ Il est possible d'obtenir ces heures de lever et coucher en interrogeant le site de l'IMCCE mais attention la syntaxe ! Voici un exemple, à taper dans la barre d'adresse de votre navigateur (pour le décodage, voir le site de miriade) : vo.imcce.fr/webservices/miriade/rts_query.php?-body=11&-ep=2458120&-nbd=30&-long=-5.2&-lat=47.1&-tz=0&-mime=text&-extrap=1

AVEC NOS ÉLÈVES

IRiS, un télescope de 50 cm

Cyrille Baudouin, coordinateur des activités éducatives d'IRiS pour le Labex OCEVU
baudouin.cyr@gmail.com

Stéphane Basa, responsable scientifique d'IRiS, directeur de recherche CNRS
au Laboratoire d'Astrophysique de Marseille (LAM) stephane.basa@lam.fr

Le télescope IRIS situé à l'Observatoire de Haute Provence peut être piloté à distance. Les élèves demandeurs doivent construire un projet, argumenter leur demande de temps d'observation... Une plongée dans la vraie vie des chercheurs.

Dans la peau de l'astronome du XXI^e siècle

Réaliser une image couleur de bonne qualité d'une nébuleuse ou d'un amas, produire une classification de galaxies, effectuer une courbe de transit d'une exoplanète ou encore mesurer la période de luminosité d'une étoile variable... autant de sujets d'astronomie abordables aujourd'hui en-dehors des instituts de recherche avec des instruments « amateurs », et autant d'activités susceptibles d'exercer la curiosité des élèves dans un contexte scolaire ! Cependant, pour y parvenir, les obstacles sont multiples, en particulier pour les débutants : expérience de l'utilisateur, contraintes matérielles (précision du pointage, mise en station), météo défavorable... L'ambition du projet IRiS (Initiation à la Recherche en astronomie pour les Scolaires) est de permettre à tout enseignant de réaliser ce type de projet en classe avec leurs élèves, en mettant à leur disposition un télescope semi-professionnel pilotable à distance. L'objectif principal d'IRiS est donc d'offrir un outil performant aux enseignantes et aux enseignants pour qu'ils puissent se concentrer sur l'exploitation scientifique des observations. IRiS est ainsi né en 2013 de la volonté de plusieurs laboratoires français d'astrophysique¹, en collaboration avec le dispositif ministériel Sciences à l'école, de faire rentrer l'astrophysique contemporaine depuis les classes de collège jusqu'à l'université, et permettre aux utilisateurs de se mettre dans la peau de l'astronome du XXI^e siècle.

Un observatoire professionnel... à distance

IRiS est un observatoire complet localisé sur le site de l'Observatoire de Haute-Provence (04) à une

¹ Labex OCEVU (Origines, Constituants et Évolution de l'Univers) ; Laboratoire d'Astrophysique de Marseille (LAM), Labex FOCUS (Focal plane arrays for Universe sensing) ; Observatoire de Paris ; Institut Pythéas-Observatoire de Haute-Provence.

altitude de 650 m. Il est principalement dédié à des observations photométriques dans le domaine visible du spectre grâce à l'équipement suivant :

- un télescope muni d'un miroir primaire de 50 cm et offrant un champ angulaire de 24' (soit environ la taille angulaire de la pleine Lune) ;
- un détecteur CCD de 2 048 × 2 048 pixels offrant une efficacité quantique allant jusqu'à 90 % (FLI ProLine 4240) ;
- 8 filtres spectraux couvrant le spectre visible ;
- une station météorologique dédiée ainsi qu'un ensemble de caméras (Cloudcam et Allsky) permettant de surveiller l'évolution des paramètres environnementaux en temps réel.



L'observatoire est accessible depuis le site internet iris.lam.fr et pilotable via une interface de contrôle en ligne qui permet d'ouvrir la coupole, mettre la caméra à bonne température (refroidie à -25°C), lancer des acquisitions en choisissant la cible, le temps de pose ainsi que le filtre, et fermer la coupole à la fin des observations. En cas de mauvaises conditions météo, l'observatoire se met automatiquement en sécurité afin de préserver le matériel.

Tout est optimisé pour faciliter la vie de l'utilisateur : une option permet d'autocalibrer les images, ainsi chaque image est automatiquement corrigée de l'offset, du dark et du flat. L'utilisateur récupère ses données le lendemain de l'observation, depuis une

base de données sur laquelle sont stockées toutes les observations menées par IRiS. Cette base est libre d'accès à tous².

IRiS peut observer tous les objets du ciel dont les magnitudes apparentes sont comprises entre 4 et 19. Cela interdit formellement l'observation d'objets brillants tels que le Soleil, la Lune, les planètes jusqu'à Saturne ; en revanche, cela ouvre la possibilité à l'ensemble des objets du ciel profond (nébuleuses, amas, galaxies) ainsi que des mesures photométriques sur des objets variables et transitoires (exoplanètes, étoiles variables, astéroïdes, supernovae, etc.).

Mener un projet éducatif avec IRiS, tout le monde peut le faire !

Comme pour un observatoire professionnel, les utilisateurs doivent formuler une demande de temps justifiant l'utilisation d'IRiS pour bénéficier de l'accès au télescope. La construction d'un projet pédagogique et scientifique cohérent est donc indispensable mais à la portée de tout enseignant motivé.

La construction du projet

Un projet mené avec IRiS comporte 3 phases distinctes avec les élèves : la préparation de l'observation, l'observation en tant que telle, puis l'exploitation des données.

La construction du projet consiste à s'interroger sur les objectifs scientifiques et pédagogiques de l'utilisation d'IRiS : qu'est-ce que je veux observer ? Pourquoi ? Est-ce que c'est faisable avec IRiS ? Combien de temps d'observation ai-je besoin ? Pourquoi utiliser IRiS ? Que vont faire les élèves avant, pendant et après l'observation ? Comment allons-nous traiter les données ?

Pour accompagner les enseignants dans cette préparation, un réseau national d'enseignants «relais IRiS» est présent dans plusieurs académies, et des formations inscrites aux PAF de certaines académies sont organisées. Une formation en ligne centrée sur «les observations en astronomie» est actuellement en production en collaboration avec l'Observatoire de la Côte d'Azur et les académies d'Aix-Marseille, Nice et Montpellier sur la plateforme M@gistère. L'ouverture de ce MOOC à l'échelle nationale est programmée pour la rentrée 2018.

La demande de temps

L'appel à temps d'observation est ouvert chaque année au printemps (typiquement en avril-mai)³.

2 <http://iris.lam.fr/exploiter-ses-observations/base-de-donnees/>

3 L'appel à temps d'observation est visible sur <http://iris.lam.fr>

Les candidats doivent remplir un formulaire en ligne dans lequel ils doivent expliciter les objectifs scientifiques et pédagogiques de leur projet, ainsi que le nombre de nuits d'observation demandées. Ces demandes sont ensuite évaluées par un comité indépendant constitué de représentants des différents partenaires (scientifiques, enseignants, médiateurs). L'accent est mis sur la cohérence et la pertinence du projet. Un retour est fait aux demandeurs avant l'été et le planning pour l'année scolaire à venir est publié en septembre.

En 2017-2018, 50 projets ont été déposés et 40 ont obtenu des nuits d'observation (20 collèges et 20 lycées).

L'observation

Les codes d'accès au contrôle du télescope sont transmis la semaine précédant la soirée d'observation. L'observation avec IRiS constitue le point d'orgue du projet mais ne doit pas être vue comme une fin en soi. Ce serait plutôt «la cerise sur le gâteau». L'ensemble du travail mené en amont, puis l'exploitation des données sont tout aussi importants. Ainsi, en cas de météo défavorable, la base de données peut permettre de poursuivre le travail sans remettre en cause le projet.

D'un point de vue logistique et pratique, la préparation puis l'exploitation des données peuvent se dérouler en classe entière mais la session d'observation se déroule généralement avec un groupe restreint de 5 à 15 élèves en première partie de soirée.

Le traitement des données

Les images obtenues avec IRiS possèdent le format .fits, standard en astronomie.

La phase de traitement constitue souvent un frein pour les personnes non expertes en astronomie. De nombreux outils existent pour exploiter les données d'astronomie et chacun est libre d'utiliser son préféré. Pour aider les utilisateurs, des tutoriels s'appuyant sur l'utilisation du logiciel AstroImageJ (libre, gratuit et polyvalent) pour réaliser des images couleurs (trichromie) et des courbes de lumière (photométrie), sont mis à leur disposition en ligne.

Des galaxies à la détection d'exoplanètes, des projets diversifiés

Depuis 2014-2015, les porteurs de projets IRiS exploitent l'instrument dans des cadres très variés

et est diffusé par les relais IRiS, les rectorats ainsi que Sciences à l'école.

(classes entières, ateliers d'astronomie ou de culture scientifique, TPE, EPI...) et selon deux modes, imagerie ou photométrie.

Imagerie

L'objectif est ici d'utiliser la capacité d'IRiS à réaliser des belles images couleur d'objets variés du ciel profond, avec des exploitations diverses et variées : découverte du ciel (catalogue d'objets) ; mise en évidence de processus physiques grâce à l'utilisation d'un filtre adapté (émissions de gaz dans des nébuleuses ou dans des galaxies) ; classification d'objets (galaxies, différentes étapes de la vie des étoiles).



Nébuleuse de l'Aigle (M16) obtenue par des élèves du club d'astronomie du collège Hubert Fillay (41) sous la conduite de Joël Petit.

Photométrie : courbes de lumière

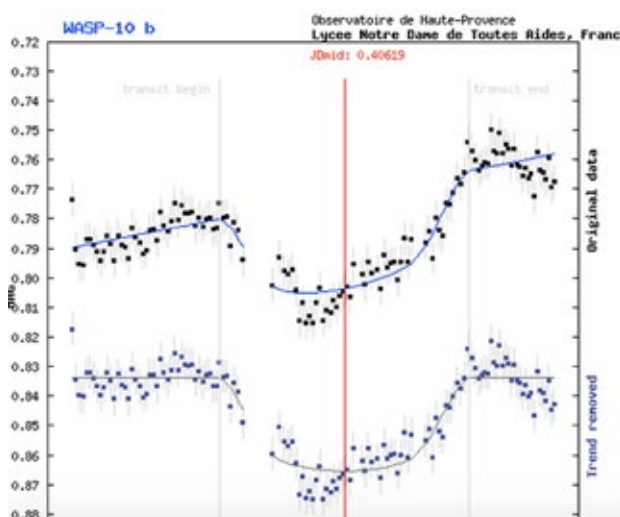
Les projets de ce type s'appuient sur les performances photométriques d'IRiS (qualité du pointage, sensibilité du détecteur) pour réaliser des courbes de luminosité d'objets variables ou transitoires : détection de transit d'exoplanète devant son étoile⁴ (sélection d'une cible déjà répertoriée sur la base ETD⁵) ; courbes de lumière d'astéroïdes pour en inférer la forme de l'objet (accompagnement par un astrophysicien partenaire).

La place prise par IRiS dans ces projets est variable. Pour certains, l'utilisation du télescope constitue le cœur du projet. Pour d'autres, IRiS s'inscrit dans un projet plus global mêlant formulation d'hypothèses sur une problématique, réalisation de maquettes pour tester l'idée, observations avec d'autres instruments,

⁴ Un projet de ce type mené par le collège Courrières de Cuxac-Cabardès (11) et Sylvain Bonnafous a remporté le 1er prix « Faites de la science » 2017 sur cette thématique (iris.lam.fr/les-projets-iris/valorisation-resultats/)

⁵ <http://var2.astro.cz/ETD/index.php>

et acquisition de données avec IRiS pour comparer ou apporter des éléments de réponse.



Courbe de transit de WASP-10b obtenue avec IRiS par des élèves du Lycée Notre Dame de Toutes Aides à Nantes sous la conduite de Stéphane Le Gars, et enregistrée dans la base ETD.

Renforcer le lien entre éducation et recherche

Un des axes d'amélioration sur lequel un effort particulier est fourni actuellement est de renforcer le lien entre éducation et recherche à travers deux actions :

- production de ressources pédagogiques sur la mise en évidence des processus physiques observés avec IRiS en fonction des filtres utilisés ;
- mise en place de protocoles de sciences participatives pour exploiter scientifiquement les données acquises lors d'observations en classe (exoplanètes, astéroïdes, supernovae).

Comment observer le ciel

- De nombreuses associations d'astronomes amateurs proposent des observations publiques ou pour des groupes scolaires.

Liste des associations sur le site de l'AFa (Association Française d'Astronomie) <http://www.afastronomie.fr>.

- Astro à l'école propose des prêts d'instruments sur dossier (<http://sciencesalecole.org/astro-a-lecole>)

- Il existe des télescopes utilisables à distance comme IriS (<http://iris.lam.fr>) ou les télescopes Faulkes (<http://www.faulkes-telescope.com>).

AVEC NOS ÉLÈVES

Voyage dans les étoiles

Mme Laborde, Mme Lafrance, M. Pélissier et leurs élèves, collège Jacques Prévert de Saint-Orens de Gameville

Dans le cadre de l'Enseignement Pratique Interdisciplinaire regroupant Arts Plastiques, Mathématiques et Physique-Chimie, deux classes de quatrième s'intéressent, l'une au concept de durée « autour du milliard d'années », l'autre à celui de longueur « autour du femtomètre ». La présentation finale de chaque groupe apparaît sur un châssis de taille définie.

Dans le cadre de l'Enseignement Pratique Interdisciplinaire (EPI), trois disciplines ont été regroupées : les arts plastiques, les mathématiques et la physique-chimie. Le projet « Infiniment petit, infiniment grand » avait été proposé par l'Institut de Recherche pour l'Enseignement des Sciences (IRES) de Toulouse. Les élèves devaient monter un dossier autour d'une grandeur et l'illustrer sur un châssis de taille imposée. Les thèmes choisis furent la durée « autour du milliard d'années » pour les 4^e 7 et la longueur « autour du femtomètre » pour les 4^e 4. Il était alors logique d'observer ces objets célestes lointains de plusieurs milliards d'années-lumière et au cœur desquels la lumière est générée par des particules aussi petites que les noyaux d'atome, de l'ordre du milliardième de milliardième de mètre, soit de l'ordre du femtomètre.

Voici les principales étapes de cet EPI.

Rencontres avec des intervenants extérieurs

Jean-Noël Sarraïl, formateur en astronomie, a présenté un exposé sur l'infiniment grand *Des papillons aux galaxies* pour donner une idée des ordres de grandeurs des distances. Frédéric Pailler, ingénieur au CNES, est venu présenter le projet Gaïa (cartographie en 3D d'un milliard d'étoiles de notre galaxie). Les élèves ont participé à la projection du film *Les figures de l'ombre*, en présence de Claudie Haigneré et de deux thésardes pour promouvoir les sciences auprès des jeunes femmes.

Soirées d'observation

La première soirée fut animée par deux collaborateurs de l'association Planète Sciences : construction de carte du ciel (trouver le nord et l'étoile polaire), présentation du logiciel Stellarium puis mise en place des deux télescopes de type Newton 200/1200 sur monture Dobson et distribution de jumelles, observation de deux planètes (Vénus en croissant et

Mars), la nébuleuse d'Orion, la galaxie d'Andromède ou encore l'étoile Sirius.

Les autres soirées furent animées avec le club d'astronomie de Quint-Fonsegrives. Nous avons pu observer la Lune, les planètes Mars et Jupiter avec ses 4 satellites et différentes galaxies.



Fig.1. La Lune photographiée avec un smartphone.

Observation de l'infiniment petit

À l'aide d'un binoculaire ou d'un microscope, les élèves ont observé différents cristaux et les ont photographiés avec leur smartphone (figure 2) : les deux faces du papier d'aluminium, des plaques métalliques, de la poudre de fer, différents cristaux (givre, sel, sucre, farine, sulfate de cuivre), la cristallisation rapide et lente de la vanilline.



Fig.2. Cristaux de poudre de fer, de sulfate de cuivre et de vanilline photographiés au smartphone.

Utilisation d'IRiS

Le projet d'Initiation à la Recherche en astronomie pour les Scolaires (IRiS) a permis aux élèves de piloter à distance le télescope de l'observatoire de Haute-Provence afin d'obtenir des images d'objets célestes : galaxie du Tourbillon, de l'Aiguille, de la Baleine ou encore la nébuleuse de la Lyre (figure 3).

Les élèves ont aussi écrit quelques articles mis directement sur le site du collège.



Fig.3. Les galaxies M51, M99, NGC4565 et 4631 ainsi que la nébuleuse M57 photographiées avec IriS.

Fabrication des châssis

(réalisés pendant les soirées d'observation, les cours de mathématiques et de physique-chimie). Les élèves ont produit les châssis correspondant à leur

grandeur en les commentant, préparé un dossier et un diaporama présentant toutes les étapes du projet. Ils décrivent leur travail dans les deux encadrés qui suivent.

Présentation du projet

Un groupe d'élèves, accompagné de leurs professeurs de mathématiques et de sciences physiques, ont participé au colloque «Infiniment Petit / Infiniment Grand» organisé à l'université Paul Sabatier. Les élèves de différents établissements ont présenté leurs projets allant de l'école primaire jusqu'au lycée : ces projets reproduisaient de manière artistique différents domaines allant de la masse aux distances, en passant par différentes durées.

Quelques élèves sont aussi venus présenter le projet à l'exposcience.

Tout au long du projet, les parents furent très enthousiastes. Nous leur avons proposé de venir découvrir le travail de leurs enfants en fin d'année.

Le femtomètre



Au cœur de Sirius

Le femtomètre (abréviation fm) est une unité de mesure de longueur. Il est égal à 10^{-15} mètres soit un milliardième de milliardième de mètre.

Il est fréquemment utilisé pour mesurer le diamètre d'un noyau atomique. Dans les noyaux d'atomes, il y a des protons et des neutrons, particules de la taille du femtomètre, invisibles. Le femtomètre est un milliard de fois plus petit qu'un microbe.

Analyse scientifique et technologique

Pour illustrer le femtomètre, nous avons choisi de représenter l'étoile Sirius que nous avons observé en soirée astronomie au collège. À l'intérieur de l'étoile, se trouvent des noyaux d'atomes constitués de neutrons et de protons. La synthèse des atomes d'hélium se fait au cœur de l'étoile par fusion nucléaire à partir de protons. Par fusions successives, l'étoile produira du carbone (C), de l'azote (N), de l'oxygène (O)...

Choix artistiques

Sur la toile, nous avons fait un fond noir étoilé pour représenter l'espace avec de la gouache et des paillettes. Puis après plusieurs minutes de débat nous avons opté pour une demi-sphère transparente qui illustre l'étoile Sirius. Nous avons représenté les noyaux d'atomes (protons et neutrons) car ils sont de la dimension du femtomètre et nous les trouvons dans toutes les étoiles. Nous avons acheté des boules de polystyrène pour modéliser les particules. Nous avons peint les protons en rouge et les neutrons en bleu comme on le voit sur beaucoup d'images d'atomes. Nous avons représenté un noyau d'hélium au centre avec des boules plus grandes que pour les particules avant la fusion.

Nous avons aussi fait un tag « fm » (femtomètre) pour apporter un contraste à la toile et lui mettre un titre. Les traits blancs pailletés de bleu représentent la lumière de l'étoile Sirius.

Le milliard d'années



Du Big Bang à la destruction de la Terre

Le milliard d'années ou giga-année (symbole Ga) est une unité de mesure du temps qui représente 10^9 années. Le milliard d'années est utilisé dans différentes disciplines comme les sciences de la Terre et de l'Univers ainsi qu'en cosmologie. On l'utilise aussi en planétologie pour mesurer des durées géologiques ou astronomiques ; par exemple, l'âge de la planète Terre est de 4,5 milliards d'années et celui du Soleil environ 4,57 milliards d'années.

L'unité Ga permet de réaliser un découpage satisfaisant des grandes périodes de l'histoire de la Terre, du Système solaire et de l'Univers. L'âge de l'Univers est estimé à 13,7 Ga.

« En regardant loin, on regarde tôt » Hubert Reeves.

Analyse scientifique et technologique

Nous avons décidé de représenter notre travail à travers la création et l'évolution de l'Univers. Le modèle qui décrit l'évolution de l'Univers s'appelle le Big Bang. Notre production représente l'évolution de notre planète, de sa création jusqu'à sa destruction. Nous avons aussi dessiné certaines galaxies ainsi que des nuages d'astéroïdes afin de visualiser la constitution de l'Univers.

Choix artistiques

Le fond de la toile représente l'Univers, nous l'avons créé avec de la gouache et des paillettes. Nous avons illustré des corps célestes lointains (galaxies, amas...). Après avoir réfléchi tous ensemble, nous avons dessiné un sablier pour montrer le milliard d'années qui est une durée. Nous avons représenté les plaques tectoniques pour l'évolution de la Terre sur des boules de polystyrène peintes. Nous avons fait ressortir la Terre et le Big Bang car ce sont les sujets principaux.

Nos enseignants nous avaient posé une question à laquelle nous devons répondre à la fin de notre projet : « y a-t-il plus de grains de sable sur Terre que d'étoiles dans l'Univers ? ». Nous avons mis du sable pour rappeler cette question. Nous avons écrit notre unité le « Ga » sous forme calligraphique. Autour du logo, nous avons dessiné les branches d'une galaxie. Sur des étiquettes argentées, nous avons indiqué des dates relatives au milliard d'années sur l'évolution de la Terre. Le bleu sur les coins inférieurs représente de l'hydrogène très chaud et des particules, état de l'Univers au début de son expansion.

Et encore quelques ressources

Sites Internet et ressources astronomiques

- Lunap propose notions de base, approfondissement et activités sur de très nombreux thèmes d'astronomie (clea-astro.eu/lunap).
- EU-HOU propose des exercices sur l'astronomie à différents niveaux (<http://www.fr.euhou.net>)
- Le site planet-terre.ens-lyon.fr est très riche en dossiers sur différents sujets scientifiques..
- Le site collaboratif «Météo Climat tremplin pour l'enseignement des sciences» propose des livres numériques dont plusieurs sur l'astronomie : saisons, Ératosthène, comètes, volvelles, latitude... (tremplin.climatetmeteo.fr/libTremplin)
- La plupart des observatoires proposent des dossiers et des activités sur l'astronomie : Paris-Meudon (obsmpm.fr), Lyon (observatoire.univ-lyon1.fr)...
- Les sites des grands musées scientifiques possèdent aussi des ressources intéressantes : universciences (universcience.fr) regroupant la Villette et le Palais de la Découverte, la cité de l'espace (cite-espace.com)...
- N'hésitez pas non plus à fouiller les sites des grandes structures comme le CNES, le CEA, l'ESA, l'ESO ou la NASA.

AVEC NOS ÉLÈVES

Utilisation du logiciel Stellarium

Véronique Hauguel

Le logiciel Stellarium (gratuit) est un outil remarquable pour venir en appui d'un grand nombre d'activités liées à l'astronomie. Il peut être utilisé par l'enseignant pour enrichir une activité autour de maquettes ou dans une salle informatique avec les élèves. L'article donne toute une série d'idées, principalement autour des planètes et de l'histoire de leur découverte.

Il est toujours intéressant de lier plusieurs supports pour expliquer ou illustrer les phénomènes célestes.

En plus du logiciel Stellarium, qui projette le ciel sur l'écran en 2D¹, il est souhaitable d'avoir un globe terrestre, un parapluie avec le dessin des constellations, des boules en polystyrène de divers diamètres, des maquettes du CLEA... pour compléter les démonstrations.

Le logiciel Stellarium est aussi un excellent support si on souhaite travailler sur des textes et dessins anciens liés à l'astronomie, comme nous allons le voir avec Galilée. C'est un simulateur de phénomènes célestes passés et à venir, comme par exemple, un passage de Vénus devant le Soleil ou une éclipse totale de Soleil en un lieu et à une date donnée.

La liste des activités sur Stellarium est longue² et toujours à actualiser.

Voici tout d'abord diverses activités possibles autour des planètes. Puis des idées sur d'autres activités seront listées.

Activités autour de planètes

Généralités

En se plaçant dans un repère local

- Pour familiariser les élèves avec le sujet, le repérage des planètes dans le ciel de la nuit à la date de l'activité s'impose. On observe aussi leur heure de lever et de coucher ainsi que leur orientation à ces moments-là.
- Avec cette configuration, on peut observer le mouvement d'une planète donnée en faisant se dérouler les heures³, les jours (solaires ou sidéraux), les semaines ou les années sidérales.

On peut :

- rechercher les dates de rétrogradation d'une planète et étudier son mouvement parmi les constellations du zodiaque ;

1 Sauf si on a un planétarium à sa disposition.

2 Certaines sont consultables sur le site du CLEA.

3 En continu si on appuie sur les touches Alt =.

- étudier le passage de planètes devant le Soleil ;
- s'intéresser aux phases de certaines planètes.

Pour ces trois derniers points, on peut se demander pour quelles planètes c'est possible et pourquoi.

Vue du Soleil⁴

On se place sur le Soleil (à 90° N pour être sur l'axe perpendiculaire à l'écliptique). On désactive le sol (touche G). On sélectionne l'horizon (touche H), confondu ici avec l'écliptique, que l'on dessine en cercle à l'aide de la flèche bas après avoir dézoomé puis on trace la grille de coordonnées (E), qui est ici la grille de coordonnées écliptiques. Après ces manipulations, on voit que les planètes sont proches de l'écliptique.



L'écliptique et les planètes vus depuis le Soleil

Si on avance d'une période de rotation du Soleil soit 27,3 jours pour Stellarium (Alt =), on voit leur déplacement sur la voûte céleste. On peut aussi évaluer pour chacune la période sidérale.

Maquette utile : les planètes dans le zodiaque.

Zoom sur une planète

On revient sur Terre, on se place en monture équatoriale⁵, on désactive le sol, l'atmosphère et la

4 Dans situation (F6) / Planète, l'option « Observateur du Système solaire » permet d'observer le mouvement des planètes telluriques.

5 L'intérêt de se mettre en monture équatoriale, c'est de pouvoir faire évoluer le temps sans que la planète se balance à cause de la rotation de la Terre.

brume puis on zoome sur la planète sélectionnée. On obtient la planète telle qu'on peut la voir dans un télescope.

On peut observer chacune des planètes et étudier :

- l'évolution de son diamètre apparent vue de la Terre ;
- ses phases, quand elles existent, vues de la Terre ;

Si on s'intéresse à ses mouvements, on peut :

- en accélérant le temps, observer la planète tourner sur elle-même et évaluer la durée du jour, en jour terrestre ;
- en utilisant les touches année solaire, semaine, heure et minute solaire⁶, évaluer la période synodique de la planète choisie.

Sur le mouvement des satellites de la planète, s'ils existent, on peut :

- en accélérant le temps, observer le mouvement de chacun d'entre eux vu de la Terre ou vu du Soleil et en estimer la période synodique et la période sidérale de révolution en jour ou en semaine ;
- observer les occultations, les éclipses, les passages de satellites devant leur planète.

Histoire des planètes et Stellarium

Les textes et dessins de Galilée⁷ donnent de très nombreux thèmes à découvrir avec le logiciel Stellarium. Voici quelques pistes qui concernent les planètes :

- la découverte la plus remarquable est celle des quatre satellites galiléens de Jupiter avec des dessins multiples sur la configuration de ces satellites et l'obtention de tables pour trouver la période de chacun d'eux⁸ ;
- d'après ses dessins, Galilée aurait vu Neptune en observant Jupiter le 28 décembre 1612 et le 27 janvier 1613. Comble de malchance, fin décembre, Neptune était dans une phase stationnaire de rétrogradation⁹ ! (à simuler sur Stellarium) ;
- Galilée a étudié aussi les phases de Vénus qui prouvent que cette planète tourne autour du Soleil. On peut comparer ses dessins avec la simulation sur l'ordinateur ;

⁶ Il faut avoir un ordre d'idée du résultat pour savoir s'il faut commencer en année ou en semaine.

⁷ Galilée 1609-2009, observations astronomiques avec les textes originaux du Sidereus nuncius, Alain Brémont.

⁸ Voir les articles sur Galilée et le Jovilabe (Cahiers Clairaut nos 125 et 155).

⁹ On peut simuler avec Stellarium la rétrogradation de Jupiter à la même période.



Neptune et Jupiter le 1er janvier 1613 (image Stellarium).

- il a observé Saturne mais n'a pas compris que la planète avait des anneaux. Il est intéressant avec Stellarium de rechercher à cette époque quand la Terre était proche du plan des anneaux.



Saturne le 1er août 1612. La Terre est dans le plan des anneaux, ceux-ci sont quasiment invisibles.

Galilée a aussi découvert avec sa lunette en 1609 le relief de la Lune et a illustré ses propos de dessins que l'on peut comparer avec le logiciel AVL configuré aux bonnes dates¹⁰.

Autres activités

Voici en vrac de nombreuses autres activités possibles avec Stellarium. Ces activités pourront être complétées par des observations et par l'utilisation de maquettes.

Les lignes astronomiques¹¹

L'horizon, l'équateur céleste, l'écliptique, le méridien local, les points cardinaux...

Coordonnées et mesures d'angles

Grille des coordonnées horizontales ou des coordonnées équatoriales.

Sur un jour, de 0 heure à 24 heures

Succession des jours et des nuits, le nord céleste, les crépuscules, l'heure solaire...

Le Soleil et les saisons

Déplacement du Soleil sur l'écliptique dans les constellations du zodiaque, sa trajectoire journalière par rapport à l'équateur.

¹⁰ Le logiciel AVL (Atlas virtuel de la Lune) est un logiciel gratuit, outil remarquable sur le relief de la totalité de notre satellite, sur la cartographie, les noms, sur son observation et ses phases.

¹¹ Voir dans Affichage (F4)/Repères, la liste des lignes ou points astronomiques.

Le calendrier

Le calendrier des signes du zodiaque, le calendrier lunaire, le calendrier solaire et son évolution au cours des siècles.

Heure solaire, heure légale, équation du temps

Heure solaire, équation du temps, longitude et ajustement en heure selon le pays, courbe en 8.

La Lune

Déplacements de la Lune, élongation, âge et phase, éclipses solaires et lunaires.

Pour observer et repérer

Le logiciel est aussi un soutien efficace à une animation autour d'instruments d'observations (jumelles, lunettes et télescopes) : mode nocturne, vue oculaire, champ de vision...

Les constellations

Constellations circumpolaires, repérages des constellations du début de nuit en fonction des saisons, les treize constellations du zodiaque...

Nébuleuses, amas d'étoiles et galaxies

Catalogues des objets du ciel profond (Affichage / DSO).

Voyage dans le système solaire

Dans Situation/Planètes, l'observateur peut aller sur un autre objet céleste (planète, planète naine, satellite, astéroïde, comète) ou sur le Soleil. Il peut observer la Terre (observateur terrestre) et le Système solaire (observateur du Système solaire).

Projections

La projection utilisée par défaut est la projection stéréographique. D'autres projections sont possibles et listées dans Affichage (F4/Repères).

Cet article ne prétend pas être exhaustif et, au gré des manipulations et de l'évolution du logiciel, de nouvelles possibilités viendront enrichir ses utilisations multiples. ■

Les logiciels d'astronomie

Ils sont nombreux et n'est pas possible de tous les citer. En voici quelques-uns parmi les gratuits.

- Stellarium fait partie des plus utilisés. Facile d'utilisation, les élèves le prennent rapidement en mains.
- Carte du ciel est aussi apprécié par les astronomes amateurs.
- Atlas virtuel de la Lune pour reconnaître les formations lunaires observées un jour donné.
- Le logiciel Solarium permet de tracer des cadrans solaires ou des cartes du ciel mais aussi d'obtenir des coordonnées de planètes...
- Pour les cadrans solaires, Shadows est un des plus connus (version limitée gratuite).

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

Horizontalement

1. Le CLEA en est une.
2. Pour voir les étoiles quand le ciel est couvert.
3. Doublé pour une réponse rapide. Adressez-vous à elle pour trouver un planétarium. Abréviation d'une célèbre revue.
4. Assemblé. Pour observer le ciel austral.
5. Il se trouve à Lyon. Ils peuvent aussi permettre de faire de l'astronomie avec des élèves. Grand vulgarisateur mais avec un hic.

6. Barre de fermeture. Titre de bien des associations d'astronomie.
7. On y a découvert des exoplanètes. Maison où l'on passe.
8. Comme une sonde spatiale sans antenne. Le CLEA y abrite son site.
9. Il vient de Vénus. Le CLEA en organise.

Verticalement

1. On en trouve plus d'un(e) au CLEA.
2. Il a aussi peint des footballeurs. Il venait de l'est.
3. Elle est née en 1945 et on lui souhaite longue vie. Celle d'Orion contient M42.
4. En plein soleil. Des activités où l'on peut faire de l'astronomie. Pour faire du droit.
5. Astronome qui a inspiré le CLEA.
6. Il héberge le secrétariat de l'Union Astronomique Internationale. Petit tour. Il n'y a plus guère que les docteurs qui l'utilisent.
7. Elle abrite de célèbres rencontres photographiques.
8. Affaires de merlan. Célèbre association de diffusion de l'astronomie en milieu scolaire.
9. Dans Ophiucus. Allongé.
10. Elle gère la mondialisation. Comme un vaisseau qui transporte les astronautes de l'ISS.
11. M1.

Solution p. 42

AVEC NOS ÉLÈVES

La séance de planétarium à l'école

Pierre Valat, président du GAP47, animateur de planétarium LSS

Le planétarium est un outil de choix pour faire de l'astronomie. Pierre Valat nous présente ici quelques utilisations possibles d'un petit planétarium numérique.

Combien d'astronomes amateurs ont-ils fait leur première rencontre avec l'Univers dans un planétarium ? Aujourd'hui, avec une population de plus en plus regroupée dans des villes ou soumise aux ravages de la pollution lumineuse jusque dans les campagnes, l'accès au ciel nocturne est de plus en plus problématique. Cette seule constatation pourrait expliquer l'intérêt porté à ce spectaculaire instrument de vulgarisation qu'est le planétarium. De fait, nombre de grandes villes se sont récemment dotées de grands planétariums, mais il existe un nombre non négligeable de petites structures, mobiles ou non¹, qui complètent utilement le réseau dans l'ensemble du pays, mettant à la portée des enseignants un accès facilité à cet instrument, à la fois spectacle et outil pédagogique exceptionnel.

Dans le monde des petits planétariums, l'arrivée des dispositifs numériques a multiplié les possibilités qu'ils offrent, mettant grands planétariums professionnels et petites structures sur un pied de quasi-égalité.

Intérêt des programmes offerts, qualité des images, facilité d'accès, l'idée d'une intégration de la séance de planétarium aux programmes scolaires s'impose naturellement. Considérant la multiplicité des offres d'accès, c'est plus particulièrement aux possibilités des petits planétariums (entre 15 et 30 places) que nous souhaitons nous intéresser ici.

Le planétarium numérique

L'ancien planétarium optique permettait une sommaire découverte du ciel et la démonstration des principes de base de la mécanique céleste. Le modèle numérique multiplie ces possibilités et ouvre en même temps le domaine du spectacle de l'espace.

Que le moteur numérique soit un logiciel spécifique au constructeur du projecteur ou qu'il soit une

¹ Ces structures peuvent recevoir entre 15 et 30 personnes, sous un dôme gonflable lorsqu'elles sont itinérantes. Ces dômes peuvent être installés dans les établissements scolaires. On peut en trouver dans toutes les régions.

adaptation du logiciel libre Stellarium, sous sa version améliorée Stellarium360, intégrée au système LSS², les possibilités pédagogiques sont comparables. Nous n'entrerons donc pas dans les détails.

Trois types de fonctionnement complémentaires sont accessibles, qui autorisent une personnalisation des séances, en fonction des projets pédagogiques. L'animateur du planétarium sera en mesure de répondre à une multiplicité de demandes.

- utilisation de « scripts » préexistants, adaptables en fonction de la séance programmée. Il est même possible de les construire « sur mesure » ;
- gestion de la séance « en direct », l'animateur utilisant le clavier d'ordinateur pour improviser son scénario, voire engager un dialogue avec les spectateurs ;
- projection de fichiers vidéo (documents, animations en 3D, films narratifs).

Un planétarium pour tous les niveaux scolaires

Pour avoir, dans le planétarium de notre club³, reçu des classes de tous les niveaux, de la maternelle à la terminale, nous avons la conviction que c'est un outil qu'il est possible d'adapter à tous les âges et à toutes les approches.

- Pour les enfants les plus jeunes, une séance débutera par le spectacle du ciel du jour, avec le coucher du Soleil et l'apparition des étoiles, l'identification de quelques luminaires remarquables. On passera ensuite au repérage des constellations (ou de certaines en fonction de l'âge) puis au spectacle toujours très apprécié de leur dessin sur la voûte. La légende d'Andromède sera une façon de leur

² LSS : Lhoumeau Sky System, système de projection en voûte utilisant le logiciel libre Stellarium dans une version adaptée, en constante évolution, et un vidéoprojecteur avec objectif fisheye.

³ GAP47 (Groupe d'Astronomie Populaire) à Montayral, en Lot-et-Garonne. Planétarium en dur, de 15 places, avec projecteur LSS de fabrication maison.

donner vie. On abordera le mouvement des étoiles (une petite animation de type dessin animé permet de poser la question de « qui bouge ? », les maisons de la place ou le manège). Selon le projet, il est possible de parler des constellations provenant d'autres cultures et de les faire apparaître.

Pour terminer une petite vidéo viendra compléter le programme : telle mission spatiale (Curiosity ou Rosetta) ou une légende mise en images de synthèse, racontant l'origine des étoiles selon les Indiens nord-américains, par exemple.

- Entre 8 et 12 ans, il sera possible d'aborder la question de la pollution lumineuse et des conditions indispensables pour une bonne observation du ciel, le réglage des magnitudes observables permettant de simuler un ciel urbain, de campagne ou de montagne. Autre application des effets de l'atmosphère : on déclenchera des passages d'étoiles filantes. Ensuite, en utilisant les possibilités de zoom sur des objets du ciel profond, on passera en revue les différents stades de la vie d'une étoile, de sa naissance à son agonie (nébuleuse d'Orion, Pléiades, nébuleuse annulaire de la Lyre, nébuleuse du Crabe...). Et toujours une animation vidéo pour conclure la séance : un documentaire sur l'ISS ou une plongée dans les profondeurs de l'Univers.

- Pour les plus âgés, le planétarium permettra de visualiser les notions les plus avancées de la mécanique céleste : l'effet de la latitude sur le ciel observable (on peut demander à se déplacer à la surface du globe) ; l'utilisation des grilles équatoriales ou azimutales ; l'effet de l'écoulement du temps, positif ou négatif, sur la position des astres avec le mouvement rapide des planètes, une variation plus lente de l'emplacement du pôle et le déplacement des étoiles au fil des millénaires.

Bien entendu ces « menus » seront à adapter, en particulier en fonction du projet pédagogique du moment. Nous fonctionnons habituellement avec des séances d'une vingtaine de minutes mais les fréquentes protestations montrent que la soif de découvrir le ciel via ce médium est loin d'être alors épuisée.

Ajoutons à toutes ces démonstrations mises en œuvre d'un point de vue géocentrique la possibilité offerte de déplacer le spectateur en des lieux inattendus. Voir la Terre depuis la Lune devient tout à coup possible, tout comme voir Saturne depuis un de ses satellites... Du coup, de nouveaux questionnements se font jour, la notion de satellite synchrone, par exemple.



Pour conclure

À notre observatoire associatif, le planétarium remporte autant de succès que les observations aux instruments (dont pourtant un télescope de 500 mm), tant auprès des plus jeunes que des plus âgés. Et le nombre des « merci » ou les applaudissements finaux expriment bien la fascination qu'il suscite, comme la satisfaction d'avoir appris et compris des choses fondamentales. ■

Ressources planétariums

Avec des élèves, on peut assister à une séance de planétarium déjà prête mais aussi définir son contenu avec un animateur ou encore, dans certaines régions, emprunter soi-même un planétarium après une formation.

Quelques sites

- <http://www.aplf-planetariums.info>, le site de l'Association des Planétariums de Langue Française. Vous y trouverez la liste des planétariums, petits et grands, existants en France, mais aussi la liste des fabricants de planétariums, petits ou grands.
- <http://lss-planetariums.info>, pour tout savoir sur les planétariums LSS (en anglais ou en français).

AVEC NOS ÉLÈVES

Réalisation de maquettes du Système solaire aux échelles de distance et de taille en CM1

Jean-Louis Coustillet, Ballainvilliers

Deux classes de CM1 sont concernées, l'une va s'intéresser à la distance des planètes par rapport au Soleil, l'autre à la taille des planètes par rapport à celle du Soleil. Dans les deux il faudra définir une échelle. Dans le premier cas l'échelle dépendra des dimensions de la cour, dans le second de celle du Soleil.

Notre objectif était de réaliser une maquette du Système solaire à l'échelle des distances et une autre à l'échelle des tailles des planètes.

Dans notre école de 12 classes, la répartition des contenus des programmes implique que l'étude de l'astronomie se fasse au CM1. Dans le cadre de notre projet d'école, il a été proposé une journée des sciences en fin d'année au cours de laquelle chaque classe présenterait une expérience, un projet, une maquette réalisés durant l'année.

Les 2 classes de CM1 ont souhaité travailler sur le Système solaire et ont décidé d'en construire chacune une maquette.

Maquette à l'échelle des distances

Pour pouvoir réaliser cette maquette, il a fallu dans un premier temps mesurer l'espace intérieur de la cour afin de pouvoir choisir l'échelle appropriée.

La cour faisait une cinquantaine de mètres de longueur, Neptune (la planète la plus éloignée du Soleil) étant à environ 4 500 millions de km, il a été choisi comme échelle : 1 cm pour 1 million de km donc Neptune à 45 mètres du Soleil.

Les élèves ont ensuite réalisé le tableau ci-dessous (avec de l'aide et en fin d'année au moment de voir les grands nombres).

Nom	Mercure	Vénus	Terre	Mars
Distance au Soleil en cm	0,6	1,1	1,5	2,2

Nom	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune
Distance au Soleil en cm	7,8	14,3	28,7	45

Tab.1. Distance des planètes au Soleil.

Les élèves se sont mis ensuite par 4 et chaque groupe a travaillé sur une planète ou sur le Soleil (neuf astres). Ils ont réalisé des affiches avec les caractéristiques de

leur astre (distance au Soleil, taille, satellites...). Pour cela, ils se sont aidés de différents outils matériels (bibliothèque de l'école, documents pédagogiques de la classe) et numériques (Internet, Vikidia...). Cette recherche a permis de discuter de la disparition de Pluton dans la nomenclature des planètes car certains ouvrages de l'école la citaient encore dans notre Système solaire.

Puis, afin de travailler sur la pertinence des outils numériques, les groupes se sont confrontés à la deuxième classe de CM1 afin de se mettre d'accord sur une affiche avec des caractéristiques communes.



Fig.1. Mise en place.

Chaque groupe a alors peint une boule de polystyrène de taille différente (mais non à l'échelle) qui devait ressembler au mieux à leur planète.

Pour le Soleil, les élèves ont choisi de le peindre sur



Fig.2. Choix d'un « Soleil » à deux dimensions.

une grande feuille de papier, en 2 dimensions donc (figure 2).

Pour l'exposition, il fallait que le système soit suffisamment stable pour que l'ensemble de l'école puisse voir la maquette. Les boules ont donc été mises sur un pic en bois lui-même coulé dans du plâtre afin de le stabiliser. Pour représenter les distances au sol, l'enseignant a utilisé une ficelle qu'il a laissée sur le sol avec des marques à chaque planète.

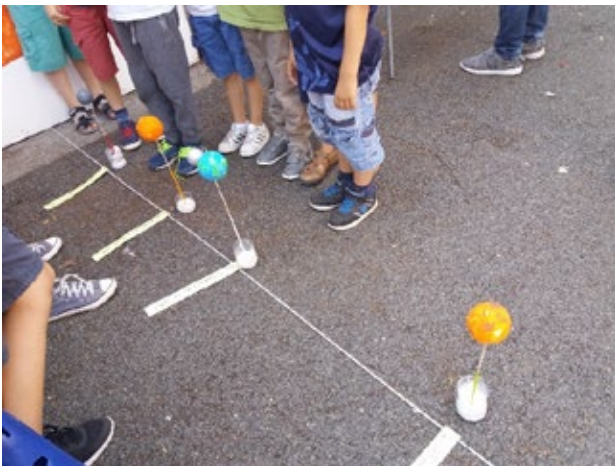


Fig.3. La maquette à l'échelle des distances.

Le choix de présenter les planètes alignées peut être discuté car cela n'arrive qu'exceptionnellement dans la réalité, néanmoins pour des raisons de commodités, ce choix s'est imposé.

Le fait de garder la ficelle durant toute l'expérience peut aider à se rendre compte des différentes orbites et permet de voir que certaines planètes sortent très rapidement de l'espace de la cour.

Afin de rendre compte au mieux du Système solaire, les élèves ont réalisé aussi la ceinture d'astéroïdes qui se situe entre Mars et Jupiter.

Programmes 2015

Volet 1 : les spécificités du cycle de consolidation (cycle 3)

D'une façon plus spécifique, l'élève va acquérir les bases de langages scientifiques qui lui permettent de formuler et de résoudre des problèmes, de traiter des données. Il est formé à utiliser des représentations variées d'objets, d'expériences, de phénomènes naturels (schémas, dessins d'observation, maquettes...) et à organiser des données de nature variée à l'aide de tableaux, graphiques ou diagrammes qu'il est capable de produire et d'exploiter.

Volet 2 : Contributions essentielles des différents enseignements au socle commun

Domaine 1 : Les langages pour penser et communiquer

En sciences et en technologie, [...] les langages scientifiques permettent de résoudre des problèmes, traiter et organiser des données, lire et communiquer des résultats, recourir à des représentations variées d'objets, d'expériences, de phénomènes naturels (schémas, dessins d'observation, maquettes...).

Attendus de fin de cycle

Situer la Terre dans le Système solaire et caractériser les conditions de la vie terrestre

- Situer la Terre dans le Système solaire.
- Caractériser les conditions de vie sur Terre (température, présence d'eau liquide).
- Le Soleil, les planètes.
- Position de la Terre dans le Système solaire.

Maquette à l'échelle des tailles

Le souci de cette maquette est la taille du Soleil, 10 fois celle de Jupiter, 110 celle de la Terre et donc environ 280 fois la taille de Mercure.

Pour que la maquette reste visible et que les élèves puissent distinguer toutes les planètes, il a été envisagé plusieurs solutions : un énorme ballon gonflable, un drap peint en jaune. Finalement, il a été décidé de faire un Soleil en 2 dimensions (disque de 4 mètres de diamètre) et de poser dessus les différentes planètes.

Les élèves sont donc parvenus au tableau ci-dessous avec les diamètres des différentes sphères.

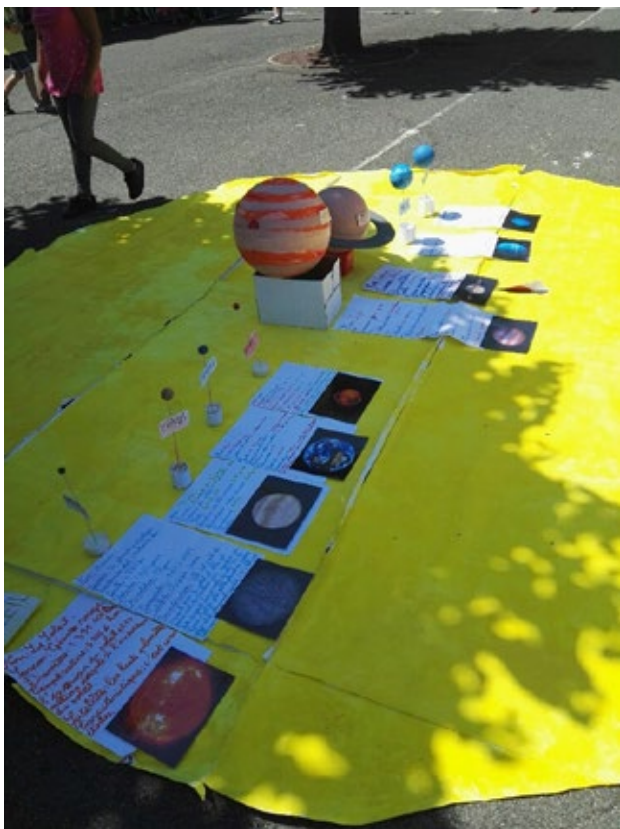
Nom	Mercury	Vénus	Terre	Mars
Diamètre (cm)	1,3	3,5	3,5	1,8

Nom	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune
Diamètre (cm)	40	30	14	14

Là aussi, les élèves se sont mis par 4, chaque groupe a travaillé sur une planète ou sur le Soleil et a peint une sphère de taille différente qui devait ressembler au mieux à sa planète. L'enseignante a utilisé de la pâte Fymo pour les petites planètes, des boules de polystyrène pour les plus grosses.

Puis a eu lieu la confrontation avec la classe de CM1 qui travaillait sur les distances.

Le rendu de ce système est très intéressant pour les élèves qui mesurent bien les tailles relatives des objets même si le Soleil est en 2 dimensions.



Bilan

Cette expérience s'est avérée très positive tant pour les élèves que pour les enseignants qui ont pu travailler de concert et s'aider sur les démarches.

Le projet a motivé les élèves tout au long de l'année et certains se sont énormément investis au point de faire eux-mêmes des maquettes à leur domicile. ■



Quelques ressources pour l'école primaire

- Astronomie à l'école, le hors-série n°12 des Cahiers Clairaut.
- La main à la pâte (<http://fondation-lamap.org>)
- Les maisons pour la science (<http://maisons-pour-la-science.org>)

Des planétaires pour mieux comprendre le Système solaire

- Hors série n°12 du CLEA Astronomie à l'école avec différents types de maquettes proposées.
- Planétaire avec GeoGebra et maquettes de planétaires à construire sur Lunap (<http://clea-astro.eu/lunap/SystemeSolaire> puis activités)
- Planétaires à l'échelle humaine où chaque planète est représentée par une personne, proposés en particulier par EU-HOU (Hand on Universe). Voir par exemple <http://planetaire.over-blog.com/>
- Sentiers des planètes. On en trouve dans différentes régions. Ils permettent de visualiser les distances des planètes au Soleil mais sans leur mouvement.

Des maquettes pour l'astronomie

- Le CLEA propose 6 maquettes à assembler vendues par lots de 6 différentes ou de 10 identiques (voir p. 33).
- Vous trouverez aussi diverses maquettes à imprimer ou à fabriquer sur le site du CLEA: cadrans solaires, cartes du ciel, instruments, planétaires... (<http://clea-astro.eu>, onglet Lunap puis Maquettes).
- L'observatoire de Lyon propose de nombreuses maquettes (<http://cral.univ-lyon1.fr/labo/fc/astromanu/astromanu.html>)
- Maquettes de sondes spatiales sur les sites de la NASA, du CNES et de l'ESA. Vous trouverez les adresses en tapant dans un moteur de recherche NASA paper models par exemple, ou sur le site précédent de l'observatoire de Lyon.

L'histoire de l'observatoire de Saint-Véran

Dominique Menel

Fondateur de la maison du Soleil à St-Véran et vice-président de l'association AstroQueyras

Dans cet article vous découvrirez comment, sur un site de qualité exceptionnelle, un observatoire astronomique prévu pour être professionnel devint en définitive un observatoire destiné aux amateurs.

Les premiers pas

En 1948, l'université de Californie construit et installe un télescope géant au sommet du Mont-Palomar : le mythique télescope «Hale» de cinq mètres de diamètre.

Afin de conduire leurs recherches dans les meilleures conditions, les scientifiques français souhaitent bientôt disposer d'un télescope de la même classe. Il faut néanmoins attendre la fin des années 1960 pour que la construction d'un tel instrument soit décidée. L'INAG (Institut National d'Astronomie et de Géophysique), entité dépendante du CNRS, est chargé de la coordination du projet. Outre la fabrication de l'instrument, il faut également choisir son lieu d'implantation.

Une vaste campagne de recherche de site est menée. Des mesures de qualité de ciel sont effectuées. Elles incluent différents paramètres parmi lesquels la proportion de nuits exploitables, la transparence de l'atmosphère (faible taux d'hygrométrie), la turbulence atmosphérique la plus modérée possible, l'altitude, l'accessibilité.

Plusieurs sites des Hautes-Alpes, parmi d'autres, sont explorés. L'INAG réalise les mesures à l'aide de matériel mobile transporté et installé sur place, souvent avec l'aide des villageois, bien aguerris à la pratique de la montagne.

Les scientifiques recueillent de nombreuses données qui montrent que le pic de Château-Renard, à 2 930 mètres d'altitude, un des sommets du village de Saint-Véran, présente les qualités requises. Selon les astronomes, le ciel de Saint-Véran est sans doute l'un des meilleurs ciels astronomiques d'Europe continentale. Seuls les Canaries pourraient le supplanter !

Le pic de Château-Renard présente alors l'habituelle morphologie d'un sommet montagneux : il n'y a que des surfaces en pente, peu propices à l'implantation d'équipements scientifiques de grande taille. D'autre part, il n'existe pas non plus de route d'accès carrossable permettant d'atteindre le sommet. Des travaux routiers et de terrassement sont donc entrepris avec l'aide, à nouveau, des villageois. C'est ainsi qu'une piste est tracée et une plate-forme horizontale aménagée juste sous le sommet du pic.

Le télescope est construit. Une entreprise rochelaise réalise la partie mécanique. L'optique est coulée par un fondeur canadien et polie en France. Mais finalement, des considérations budgétaires, scientifiques et politiques conduisent à son installation au sommet du Mauna Kea, un volcan éteint d'une des îles Hawaï, à 4 200 mètres d'altitude. En effet, devant l'ampleur du projet, la France fait appel à une collaboration internationale. Le Canada répond favorablement, l'université de Hawaï met le site à disposition. Rappelons que ce télescope, le deuxième plus important au monde à cette époque représente un budget important. Il sera l'un des premiers installés au Mauna Kea, en 1979.

Aujourd'hui, la plate-forme accueille plus d'une dizaine d'instruments parmi les plus grands jamais construits. Le télescope franco-canadien est baptisé CFHT, Canada France Hawaï Télescope, son miroir a un diamètre de 3,60 mètres. Il est actuellement toujours en service, il est doté d'une des plus grandes caméras de prises de vues astronomiques.

Mais les instigateurs du projet franco-français n'en restent pas là ! Considérant que l'investissement matériel et humain engagé à Saint-Véran devait être valorisé, ils décident de profiter des infrastructures déjà réalisées. Cependant, il est aisé de comprendre que la part principale du budget de recherche

astronomique est consacrée au CFHT. Il faudra alors faire preuve d'ingéniosité et de persévérance pour réussir à mener une aventure scientifique au pic de Château-Renard. Les conditions d'ensoleillement du Queyras (300 jours de Soleil par an, comme l'affirme une publicité vantant la région !), sont propices à la mise en place d'une station astronomique d'étude du Soleil. La station doit comporter plusieurs éléments pour pouvoir fonctionner avec un certain niveau d'autonomie : une coupole, un instrument, une «base-vie», de l'énergie.

Comme l'acquisition de matériel neuf n'est guère envisageable pour les raisons évoquées plus haut, c'est vers du matériel existant que se retournent les astronomes, avec à leur tête Paul Felenbok, de l'Observatoire de Paris. Une des coupoles historiques de l'Observatoire de Paris, celui où ont exercé les Cassini, astronomes de Louis XIV, est démontée et remontée au pic de Château-Renard.



Fig.1. Remontage de la coupole.

Cette coupole date des années 1950, elle a remplacé une coupole Eiffel préalablement installée sur le toit du bâtiment Perrault. Elle sera équipée d'un coronographe, appareil destiné à l'observation et l'étude de la couronne solaire, région de la haute atmosphère du Soleil visible lors des éclipses totales et qui est le siège de phénomènes mal expliqués, notamment une température chiffrée en millions de degrés alors que la surface solaire n'atteint «que» environ 5 500 degrés. La base-vie est une simple cabane de chantier aménagée en cuisine, salle à manger et dortoir. Elle peut héberger quatre personnes. Les deux bâtiments, coupole et base-vie, sont reliés par un «tunnel» permettant de passer de l'un à l'autre sans avoir à affronter les conditions extérieures, quelquefois extrêmes.

Parmi les difficultés rencontrées lors de l'exploitation de la base, notons la nécessité de refroidir les

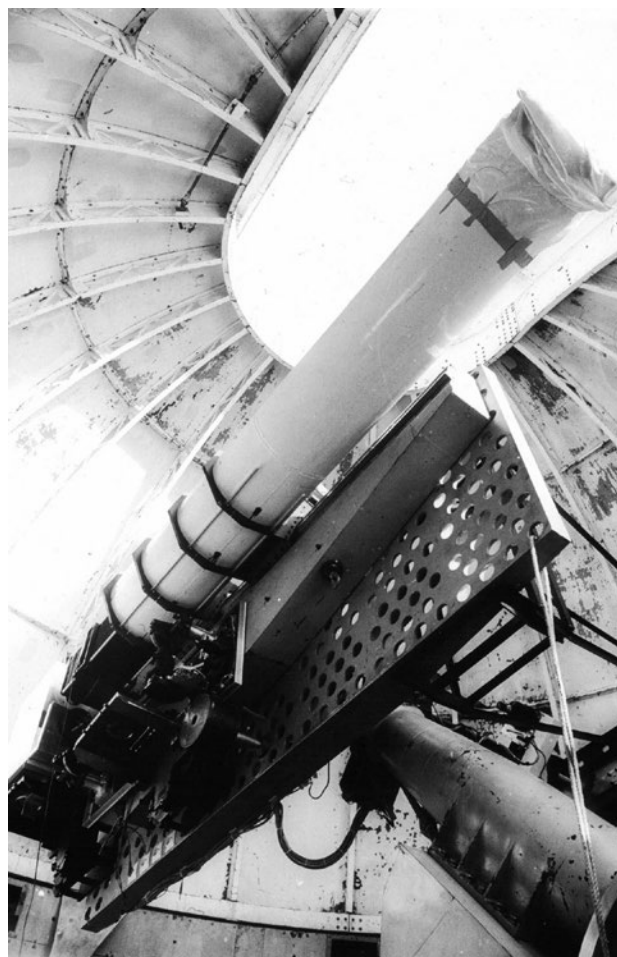


Fig.2. Le coronographe.

appareils à l'aide d'azote liquide à $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dans un premier temps, l'azote était acheminé en deux étapes à l'observatoire. Le fournisseur s'arrêtait à Saint-Véran. Son véhicule n'était pas apte à gravir les onze kilomètres de piste montagnarde. C'est donc Joseph Brunet, un villageois, qui prenait le relais avec un véhicule adapté, son infatigable Mercedes Unimog pour grimper les bonbonnes jusqu'au sommet. Pour faciliter l'approvisionnement en azote liquide en toutes saisons, une unité de liquéfaction d'air a ensuite été installée à l'observatoire dans un nouveau bâtiment.

La «Station astronomique du pic de Château-Renard» a ainsi fonctionné de 1974 à 1982 à des fins de recherche scientifique sur le Soleil. La décennie 1980 et les suivantes, sous l'impulsion des progrès technologiques en exploration spatiale et en informatique, voient arriver l'ère de la mise hors de l'atmosphère terrestre d'observatoires de toutes natures. Le télescope spatial Hubble en est assurément le plus bel exemple médiatique. L'observation solaire profite également de cet élan. Les observatoires terrestres perdent donc rapidement de leur intérêt. Qu'on en juge : «SOHO», l'un des

premiers satellites dédiés à l'observation du Soleil a été placé au point de Lagrange, point d'équilibre entre les attractions solaire et terrestre. Cette situation lui permet d'observer, à l'aide de sa douzaine d'instruments, le Soleil 24 heures sur 24, et hors de l'atmosphère. Difficile de rivaliser !

Le coronographe est démonté en 1982. L'observatoire est désaffecté. En 1988, les astronomes constatent néanmoins que la station est restée en état de marche et envisagent d'y installer un télescope à visée polaire. Le projet achoppe.

1989 : nouvel essor de l'observatoire

L'espoir que les astronomes professionnels investissent à nouveau l'observatoire est quasi définitivement abandonné. Que faire d'une telle installation sous l'un des meilleurs ciels d'Europe ? Paul Felenbok trouve à nouveau la réponse : la mettre à disposition des astronomes amateurs. L'idée enchante immédiatement quelques aficionados de l'observation céleste. Une association est créée illico. Elle sera régie en partenariat avec l'Observatoire de Paris, son Conseil d'administration comptera obligatoirement deux astronomes professionnels. C'est ainsi qu' AstroQueyras est née ! Sa mission : diffusion des connaissances.

Cependant, il ne faut pas oublier qu'à cet instant, c'est une coquille vide. Il n'y a plus d'instruments sous la coupole. Quelques recherches conduisent les astronomes sur la piste d'un télescope de 62 cm naguère prêté à l'observatoire de Grenade (Espagne) par l'OHP (Observatoire de Haute-Provence). L'instrument était dédié à l'étude d'étoiles bien particulières, les étoiles Be. Le succès de ces études a permis à Grenade de se faire financer un télescope plus grand (1,60 mètre), si bien que le 62 cm avait rejoint ses caisses.

Au passage, il a dû être raccourci pour intégrer l'observatoire de Grenade. Cette opération, rendue indispensable par l'exiguïté de la coupole l'abritant, a nécessité de le doter d'un nouveau miroir.

Ce miroir a été coulé avec le meilleur matériau du moment, un verre nommé « Zerodur » en raison de son coefficient de dilatation quasi nul. Le « Zerodur » est le matériau (mi-verre, mi-céramique) utilisé pour fabriquer les quatre miroirs de 8,20 mètres du VLT (Very Large Telescope), installation phare de l'Observatoire Européen Austral dans les Andes chiliennes.

Le télescope est rapidement transféré à Saint-Véran.

C'est un instrument de deux ou trois tonnes qui va devoir intégrer la coupole. L'opération, pour être menée à son terme, nécessitera la mise en œuvre de moyens de manutention lourds. Hors de question de passer par les portes. La seule ouverture praticable est la trappe – le cimier – de la coupole. L'aide des villageois est à nouveau sollicitée. L'opération est menée à son terme sans difficultés majeures.



Fig.3. Le télescope de 62 cm.

En 1990, un premier groupe d'astronomes amateurs séjourne « en mission » d'une semaine. Près de trente ans après, ce mode de fonctionnement perdure. AstroQueyras a ainsi permis à environ 2000 astronomes amateurs de vivre leur passion à 3000 mètres d'altitude, ce qui représente plus de 12000 nuitées. La convention liant AstroQueyras à l'Observatoire de Paris prévoit, qu'outre les astronomes amateurs, les randonneurs soient également accueillis pour des visites en journée. Un bel après-midi d'été peut voir arriver près d'une centaine de visiteurs !



Fig.4. L'observatoire en 2010.

La réputation du site et la qualité de l'instrumentation attirent chaque année une vingtaine de missions composées de six à dix membres. Les groupes séjournent une semaine. Pour pouvoir prétendre à une mission, un groupe postulant doit

expédier, en janvier ou février, une « demande de mission » argumentée. Le « Comité des Programmes » d'AstroQueyras examine l'ensemble des demandes et attribue les semaines selon un barème tenant compte, par exemple, de la pertinence ou de l'originalité du programme proposé.

2014 / 2015 – Reconstruction de la « base-vie »

Après quarante années de bons et loyaux services, la base-vie commence à présenter de sérieux signes de vétusté. De plus, elle ne peut guère prétendre à l'accueil du public, nouvelle orientation de l'association AstroQueyras, du fait de l'exiguïté et d'un certain inconfort des bâtiments. La commune de Saint-Véran apporte alors son concours à la recherche de financements pour la reconstruction, selon les normes actuelles, des installations d'hébergement, proposant au passage d'augmenter sensiblement la capacité d'accueil, de façon à proposer au public de venir passer une « Nuit découverte » à l'observatoire. C'est ainsi que le 1^{er} août 2015, l'observatoire « nouveau » recevait ses premiers visiteurs et sa première mission d'astronomes amateurs dans ses locaux rénovés. Une troisième coupole, après celle installée en 2005, est venue compléter les installations.

L'observatoire aujourd'hui

L'observatoire est désormais équipé de quatre instruments. Le télescope de 62 cm est plus que jamais présent sous sa coupole de sept mètres. AstroQueyras a profité de la rénovation et de l'élan, voire de l'enthousiasme, de ses partenaires, pour investir dans deux nouveaux instruments. Il s'agit de deux télescopes identiques abrités chacun sous leur propre coupole, des Ritchey-Chrétien de 50 cm. Le quatrième instrument n'est autre que l'astrographe initialement installé sous la coupole de 5 mètres, monté en parallèle d'un des Ritchey-Chrétien.

Trois spectrographes complètent l'instrumentation : le premier à basse résolution, le deuxième, sur banc optique plus particulièrement destiné à l'apprentissage de la discipline (résolution moyenne) et enfin un spectrographe échelle à haute résolution, également sur banc optique, comme spectrographe d'application pour des travaux plus précis.

Bien entendu, l'observatoire dispose aussi de matériel d'acquisition des données : caméras CCD, roues à filtres pour l'imagerie, la photométrie, etc.

L'ensemble de cet équipement est mis à la disposition des groupes d'astronomes amateurs qui désirent profiter à la fois d'un des meilleurs ciels d'Europe



Fig.5. L'un des télescopes Ritchey-Chrétien de 50 cm.

et de conditions de séjours exceptionnelles à cette altitude. Nul pré-requis n'est exigé, au contraire, AstroQueyras a à cœur de recevoir des débutants aussi bien que des expérimentateurs chevronnés, chacun s'évertuant à partager ses connaissances.

Un des Ritchey-Chrétien est réservé, en juillet et août, au public « découvreur » du ciel. ■

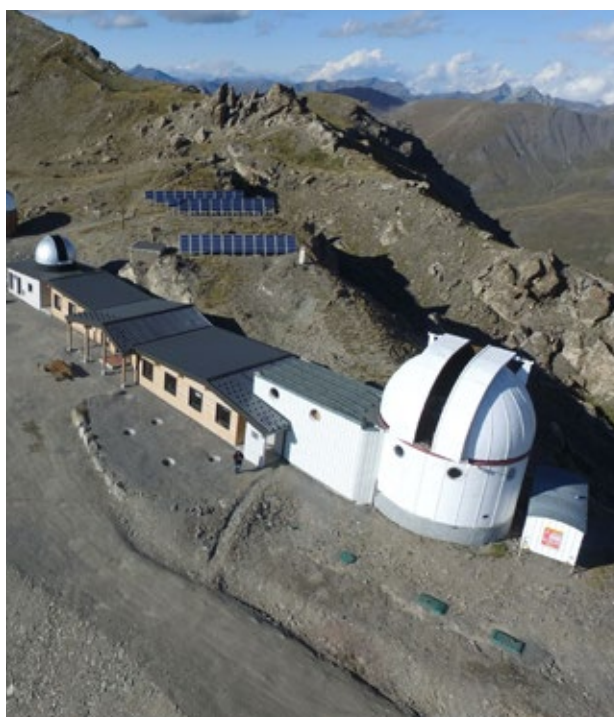
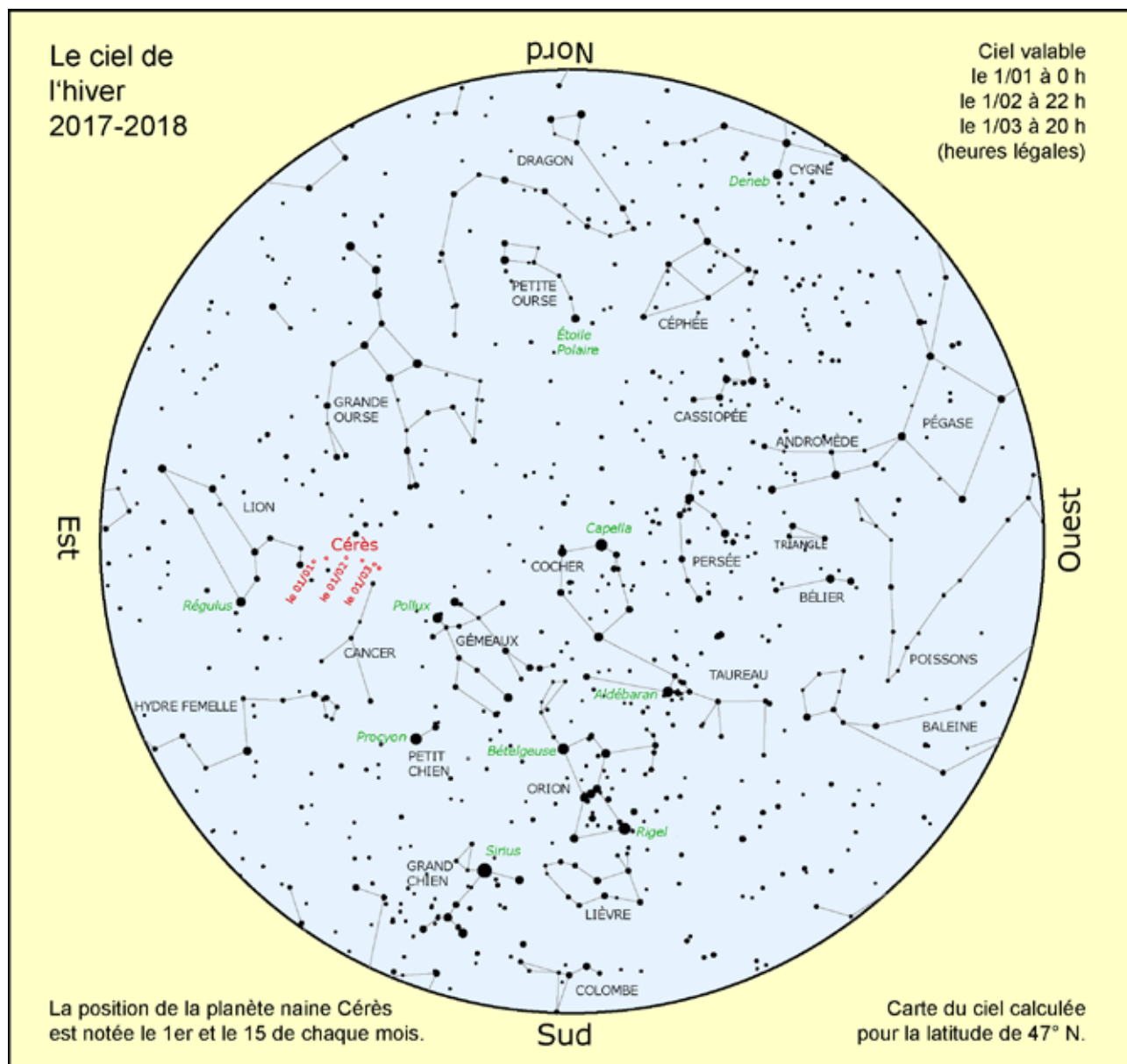


Fig.6. Vue aérienne de l'observatoire.

LE CIEL DE L'HIVER 2017



Visibilité des planètes

Mercury est visible le matin la première quinzaine de janvier et le soir en mars. À noter son rapprochement avec Saturne le 13/01 et avec Vénus le 4/03.

Vénus passe derrière le Soleil le 9 janvier. On la retrouve dans le ciel du soir à partir de fin février.

Mars est visible le matin et augmente peu à peu de luminosité en attendant son opposition de juillet.

Jupiter est à observer en deuxième partie de nuit. Elle se lève de plus en plus tôt. Opposition le 9 mai.

Saturne est visible le matin mais encore bas au-dessus de l'horizon. Opposition le 27 juin.

Cérès, la plus visible des planètes naines (magnitude 7), rétrograde cet hiver dans le Lion et le Cancer (voir carte).

Quelques événements (heures légales)

21/12 : solstice de décembre à 17 h 27 min.

03/01 : périhélie. La Terre au plus près du Soleil, à 147 097 233 km.

3/01 : maximum des Quadrantides (étoiles filantes).

7/01 (matin) : rapprochement Mars Jupiter (0,2°).

12/01 : maximum de Mira Ceti.

31/01 : opposition de Cérès.

31/01 : éclipse totale de Lune visible depuis le Pacifique.

16/02 : nouvel an chinois, l'occasion de présenter le calendrier traditionnel chinois, luni-solaire.

20/03 : équinoxe de printemps à 17 h 14 min.

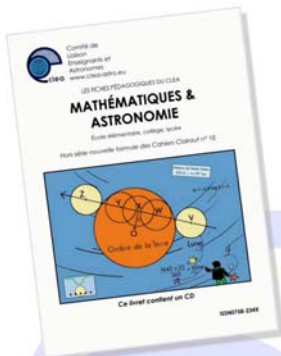
Lune

Pleine Lune les 2/01, 31/01, 2/03.

Nouvelle Lune les 17/01, 15/02, 17/03.

Les dernières productions du CLEA

Hors-Série n° 10 des Cahiers Clairaut



Utiliser l'astronomie dans le cours de mathématiques présente de nombreux avantages : les élèves sont souvent plus motivés, certaines notions peuvent être mieux comprises et l'utilité des maths est ici évidente... La résolution d'un problème faisant souvent appel à des éléments de culture générale, c'est une opportunité à saisir et à développer.

Ce Hors-Série des Cahiers Clairaut s'adresse aux enseignants qui désirent faire des mathématiques avec de l'astronomie... ou de l'astronomie avec des mathématiques.

Il est constitué d'exercices (plus de 100) regroupés par thèmes, pour l'école élémentaire, le collège et le lycée.

Un aperçu du sommaire...

1. Le mouvement apparent du ciel
2. La Terre
3. Les saisons
4. La Lune
5. Les calendriers
6. Les éclipses de Lune
7. Les éclipses de Soleil
8. Le système solaire
9. Les étoiles
10. Les cadrans solaires
11. Cartes du ciel et astrolabes
12. Exoplanètes

Un livret de 80 pages
accompagné d'un CD

Énoncés, solutions, compléments,
feuilles de calcul, fichiers
GeoGebra/Geoplan-Geospace
maquettes à imprimer,
diaporamas, animations...

➤ En vente sur <http://ventes.clea-astro.eu>

Hors-Série n° 11 des Cahiers Clairaut



Comme le ciel qui les abrite, les constellations font toujours rêver. Les enfants adorent qu'on leur raconte les aventures des héros qu'elles représentent et aiment trembler en revivant leurs exploits face aux innombrables monstres qui peuplent le ciel... Comment des enseignants pourraient-ils ne pas utiliser cet engouement ?

S'il s'adresse à tous ceux que les mystères du ciel attirent, ce Hors-Série des Cahiers Clairaut a aussi l'ambition de fournir, aux enseignants, aux animateurs et aux élèves, de nombreux éléments d'information, tant dans les domaines littéraires que scientifiques.

Un aperçu du sommaire...

À la découverte des constellations

- Les noms des étoiles
- Un historique des 88 constellations
- À la recherche des constellations disparues
- Mouvements et représentations cartographiques

Apprentissage des constellations

- Le labyrinthe des constellations, par saisons
- Le puzzle des constellations
- Diaporama d'initiation et cartes

Les légendes du ciel

- Orion et Persée
- 9 légendes venues du monde entier
- Les constellations chinoises
- Présentation des 88 « fiches constellations »

Instruments et maquettes

- Le compteur d'étoiles
- Le parapluie des constellations
- Une lanterne aux étoiles
- Comprendre le zodiaque
- Astrolabes et nocturlabes
- Globes et cartes célestes mobiles
- Constellations en 3D
- Comprendre la pollution lumineuse

Et puis... 26 exercices et leurs corrigés, adaptés à tous les niveaux, de l'école élémentaire au lycée.

Sur le CD joint : des approfondissements,
des textes imprimables, des diaporamas
et les dossiers de construction des maquettes...

En vente sur <http://ventes.clea-astro.eu>

NOUVEAUTÉ !



Grandir, s'ouvrir au monde et aux autres. S'adapter aux rythmes de la nature, de la vie et de la société. S'émerveiller, être et rester curieux.

Enseignants de l'école primaire et du collège, médiateurs scientifiques et parents accompagnent les enfants dans leur découverte du monde et l'exercice de leur raisonnement : partir en classe alors que le jour est levé... ou pas, observer la Lune qui joue à cache-cache ... de jour comme de nuit, vivre la succession des saisons, jouer avec les ombres et la lumière, déjouer les apparences trompeuses...

Les cycles célestes constituent de belles opportunités pour prendre conscience du monde qui bouge autour de nous, et pour commencer à le comprendre.

Vous avez envie de découvrir l'astronomie ? Vous souhaitez l'enseigner à vos élèves du cycle 3... mais pas seulement ? Cet ouvrage vous guidera pas à pas et vous permettra de mettre en œuvre la méthode d'investigation lorsque cela est possible. Il pourra également être source de projets interdisciplinaires.

Un aperçu du sommaire...

Dans le livret :

- Notions de base (ombre, Terre, points cardinaux, constellations)
- Jour, nuit, mouvement apparent du Soleil
- Les saisons
- Le système solaire
- Le temps
- Littérature
- Glossaire

Dans le CD :

- Des compléments pour l'enseignant
- Des données, des films
- Sitographie
- Liste de logiciels
- Liste d'articles des Cahiers Clairaut

➤ En vente sur <http://ventes.clea-astro.eu>

Les maquettes du CLEA

Pour expliquer les phénomènes astronomiques, les maquettes à manipuler constituent des outils pédagogiques indispensables et efficaces, pour les enseignants, les médiateurs scientifiques... et les parents.



Avec la **carte du ciel**, tournante, on identifie les constellations visibles, à une date et une heure données.

Le **nocturlabe**, simplifié, permet de lire l'heure la nuit, comme les marins des siècles passés, en observant la Grande Ourse ou Cassiopée.

Le cadran du **zodiaque** montre les constellations devant lesquelles passent le Soleil et les planètes, quand la Terre tourne autour du Soleil et sur elle-même.

L'**astrolabe**, simplifié, permet de comprendre le fonctionnement de cet instrument ancien, de connaître l'heure et de calculer la durée du jour.

La maquette **fuseaux horaires** permet de comprendre les décalages horaires tout autour du monde.

Le **lunoscope** permet de savoir quel aspect doit avoir la Lune... et de la localiser en plein jour.

Disponibles :

- par lot de 6 maquettes différentes, accompagnées d'un livret de 40 pages comprenant des explications et des applications, pour chacune des maquettes ;
- par lot de 10 maquettes identiques, avec un mode d'emploi, pour travailler avec un groupe sur une même maquette.

➤ En vente sur <http://ventes.clea-astro.eu>

Histoire de la spectroscopie (2) : de l'expérience de Michelson-Morley à la spectroscopie de Fourier

Jean-Pierre Maillard, Institut d'Astrophysique de Paris (jean-pierre.maillard@iap.fr)

Dans cette seconde partie, Jean-Pierre Maillard aborde la spectroscopie de Fourier

L'article I publié dans le numéro 159 des Cahiers Clairaut (septembre 2017) retrace les débuts de la spectroscopie à l'aube du XIX^e s. au moyen du *spectroscope à prisme* dont le détecteur était l'œil, progressivement remplacé par le *spectrographe à réseau*, plus résolvant et utilisant la plaque photographique pour enregistrer le spectre. Les spectrographes resteront limités à la lumière visible jusqu'à l'apparition des premières cellules photoélectriques, sensibles à d'autres longueurs d'onde, à partir des années 30. L'accès à ces domaines pour la spectroscopie nécessitait l'usage de *monochromateurs*, des spectromètres à réseau avec une fente de sortie pour isoler une longueur d'onde dont la lumière était reçue par la cellule, une rotation du réseau permettant de changer de longueur d'onde. Le procédé s'avérait long et ne permettait que l'étude de petits domaines spectraux ou des spectres à basse résolution.

Le besoin d'étendre l'analyse spectroscopique, en particulier dans le domaine infrarouge, a motivé l'intérêt à partir des années 50 pour une méthode qui ne soit plus basée sur un système dispersif, appelée *spectroscopie de Fourier*, qui rendait possible la couverture d'un grand domaine spectral, tout en n'utilisant toujours qu'une seule cellule. Basée sur l'*interféromètre de Michelson*, du nom de son inventeur, qui fit avec, au tournant du XX^e siècle, les premières mesures de spectroscopie, l'origine de cette nouvelle méthode, puis sa redécouverte près de 70 ans plus tard et les développements qui ont suivi, en particulier en astronomie, sont décrits.

Invention de l'interféromètre de Michelson et expérience de Michelson-Morley

Au début du XIX^e s. de vifs débats se déroulent sur la nature de la lumière, entre les tenants de la théorie

corpusculaire, développée dès 1675 par Newton (1642–1727), et les partisans de la théorie ondulatoire exposée par Augustin Fresnel (1788 – 1827) qui s'appuie sur l'hypothèse de l'existence d'un support matériel nommé *éther lumineux* emplissant tout l'Univers. Les oscillations périodiques des ondes lumineuses ont besoin de ce milieu pour se propager, par analogie avec les ondes sonores qui se propagent dans l'air.

Le physicien autrichien Christian Doppler (1803–1853) a montré le changement de fréquence du son d'une source sonore mobile et Hippolyte Fizeau (1819–1896) le changement de longueur d'onde d'une source lumineuse en mouvement. Se plaçant dans le cadre de la théorie de Fresnel, il écrit en 1851 : « *Si l'on suppose que l'éther est entraîné en totalité avec le corps, la vitesse de la lumière dans ce corps sera augmentée de toute la vitesse du corps, le rayon étant dirigé dans le sens du mouvement. Si l'éther est supposé libre, la vitesse de la lumière ne sera nullement altérée.* »

Pour tester l'hypothèse d'un possible *entraînement de l'éther* par les corps lumineux en mouvement, Fizeau tente de mettre en évidence une différence de vitesse de la lumière se propageant dans un courant d'eau qui s'écoule dans un sens et dans le sens opposé. Il construit à cet effet pour la sensibilité permise un montage optique dit *interférométrique* (voir encadré).

Dans le montage de Fizeau (figure 1) la lumière du Soleil est partagée en deux faisceaux qui suivent deux trajets de même longueur, parcourus dans l'eau s'écoulant dans un sens pour l'un et dans le sens opposé pour l'autre. Si la mise en mouvement de l'eau entraîne une différence de vitesse de la lumière dans les deux faisceaux, elle se traduira en sortie par un changement d'intensité des interférences. Fizeau ne peut mesurer de changement appréciable.

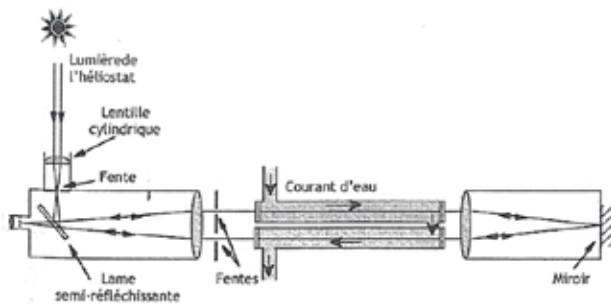


Fig. 1. Expérience de Fizeau (1851) pour tester l'hypothèse de l'entraînement de l'éther.

Montage interférométrique à deux ondes

Dans un tel montage, la lumière d'une source de longueur d'onde λ est partagée en deux faisceaux d'intensité égale qui effectuent des trajets optiques différents. Conséquence de la nature ondulatoire de la lumière qui se propage à une vitesse finie, la différence de longueur de parcours entre les deux ondes crée un retard égal à δ/c où δ est la différence de chemin optique et c la vitesse de la lumière. En exprimant δ en nombre de longueurs d'onde λ , si $\delta = k\lambda$ avec k un nombre entier, les deux ondes sont en phase. Après recombinaison, leurs amplitudes s'ajoutent donnant un maximum de lumière. Mais si $\delta = (k + \frac{1}{2})\lambda$ les deux ondes sont en opposition de phase et l'intensité s'annule. Prenons une lampe à hydrogène dont on a isolé la raie $H\alpha$ à 656 nm, un changement de $\delta = \lambda/2 = 328$ nm représente la quantité pour passer d'un maximum de lumière à l'extinction, ce qui fait réaliser la sensibilité d'un tel dispositif. Un changement de $\delta = \lambda$ fait passer d'un maximum de lumière au suivant (ou d'un zéro au suivant) est appelé une frange. Le montage de Fizeau (figure 1) donne l'exemple d'un montage avec formation des deux ondes interférentes par séparation spatiale du faisceau d'entrée, tandis que dans le montage inventé par Michelson (figure 2) la formation des deux ondes est faite en intensité par une lame séparatrice.

Un jeune opticien américain, Albert Michelson (1852–1931), qui enseigne alors à l'Académie Navale près de Washington, a reproduit l'expérience de mesure de la vitesse de la lumière par la méthode du miroir tournant de Léon Foucault (1819–1868) en portant la base du parcours de la lumière à 605 m. Il fait l'analyse que la vitesse de la lumière mesurée sur Terre doit dépendre de sa direction de propagation par rapport à celle du déplacement de la Terre dans l'éther, supposé le milieu de référence. La mesure d'une différence de vitesse entre une lumière se propageant dans le sens du mouvement de rotation de la Terre et dans une direction perpendiculaire, apporterait la preuve de l'entraînement de l'éther. Pour cette mesure, il reprend l'idée de Fizeau de mettre à profit le phénomène d'interférence lumineuse (*voir encadré*) mais en inventant un montage dénommé depuis *interféromètre de Michelson* (figure 2).

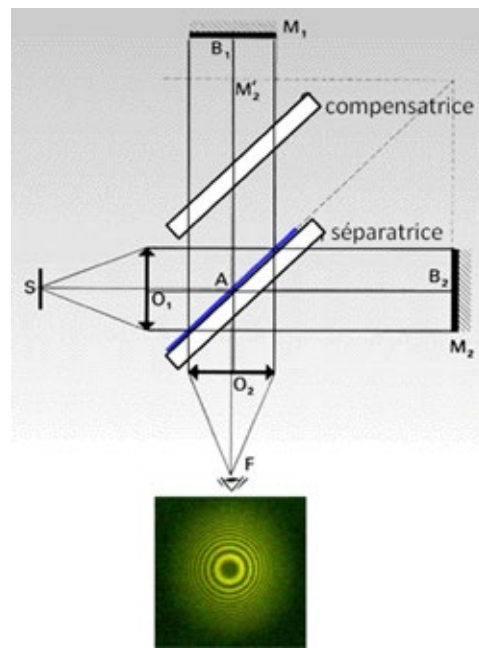


Fig. 2. Schéma de l'interféromètre de Michelson (inventé en 1881). La lame à faces parallèles dans le bras M_1 d'épaisseur égale à la séparatrice est appelée lame compensatrice.

Une source étendue en S émet une seule longueur d'onde λ qui tombe sur une lame à 45° ayant la propriété de partager le faisceau incident en une moitié réfléchi et l'autre moitié transmise. Les deux faisceaux perpendiculaires tombent chacun sur un miroir plan (M_1 et M_2) renvoyant chacun la lumière vers la séparatrice, qui recombine les deux faisceaux, produisant en F une figure d'anneaux sombres, manifestation des interférences entre les deux faisceaux. Avec M_2' l'image de M_2 dans la séparatrice, la lumière dans le bras M_1 fait un parcours $2M_1M_2'$ plus long que dans le bras M_2 qui représente la différence de chemin δ sur l'axe.

Michelson séjourne à Berlin où il construit le premier modèle de son interféromètre. Pour être « loin du trafic de la ville » il l'installe à l'Observatoire de Postdam, sur une table tournante, les bras de l'interféromètre de 1 m de long orientés, l'un selon le mouvement de rotation de la Terre (est–ouest), l'autre selon la direction perpendiculaire (nord–sud). Les longueurs optiques des deux bras sont rigoureusement identiques de telle sorte que l'intensité des interférences est uniforme dans tout le champ de sortie. Sans changer le réglage, il refait l'observation en tournant l'interféromètre de 90° . Il compare plusieurs fois l'état d'interférence dans les deux positions de l'instrument sans détecter visuellement de différence d'intensité des franges.

Mais Michelson qui croit à l'existence de l'éther conclut à l'échec de son expérience. Il la refait donc en 1887 à l'Université de Cleveland, aidé du

physicien W. Morley, association qui donnera le nom resté célèbre de l'expérience, en construisant un interféromètre sur le même schéma optique mais avec des bras de 11 m, pour une sensibilité accrue. Il monte en plus tout l'instrument sur un bain de mercure pour le faire tourner de 90° sans risque de le dérégler. Il répète plusieurs fois l'expérience et obtient toujours le même résultat nul qu'il publie dans « *On the relative motion of the Earth and the luminiferous æther* » (*Philosophical Mag.*, 24, 449, 1887). Ces expériences négatives remettent sérieusement en question l'existence de l'éther. Des expériences semblables pourtant seront refaites jusqu'en 1927 avec des interféromètres encore plus grands, mais la constance de la vitesse de la lumière, pratiquement égale à 300 000 km/s dans le vide, dont Michelson a d'ailleurs contribué à améliorer la précision de la mesure, sera définitivement établie en 1915 par Einstein par la publication de la théorie de la relativité générale.

Application par Michelson de son interféromètre à la spectroscopie

Mais après cette expérience de Cleveland, Michelson entrevoit d'autres possibilités à son interféromètre en rendant mobile l'un des deux miroirs, avec une vis à pas fin qui permet de déplacer avec précision un miroir parallèlement à lui-même (figure 3) et de changer ainsi la différence de marche optique entre les deux faisceaux qui interfèrent. Un monochromateur à prisme éclaire l'entrée de l'interféromètre avec la raie intense d'une source atomique (ex. la raie rouge d'une source à cadmium). En traduisant lentement le miroir mobile par rotation de la vis qui porte le miroir, à partir de l'égalité de la longueur des deux bras, il augmente δ et compte à l'œil les franges qui défilent pour effectuer des mesures suivantes sur ces raies.

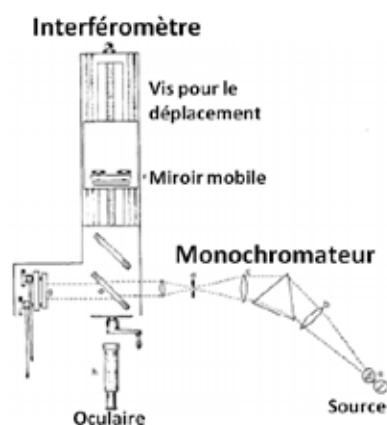


Fig.3. Dessin par Michelson du montage qu'il réalise pour effectuer ses premières mesures de spectroscopie avec son interféromètre.

1. Mesure de la longueur d'onde de la raie : en comptant le nombre N de franges pour un déplacement donné l du miroir.

2. Mesure de la séparation des deux composantes d'une raie double : l'interféromètre étant éclairé par une source qui délivre une telle raie (ex. la raie jaune du sodium), Michelson constate que l'intensité des franges diminue jusqu'à s'annuler puis augmente à nouveau, s'annule encore et ainsi de suite. Il détermine comme en 1) la période des franges et mesure la longueur du chemin optique nécessaire d pour passer d'une annulation des franges à la suivante.

3. Mesure de la visibilité des franges produite par une raie simple : en effectuant la mesure 1) Michelson constate qu'en augmentant δ les anneaux brillants deviennent progressivement moins brillants et les anneaux sombres moins noirs. En d'autres termes, le *contraste des franges* (figure 4) diminue, jusqu'à ne plus discerner d'anneaux brillants ou sombres à une position du miroir mobile qui correspond à une valeur δ_M de δ caractéristique de la raie. Il nomme cette variation du contraste des franges avec δ la *courbe de visibilité*.

Il publie en 1892 ses premières mesures sur les raies d'émission les plus intenses de plusieurs sources atomiques obtenues par *spectroscopie interférentielle* : hydrogène (raies H_α et H_β), oxygène, sodium, zinc, cadmium, mercure, thallium, leur longueur d'onde précise, leur nature, simple ou multiple – il montre pour la première fois que la raie jaune du sodium est double et mesure la séparation des deux composantes égale à 0,59 nm – et leur longueur de visibilité δ_M .

Interprétation des mesures effectuées par Michelson

Les trois types de mesures réalisées par Michelson utilisent le fait qu'une lumière de longueur d'onde λ_0 et d'intensité B_0 qui éclaire l'interféromètre donne en sortie, en fonction de δ , un signal périodique (figure 4) d'intensité $I(\delta)$ – le facteur $1/2$ vient de ce que seulement la moitié de la lumière incidente sort de l'instrument.

$$I(\delta) = \frac{1}{2} B_0 [1 + \cos(2\pi \delta/\lambda_0)]$$

Le comptage d'un nombre N de franges pour un déplacement l du miroir conduit donc à $\lambda_0 = 2l/N$. L'équation a entraîné l'introduction d'une nouvelle grandeur, le *nombre d'onde* $\sigma = 1/\lambda$ exprimé en inverse de cm ou cm^{-1} . Supposons une raie double avec deux composantes σ_1 et σ_2 de même intensité B_0 . Le signal de sortie $I_{1,2}(\delta)$ est la somme des contributions de chaque composante :

$$I_{1,2}(\delta) = \frac{1}{2} B_0 \{ [1 + \cos(2\pi \sigma_1 \delta)] + [1 + \cos(2\pi \sigma_2 \delta)] \}$$

qui se résout en un produit de deux fonctions circulaires, l'une avec $\sigma' = (\sigma_1 + \sigma_2)/2$ et l'autre $\sigma_d = (\sigma_1 - \sigma_2)/2$. On peut mesurer $\lambda' = 1/\sigma'$ la longueur d'onde des franges et le déplacement $d = 1/\sigma_d$ dont on déduit la longueur d'onde des deux composantes, $\lambda_1 = 1/(\sigma' - \sigma_d)$ et $\lambda_2 = 1/(\sigma' + \sigma_d)$ et leur séparation $|\lambda_2 - \lambda_1|$.

Une raie en émission est représentée par un profil symétrique d'une certaine largeur. En imaginant le découpage de ce profil en bandes étroites verticales d'égale largeur, chaque bande produit dans l'interféromètre une fonction de type $I(\delta)$, avec sa période et son intensité, légèrement différentes de celles de sa voisine dans le profil. Pour $\delta = 0$ toutes ces fonctions sont en phase, mais en s'écartant de 0 les périodes ne sont plus exactement en phase, ce qui fait progressivement diminuer le contraste des franges (figure 4) jusqu'à ce qu'il devienne nul. La courbe de visibilité est une fonction décroissante de δ variant de 1 à 0 qui multiplie le signal de franges, et qui dépend de la largeur du profil de la raie.

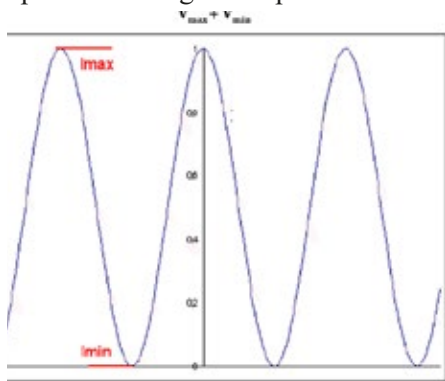


Fig.4. Représentation d'un signal de frange et définition du contraste de ce signal, ici égal à 1.

Principe de la spectroscopie de Fourier

Michelson fit des mesures spectroscopiques seulement sur des raies uniques en émission, éventuellement formées de plusieurs composantes. Ce que l'on appellera plus tard la *spectroscopie de Fourier* est une généralisation à des sources dont la lumière est composée d'une multitude de raies, en émission ou en absorption (*voir article 1*) sur un grand domaine spectral afin d'en obtenir le spectre complet. Mais pour cela, un outil mathématique est nécessaire, dû à l'origine au physicien Joseph Fourier (1768 – 1830). Il a montré qu'une fonction périodique quelconque pouvait être décomposée en une somme de fonctions trigonométriques, appelée *série de Fourier*. S'il s'agit d'une fonction temporelle $F(t)$ les fonctions trigonométriques seront de la forme $\cos(2\pi\omega_i t)$ avec chacune un coefficient a_i . L'ensemble des fréquences discrètes $1/\omega_i$, avec leurs intensités propres a_i forme le spectre associé à

la fonction $F(t)$. Elle peut représenter le son produit par un instrument de musique et cette décomposition donnera les fréquences sonores simples qui le constituent.

Plus tard, cette analyse fut appliquée à des fonctions $F(t)$ non périodiques. La fonction spectre associée n'est plus dès lors formée de fréquences discrètes mais par une fonction continue $G(\nu)$ de fréquence ν . L'opération de passage de $F(t)$ à $G(\nu)$ est appelée la *transformation de Fourier (T.F.)* et $G(\nu)$ la *transformée de $F(t)$* , en référence à l'auteur des séries de Fourier. Toute lumière couvrant un grand domaine spectral est décrite par un spectre représenté par une fonction $B(\sigma)$. En éclairant l'interféromètre de Michelson avec cette lumière et en augmentant δ à partir de 0, il génère en sortie un signal représenté par une fonction $B + I(\delta)$ avec B un terme constant, égal à l'intensité totale de la lumière entrée dans l'interféromètre et $I(\delta)$ l'*interférogramme*. L'opération réalisée par l'interféromètre s'écrit :

$$I(\delta) = \int B(\sigma) \cos(2\pi\sigma\delta) d\sigma \text{ ou } I(\delta) = \mathbf{T.F.}\{B(\sigma)\}.$$

Dans les cas simples des mesures faites par Michelson, une raie laser éclairant l'interféromètre est assimilable à une fonction représentée par un simple pic. La fonction circulaire qui décrit le signal de frange est bien la T.F. de la fonction pic et la courbe de visibilité d'une raie naturelle découverte par Michelson, la T.F. de la fonction décrivant le profil de cette raie. Réalisée naturellement par l'interféromètre, cette transformation constitue la base d'une méthode de spectroscopie car cette même transformation peut s'appliquer à $I(\delta)$, qui restitue la fonction $B(\sigma)$, le spectre recherché de la source :

$$B(\sigma) = \int I(\delta) \cos(2\pi\sigma\delta) d\delta$$

Ces deux transformations inverses résument le principe de la spectroscopie de Fourier.

Développements de la spectroscopie de Fourier

Michelson avait réalisé le principe de cette nouvelle méthode de spectroscopie mais n'avait aucun moyen de la mettre en œuvre, ce qui demandait d'enregistrer à la sortie de son instrument l'interférogramme d'une source puis le recours à un ordinateur pour en déduire le spectre. Il faudra donc attendre tous ces développements pour que la méthode prenne son essor. Avant cela, le physicien Peter Felgett (1922 – 2008) dans sa thèse en 1951 démontre l'avantage en sensibilité qu'aurait un spectromètre basé sur cette méthode, équipé avec les nouvelles cellules infrarouges (1 – 3,5 μm), comparé à un monochromateur, seul instrument alors pour accéder à ce domaine. Il appelle cette propriété *avantage multiplex* du fait que

l'instrument permet d'observer avec un seul détecteur tout le spectre, pendant tout le temps d'observation, alors que le monochromateur n'observe qu'une raie à la fois.

Le deuxième pionnier est le physicien Pierre Jacquinot (1910–2002) qui en 1954 montre que l'on peut éclairer l'interféromètre de Michelson avec une source étendue car il peut accepter une ouverture d'entrée circulaire et sera donc plus lumineux que le monochromateur qui demande une fente étroite. Il établit que le produit $R \times \theta$ est constant, avec R la résolution (voir article I) et θ le diamètre angulaire de l'ouverture d'entrée. Ensuite Jeanine Connes (1926–) dans le laboratoire de Jacquinot fait sa thèse en 1961 intitulée « *Recherches sur la spectroscopie par transformation de Fourier* » qui établit les bases théoriques de la méthode. Elle obtient en démonstration un premier résultat avec le spectre du ciel nocturne dans le domaine $1,6 \mu\text{m}$ à une résolution de 900, calculé sur un des premiers ordinateurs IBM. À partir de cette étape fondatrice, les développements se multiplient avec la construction dans de nombreux laboratoires et derrière des télescopes des spectromètres de Fourier dans l'infrarouge, dénommés communément FTS pour *Fourier Transform Spectrometer*. Les principaux domaines d'application sont d'abord l'astronomie avec comme premiers résultats notables publiés en 1969, des spectres infrarouges complets entre $1,17 - 2,53 \mu\text{m}$ des planètes Vénus et Mars, obtenus à l'Observatoire de Haute-Provence, à une résolution jamais atteinte de $R \approx 10^5$ sur ces sources, trois fois supérieure à celle alors des meilleurs spectres solaires. D'autres résultats sur un large domaine, à des résolutions même supérieures, sont obtenus sur des sources atomiques au laboratoire de Jacquinot.

La méthode sera découverte aux États-Unis grâce à une première conférence dédiée à cette méthode en 1970 dans le Colorado où les résultats spectaculaires obtenus en France sont présentés. Elle entraînera la construction de nombreux FTS astronomiques, en particulier pour les télescopes de Kitt Peak en Arizona (1975, 1979) et un autre (1980) installé à bord d'un avion équipé d'un télescope, le *Kuiper Airborne Observatory*. Ces succès incitèrent la NASA à installer un FTS couvrant le domaine 4 à $55 \mu\text{m}$ à bord des sondes Voyager 1 et 2. La première visitera Jupiter et Saturne entre 1979 et 80, tandis que la seconde survolera les quatre planètes géantes entre 1979 et 1989, l'une et l'autre délivrant des quantités de spectres inédits de ces planètes. Le nouveau télescope Canada-France-Hawaï (CFH) de $3,6 \text{ m}$ inauguré en 1980 est équipé d'un FTS infrarouge à haute

résolution qui fut à l'origine de nombreux résultats sur la composition des atmosphères planétaires, la physique stellaire et sur des régions de formation stellaire.

Conclusion

Le développement de la méthode s'est poursuivi, bénéficiant des progrès des détecteurs infrarouges et pour la spectroscopie moléculaire de laboratoire, dans l'étude détaillée de la composition de l'atmosphère terrestre et en astronomie. Là, elle s'est maintenue jusque dans les années 2000 mais depuis, son utilisation a décliné car le spectrographe à réseau s'est imposé avec les mosaïques de détecteurs comme indiqué dans l'article I. L'avantage multiplex qui avait fait la grande force du FTS a disparu au profit du spectrographe à réseau. Par cette propriété multiplex, un large spectre obtenu avec un seul détecteur, il se trouve pénalisé, car le détecteur reçoit un bruit venant de tout le domaine spectral couvert qui affecte tout le spectre, contrairement au spectrographe équipé d'une mosaïque de détecteurs, ce qui n'est pas acceptable car les sources astronomiques sont le plus souvent faibles.

Toutefois, le développement des mosaïques de détecteurs a permis de créer un nouveau type de FTS, appelé *FTS imageur* où le détecteur unique d'origine est remplacé par une caméra faisant l'image du champ d'entrée. Cette association permet alors d'enregistrer en parallèle sur un grand champ autant de spectres qu'il y a de pixels dans le détecteur et d'obtenir ainsi des cartes sur ce champ d'un gaz détecté par ses raies d'émission. Un tel instrument (figure 5) est en service au télescope Canada-France-Hawaï (CFH) depuis 2015, couvrant un champ de $11' \times 11'$, ce qui est sans équivalent dans le monde. Des projets dans d'autres domaines spectraux sont à l'étude. ■



Fig.5. Le FTS imageur dénommé SITELLE au foyer Cassegrain du télescope CFH. En vert, on voit les deux caméras pour le domaine $350 - 970 \text{ nm}$.

LECTURE POUR LA MARQUISE

La Terre ne tourne pas rond

Une histoire de formes et de mouvements

Xavier Campi – Cassini 2014



Que la Terre ne tourne pas rond, on s'en doutait quelque peu, mais ce livre nous raconte avec beaucoup de détails comment l'humanité est passée d'une vision harmonieuse du cosmos dans laquelle les astres sont animés de mouvements parfaits et immuables à des mouvements de plus en plus compliqués pour finalement envisager, à très long terme, des mouvements franchement chaotiques.

Le sous-titre (*Une histoire de formes et de mouvements*) indique le second sujet traité : comment la «*figure de la Terre*» a évolué dans le temps. Partant d'une sphéricité parfaite, elle est perçue ensuite comme un ballon de rugby puis sous forme d'une citrouille pour enfin acquérir un bourrelet à l'équateur. Cette nouvelle forme permettra d'expliquer, à l'aide des lois de la physique, le mouvement de précession et de nutation.

Auparavant il a fallu déloger la Terre de sa position privilégiée au centre du monde et pour cela attendre

le xvi^e siècle et la révolution dite copernicienne. C'est en 1543 que Copernic publie son ouvrage *De revolutionibus* peu de temps avant de mourir. Xavier Campi rappelle que la publication fut assortie d'une préface non signée qui, très probablement, n'aurait pas reçu l'aval de Copernic de son vivant. Elle fait écho à la *physique d'Aristote* qui estimait qu'il n'était pas nécessaire que les hypothèses géométriques soient vraies ou même vraisemblables du moment qu'elles décrivent correctement les phénomènes. Les astronomes grecs estimaient que l'essentiel était de «*sauver les apparences*».

L'ouvrage décrit ensuite les méthodes de géodésie géographique, de la quête d'une longitude fiable, au xviii^e siècle, jusqu'aux résultats les plus modernes.

L'ouvrage se révèle un précieux outil pédagogique pour les enseignants. Il décrit soigneusement les nombreuses méthodes de mesures utilisées à l'époque. À la fin de chaque chapitre se trouve une chronologie précise des événements historiques, un résumé du chapitre et des notes complémentaires détaillées. On trouve également en bas des pages d'autres notes particulièrement intéressantes qui apportent de précieuses informations ou des anecdotes peu connues. Elles illustrent l'ampleur du travail et le sérieux des recherches effectuées par l'auteur.

Je relève par exemple deux anecdotes :

- L'abbé Piccard aurait commis une erreur de 1/1 000 dans la longueur de sa base de triangulation et donc sur la longueur de degré de méridien. Cette erreur entraîna celle de Cassini qui arriva à la conclusion erronée que la Terre était allongée aux pôles alors que Newton la déclarait aplatie.
- Le tremblement de Terre du 11 mars 2011 au Japon aurait modifié la position du pôle Nord d'environ 15 cm vers l'est et raccourci la durée de ce jour de 1,8 μ s.

À la fin du livre on trouve un glossaire et des annexes dont le niveau correspond à celui des classes terminales scientifiques. Enfin on appréciera une bibliographie soigneusement corrélée avec le contenu de l'ouvrage.

Un livre à recommander aux enseignants.

Christian Larcher

LECTURE POUR LA MARQUISE

À la recherche de l'univers invisible

Matière noire, énergie noire, trous noirs

David Elbaz ; Odile Jacob 2016



Cet ouvrage est divisé en deux parties respectivement intitulées: *La face cachée de l'univers et les cinq illusions cosmiques*.

La première partie se présente comme une grande fresque historique dévoilant les mystères de l'Univers à partir de l'étude du ciel nocturne et ses «*quelques notes blanches sur une partition noire*»

qui rappellent à l'astronome le rapport entre les connaissances acquises et celles qui restent à découvrir. Cette lumière nous parle des astres mais aussi des hommes qui l'observent. Ce voyage dans l'espace et le temps nous conduit du monde visible au monde invisible. L'Univers se révèle à ceux qui savent voir l'invisible en étudiant les influences gravitationnelles sur le mouvement des astres lumineux. Dans ce monde obscur émergent trois notes noires, celles «*du triolet de notre ignorance: matière noire, énergie noire et trous noirs*», et le lien mystérieux qui semble les relier. Vous l'avez compris une étude scientifique minutieuse n'exclut pas des remarques philosophiques et des images poétiques.

Ce voyage à la frontière du monde obscur révèle le paradoxe d'un univers dont la lumière naît de l'obscurité, avant d'y retourner. Faut-il imaginer de nouvelles théories ou faut-il dénoncer l'incomplétude de celles-ci ? À moins que cette incomplétude ne soit qu'une illusion...

Dans la deuxième partie du livre l'auteur expose les théories qui proposent des réponses à l'énigme des *trois notes noires*: matière noire, énergie noire et trou noir. Il énonce cinq types d'illusions qui pourraient expliquer cette part inconnue de l'univers:

- **l'illusion uranienne.** Elle fait allusion à la découverte de la planète Neptune par Le Verrier comparant l'écart entre la trajectoire calculée et la trajectoire observée d'Uranus. La matière noire joue aujourd'hui le même rôle que la planète Neptune initialement cachée ;

- **l'illusion mercurienne.** L'orbite de Mercure située très près du Soleil ne suivait pas non plus exactement

la loi de Newton. Le Verrier en conclut logiquement que la différence résultait d'une planète inconnue qu'il nomma Vulcain mais celle-ci ne fut jamais trouvée. L'explication fut donnée plus tard par la théorie de la relativité générale qui modifiait la loi de Newton.

Est-ce qu'une nouvelle modification de la loi de Newton ne pourrait pas expliquer les effets attribués à l'existence de la matière noire et de l'énergie noire ? C'est l'hypothèse de la théorie MOND (Modified Newtonian Dynamics) ;

- **l'illusion martienne.** Quand on observe régulièrement la position de la planète Mars dans le ciel on découvre parfois que celle-ci s'arrête, fait demi-tour puis repart dans le sens initial. On dit qu'elle a un mouvement rétrograde. Ce mouvement apparent n'existe plus lorsque l'on met le Soleil au centre du système. Certains chercheurs pensent de même que la position particulière de la Terre dans l'Univers expliquerait ce que nous attribuons à l'énergie noire.

- **l'illusion du quatrième type:** la maya cosmique.

Cette illusion serait semblable à l'image projetée dans la caverne de Platon. Il nous faut sortir de la caverne pour percevoir la réalité. Mais notre univers pourrait aussi n'être qu'un objet à deux dimensions, l'illusion d'une troisième dimension résulterait d'un effet holographique ;

- **l'illusion narcissique:** dans quelle mesure l'image du ciel que nous observons est-elle la réalité ? Sommes-nous libérés du reflet de notre propre image dans nos descriptions scientifiques ? Quelle part de notre monde intérieur projetons-nous dans nos interprétations ? Toute création scientifique se nourrit de la culture d'une époque anthropocentrique.

La lecture de ce livre est un vrai plaisir, il est clair et facile à lire. L'auteur, astrophysicien au laboratoire de Cosmologie du CEA, réussit habilement à décrire l'état actuel de nos connaissances dans son domaine; parfois il n'hésite pas à utiliser de belles analogies musicales ou poétiques, tout en étant très conscient des limites de l'exercice.

Comment être à la fois dans l'Univers et vouloir s'en extraire par la pensée pour en dire quelque chose d'objectif ?

Christian Larcher



ARTICLE DE FOND

Mission sans fin ?

Cécile Ferrari, Professeure à l'Université Paris Diderot

En cette fin d'été 2017, la mission Solstice, troisième phase de la mission Cassini, se termine en apothéose dans un « Grand Finale » à la mesure de la portée à donner à la fin de cette mission incomparable, dédiée à l'étude du système de Saturne. Vingt ans écoulés depuis son lancement en 1997. Et pendant ce temps-là les sondes Voyager courent toujours... Le « Grand Tour » continue.

Quarante ans déjà qu'elles avancent ! Les 5 septembre et le 20 août 1977, les sondes Voyager 1 et Voyager 2 partent pour ce qui s'annonce être le « Grand Tour ». À l'instar de la grande aventure des Cahiers Clairaut qui démarre alors et que nous fêtons dans ce numéro 160 !

Ces missions démarrent dans le contexte d'une concurrence difficile à budget restreint de la NASA, entre la fin des missions lunaires dépensières, la préparation du télescope spatial Hubble et le début du programme des navettes spatiales. Mais l'occasion est unique et trop belle de profiter d'un alignement relatif des planètes géantes du Système solaire pour les visiter toutes en un temps record. Ces occasions-là ne se répètent effectivement que tous les 175 ans et nous sommes alors prêts technologiquement pour une telle aventure. En effet, l'expérience acquise avec les sondes Mariner dans l'exploration de la planète Mars du début des années 70, va être mise au service de la construction des sondes Voyager, de leur instrumentation scientifique, du système de commande et de contrôle d'attitude. Les deux sondes vont être équipées de réserve radioactive de plutonium 238 (environ 4,5 kg) dont la chaleur produite est convertie en puissance électrique, à hauteur de 470 W en début de mission, pour fournir l'énergie nécessaire à leur fonctionnement loin du Soleil, là où des panneaux solaires ne sont plus suffisants. Cette réserve s'amenuise évidemment naturellement à mesure que le temps passe... Mais elle va donner aux sondes une longévité d'une soixantaine d'années dont il faut profiter.

On ne louera jamais assez l'apport de connaissances réalisé par ces deux missions dans la connaissance des planètes géantes, de leurs satellites et de leurs anneaux, jusque-là inconnus ou réduits à des points de lumière, lors de leurs survols de Jupiter, Saturne (les deux entre 1979 et 1981) et d'Uranus (1986) ou de Neptune (1989) par Voyager 2. En 1989, alors que Voyager 2 survole Neptune, que la mission Cassini émerge des esprits et que la sonde Voyager 1 se situe



Fig.1. La sonde Voyager 1. On distingue son antenne de communication de 3,6 m, ses réserves de plutonium (RTG) sur le bras de gauche et la plateforme de télédétection à droite. Crédit: NASA.

à 40 UA du Soleil, force est de constater que les deux jumelles sont en bonne forme, aptes donc à un service prolongé. À l'instar des phases de la mission Cassini vingt ans plus tard, les objectifs scientifiques de mission sont redéfinis et la phase «Voyager Interstellar Mission» débute.

Les sondes vont avoir pour mission désormais de délimiter le Système solaire, de mesurer en tous les cas la limite d'influence du vent solaire, ce flux

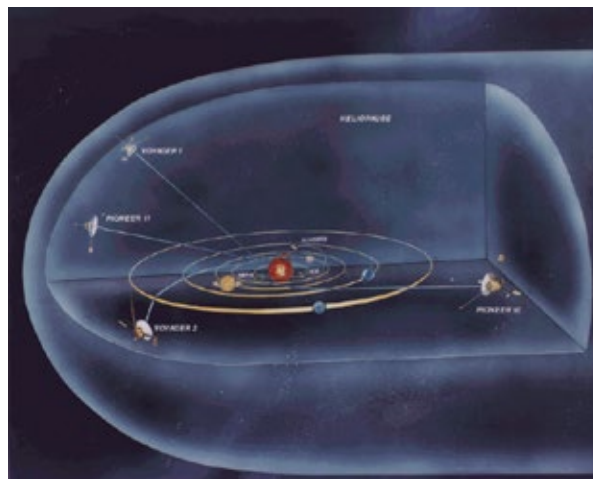


Fig.2. Trajectoires des sondes Voyager, Pioneer.

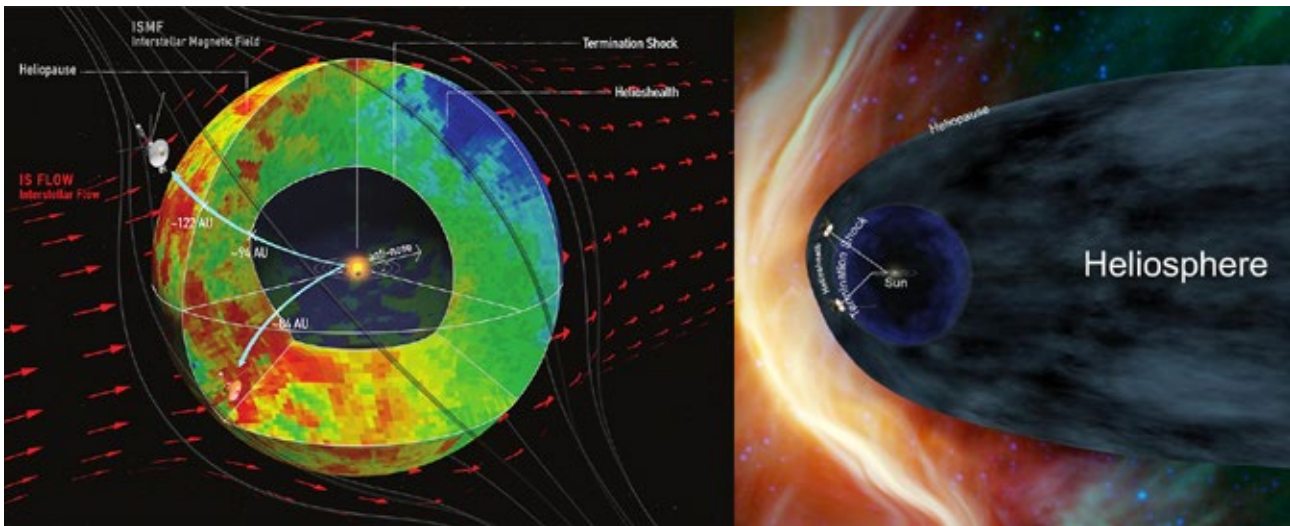


Fig.3. Schéma de modèles de l'héliosphère telles qu'on l'imagine désormais grâce à la Mission Voyager Interstellaire. Le modèle de gauche suggère une héliosphère compacte alors que celui de droite envisage une queue plus étendue. Crédit NASA/Caltech/JPL

d'ions et d'électrons émis par le Soleil à des vitesses supersoniques dans toutes les directions. À l'endroit du choc terminal (en anglais Terminal Shock), ces particules freinées par les particules du milieu interstellaire ralentissent à des vitesses subsoniques. Passé ce choc, elles progressent alors dans l'héliogaine (en anglais Heliohealth) et y déposent beaucoup d'énergie, ce vent est comprimé dans son interaction avec le vent interstellaire et forme l'onde de choc, dont la limite extérieure est l'héliopause. Passée cette limite, la mission des deux sondes sera de caractériser les vents stellaires ici dominants. Le pilotage scientifique est alors désormais assuré par le Département d'hélio-physique de Caltech/JPL.

Quatre instruments fonctionnent encore à la poursuite de ces objectifs, le magnétomètre, la mesure des particules chargées de basse énergie, la mesure des plasmas et celle des rayons cosmiques, qui sont en majorité des protons de haute énergie. Les sondes enregistrent leurs données à bord trois fois par semaine et les renvoie sur Terre six fois par an vers la grande antenne de 70 m de Goldstone ou celles plus petites de Madrid ou Canberra (<https://eyes.nasa.gov/dsn/dsn.html>).

C'est à l'orée des années 2000 que le débat prend de l'ampleur après la publication de résultats contradictoires quant à la position effective de la sonde Voyager 1 dans l'héliogaine. Débat qui sera

clos en 2005, tout le monde s'accordant à dire que le choc terminal a été franchi. Voyager 1 est alors à une distance d'environ 96 UA du Soleil. Voyager 2 entre dans l'héliogaine en 2007 à une distance de 84 UA.

On comprendra par la suite qu'au rythme des éruptions solaires, le vent solaire varie et donc l'héliosphère pulse, entraînant une variation de la position du choc terminal. Les réserves électriques sont en 2007 de 285 W environ.

Le 25 août 2012 les mesures de Voyager 1 montrent que le flux de rayons cosmiques a bien augmenté et qu'à contrario le flux de particules chargées a drastiquement diminué, démontrant que la sonde est désormais dans le milieu interstellaire à quelques 120 UA du Soleil. Elle est actuellement à 140 UA. Un tel phénomène n'est pas encore apparu dans les données de Voyager 2. On s'attend à ce qu'elle atteigne l'héliopause d'ici 2020. Elle est actuellement à 115 UA du Soleil. L'aventure continue donc. On prévoit l'extinction des bougies pour 2025, la fin de la mission, un peu tôt pour fêter les 50 ans ! ■

P.-S. On pourra suivre l'actualité des sondes Voyager à la page <https://voyager.jpl.nasa.gov/> et leur distance, ainsi que les taux de rayons cosmiques, à la page spécifique du site <https://voyager.jpl.nasa.gov/mission/status/>.

Solutions des mots croisés

Horizontalement

1. Association. 2. Stellarium. 3. Tac. APLF (Association des Planétariums de Langue Française). CC (Cahiers Clairaut !). 4. Réuni. ESO (European Southern Observatory). 5. OL. Arts. Bra (Brahic...). 6. Épar. Club. 7. OHP. Close. 8. Muette. ENS. 9. Énée. Stages.

Verticalement

1. Astronome. 2. Staël (Nicolas de). Hun. 3. Sécu. Épée. 4. ol. NAP (Nouvelles Activités Périscolaires). Té. 5. Clairaut. 6. IAP (Institut d'Astrophysique de Paris). Tr. Ès. 7. Arles. 8. Tifs. CLEA. 9. iu. Oblong. 10. OMC. Russe. 11. Crabe.

PAGES SPÉCIALES 40 ANS



Comment retrouver des articles ?	p 44
Extraits du n° 1 (sommaire, éditorial, petits problèmes)	p 44
Les Cahiers Clairaut, pourquoi ce titre ?	p 45
Lecture pour la Marquise, pourquoi ce titre ?	p 45
Quarante années de couverture	p 46
Réflexions sur l'astronomie et l'enseignement des sciences	p 48
Quarante années de maquettes	p 53

Nous fêtons avec ce numéro 160 les quarante ans des Cahiers Clairaut. Entre le n° 1 daté du printemps 1978 et le n° 160 de l'hiver 2017, la différence de présentation est nette. Nous sommes passés d'une revue ronéotée en noir et blanc et agrafée à la main, à une revue imprimée en couleur de qualité quasi professionnelle faite pourtant toujours par des amateurs bénévoles. La revue dont Gilbert Walusinski s'est occupé dès son lancement a évolué au cours des années avec Martine Bobin puis Georges Paturel, ses successeurs, jusqu'à aujourd'hui. Mais l'esprit est néanmoins resté le même. Il suffit pour s'en convaincre de feuilleter les premiers numéros dont les articles sont, pour la plupart, toujours d'actualité. Vous trouverez dans les pages qui suivent quelques traces bien incomplètes de ces 40 années d'articles autour de l'astronomie et de son enseignement.

Comment retrouver des articles ?

Quarante années des Cahiers Clairaut, c'est 160 numéros et une documentation importante pour enseigner l'astronomie.

Rappelons que tous les numéros de plus de trois ans sont en libre accès sur Internet. Sur le site du CLEA, vous pouvez effectuer des recherches par mot clé, par mot du titre, par auteur, ou par année. Pour cela, il suffit d'aller sur le site clea-astro.eu et de cliquer sur Archives des Cahiers Clairaut.



Quelques extraits des tout premiers numéros

LES CAHIERS CLAIRAUT N° 1 Printemps 1978 SOMMAIRE

Les Cahiers Clairaut, pourquoi ce titre ?	Pourquoi l'homme dessine-t-il les étoiles avec des pointes ?
Éditorial	Pourquoi, quand la nuit tombe, des étoiles apparaissent ?
Avant-projet de programme de Sciences Physiques de la classe de 4ème	Comment obtenir un spectre ?
Quand sommes-nous plus près du Soleil, à midi ou le soir ?	Bibliographie
Courrier des lecteurs	Enseignement de l'Astronomie en Terminale C
Questions... avec ou sans réponses	Le phénomène de l'arc-en-ciel
Anciennes mesures de distances en astronomie (1)	Annonces
	Petits problèmes

« Lors des différentes manifestations au cours desquelles des enseignants du secondaire et des astronomes ont eu l'occasion de se rencontrer (activités de 10 %, journées "portes ouvertes", colloque de Grenoble en 1976, école d'été de 1977...) l'intérêt s'est clairement manifesté pour la création d'un journal de liaison. C'est pour répondre à ce désir que sont nés les "Cahiers Clairaut". Dans notre esprit, ils devraient constituer un réel moyen d'information et de dialogue. En particulier, la rubrique "Courriers des lecteurs" devrait connaître un large développement.

Les Cahiers Clairaut seront ce que vous en ferez. C'est à vous qu'il appartient de définir les rubriques à développer ou celles à créer. De nous décrire les problèmes que vous rencontrez pour enseigner de l'astronomie, les solutions que vous cherchez, de raconter ce que vous avez réalisé... » (...)

Éditorial du n° 1 des Cahiers Clairaut par Lucienne Gouguenheim, printemps 1978

Quelques-uns des petits problèmes du n° 1

En 1978, l'équinoxe de printemps a lieu le 20 mars à 23 h 34 min (TU). La plupart des calendriers reproduisent cette information exacte. Pourquoi ont-ils tort ?

Quel rapport y a-t-il entre l'hortensia, la comète de Halley et le passage de Vénus devant le Soleil au XVIII^e siècle ?

Y a-t-il un astre qui, un jour par mois, ne passe pas au méridien de l'observateur ? Lequel et pourquoi ?

Quand on est au pôle Nord, comment sait-on qu'il est midi ? (réponse d'un astronome qui avait les pieds sur Terre : « quand on a faim. »).

Les «Cahiers Clairaut» : pourquoi ce titre ?

D'abord parcequ'il en fallait un .

On avait pensé à "Cahiers de Meudon" puisque ce sont des Astronomes travaillant à l'observatoire de Meudon qui en ont eu l'idée et qui la réalisent. Mais c'était privilégier ce lieu, cet observatoire alors que Astronomes et Enseignants, où qu'ils travaillent, sont invités à y collaborer.

Vint alors le nom de Clairaut. Ce jeune mathématicien génial, entré à 18 ans à l'Académie des Sciences, eut tôt fait d'y défendre les idées de Newton contre les tenants attardés de la physique des tourbillons. Avec Maupertuis, il participe à l'expédition de Laponie qui, en confirmation des prévisions de Newton, permit de conclure au renflement équatorial de la Terre. C'est encore lui qui, au premier retour prévu de la comète de Halley, précisa cette date en tenant compte des perturbations causées par les grosses planètes. Tous travaux dignes d'un bon astronome de ce temps. Sans oublier, tâche plus aimable les bons conseils (trop nombreux, disait Voltaire) qu'il donna à la Marquise du Châtelet pour sa traduction des Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle.

Ce n'est pas tout. Clairaut fut aussi professeur de mathématiques. Dans la préface de ses Eléments de Géométrie (1741), il écrivait: "J'ai pensé que cette Science, comme toutes les autres, devait s'être formée par degrés: que c'était vraisemblablement quelque besoin qui avait fait faire les premiers pas et que ces premiers pas ne pouvaient pas être hors de la portée des Commençans, puisque c'étaient les Commençans qui les avaient faits."

Les membres du C.L.A.E., qu'ils soient Astronomes ou Enseignants ou les deux à la fois, ne peuvent-ils en dire autant ? S'ils se sont réunis, s'ils ont décidé de discuter, de se concerter, n'est-ce pas justement pour aider à faire "les premiers pas" en Astronomie ?

La Rédaction

Reproduction de la page 3 du n° 1 des Cahiers Clairaut, printemps 1978

Remarquez que le CLEA s'appelait encore CLAE !

«Lecture pour la Marquise» ; pourquoi ce titre ?

Lectures pour la Marquise

Vous savez que les relations de Clairaut et de la Marquise du Châtelet furent très intimes. Clairaut put ainsi conseiller la Marquise de très près dans sa traduction des Principes mathématiques de la philosophie naturelle de Newton. Aussi avons nous eu l'idée de dédier au souvenir de la savante marquise ces éléments de bibliographie utiles (nous le souhaitons) aux enseignants et aux astronomes, c'est à dire à ceux qui aujourd'hui poursuivent à leur façon l'oeuvre de l'amie d'Alexis... °°

Extrait de la page 23 du numéro 5 des Cahiers Clairaut

40 années de couvertures

40 années de couverture



Le numéro 1 de la revue est daté du printemps 1978. La couverture représente un télescope de l'époque de Clairaut, gravure proposée à l'époque par Gilbert Walusinski. Cette illustration a servi pendant plus de 9 ans, jusqu'au n° 38.

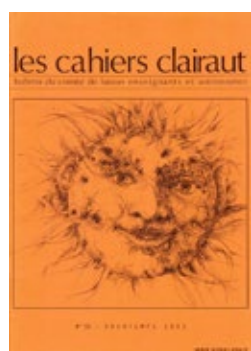


Le deuxième dessin de couverture représente le télescope de l'ESO situé à Hawaï. Ce même dessin servira pour 10 numéros, du 39 au 48. Daniel Bardin réalise les dessins de couverture à partir de ce numéro et jusqu'en 2005.

À partir de 1990, la couverture change chaque année.



1990. Survol de Neptune par Voyager 2.



1991. Maximum d'activité solaire.



1992. Observer le ciel pour mieux connaître la Terre.



1993. *De Revolutionibus* de Copernic a 450 ans.



1994. Le CLEA sur la planète Mars.



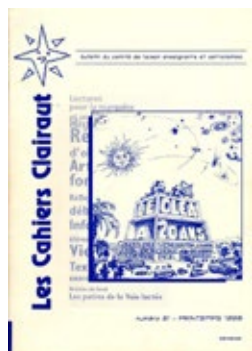
1995. 300^e anniversaire de la mort de C. Huygens.



1996. Naissance de l'EAAE (European Association for Astronomy Education)



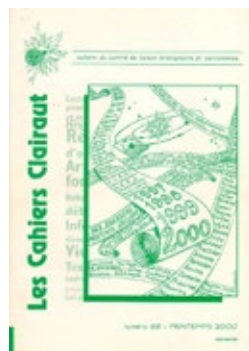
1997. Passage de la comète Hale-Bopp.



1998. Les 20 ans du CLEA.



1999. Éclipse totale de Soleil en France.



2000. Dernière année du XX^e siècle.



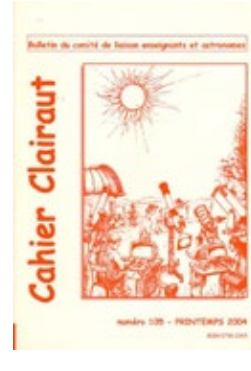
2001. L'odyssée de l'espace.



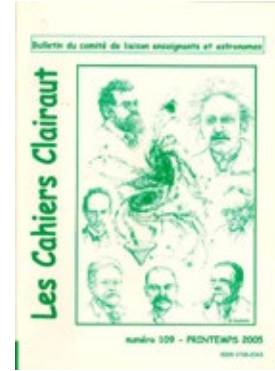
2002. Année palindrome.



2003. Opposition périhélitique de Mars.



2004. Passage de Vénus devant le Soleil.



2005. Les 100 ans de la relativité restreinte



2006. Lunette coudée de l'observatoire de Lyon.



2007. Le télescope de 80 cm de l'OHP.



2008. Le radiotélescope de Nançay.

À partir du n° 125 (printemps 2009), il est décidé de réserver 20 pages soit la moitié du numéro pour l'étude d'un thème. La couverture change alors à chaque numéro. Voici les 35 couvertures de 2009 à 2017, en lien avec le thème de chaque numéro..



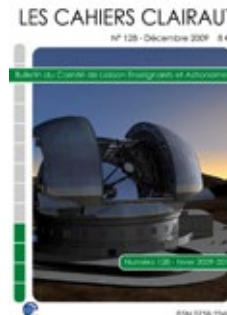
125. Constellations.



126. Terre et rotation.



127. La planète Mars.



128. Les instruments.



129. Les saisons.



130. Jupiter



131. Les éclipses.



132. Les couleurs.



133. Saturne.



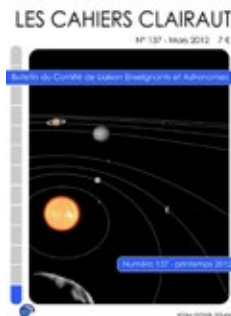
134. Cadran solaire.



135. Le zodiaque.



136. Les calendriers.



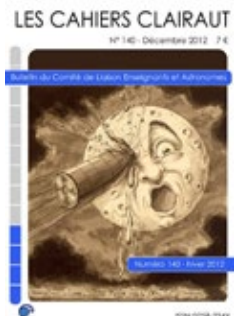
137. Les distances.



138. Points cardinaux.



139. La Lune (1).



140. La Lune (2).



141. Les comètes.



142. La gravitation.



143. Le Soleil.



144. Instruments.



145. Les étoiles (1).



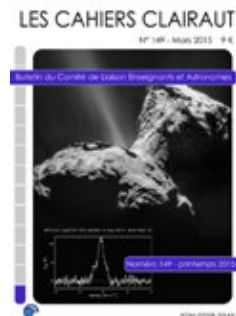
146. Imaginaire.



147. Le temps.



148. Vénus.



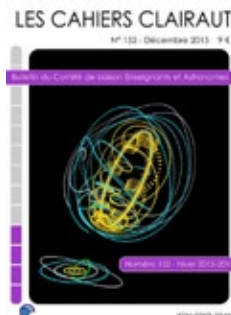
149. L'eau.



150. La lumière.



151. Orbites (1).



152. Orbites (2).



153. Mercure.



154. Les étoiles (2).



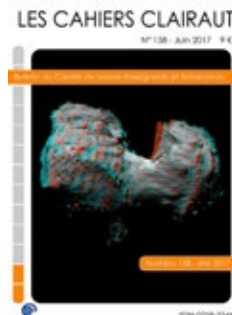
155. Le repérage.



156. Les images.



157. La littérature.



158. Astro en 3D.



159. Les galaxies.

Quelques réflexions sur l'astronomie et son enseignement

Le CLEA et l'enseignement de l'astronomie (Lucienne Gouguenheim, CC n° 63, 1993)

L'astronomie est jusqu'ici très peu présente dans les programmes. Si l'on excepte les notions introduites au CM2 et la partie «optique» du programme de 4^e, on peut dire qu'elle fait essentiellement l'objet d'activités périscolaires, généralement au collège (clubs, PAE...), ou de disciplines scientifiques pour filières littéraires. Certains enseignants et / ou manuels de sciences physiques choisissent aussi d'illustrer des lois physiques du programme par des exemples astronomiques.

Le CLEA est né il y a une quinzaine d'années de la rencontre d'enseignants et d'astronomes de profession, à l'occasion de ce que l'on appelait alors «10% d'activités libres»; invités par des enseignants à venir les aider à répondre à l'intérêt que leurs élèves manifestaient pour la science de l'Univers, ces astronomes ont pris conscience de la très forte motivation des élèves et de la non moins forte demande d'information et de formation manifestée par les enseignants. Convaincus de la richesse du champ que couvre l'astronomie, de sa pluridisciplinarité et du rôle moteur que peut jouer la motivation d'un élève pour l'amener à consentir l'effort que nécessite tout apprentissage, ils ont investi leur énergie pour créer les premières écoles d'été et stages académiques de formation (les MAFPEN n'existaient pas encore; les Universités d'Été non plus...), et divers documents pédagogiques dont les Cahiers Clairaut qui se veulent, nos lecteurs le savent, un lieu d'échange.

Notre objectif essentiel me semble être de développer chez les jeunes le goût et la pratique de la démarche scientifique et de la démarche expérimentale. S'opposant à la tendance actuelle de notre société, amplifiée par les médias, à procéder par affirmation, à l'utilisation généralisée qui est faite de l'argument d'autorité (les «savants» savent..., et sont d'autant plus savants que leur discours est plus hermétique...), l'enseignement général scientifique me paraît avoir pour objectif premier, avant de former les futurs spécialistes d'une discipline, ou même de susciter les nécessaires vocations scientifiques, d'apprendre à tous la démarche scientifique, dans ce qu'elle a à la fois d'imaginatif et de rationnel, son va-et-vient entre l'observation (ou l'expérience) et la

théorisation, à apprécier le degré de certitude d'une connaissance, la nécessité d'utiliser un outil élaboré (qu'est le formalisme), sans pour autant que l'arbre-outil masque la forêt des phénomènes que l'on veut comprendre...

Enseignants et astronomes réunis dans les activités du CLEA, nous sommes enthousiastes. Nous avons, au long des années, imaginé, réalisé, adapté, modifié, transmis de nombreuses activités variées, dont les caractéristiques essentielles me semblent être de reposer sur la pratique, observation ou expérience, et de laisser le champ libre à l'imagination de chacun et à l'adaptation qu'il souhaite en faire; nous avons toujours œuvré dans un climat de liberté et de rencontre à la fois des disciplines et des ordres d'enseignement. Nous voudrions que passe dans la pratique enseignante ce même climat d'enthousiasme, de liberté et de collaboration entre disciplines.

Abordons-nous aujourd'hui un tournant dangereux, avec l'introduction d'éléments d'astronomie dans les nouveaux programmes - essentiellement du lycée ? Certains le pensent et nous l'ont dit ou écrit: actuellement «cerise sur le gâteau» ou encore «espace de liberté», l'astronomie va-t-elle perdre son attrait en entrant dans le carcan des programmes qui tendent à tout codifier ? Quels types de contrôle va-t-on imaginer (reproduire de mémoire le diagramme HR des étoiles, ou décrire une observation «théorique» sans l'avoir jamais faite ?). Certains regrettent que l'astronomie n'ait pas été introduite en tant que telle, comme une nouvelle discipline à part entière. D'autres au contraire craignent qu'elle ne morde sur des programmes de physique déjà trop réduits, empêchant des apprentissages fondamentaux plus essentiels, qu'elle ne soit qu'un «gadget» un peu futile... Trop obnubilé par la présence effective d'éléments d'astronomie dans les programmes, le CLEA a-t-il accepté sans clairvoyance les éléments d'une réforme qui réduit la part de l'enseignement de la Physique ou celle des exigences de formalisme ? Parce que des éléments d'astronomie apparaissent dans les programmes des Sciences de la Terre, faut-il s'émouvoir que l'on cherche à faire enseigner «de la physique» aux naturalistes, dépossédant par là même les physiciens ?

S'il n'est pas possible de réconcilier tous ces points de vue, peut-être convient-il de recentrer nos réflexions et notre action sur nos objectifs fondamentaux, tels qu'ils sont formulés plus haut. Prenant acte de ce qui est proposé dans les programmes, tels qu'ils sont actuellement connus, comment les utiliser au mieux pour promouvoir la démarche scientifique et expérimentale, situer l'exigence au niveau de la compréhension des phénomènes et pas uniquement de leur transcription dans un langage mathématique, mais en conduisant cependant les élèves jusqu'au bout de la démarche d'abstraction ?

Plutôt qu'une discipline, l'astronomie est un champ, qui utilise les acquis d'autres sciences (physique, chimie, géologie, biologie...) et qui a sa propre problématique. Les programmes l'abordent, modestement, de façons diverses et complémentaires. Celui des Sciences de la Terre, essentiellement, situe la Terre dans son environnement et en la comparant aux autres planètes du Système solaire : il traite du Soleil en tant que source d'énergie principale. Il donne au concept d'évolution une dimension différente de celle qu'en ont généralement les biologistes : l'évolution de la planète Terre entretient avec le monde du vivant des relations complexes, dont l'intérêt ne se limite pas à la compréhension de la vie en général et de celle de l'Homme en particulier ; l'évolution se fait aussi indépendamment du monde du vivant.

Il me semble que la partie la plus originale des programmes de première en filière scientifique est l'introduction de l'option de « sciences expérimentales ». Après bien des aléas, et en particulier la possibilité donnée un certain temps, et heureusement retirée, de reconstituer une filière d'excellence sélectionnée par les mathématiques, analogue à la filière C actuelle, grâce à l'introduction d'une option de mathématiques, elle paraît pouvoir donner cet « espace de liberté », où l'enseignant peut choisir sa façon de traiter les thèmes et laisser les élèves définir le protocole expérimental ou travailler en petits groupes. Où le contrôle des acquis doit pouvoir se faire autrement que par la seule résolution d'un problème formel et l'application de « recettes ». Parmi les thèmes de physique, U1 : « Observateurs et mouvements » et U3 : « Rayonnement et couleur » peuvent aisément s'illustrer par de jolis problèmes astronomiques. Le Groupe Technique de physique a suggéré des exemples et cité les documents du CLEA dans le Document d'Accompagnement qui circule actuellement dans une version provisoire. Le Groupe Technique STU a fait de même pour la partie « sciences de la Terre ».

Il nous appartient de valoriser au mieux les acquis du CLEA, d'une part en les diffusant sous la forme la plus facilement accessible, et d'autre part en démultipliant les actions de formation. C'est dans cette perspective que les équipes CLEA de Marseille, d'Orsay et de Strasbourg, ont organisé cet été 3 Universités d'Été, dans lesquelles elles ont cherché à répondre simultanément aux attentes des physiciens et des naturalistes, tout en se plaçant dans une perspective globale. Nous nous sommes efforcés ainsi de démultiplier le nombre de formateurs capables de développer à leur tour des actions de formation académiques.

Celle de ces Universités d'Été à laquelle j'ai participé, a fonctionné de façon un peu différente des années passées : nous avons limité le nombre d'activités et leur diversité à des thèmes directement exploitables avec les élèves, réservant du temps aux discussions pédagogiques. Il est tout à fait remarquable que les collègues qui ont participé à cette Université aient à maintes reprises attiré l'attention sur la nécessité de mener concrètement les observations. Nous courrions le danger, tous ceux d'entre nous qui ont déjà eu cette pratique centrée sur les observations, de ne plus retenir, dans le message que nous voulons diffuser largement, que l'interprétation, appuyée éventuellement sur un document de substitution. C'est bien, nous disaient-ils d'utiliser les relevés de taches solaires faits par d'autres pour en déduire que le Soleil tourne sur lui-même, et avec quelle période, mais il faudrait que tout élève à qui l'on proposera cet exercice ait effectivement l'occasion de former lui-même au moins une fois l'image du Soleil sur un écran et d'y identifier une tache. À cette condition-là, l'exercice échappera à devenir académique. La même remarque vaut pour la mesure de la constante solaire par échauffement d'un bloc de laiton : il est essentiel de s'appuyer sur une l'expérience réelle, même si elle doit comporter une certaine imprécision, ou faire appel à un facteur correctif à rechercher dans une table et dont on ne peut pas expliquer complètement l'origine (extinction atmosphérique).

Les deux exemples d'activité pratique que je viens de citer illustrent la possibilité de collaboration entre physiciens et naturalistes : le thème « Soleil » proposé en Sciences de la Terre pourrait en effet donner lieu à un enseignement de sciences expérimentales véritablement pluridisciplinaire. Quelques uns des stagiaires de Gap avaient le désir de tenter l'expérience...

[...]



À propos des deux cultures (Evry Schatzman, CC n° 39, 1987)

C.P. Snow, en 1959, posait le problème des deux cultures en notant à quel point la littérature anglaise avait pu ignorer dans tout le siècle qui venait de s'écouler l'explosion de savoir scientifique, l'envahissement de la technologie, sa domination et sa présence dans la vie quotidienne. Dans un monde où l'essentiel des décisions se rapportent en définitive à des questions de savoir scientifique et technologique, (par exemple : comment assurer le développement et la compétitivité de l'industrie française ?), ceux qui ont le pouvoir de décider témoignent d'une inculture et d'une ignorance stupéfiantes dans les domaines clés de la science et de la technique. Un dossier publié par la Recherche en décembre dernier sur l'entreprise et la recherche est accablant à ce sujet.

À défaut de pouvoir intervenir pour que les media diffusent un peu de culture et pas seulement de la distraction, on peut songer aux générations montantes, aux générations qui, dit-on, compteront six cent mille bacheliers par an en l'an 2000, et qui, au nombre de deux millions fréquenteront l'université. On peut espérer leur donner un peu de ce savoir qui fait tomber le voile de mystère qui entoure, en fait, presque tous les instants de la vie quotidienne¹.

Je tiens, quant à moi, à l'importance essentielle des notions suivantes :

1 - Il y a des lois de la nature ; l'énoncé d'une loi de la nature se rapporte au monde réel qui nous entoure, la loi décrit la façon dont se déroule toute une classe de phénomènes ou de processus. Exemple : la loi de la chute des corps.

2 - L'universalité des lois de la nature. Ce qui est vrai sur Terre est vrai sur la Lune, ce qui est vrai dans notre Galaxie est vrai dans Andromède. Exemple : la loi de la gravitation universelle.

3 - La connaissance des lois de la nature permet de concevoir des outils, des instruments nouveaux, de faire de nouvelles inventions. Exemple : la découverte des semi-conducteurs et de leurs propriétés a permis de construire des transistors, et, de façon générale de construire des circuits électroniques de très petite dimension.

Ces trois notions sont importantes et une fois assimilées structurent la pensée et la réflexion de façon rigoureuse. Elles écartent la croyance aux fausses sciences et au surnaturel ; elles relativisent les vérités humaines en affirmant la force des vérités de la nature et éveillent l'esprit critique, elles permettent de faire la distinction entre science et technique. Cette dernière différence est difficile à saisir, bien que la découverte scientifique et l'invention technique procèdent de deux modes de pensée entièrement

¹ Il suffit pour s'en apercevoir de s'interroger sur les bases technologiques des « instruments », « outils » et « produits » dont on se sert constamment, et sur le savoir scientifique qui a permis de les construire ou de les fabriquer.

différents : dans le premier, on découvre des choses qu'on ne savait pas ; dans le second, on invente en se servant des choses que l'on sait. L'apprentissage de cette différence par le plus grand nombre possible de gens me paraît nécessaire si l'on souhaite que le développement scientifique puisse continuer : c'est la seule façon de comprendre l'importance de la recherche scientifique.

L'astronomie et l'astrophysique me paraissent des domaines privilégiés pour illustrer les trois notions que je viens d'évoquer. Il ne s'agit en aucune manière de détruire cette partie de la culture dont les sources se trouvent en définitive dans les domaines des affects, des émotions, des sentiments ou même des croyances, mais de donner les moyens de faire face à l'oppression technique dont je parlais plus haut, de la dissocier du rôle du savoir scientifique (je noterai en passant : le savoir scientifique ne se vend pas ; la capacité de l'appliquer, au contraire, se vend très bien), de faire naître une catégorie de décideurs dont la gloire soit liée non aux petits succès immédiats, mais aux grands succès à terme.

Ce qui est à la fois un avantage et un inconvénient de l'astronomie est son lien millénaire à la vie humaine, avec tout le symbolisme qui a été vu dans le mouvement des astres, véritable projection de l'âme humaine sur le ciel. Reconnaître la réalité physique des astres et de leurs propriétés, c'est un peu aussi chasser les dieux du ciel et se retrouver face à face avec une autre réalité : la réalité des sociétés humaines. C'est renvoyer l'Homme à la nécessité de se prendre en charge.

Je ne peux qu'évoquer en quelques lignes toute cette philosophie, et je ne proposerai pas ici de programme pour les établissements scolaires ou même pour les universités ! Rien n'est facile, et avant de faire des recommandations, il vaut mieux connaître les résultats des expériences sur le terrain. Mais j'espère que mon discours un peu provocant fera naître une discussion féconde !



Extrait d'un entretien de Gilbert Walusinski avec André Brahic (CC n° 80, 1997)

[...] G.W. Tu nous as certainement convaincus, l'astronomie est bien vivante. Mais cette vitalité, et l'importance de ces recherches sont-elles bien comprises par le public ?

A. B. : Il y aura toujours plus à faire dans ce domaine de la communication entre chercheurs et public. En fin de compte, c'est un problème d'orientation générale de l'éducation : ou bien celle-ci est dominée par la formation professionnelle – et il y a le très grand risque de former des techniciens pour des techniques qui deviennent rapidement obsolètes – ou bien on se préoccupe avant tout de former des esprits libres, donc capables de s'adapter aux techniques nouvelles, d'apprendre des sciences nouvelles. Conséquence, former les jeunes à bien comprendre les sciences, cela ne peut consister à leur faire mémoriser des résultats mais surtout leur faire saisir l'importance des principes, la valeur des méthodes, la mémorisation des lois viendra ensuite, par surcroît via les travaux pratiques.

De ce point de vue, l'astronomie est merveilleusement placée, une véritable science de culture bénéficiant des avancées et des réflexions de toutes les autres disciplines. C'est pourquoi il faut que l'astronomie soit enseignée à tous les niveaux, de la Maternelle à l'Université. Et pas par des professeurs spécialisés mais par des enseignants volontaires de toutes les disciplines, bien motivés et bien formés comme ceux qui suivent les stages du CLEA. Des professeurs spécialistes ne devraient intervenir qu'au niveau de la formation des enseignants et des chercheurs en astronomie.

L'effort fourni au niveau de l'enseignement général devra être très important et poursuivi avec continuité. C'est à ce prix qu'il aura son bon effet sur le public

et corrigera donc les dégâts ou méfaits dus aux excès de certains médias qui attachent trop de prix au sensationnel ou au spectaculaire sans analyser vraiment ce que signifient les recherches entreprises.

Au niveau de l'enseignement supérieur, là où la formation professionnelle des futurs chercheurs est évidemment la charge de spécialistes, il faudrait que le recrutement des jeunes chercheurs se fasse de façon régulière, qu'on évite ces à-coups qui raréfient une année les postes disponibles pour les libérer une année suivante. Il faudrait aussi empêcher que se développe un climat malsain de compétition à outrance là où devrait régner un sens naturel de la coopération. On juge trop souvent les qualités d'un postulant au nombre de ses publications ; ne vaudrait-il pas mieux prendre en considération le contenu plutôt que le nombre de pages ?

G.W. : En 1987, tu déplorais, cher André, que dans nos sociétés « la distraction superficielle prenne le pas sur la culture qui fait réfléchir ». Dix ans plus tard, estimes-tu qu'il y a un progrès, un frémissement de progrès ?

A.B. : Comme tout le monde, je répondrai oui un jour et non le lendemain. Oui comme le jour où j'ai appris que la démonstration du théorème de Fermat était trouvée et non le lendemain après lecture dans la grande presse de commentaires stupides sur le coût de la recherche scientifique. Mais les jours OUI comme les jours NON, je crois que nous devons continuer au CLEA notre travail avec confiance, le temps des jours OUI fréquents viendra.

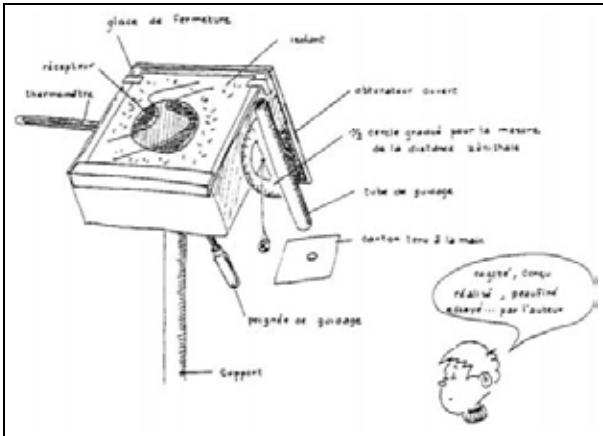
■

Et voici, pour terminer, quelques dessins de Georges Paturol.

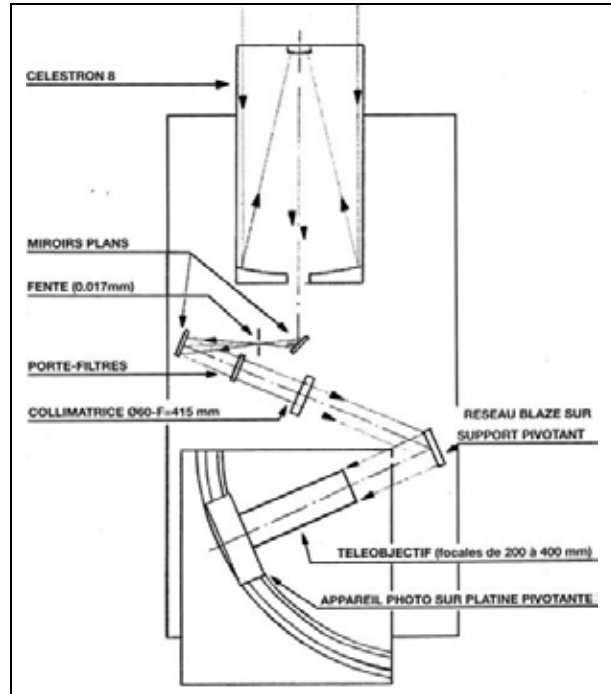


40 années de maquettes

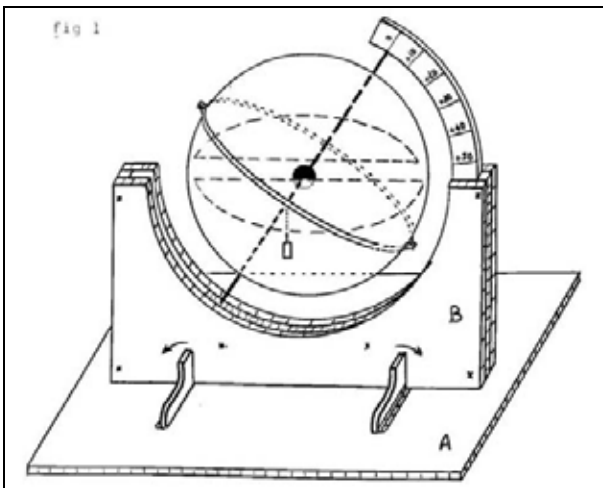
Le CLEA, c'est aussi beaucoup de bricolage avec ciseaux, colle, marteau, clou... Voici quelques-unes des maquettes proposées dans les 160 numéros des Cahiers Clairaut.



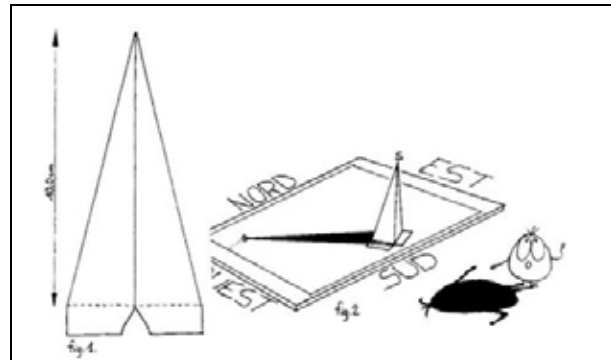
Le thermosecantzeta heliometre permet de mesurer l'énergie reçue du Soleil et de calculer la température du Soleil (CC n° 6, 1979)



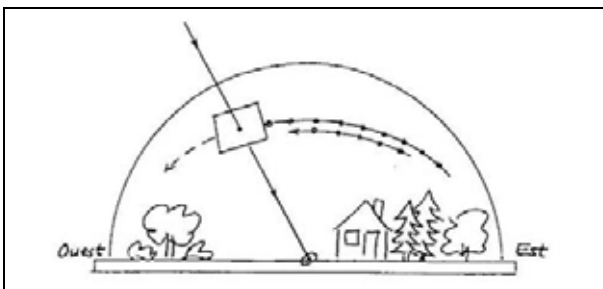
Spectrographe solaire (CC n° 61 et 98)



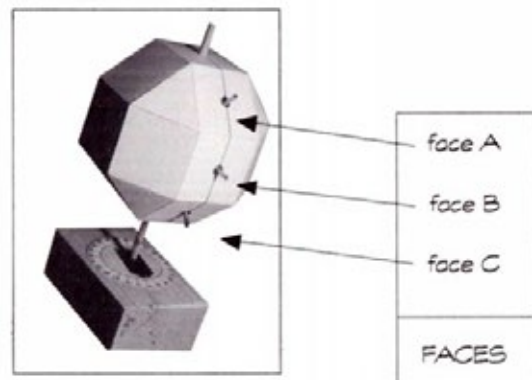
Une sphère céleste qui permet de simuler le mouvement apparent de la voûte céleste avec les étoiles et le Soleil, à n'importe quelle latitude (CC n° 36 1987)



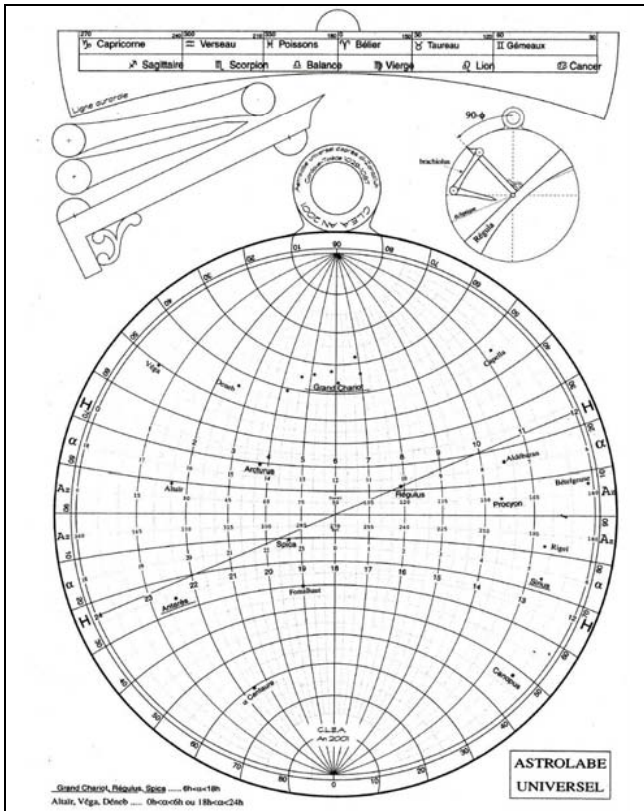
Un TP pour les jours d'équinoxe (CC n° 64, 1993)



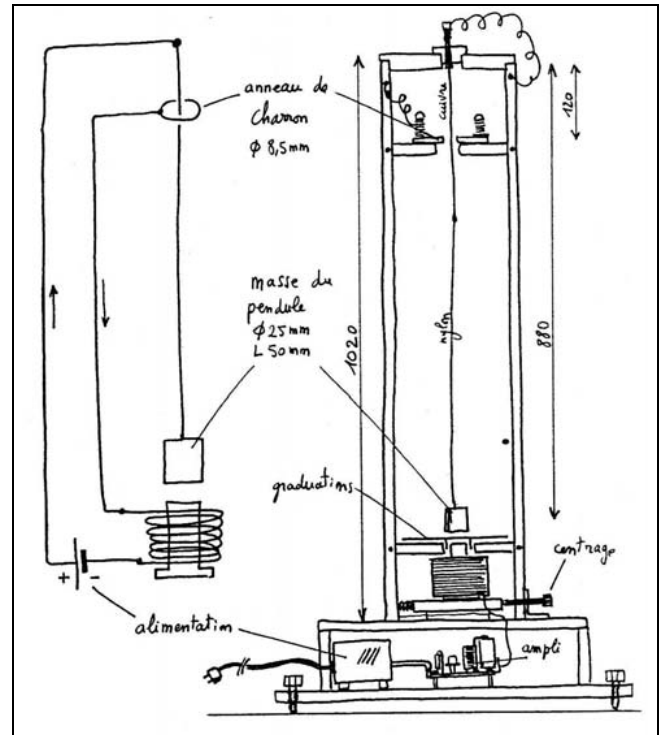
Une expérience maintenant classique : représenter le mouvement apparent du Soleil sur un saladier transparent par l'observation et ce, à différentes dates (CC n° 58)



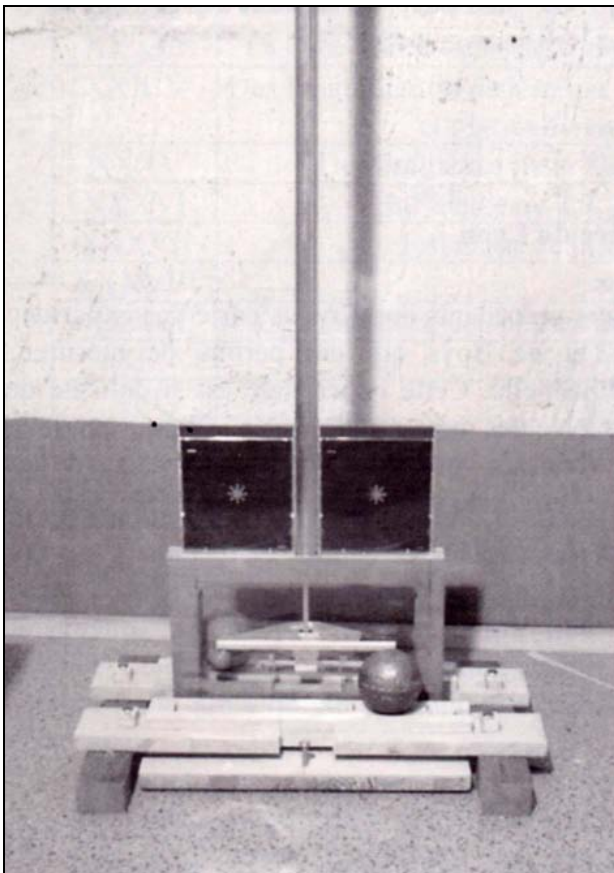
Un globe pour comprendre les saisons (CC n° 81)



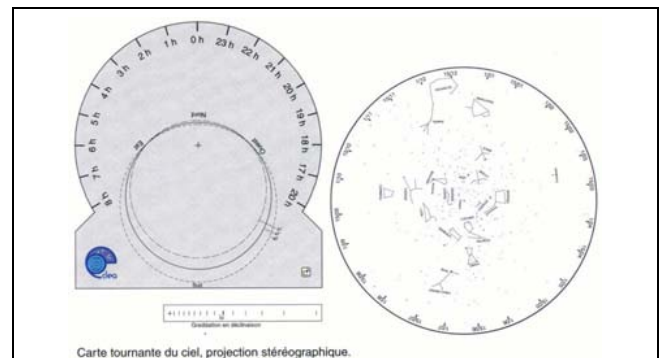
Astrolabe universel (CC n° 93)



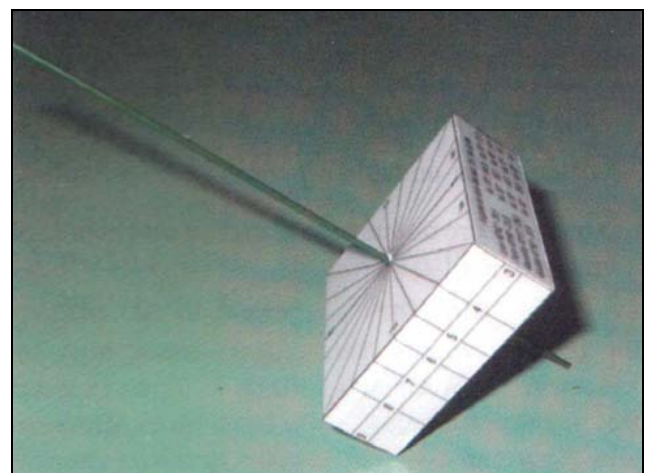
Un pendule de Foucault entretenu (CC n° 98)



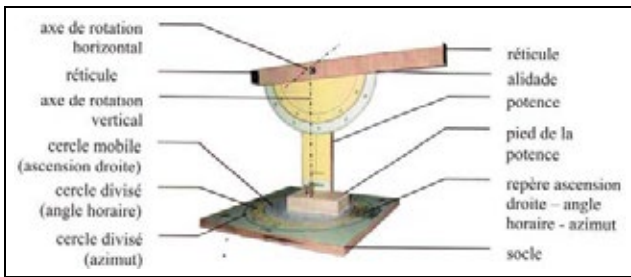
Une balance de Cavendish pour mesurer la constante de gravitation et peser ainsi la Terre (CC n° 104)



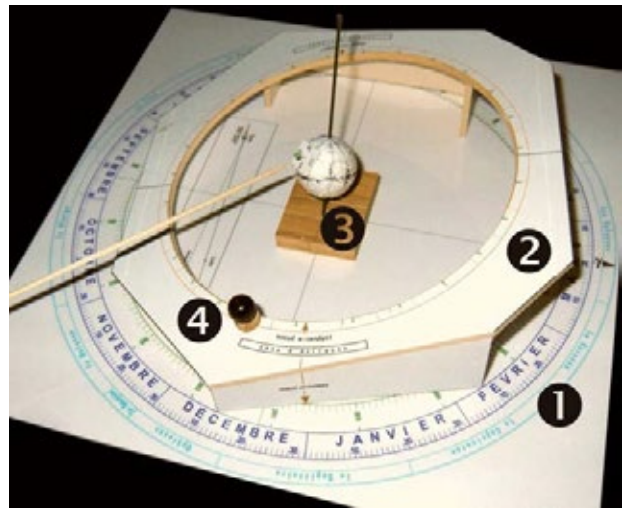
Des cartes du ciel tournantes en projection stéréographiques (CC n° 100) et équidistantes (CC n° 125)



Un cadran solaire équatorial (CC n° 116)



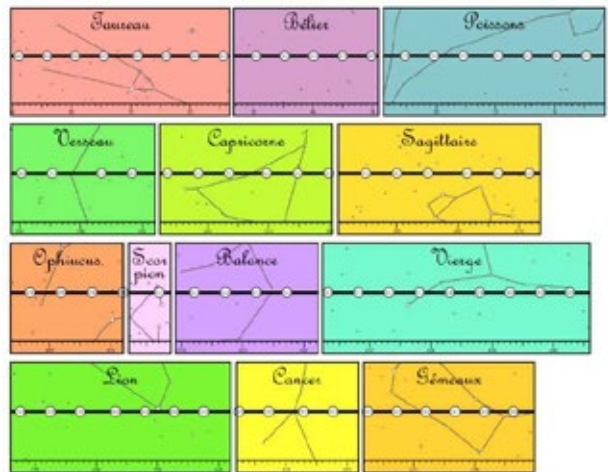
Un théodolite pour comprendre les coordonnées horizontales et équatoriales (CC n° 117)



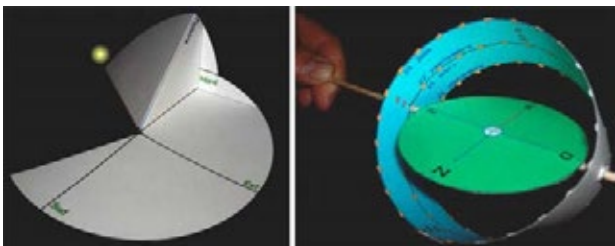
OrbiLune pour comprendre les phases de la lune et les éclipses (n° 131)



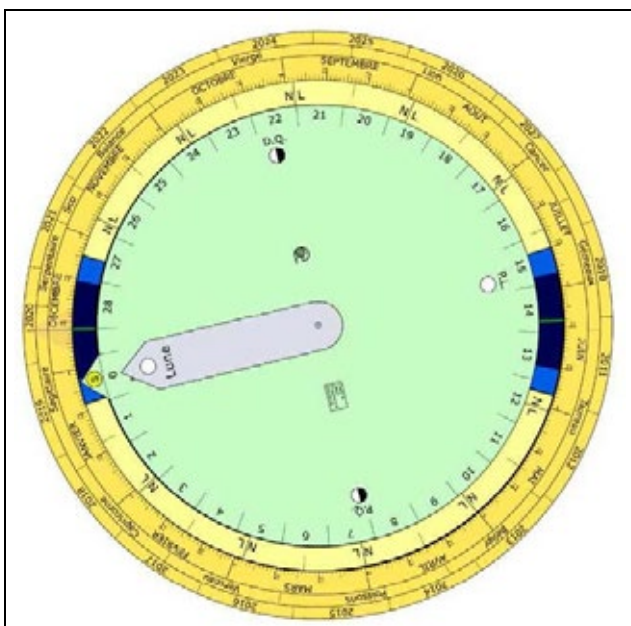
Parallaxomètre pour mesurer des parallaxes et comprendre ainsi les mesures de distances en astronomie (CC n° 121)



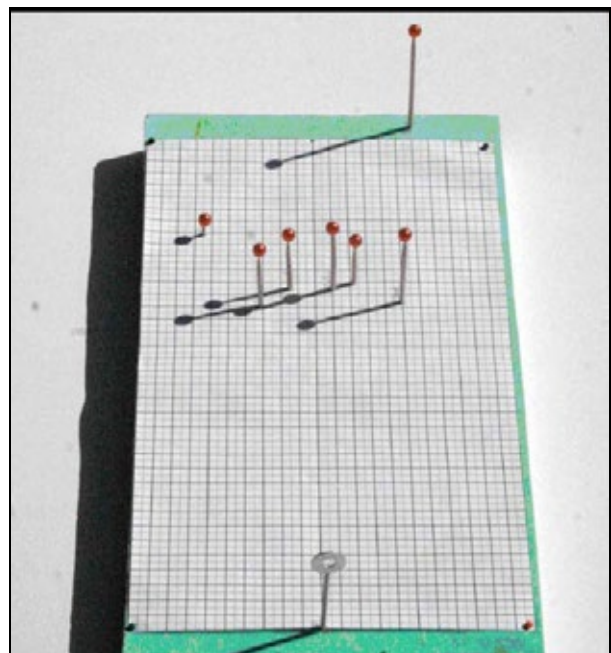
Un zodiaque à assembler (CC n° 135)



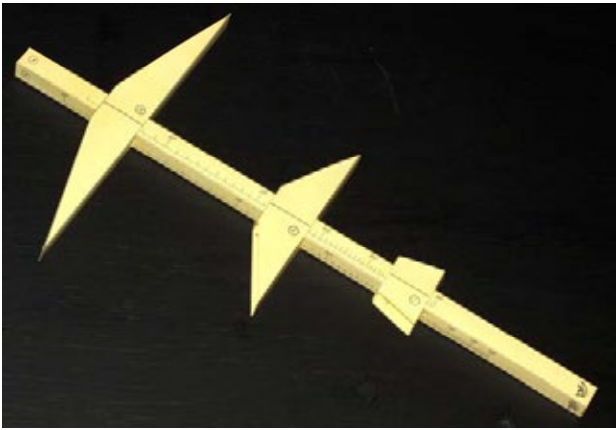
Deux maquettes pour représenter le mouvement apparent du Soleil (n° 129)



Lunoscope, pour prévoir les éclipses (n° 131)



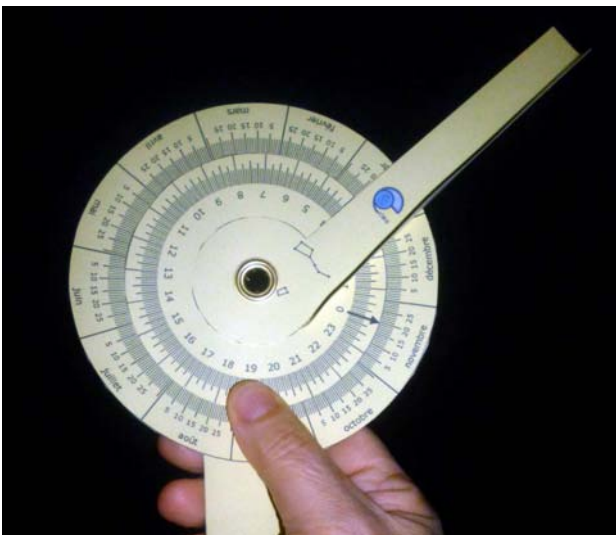
La Grande Ourse en 3D (CC n° 158)



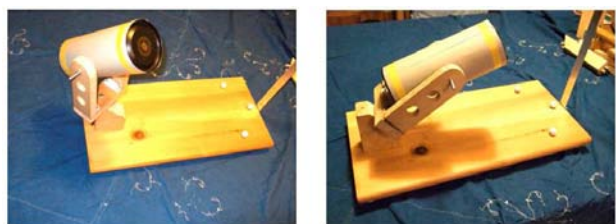
Arbalestrille, un instrument ancien pour mesurer des angles dans le ciel (CC n° 144)



Maquette des phases de Vénus (CC n° 148)



Un noctrulabe pour trouver l'heure la nuit (n° 144)



Montures de télescopes (CC n° 151)

Mais aussi

Helioscope pour enregistrer la course apparente du Soleil (n° 7, 1979)

Toise à Soleil, pour mesurer l'azimut et la hauteur du Soleil (n° 7, 1979)

Cadran solaire en tranche, pour expliquer les graduations d'un cadran horizontal (n° 11, 1980)

Une lunette astronomique (n° 13, 1980)

Héliolabe, un astrolabe à soleil (n° 18)

Toise à soleil enregistreuse (n° 21)

Construction d'un planétaire (n° 22, 1983)

Lunophasse (n° 26)

Sphère armillaire (n° 30, 1985)

Sphère armillaire pliante (n° 38)

Astrolabe planisphérique (n° 47)

Astrolabe simplifié (n° 48)

Mini planétarium (n° 51)

La grande Ourse en 3D et le zodiaque (n° 56)

Cadran bifilaire (n° 66)

Cadran solaire de Freeman (n° 77)

Trajectoire de Hale Bopp (n° 78)

Simulateur de cadran solaire (n° 80)

Radioastronomie solaire (n° 84)

Style vertical ou incliné ? (n° 84)

Eclipsolabe (n° 85)

Maquette du système solaire (n° 86)

Cadran solaire semi-cylindrique (n° 94)

Simulateur mvt apparent Soleil étoiles (n° 95)

Cadran solaire à l'école primaire (n° 99)

Petits spectroscopes (n° 99)

Cadran solaire sphérique (n° 101)

Sidérostat à rotation manuelle (n° 105)

Pendule de Foucault en carton (n° 114)

Support équatorial pour webcam (n° 115)

Télémetre Thalès (n° 122)

Support pour une petite lunette (n° 123)

La Grande Ourse en 3D (n° 125)

Carte tournante du ciel (n° 125)

Dispositifs pour sentir que la Terre peut tourner sur elle-même (n° 126)

Orbite de transfert de la Terre à Mars (n° 127)

Maquette pour simuler le mouvement apparent du Soleil (n° 129)

Maquette de Saturne (n° 133)

Système solaire à bout de bras (n° 137)

Orbite d'une comète (n° 141)

Maquette tournesol (n° 143)

Compteur d'étoiles (n° 145)

Anneau astronomique (n° 155)

Satellites de Jupiter (n° 155)

Et nous en avons sûrement oublié...

Vous trouverez également d'autres maquettes sur le site du CLEA (page Lunap) ainsi que dans les hors série des Cahiers Clairaut.

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 :

<http://clea-astro.eu/aLaUne/EcolesdEtedAstronomie>

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, ...

HS10 Mathématiques et astronomie (2012)

HS11 Les constellations (2014)

HS12 L'astronomie à l'école (2016)

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 Ecoles 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

<http://www.clea-astro.eu>



LES CAHIERS CLAIRAUT

LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 156 - Décembre 2016 9 €

Bulletin du Comité de Liaison Enseignants et Astronomes



Numéro 156 - hiver 2016-2017

ISSN 0758-234X

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 :

<http://www.clea-astro.eu>

ou

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

Siège social :

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

École d'Été d'Astronomie :

daniele-imbault@laposte.net

Cahiers Clairaut :

christianlarcher3@gmail.com

Ventes des productions :

<http://ventes.clea-astro.eu/>

Site internet :

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

Adhésion / Abonnement :

Adhésion CLEA pour 2017 :	10 €
Abonnement CC pour 2017 :	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 160 hiver 2017