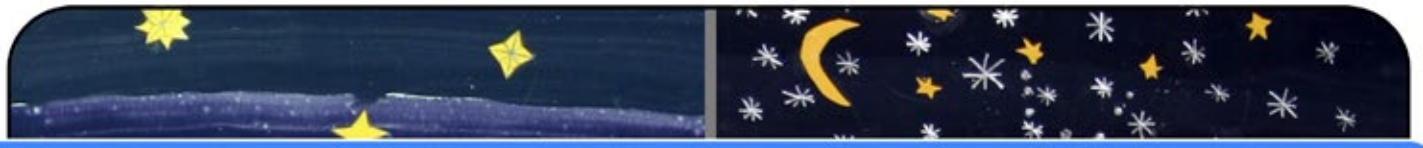
LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 167 - Septembre 2019 9 €



Bulletin du Comité de Liaison Enseignants et Astronomes

Numéro 167 automne 2019

Thème de ce numéro, l'astronomie en maternelle

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 2019
Président : Frédéric Pitout
Trésorière : Sylvie Thiault
Trésorière adjointe : Chantal Lecoutre
Secrétaire : Danièle Imbault
Secrétaire adjointe : Nathalie Cartier

Responsables des groupes
Vie associative : Jean-Michel Vienney
Cahiers Clairaut : Christian Larcher
Productions Pédagogiques : Pierre Causeret
École d'Été d'Astronomie : Danièle Imbault
Responsables du site : Jean-Michel Vienney

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

Francis Berthomieu, Michel Bobin, Danielle Briot, Nathalie Cartier, Pierre Causeret, Nathalie Chabod, Jean-François Coliac, Nathalie Cugnet, Jean Eisenstaedt, Jean-Baptiste Feldmann, Jean-Luc Fouquet, Coline Guitton, François Hurter, Christian Larcher, Chantal Lecoutre, Georges Lecoutre, Daniel Descout, Françoise Descout, Chloé Michaud, Frédéric Pitout, Jean Ripert, Sylvie Thiault, Michel Vignand,.

Les auteurs recevront plusieurs numéros 167 afin de faire connaître la revue autour d'eux.

La page de couverture illustre le thème de ce numéro « astronomie à l'école maternelle » mais les dessins ont été réalisés par des élèves de CM1 de l'école des grands crus à Chenôve (21).

Cette classe avait remporté le 1er prix dans la catégorie dessin du concours « Têtes en l'air » organisé en Bourgogne en 2009 à l'occasion de l'année mondiale de l'astronomie. Deux autres catégories étaient proposées : « poésie » et « Comprendre le ciel » (maquettes).

Les Cahiers Clairaut

Automne 2019

Éditorial

Avec ce numéro, nous abordons un thème souvent demandé par les lecteurs : comment introduire l'astronomie en maternelle et dans les petites classes ?

Une lecture attentive des programmes de l'école maternelle (BO spécial n° 2 du 26 mars 2015) montre que cela est possible. Ces programmes préconisent d'apprendre en jouant, en réfléchissant, en échangeant avec les autres, tout en portant intérêt à la parole de l'enfant. Ils nous invitent à « explorer le monde » à travers les activités physiques et littéraires.

Nous vous proposons dans ce numéro quatre entrées différentes débouchant sur l'astronomie

- Donner du sens en développant des compétences ;
- Comprendre par l'activité physique, artistique ou en faisant appel à l'imaginaire ;
- Exploiter le lien latent entre l'exploration spatiale et la mythologie ;
- Animer une séance de planétarium avec les « petits ».

Nous invitons les collègues concernés par ce niveau à nous transmettre des activités expérimentées dans ces classes.

Au niveau du collège, on peut demander aux élèves de construire des cadrans solaires puis d'apprendre à retrouver l'heure légale à partir de l'heure solaire ; une manière agréable d'étudier à la fois des éléments d'astronomie et de géographie.

En mathématique au lycée, l'étude des différentes projections permet de rendre compte de la construction des différentes cartes du ciel et de la Terre. Une occasion de souligner l'importance mais aussi les limites de toute modélisation. Ce travail de modélisation est indispensable dans de nombreux domaines. C'est ainsi qu'avec la reconstitution du volcanisme ancien sur les planètes du Système solaire on parvient à en déduire leur structure et leur relief actuels.

Un des prochains thèmes dans les Cahiers Clairaut concernera les éphémérides (histoire des tables de position des planètes, activités avec utilisation des éphémérides...). Nous invitons, ceux qui le souhaitent, à faire des propositions.

Christian Larcher, pour l'équipe.

Sommaire

Article de fond
Éclipse de 1919
Jean Eisenstaedt p 2

Thème : astronomie en maternelle p 7

Avec nos élèves
De la Terre à la Lune
Jean-Baptiste Feldmann p 8

Astronomie en classe maternelle dans les CC p 11

Avec nos élèves
Apprendre en jouant
Jean-Luc Fouquet p 12

Avec nos élèves
Mythologies et exploration spatiale
Francis Berthomieu p 16

Avec nos élèves
Des animations pour les « petits » à Vaulx-en-Velin
Sylvie Thiault p 18

Mots croisés
Pierre Causeret p 20

Reportage
Petit carnet de voyage au Chili
Françoise et Daniel Descout p 21

Observation
Ciel de l'automne 2019
Pierre Causeret p 23

Observation
Passage de Mercure
Pierre Causeret p 24

Article de fond
Le volcanisme des planètes telluriques (2)
Cloé Michaut p 25

Lecture pour la marquise
L'astrologie (D Kundt et Ph. Zarka)
Christian Larcher p 29

Article de fond
Cartes du ciel, cartes de la Terre (4)
Michel Bobin, Pierre Causeret p 30

Avec nos élèves
Les cadrans solaires : principe (2)
Nathalie Cugnet p 34

Jeux
Solutions devoirs de vacances
Danièle Briot p 37

Vie de l'association
EEA 2019 p 39

Solutions des mots croisés p 40

Éclipse de 1919

Jean Eisenstaedt, directeur de recherche émérite CNRS au Syrte, historien de la relativité

Avec cet article nous revenons sur l'expérience fondamentale validant les bases de la théorie de la relativité générale. L'enjeu était de taille pour A. Einstein qui avait déclaré d'emblée « on peut dire une chose avec certitude : si une telle déflexion n'existe pas, alors les hypothèses de ma théorie ne sont pas correctes ». Cet article historique décrit les différentes tentatives et le rôle des protagonistes de l'époque pour y parvenir.

L'élaboration

1905, une année extraordinaire pour Einstein qui publie quatre articles fondamentaux. En particulier l'article qui résout la question, lancinante depuis des dizaines d'années, de la constance de la vitesse de la lumière dans le vide. La relativité que l'on dira restreinte est née. Pourtant Einstein n'est pas totalement satisfait. Cette nouvelle cinématique est cohérente avec l'électromagnétisme de Maxwell mais la théorie de Newton est toujours basée sur la cinématique galiléenne. Deux cinématiques pour un même univers ? Voilà qui est inacceptable. Einstein vise une théorie relativiste de la gravitation, cohérente avec la relativité restreinte. Il lui faudra huit ans pour la construire.

Dès 1907 il a déjà en vue les trois tests (que l'on dira classiques), les seuls pour longtemps à accompagner, à soutenir sa théorie : l'avance du périhélie de Mercure, la déviation des rayons lumineux et le décalage des raies spectrales qui ne sera clairement observé que cinquante ans plus tard.

Car ce sont des tests extrêmement faibles et donc particulièrement difficiles à observer. C'est que la théorie de Newton rend compte quasiment parfaitement de l'influence de la gravitation sur la « banlieue » solaire. Seule la trajectoire de Mercure ne s'y plie pas, Einstein s'en servira pour savoir s'il est sur le bon chemin.

En 1912, avec l'aide de son ami et collègue à l'ETH de Zurich Marcel Grossmann, Einstein choisit de travailler dans un cadre riemannien, et propose plusieurs « essais » problématiques.

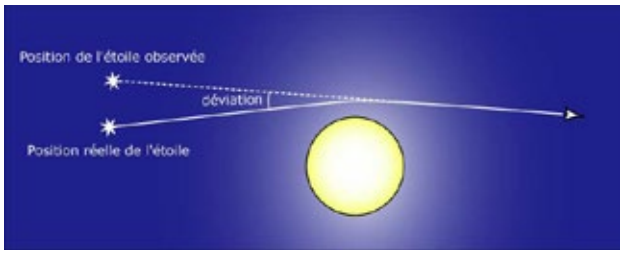
Enfin, en 1915 une nouvelle théorie, la relativité que l'on dira « générale », rend compte de l'avance du périhélie de Mercure. Eurêka ! La théorie d'Einstein est si nouvelle, si révolutionnaire – ne lui faut-il pas abandonner l'espace d'Euclide et bien des concepts newtoniens –, elle demande une telle implication que bien des physiciens, bien des astronomes ne voudront pas avant longtemps y croire et encore moins s'y impliquer. La théorie d'Einstein tiendra la route car elle supplante celle de Newton.

La déviation des rayons lumineux

Quant à la déviation des rayons lumineux, elle donne un souffle indispensable au projet. C'est un effet très faible, difficile à mesurer, à observer, mais qui apporte une image simple à cette théorie qui ne l'est guère et qui en a grand besoin. Une image qui marquera les esprits, dont l'influence a sans doute été très importante. En 1919 elle apportera la gloire à Einstein...

Au printemps 1911, Einstein se rend compte que l'effet de la déviation de la lumière par un champ de gravitation est accessible à l'observation ; les rayons lumineux passant au voisinage du Soleil subiront une déflexion.

Après avoir calculé l'ampleur – très faible – de cette déviation il explique comment il serait possible de l'observer, de la mesurer. La trajectoire des rayons lumineux issus des étoiles fixes se trouvera légèrement déviée de la ligne droite si ces rayons passent près d'un corps massif, le Soleil. Mais le phénomène ne peut être mesuré que lors d'une éclipse. Le champ d'étoiles situé autour du Soleil pourra alors être photographié et comparé à son image hors la présence du Soleil.



De son calcul de 1911, Einstein déduit une déviation de 0,83" d'arc. Il sait que cette déviation est « naturelle » dans le cadre newtonien, égale à celle qu'il vient de calculer, une question que Johann Georg von Soldner a d'ailleurs fort bien posée et résolue en 1801 mais dont Einstein n'a pas connaissance. Einstein note que la déviation au bord de Jupiter

serait cent fois plus faible et conclut son article en souhaitant que des astronomes prennent la question en main, ce que fait aussitôt, enthousiaste, Erwin Freundlich, astronome à l'Observatoire de Berlin.

Début septembre 1911, Einstein écrit à Freudlich « Si seulement nous disposions d'une planète plus grosse que Jupiter ! Mais la Nature ne se préoccupe pas de nous faciliter la découverte de ses lois ». Et d'ajouter « on peut dire une chose avec certitude : si une telle déflexion n'existe pas, alors les hypothèses de ma théorie ne sont pas correctes ».

Freundlich croit pouvoir résoudre aisément la question ; les idées ne manquent pas. Il multiplie les contacts afin de convaincre ses collègues de l'intérêt de ces mesures. Il pense pouvoir utiliser les plaques photographiques réalisées lors de précédentes éclipses. Malheureusement ces plaques, destinées à l'étude de la couronne solaire ou à la recherche de planètes intramercuriennes n'étaient pas suffisamment bien définies, en particulier parce que le Soleil n'est pas au centre des plaques, pour que des mesures précises soient possibles. Il faut donc se tourner vers la préparation d'une expédition astronomique sur les lieux d'une éclipse afin de mesurer la déviation.

À Berlin, Freundlich a rencontré Charles D. Perrine, ancien astronome à l'Observatoire Lick et désormais directeur de l'Observatoire argentin de Cordoba. Ainsi Perrine ajoute-t-il au programme des observations de l'éclipse du 10 octobre 1912 au Brésil des mesures de la déviation de la lumière. Pas moins de huit expéditions s'installent sur la ligne de totalité : à Passa Quatro la mission brésilienne que dirige Henrique Morize, directeur de l'Observatoire de Rio de Janeiro, la mission française sous la direction de M. Stephanik, ainsi que la mission britannique avec Charles Davidson, de Greenwich Observatory, un spécialiste très averti de l'observation de ces phénomènes, et Arthur Eddington, de l'Observatoire de Greenwich. Malheureusement, la pluie contrarie les efforts de chacun et en particulier ceux de Perrine qui est le seul ici à tenter des mesures de la déviation.

De son côté, Freundlich cherche des fonds pour la prochaine éclipse totale en Crimée le 21 août 1914. Après le refus de Karl Hermann Struve, directeur de l'Observatoire de Berlin, on obtiendra des fonds de source privée, en particulier de la famille Krupp. Freundlich ne sera pas seul en Crimée, l'Observatoire Lick y ayant envoyé une importante délégation dirigée par son directeur William W. Campbell et à laquelle participe Heber D. Curtis plus précisément chargé de la mesure de la déviation. Le matériel – il s'agit des objectifs utilisés pour la recherche des planètes intra mercuriennes – est celui de Lick et semble bien adapté à ces clichés.

Hélas, une fois de plus, à Brovary où ils sont installés, la pluie est de la partie. Il semble bien que le lieu d'observation n'ait pas été choisi avec tout le soin désirable. Dans son rapport Campbell note avec dépit que Davidson installé à Minsk n'a pas eu de problème avec le temps et a pu observer l'éclipse. Mais la déviation de la lumière n'était pas au programme de l'expédition anglaise...

Freundlich et ses collègues sont installés à Theodosia, mais un mois après la mort de l'Archiduc Ferdinand l'Autriche-Hongrie envahit la Serbie ; en tant que réservistes de l'armée allemande qui vient de déclarer la guerre à la Russie, ils seront faits prisonniers de guerre.

Le retour à l'observatoire Lick des instruments de Crimée ne se fera pas à temps pour la prochaine éclipse qui sera observée non loin de Lick, le 8 juin 1918, à Goldendale dans l'état de Washington. Ce sont des objectifs de l'Observatoire d'Oakland, moins bien adaptés à cette mission, que Curtis monte en hâte pour Goldendale. Le temps n'est pas merveilleux au moment de l'éclipse ; entre deux nuages, on parvient à obtenir quelques plaques, les premières qui furent spécialement tirées pour la détection de la déviation Einstein. Les mesures ne seront faites qu'en juillet 1919, Curtis étant sous les drapeaux. Qui plus est, ces plaques posent de nombreux problèmes ; les images ne sont pas suffisamment bien définies – probablement à cause d'un montage défectueux rendant le télescope insuffisamment stable durant les clichés – ce dont Curtis et Campbell discuteront longuement, âprement. Des mesures seront faites et refaites dont le résultat n'aura finalement que peu de poids.

Pour Curtis il n'y a pas d'effet... ce dont il était d'ailleurs certain à l'avance. Voilà qui n'était pas pour déplaire à certains astronomes américains, en particulier à George Ellery Hale, le directeur du Mont Wilson, qui lui écrit alors « ses cordiales félicitations » et qui « avoue qu'il est très heureux d'entendre [qu'il] n'a pas trouvé d'effet Einstein ». En fait, c'est la théorie elle-même, tout particulièrement son appareil mathématique, que ces astronomes ne peuvent accepter.

Lorsque Campbell passe à Londres en juillet 1919, les expéditions anglaises sont sur le point de revenir de l'hémisphère sud avec des clichés dont on

attend beaucoup. Et lors d'une réunion de la Royal Astronomical Society, Campbell dira quelques mots, qu'il regrettera ensuite amèrement, sur les résultats de Goldendale : « Ma propre opinion c'est que les résultats du Dr. Curtis excluent l'effet Einstein fort, mais non pas le plus faible que prévoit l'hypothèse originale d'Einstein. » Pour les astronomes de Lick, la relativité générale est réfutée.

Car, fin 1915, Einstein a repris le calcul de la déviation dans le cadre de sa nouvelle théorie, la relativité générale. Et dans cet article fameux, dans lequel il rend compte de l'avance du périhélie de Mercure, il donne aussi la nouvelle valeur de la déviation, l'effet « fort », double de celle de son calcul de 1911.

Eddington y verra trois possibilités : l'effet « fort », vérifiant les prédictions de la relativité générale qu'il soutient, « faible » dit « newtonien », « nul » sans aucune déviation car dans le cadre newtonien on ne suppose que rarement que la lumière soit soumise à la gravité.

La préparation des expéditions de 1919

Eddington tient une place très importante dans l'histoire de l'astrophysique aussi bien que dans celle de la théorie de la gravitation d'Einstein. C'est un homme extrêmement brillant, passionné, extraverti, un vulgarisateur hors-pair, une figure étonnante, remarquable. En 1905 il quitte Cambridge, l'Université de Newton, pour l'Observatoire de Greenwich ; Cambridge, où il reviendra après 1913 enseigner l'astronomie en tant que *Plumian Professor*.

Il est probable que ce soit en 1912, à Passa Quatro, de la bouche de Perrine, qu'Eddington ait entendu parler pour la première fois de cette théorie de la gravitation en voie d'élaboration et de l'effet de déviation de la lumière. En 1916, il est en relation avec Willem De Sitter, professeur d'astronomie à l'Observatoire de Leyden en Hollande, qui publiera, dans les *Monthly Notices de la Royal Astronomical Society,* trois articles de fond sur la relativité générale. Ainsi Eddington était-il fort bien préparé à accueillir les nouveaux travaux d'Einstein. En 1918, il publiera un des premiers ouvrages sur la relativité générale, le *Report*.

Eddington saura convaincre Frank Dyson, le « Royal Astronomer », sceptique au plan théorique mais ouvert aux questions observationnelles ; Dyson est conscient de l'intérêt que représente l'éclipse totale du 29 mai 1919 pour la théorie d'Einstein.

Pour ce qui concerne les mesures de déviation de la lumière au bord du Soleil, la richesse du champ d'étoiles sur lequel se projette le Soleil éclipsé est d'une importance capitale. Il s'agit de réaliser deux séries de plaques du champ d'étoiles autour du Soleil, la première durant l'éclipse, la seconde, de nuit avant ou après l'éclipse, et dans des conditions aussi proches que possible de la première série. Ainsi pourra-t-on superposer les deux séries de plaques et mesurer le décalage (si tant est qu'il en existe un) de la position de chaque étoile du champ entre les deux séries de clichés.

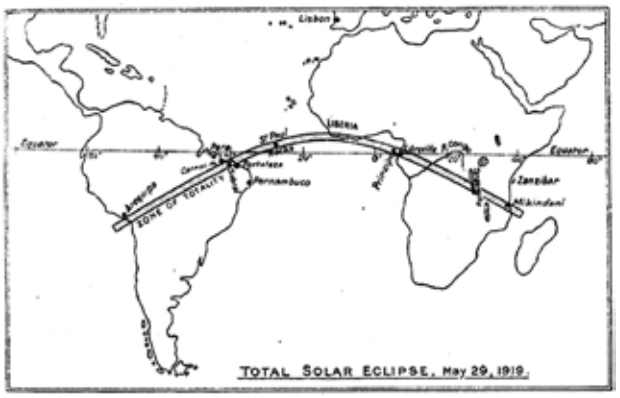
Évidemment ce décalage sera d'autant plus important que la position de l'étoile en question sera plus proche du bord du disque du Soleil, du limbe. Bien entendu, plus il y aura d'étoiles proches, plus elles seront brillantes, mieux elles seront réparties tout autour du Soleil, plus précises seront les mesures.

Tel était précisément le cas de l'éclipse totale de 1919 alors que le Soleil traverse les Hyades qui rassemblent un grand nombre d'étoiles brillantes, une rare opportunité dont Dyson et Eddington étaient conscients.

Devant le comité, réuni en novembre 1917, le Royal Astronomer remarqua que des occasions si favorables étaient très rares car il n'y aura pas d'éclipse aussi propice avant de nombreuses années. Le comité proposa, d'entrée de jeu, d'envoyer deux expéditions distinctes. Ce n'était certainement pas là une décision ordinaire, car on était en pleine guerre et il est exceptionnel qu'un même pays envoie deux expéditions parallèles pour réaliser une seule et même observation. Il ne fut pas même question de faire les observations habituelles, de la couronne solaire ou spectroscopiques. Ainsi faut-il voir là, derrière cette décision extrêmement forte de politique scientifique, la conviction d'Eddington et l'autorité de Dyson quant à l'importance de l'enjeu.

Le choix des lieux d'observation est essentiel ; il fallait avant tout éviter les nuages et la pluie, ennemis des astronomes ; mais la qualité des clichés dépendra de l'ampleur de la réfraction atmosphérique et donc de la hauteur du Soleil sur l'horizon.

Le chemin de l'éclipse traversant l'Afrique, l'Atlantique, le continent sud-américain, une première expédition composée d'Eddington et de Cottingham s'établira sur l'île de Principe proche des côtes africaines, l'autre, composée de Davidson et de A.C.D. Crommelin, à Sobral, une petite localité dans le Nord-Est du Brésil.



Le chemin de l'éclipse de mai 1919 (d'après A. C. D. Crommelin 1919).

Le choix des instruments était évidemment d'une importance extrême. L'équipe de Cambridge (Eddington et Cottingham) utilisera à Principe la lunette astrographe d'Oxford tandis que l'équipe de Greenwich (Davidson et Crommelin) à Sobral celle de Greenwich. On utilisera aussi la lunette de 4 inch, utilisée en Suède lors d'une éclipse précédente, ainsi que le cœlostat appartenant à la Royal Irish Society. Il semblait en effet préférable de choisir, pour ces expéditions, une lunette fixe associée à un cœlostat, un miroir muni d'un mécanisme dont la fonction est de suivre le Soleil afin de réfléchir sa lumière dans la lunette où l'éclipse serait calmement photographiée.

Les raisons de la participation d'Eddington à l'expédition n'étaient pas seulement scientifiques. Eddington était un quaker dévot et en tant que tel objecteur de conscience affirmé ce que nul n'ignorait. Dans ces temps difficiles, il était fort mal vu de ne pas vouloir aller au front et les professeurs de Cambridge, en particulier Sir Joseph Larmor, se seraient sentis déshonorés si l'un de leurs distingués collègues s'était déclaré objecteur de conscience. Il était hors de question de convaincre Eddington, ni de le mettre en cause. Ainsi tentèrent-ils d'intervenir auprès du Home Office afin d'obtenir un sursis d'incorporation pour Eddington en arguant du fait qu'il n'était pas de l'intérêt bien compris de l'Angleterre d'envoyer un scientifique aussi distingué sur le front.

C'était compter sans Eddington auquel on demanda de signer une lettre ad-hoc ; à laquelle il voulut ajouter un post-scriptum dans lequel il mentionnait que s'il n'était pas appelé sous les drapeaux, il réclamerait de toute manière son statut d'objecteur. Allait-on envoyer Eddington peler des patates dans un camp ? Tel aurait dû être son destin, parallèle à celui de ses amis quakers. L'intervention de Dyson auprès de l'Amirauté permit de résoudre ce problème avec diplomatie. Il fut décidé d'accorder à Eddington un sursis d'incorporation avec la stipulation expresse que si la guerre avait pris fin en 1919, il conduirait l'une des expéditions.

L'éclipse de 1919

On s'embarque à Liverpool le 8 mars 1919 pour un voyage qui allait durer six mois. À Madère, les deux expéditions se séparent, Eddington et Cottingham vers Principe, tandis que Davidson et Crommelin seront à pied d'œuvre à Sobral dans l'État du Ceará le 30 avril.

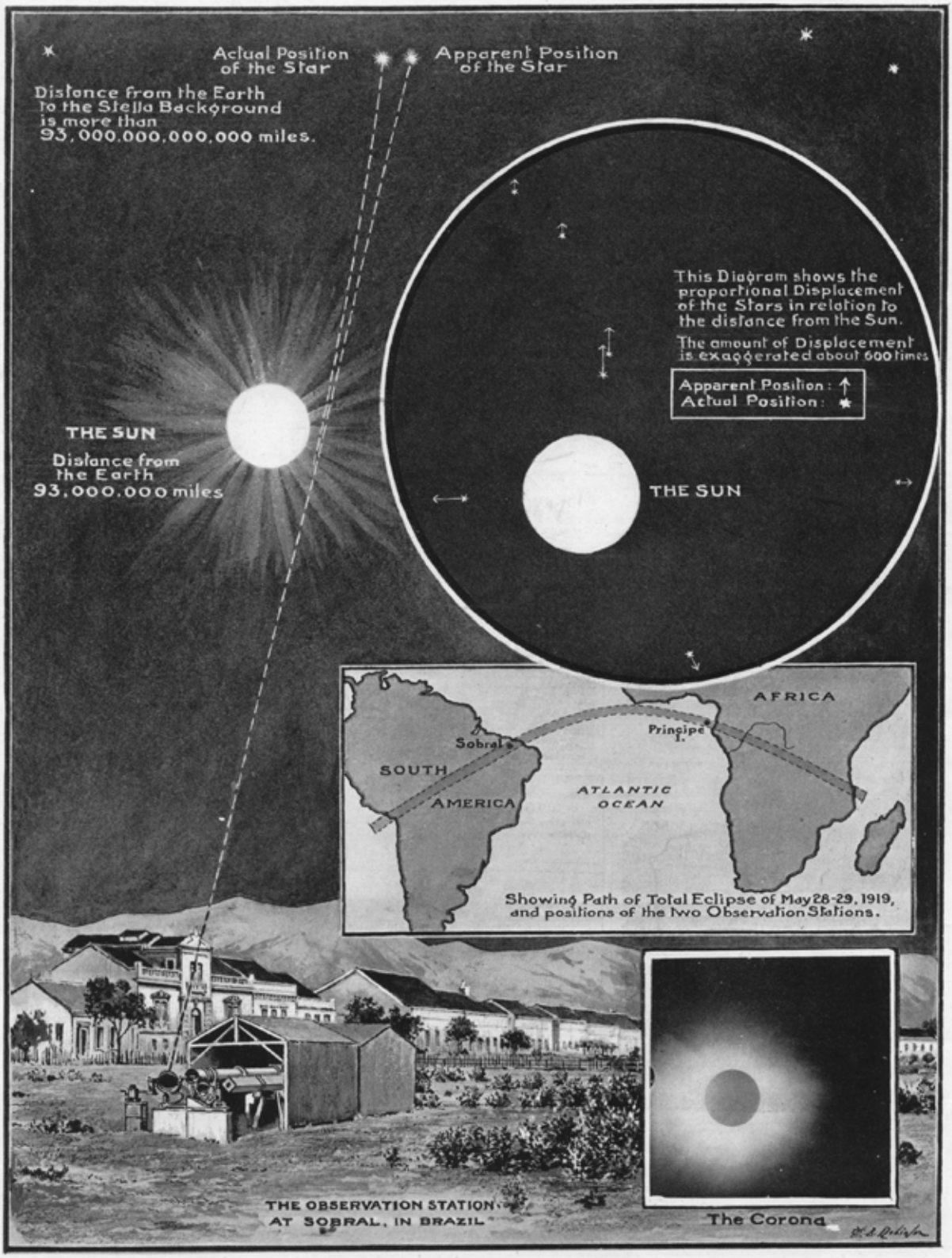
Au Brésil, à Sobral « le jour de l'éclipse commença fort mal, la proportion de nuages tôt le matin étant environ de 9/10 », écrit Crommelin, qui ajoute « qu'un grand trou clair se fit dans les nuages et atteignit les alentours du Soleil juste à temps, et pendant quatre des cinq minutes de la totalité, le ciel autour du Soleil était à peu près clair ».

En Afrique, à Principe, Eddington et Cottingham n'ont pas cette chance ; dès le matin de l'éclipse, un orage inquiéta nos astronomes et c'est à travers des nuages persistants que les photos furent prises. À Sobral, Crommelin câblait à Londres : « Eclipse splendid », tandis qu'à Principe Eddington se contentait d'un « Trough Cloud. Hopeful ». Seules deux plaques de l'astrographe de Principe seront utilisables ; encore ne laissent-elles apparaître que peu d'étoiles. À Sobral, on se réjouit des plaques du 4-inch qui montrent 7 étoiles et sont qualifiées de satisfaisantes à excellentes, tandis que celles de l'astrographe vont décevoir car les clichés sont quelque peu diffus. La mise au point de l'astrographe ne semble pas avoir tenu durant l'éclipse, sans doute à cause de la distorsion des images sur le miroir du cœlostat liée à la chute de température au moment même de l'éclipse.

Chacun plie bagages ; Davidson et Crommelin remonteront à Sobral quelques jours plus tard pour prendre in situ les plaques de comparaison (du même champ d'étoiles que durant l'éclipse, mais en l'absence du Soleil). Pour le 4-inch, vu que l'on a pu prendre des plaques très grandes qu'il ne sera pas possible de mesurer avec le micromètre de l'Observatoire Royal, on a l'idée d'inverser les plaques de comparaison afin que les mesures puissent être faites « plaque contre plaque », c'est là une nouvelle technique. À Principe, pour des raisons matérielles, on devra réaliser les plaques de comparaison au retour à Greenwich, ce qui peut poser de petits problèmes supplémentaires liés au réglage des instruments.

"STARLIGHT BENT BY THE SUN'S ATTRACTION": THE EINSTEIN THEORY.

DRAWN BY W. B. ROBINSON, FROM MATERIAL SUPPLIED BY DR. CROMMELIN.



THE CURVATURE OF LIGHT: EVIDENCE FROM BRITISH OBSERVERS' PHOTOGRAPHS AT THE ECLIPSE OF THE SUN.

The results obtained by the British expeditions to observe the total eclipse of the sun last May verified Professor Einstein's theory that light is subject to gravitation. Writing in our issue of November 15, Dr. A. C. Crommelin, one of the British observers, said: "The eclipse was specially favourable for the purpose, there being no fewer than twelve fairly bright stars near the limb of the sun. The process of observation consisted in taking photographs of these stars during totality, and comparing them with other plates of the same region taken when the sun was not in the neighbourhood. Then if the starlight is bent by the sun's attraction, the stars on the eclipse plates would seem to be pushed outward compared with those on the other plates. . . . The second Sobral camera and the one used at Principe agree in supporting (Einstein's theory). . . . It is of profound philosophical interest. Straight lines in Einstein's space cannot exist; they are parts of gigantic curves."—*[Drawing Copyrighted in the United States and Canada.]*

■

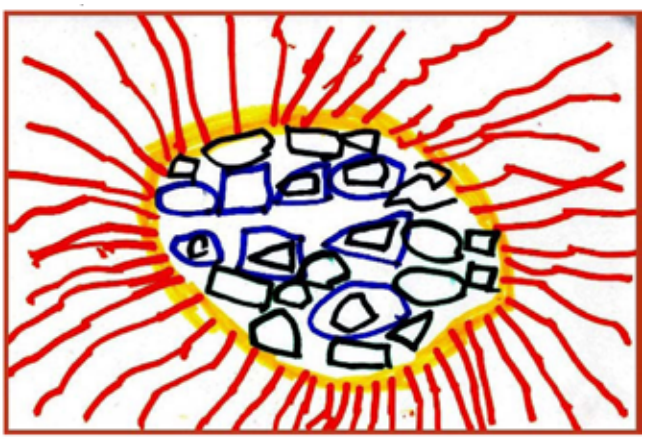
THÈME

L'ASTRONOMIE À L'ÉCOLE MATERNELLE

Ci-dessus, fresque réalisée sur le thème de l'astronomie par des élèves de moyenne et grande section d'une classe de l'île de Ré.

Ci-dessous, dessin extrait d'une histoire inventée par des maternelles à la suite de l'observation d'une éclipse de Soleil (Cahiers Clairaut n° 113).

À droite, dessin de CP toujours à propos d'une éclipse de Soleil (Cahiers Clairaut n° 26).



Puis il recolle ses morceaux et il redevient comme avant

De la Terre à la Lune

en grande section de maternelle

Jean-Baptiste Feldmann, jbastro64@orange.fr

Le cinquantième anniversaire du premier homme sur la Lune est une opportunité pour aborder l'astronomie en maternelle. L'article montre comment, à l'aide de ce thème, on peut donner du sens aux apprentissages et développer les compétences prescrites par les instructions officielles.

Enseignant en école maternelle, photographe du ciel et rédacteur du blog CIELMANIA, j'ai toujours essayé d'associer ma passion pour l'astronomie à mes activités professionnelles. En cette année du cinquantième anniversaire du premier homme sur la Lune, je devais forcément aborder ce thème avec mes petits élèves !

L'astronomie n'est pas au programme des cycles 1 et 2 de l'école élémentaire. Pour autant, il est tout à fait possible d'en faire avec de jeunes enfants, à condition de respecter deux impératifs : donner du sens à ce sujet assez éloigné des préoccupations quotidiennes des jeunes élèves et profiter de ce thème pour développer des compétences en lien avec les instructions officielles.

Donner du sens

En maternelle, on insiste beaucoup sur l'idée que les enfants vont s'approprier un sujet et s'y investir à condition qu'il arrive en classe de façon naturelle. Chez les petits par exemple, la mascotte de la classe peut apporter un album qui va lancer le thème. Chez les plus grands, on essaye d'utiliser une situation de classe particulière : pour mes élèves de grande section, j'avais prévu d'aborder le thème de la Lune après les vacances d'hiver, à la suite du carnaval de l'école. Dans les photographies de carnaval que je leur présentais au cours d'une séance de langage, j'avais pris soin de glisser une photocopie en couleurs d'une double page de l'album *Jean de la Lune* écrit par Tomi Ungerer (peintre, dessinateur, illustrateur et auteur alsacien décédé quelques jours plus tôt, le 9 février). Cette double page représente un bal masqué avec des personnages déguisés au milieu desquels s'est glissé le héros.

Développer des compétences

L'astronomie en général et tout ce qui concerne la Lune en particulier permettent d'aborder de multiples compétences faisant partie des attendus de fin de cycle. En grande section, ce thème m'a permis de travailler avec mes élèves :

• l'observation : représenter la forme de la Lune chaque soir pour suivre (en partie) une lunaison (différence entre un schéma et un dessin) ;

• le vocabulaire : réalisation d'un abécédaire de l'espace, création par les enfants de textes dictés à l'enseignant à partir d'images célestes poétiques comme mes « Jeux de Lune » ;

Fig. 1 et 2. *Création individuelle d'un abécédaire de l'espace (et de la nuit) avec le vocabulaire rencontré dans les albums et documentaires.*

• les activités informatiques : création d'un album numérique sur tablette avec l'application ***Book Creator*** en imaginant une suite après la lecture de *l'Ours et la Lune* d'Antoine Guilloppé, création de jeux sur ordinateur et tablette avec l'application ***LearningApps*** (jeux de Mémory, puzzle des couvertures d'albums...) ;

• le repérage dans le temps : remise en ordre chronologique des phases de la Lune ;

Fig. 3. *Évaluation des connaissances des élèves sur la chronologie des phases de la Lune.*

• le repérage dans l'espace : reproduire en classe les mouvements de la Terre et de la Lune avec des ballons tenus par les enfants et éclairés par un projecteur (notions de rotation et de révolution des astres) ;

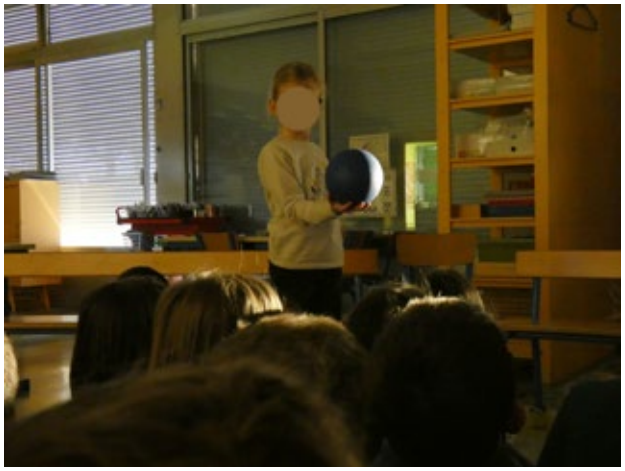


Fig. 4. *Un ballon éclairé par un projecteur permet de visualiser les phases de la Lune.*

• la numération : compter des quantités d'étoiles, les comparer (plus que, moins que, autant que) ;

• les activités artistiques (dessin, peinture, collage, maquette...).

Déroulement du projet

Une fois le thème de carnaval terminé, j'ai proposé aux élèves de leur lire l'album de *Jean de la Lune* d'où j'avais extrait la double page sur les costumes. Dans cet album, Jean de la Lune quitte notre satellite naturel pour venir s'amuser sur Terre où il n'est pas très bien accueilli ; au cours de son séjour il prend la même forme que la Lune dans le ciel (plein, en quartier, en croissant).

Fig. 5. *Réalisation de la couverture de l'album « Jean de la Lune », point de départ de notre thème.*

Après la découverte du livre, j'ai encouragé mes élèves à me faire part de leurs conceptions initiales au sujet de la Lune sous forme d'une dictée à l'adulte : qu'est ce que la Lune, pourquoi change-t-elle de forme, quand la voit-on, comment est-elle éclairée... ?

Comme les avis étaient multiples, nous avons décidé de chercher les réponses à nos questions dans les ouvrages disponibles dans la bibliothèque de l'école (que j'avais au préalable enrichie, liste des titres en annexe).

L'un des livres les plus intéressants était *Léa découvre la Lune* (V. et A. Houck) permettant d'aborder et d'expliquer de nombreuses notions (éclairage, mouvements et phases de la Lune) ce qui a débouché sur l'élaboration d'une maquette Terre-Lune après avoir longuement travaillé sur les mouvements de ces corps en motricité.

Fig.6. *Deux des albums utilisés en classe.*

Les autres ouvrages ont permis de consolider les connaissances (grâce aux documentaires) et d'aborder le thème de façon plus littéraire et poétique (grâce aux albums). Nous avons également appris deux chants, *Au clair de la Lune* et *Regardez la Lune* (ce dernier étant extrait d'un fichier musical réalisé par les conseillers pédagogiques).

Fig. 7. *L'impatience avant d'entrer dans le planétarium itinérant.*

Nous avons accompagné ce thème de quelques observations de la Lune avec une longue-vue en après-midi et d'une séance sous le dôme d'un planétarium itinérant où, à ma demande, l'animateur a surtout

Fig. 8. *Découverte de l'alternance jour/nuit.*

Fig. 9. *Réalisation d'une maquette du Système solaire.*

évoqué l'alternance jour/nuit (avec notamment comme objectif de faire prendre conscience aux enfants que les étoiles sont toujours là pendant la journée même si on ne les voit pas).

Je ne m'étendrai pas plus sur les détails pédagogiques du projet, les photographies qui illustrent cet article valent mieux qu'un long discours. Les lecteurs qui souhaiteraient plus d'informations peuvent également me contacter (jbastro64@orange.fr).

Fig. 10. *Évaluation des connaissances sur l'ordre des planètes dans le Système solaire.*

Albums Lune	Docus Lune	Albums nuit	Docus nuit
Où es-tu, Lune ? Emile Jadoul **La Lune a disparu** Mel et Elvine **Voyage au clair de Lune** Britta Teckentrup **Des poules mal lunées** Michael Wrede **La Lune doit disparaître !** Hans Wilhelm **Jean de la Lune** Tomi Ungerer **Papa sur la Lune** Adrien Albert **La Lune a disparu** John A. Rowe **Le mystère de la Lune** Florence Guiraud **L'ours et la Lune** Antoine Guilloppé **Le voyage de l'ours Pompon** Cécile Alix et Antoine Guilloppé	**Léa découvre la Lune** Véronique et Aurore Houck **La Lune** Mes premières découvertes	**Une étoile, un vœu…** Trace Moroney **Tibou de nuit** Alain Chiche **Matty et les cent méchants loups** Valeri Gorbachev **Quelle nuit, Matty !** Valeri Gorbachev **Couleurs d'une nuit** Martine Laffon et Catherine Mercier **Le loup qui avait la tête dans les étoiles** Orianne Lallemand et Eléonore Thuillier	**La nuit** La bibliothèque des tout-petits **Le soir** La bibliothèque des tout-petits **Dans la nuit** Les aminis **La nuit...quand tu dors** Kim Eun-ha **Décollage pour l'espace** Encyclo des petits curieux

Ouvrages (albums et documentaires) utilisés pour ce thème et/ou mis à disposition des élèves dans la bibliothèque de classe.

■

Astronomie en classe maternelle dans les productions du CLEA

Les articles des pages thématiques abordent l'astronomie en école maternelle et au CP. Pour prolonger ce thème, vous trouverez des compléments dans les anciens numéros des Cahiers Clairaut sur clea-astro.eu/archives (tous les numéros de plus de 3 ans sont en libre accès sur notre site clea-astro.eu, archives des CC).

Animation en maternelle. CC123 (automne 2008). Compte-rendu d'une expérience d'animation d'une association en école maternelle.

Apprendre le ciel et rêver avec Callisto. CC 128 (hiver 2009). Une sensibilisation à l'astronomie, entre réel et imaginaire, avec des enfants d'une école maternelle du Limousin.

L'éclipse de Soleil vue par des enfants. CC 113 (printemps 2006). Observation de l'éclipse de Soleil du 3 octobre 2005 et écriture d'une histoire à partir de leurs hypothèses.

L'éclipse de Soleil de 1983 au cours préparatoire. CC026 (automne 1984) Une histoire autour de l'éclipse de Soleil du 4 décembre 1983 observée depuis l'école française de Kinshasa.

L'astronomie au cours préparatoire. CC012 (printemps 1981). Compte-rendu rapide d'une série de 5 séances d'astronomie en CP.

À signaler également deux articles intitulés Astronomie en maternelle, le premier sur une initiation à l'astronomie en école maternelle, le deuxième dénonçant le contenu beaucoup trop élevé proposé aux enfants dans le précédent article.

Astronomie en maternelle CC119 (2007).

Astronomie en maternelle CC120 (2007).

Apprendre en jouant

Jean-Luc Fouquet, muséum d'histoire naturelle de La Rochelle

Voici quelques idées d'activités d'astronomie pour de jeunes enfants, proposées par Jean-Luc Fouquet qui intervient régulièrement dans des écoles primaires ou maternelles.

Il est possible en maternelle de proposer des expériences pendant lesquelles les enfants peuvent questionner, voire même argumenter. Ces découvertes ne conduisent pas nécessairement comme avec les grands à des conclusions définitives, elles sont l'occasion d'organiser des jeux, de faire des dessins individuels ou collectifs, de prendre des pinceaux ou de malaxer de la pâte à sel, d'écouter de la poésie ou de se déguiser.

Ces activités d'éveil scientifique menées avec rigueur, avec le souci du mot juste, trouveront plus tard un écho lorsqu'elles seront reprises à l'école primaire, voire au collège ou au lycée. Un travail suivi sur les conceptions initiales des élèves montre en effet que, pour certains d'entre eux, des idées fausses que l'on pensait corrigées à l'école apparaissent encore dans le raisonnement à l'adolescence, voire à l'âge adulte.

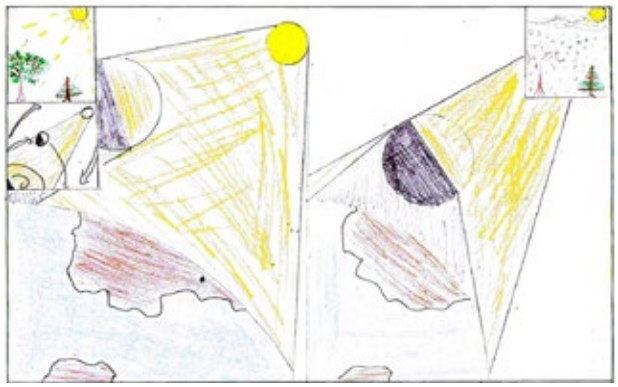


Fig.1 et 2. *Tests sur les conceptions initiales. Les élèves devaient en un temps limité (20 minutes) faire un dessin explicatif sur un des thèmes abordés en classe : jour et nuit, saisons, lunaisons, mouvements de la Terre… On retrouve en cycle 3, voire dans des classes supérieures, des erreurs déjà exprimées en maternelle : Terre fixe, Lune dans un espace nuit, hiver dû à un obstacle…*
En haut, l'espace sur la Terre et au-delà est séparé en deux : côté jour avec le Soleil, les nuages et les oiseaux, et côté nuit avec les étoiles et la Lune.
En bas, confusion entre la nuit et une éclipse de Soleil.

Une participation à une suite de questionnements et d'expériences pendant laquelle les enfants peuvent exposer leurs idées et surtout écouter celles des autres permet souvent à la plupart d'entre eux une meilleure perception du monde qui les entoure.

Ce parti pris de proposer aux enfants dès le plus jeune âge une démarche scientifique figure explicitement dans le programme d'enseignement de la maternelle mis en application à la rentrée 2015 que ce soit dans la présentation générale (« Apprendre en réfléchissant ») ou dans le premier des cinq domaines d'apprentissage présenté (« Mobiliser le langage »). Ces préconisations sont détaillées ici en italique dans l'ossature du programme (cf encadré).

Programme d'enseignement de l'école maternelle

Bulletin officiel spécial n° 2 du 26 mars 2015

2. Une école qui organise des modalités spécifiques d'apprentissage ;

2.1. Apprendre en jouant ;

2.2. Apprendre en réfléchissant et en résolvant des problèmes :

L'enseignant est attentif aux cheminements qui se manifestent par le langage ou en action ; il valorise les essais et suscite des discussions. Ces activités cognitives de haut niveau sont fondamentales pour donner aux enfants l'envie d'apprendre et les rendre autonomes intellectuellement ;

2.3. Apprendre en s'exerçant ;

2.4. Apprendre en se remémorant et en mémorisant ;

Les cinq domaines d'apprentissage :

1. Mobiliser le langage dans toutes ses dimensions

Échanger et réfléchir avec les autres. Les moments de langage à plusieurs sont nombreux à l'école maternelle : résolution de problèmes, prises de décisions collectives, compréhension d'histoires entendues, etc. Il y a alors argumentation, explication, questions, intérêt pour ce que les autres croient, pensent et savent. L'enseignant commente alors l'activité qui se déroule pour en faire ressortir l'importance et la finalité.

2. Agir, s'exprimer, comprendre à travers l'activité physique ;

3. Agir, s'exprimer, comprendre à travers les activités artistiques ;

4. Construire les premiers outils pour structurer sa pensée ;

5. Explorer le monde ;

5.1. Se repérer dans le temps et l'espace ;

5.2. Explorer le monde du vivant, des objets et de la matière.

Les autres domaines d'apprentissage suggèrent de varier le plus possible les différents modes d'intervention auprès des enfants, et l'étude de l'astronomie se prête au mieux à cette diversité demandée.

En voici quelques exemples.

Fig.3. Jeu avec les ombres, d'abord en pure découverte, puis avec des mesures de direction et de longueur.

Comprendre à travers l'activité physique…

avec des rondes pour mimer, mettant en scène des élèves-planètes et un élève-Soleil, le mouvement des planètes dans le Système solaire, ou pour mimer le mouvement de la Lune afin d'expliquer ses différents aspects au cours de la lunaison, ou encore pour jouer avec les ombres dans la cour ensoleillée, ou pour expliquer la rotation de la Terre.

Fig.4. *Les élèves déguisés miment les mouvements de la Terre, de la Lune ou des planètes autour du Soleil et parmi des étoiles colorées (masques rouges, jaunes ou bleus). Ce jour-là, la restitution d'une longue préparation se faisait devant les parents.*

Comprendre à travers les activités artistiques…

avec des jeux sur la couleur des lumières et sur la bonne méthode pour colorer l'ombre d'un objet,

Fig.5 et 6. *Étude des vraies constellations en grande section. Chaque groupe de 2 à 3 élèves est responsable d'une constellation en pâte à sel qui sera ensuite fixée sur une grande frise. Ici, sur les photos, Persée et la tête de Méduse, Pégase.*

ou avec des dessins pour tester les représentations initiales ou pour restituer une expérience, avec de la pâte à modeler, ou de la pâte à sel, pour représenter une planète ou une constellation, avec de la gouache pour obtenir des couleurs nouvelles.

Construire les premiers outils pour structurer sa pensée…

en comptant les planètes, les heures de la journée suivant les saisons, le nombre de jours dans une lunaison.

Explorer le monde…

en observant réellement le ciel nocturne ou la Lune en plein jour, en étudiant les ombres dans la cour ensoleillée, les ombres et la couleur des objets éclairés par des lumières de couleur, etc.

Faire appel à l'imaginaire

Mais le plus important reste sans doute ce retour très fréquent au premier domaine, celui du langage dans toutes ses dimensions. La bibliothèque idéale qui pourrait être mise à disposition facilement des petits élèves devrait comporter des livres à caractère scientifique avec de nombreuses photos du Soleil, de la Lune, de notre bonne vieille Terre bleue et ronde vue de loin, des phénomènes lumineux, tels les arcs-en-ciel ou les halos, des paysages suivant les saisons, et d'autres ouvrages de pure fiction tels des contes ou des poèmes.

Certains de ces livres permettront des **allers-retours** très intéressants entre récit imaginaire et réalité scientifique. Citons-en quelques exemples car ce type d'ouvrage s'avère finalement peu fréquent.

1. Sur le thème de la lumière, jouons avec ce petit livre de quelques pages, déjà ancien et bien illustré, intitulé *Petit bleu et petit jaune*, de Léo Lionni édité à l'École des Loisirs. Un écran blanc, deux petits personnages découpés dans deux filtres de couleur jaune et cyan et placés dans un projecteur de lumière blanche permettront de recréer par l'expérience l'histoire lue à voix haute. On pourra ensuite laisser les élèves s'exprimer librement avec de la gouache pour s'exercer à la synthèse soustractive des couleurs.

Sur le même thème, on pourra aussi citer un possible travail analogue avec *Le magicien des couleurs* d'Arnold Lobel, publié à l'École des Loisirs, mais aussi avec *Le marchand de couleurs*. La couleur d'un objet dépend de la lumière qui l'éclaire. Quelle est la couleur d'une orange éclairée en rouge ou en vert ? Comment colorer en rouge l'ombre d'un objet ? Il est amusant de voir en début d'expérience quelques élèves essayer de colorer l'ombre avec des feutres de couleur ou de la gouache.

Il est alors possible, au début ou à la fin de ce thème, de montrer que la lumière du Soleil est composée de lumières colorées. On pourra, avec un peu de matériel simple, décrire et donner un début d'explication à certains phénomènes tels la décomposition de la lumière blanche du Soleil (avec un prisme tiré d'une vieille paire de jumelles ou une petite cuve et un miroir), le bleu du ciel (avec une cuve, un peu de lait en poudre ou une boisson anisée, une lampe de poche) le rouge du Soleil couchant ou de la Lune au lever. On pourra, pour se détendre, retrouver ces couleurs dans des bulles de savon, à la récréation dans la cour ensoleillée.

2. Sur le thème de la Lune, nombreux sont les ouvrages décrivant les phases de façon bien imaginaire. Certains, dont on pourra reproduire les illustrations pour une discussion en groupe, permettent de relier ces interprétations poétiques à la réalité de l'observation ou aux expériences de simulation avec des boules placées dans la lumière d'un projecteur.

Fig. 7. *Quelques livres pour expliquer les phases de la Lune.*

D'autres livres seront d'une aide précieuse pour aborder la taille de la Lune, et plus généralement les dimensions apparentes des astres en fonction de leur distance à la Terre. Le plus remarquable serait *Lune après Lune* de James Thurber, dessins de Marc Simon, l'histoire d'une petite princesse qui voudrait qu'on lui porte la Lune et qui finalement se contente sagement d'un petit bijou la représentant au bout d'un collier. On peut citer aussi *La petite fille dans la Lune* de Franquin aux éditions Milan, et d'autres encore à mi-chemin entre poésie et science-fiction.

3. On ne pourra pas préparer une très bénéfique soirée d'observation sans la lecture de quelques livres présentant les constellations les plus remarquables, avec un peu de mythologie exposée de façon simple pour les plus petits. Et puisqu'il faut faire appel le plus souvent possible à l'imagination et à la créativité des enfants, cet apprentissage pourrait

se faire en deux temps, avec tout d'abord une grande carte céleste collective sur laquelle chaque élève pourra disposer une vraie constellation reproduite et dessinée à la même échelle sur un petit carré de papier calque (voir pour cela le hors-série n° 12 du CLEA intitulé *L'astronomie à l'école*), puis ensuite sur la même carte, laisser aux enfants le libre choix d'inventer des constellations imaginaires accompagnées de leur dessin et de leur légende inventée dans l'esprit des vraies !

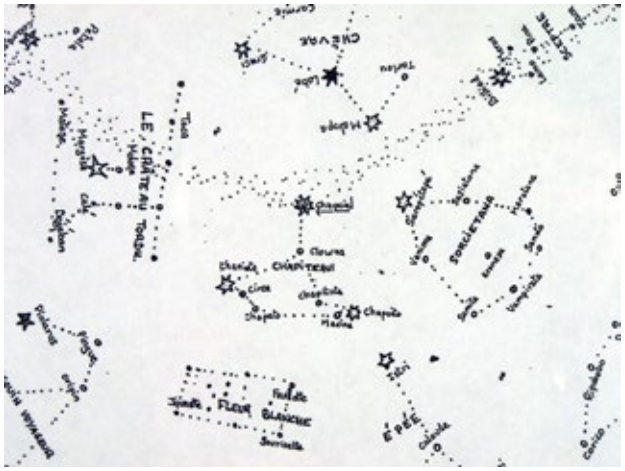


Fig.8 et 9. *Chaque enfant invente sa constellation, la dessine en nommant ses étoiles les plus remarquables et crée une légende qui lui correspond. Toutes les constellations sont ensuite repérées sur une grande carte du ciel inventée, sur le mur du fond de la classe*

Le logiciel gratuit Stellarium permet de façon très souple et ludique de découvrir les constellations et de préparer facilement une observation. On pourra aussi utiliser des livres, *Paroles d'étoiles* aux éditions les Portes du Monde ou *Le ciel et l'imaginaire* au CRDP du Limousin, et consulter des sites Internet comme celui du Jardin des Sciences de Strasbourg (légendes d'étoiles)[1] ou celui du CLEA (histoire de la Grande Ourse pour les petits curieux)[2] .

1 Sur http://jardin-sciences.unistra.fr/uploads/media/activite-cycle23-Legendes_detoiles_02.pdf

2 Légende de la Grande Ourse de la famille Tyrlik disponible sur le site du CLEA à l'adresse http://clea-astro.eu/vieclea/productions-recentes/cc/167

Observer et expérimenter avec le vrai ciel

Il m'est souvent arrivé, au cours d'interventions dans les écoles en cycle 3, de proposer aux élèves, en milieu de matinée, de sortir de leur classe pour aller observer la Lune, son aspect et l'angle que fait sa direction avec celle du Soleil. Il y a toujours quelques enfants qui restent assis, hésitant à participer à une telle activité car ils sont persuadés que la Lune n'est pas visible en plein jour. Il est donc important que dès le plus jeune âge, chaque élève ait eu l'occasion d'observer la Lune, de la dessiner et éventuellement de retrouver son aspect dans une séance de simulation en classe avec une boule et un projecteur.

Une séance d'observation nocturne, même si elle ne dure qu'une heure, est toujours à l'évidence profitable. Elle est plus facile à organiser en fin d'après-midi en hiver. Peut-être un parent d'élève possédant une lunette, ou mieux encore quelques membres d'un club d'astronomie amateur proche de l'école pourront intervenir. Il est toujours réconfortant de constater l'émerveillement d'un enfant de CP ou de CE1 découvrant la Lune ou Saturne à l'oculaire d'un instrument. On pourra observer la Grande Ourse et la Polaire, quelques autres constellations dont Orion qui a toujours beaucoup de succès.

Pendant le temps scolaire, il est possible et recommandé de jouer avec les ombres dans une cour d'école ensoleillée. Les plus petits pourront jouer avec leur ombre, sauter à pieds joints sur celle du voisin, constater qu'elle change de forme ou grandit selon qu'ils écartent les bras ou les tendent vers le haut, et surtout qu'elle est toujours à l'opposé du Soleil. En classe seront repris et écrits quelques mots de vocabulaire les plus justes et on demandera à chacun de faire un dessin. On constatera bien sûr que dans certains cas, l'ombre n'a pas la forme ou la direction attendue ou qu'elle est détachée du corps, mais quelques notions seront posées.

Avec les plus grands, on pourra éventuellement prolonger ces expériences avec une séance de simulation, à l'aide d'une figurine posée sur une grande feuille blanche, et une lampe-soleil plus ou moins inclinée permettant pour ce personnage fictif d'obtenir des ombres plus ou moins longues.

On pourra même introduire une deuxième lampe pour bien montrer la relation entre l'ombre et la source de lumière. Et pourquoi pas revenir dans la cour à un autre moment dans la journée, avec parfois des nuages (et donc une ombre absente), un Soleil plus haut ou plus bas (comme dans la simulation) avec cette idée que des observations répétées et suivies de discussions pourront déboucher sur des questions inattendues et aiguiser la curiosité de chacun. ■

Mythologies et exploration spatiale

Francis Berthomieu

Si en France tout finit par des chansons, en classe tout commence (souvent) par une histoire. Vous avez pu en découvrir plusieurs dans nos pages ou dans le hors-série n° 11 « Les constellations », qui illustrent des thèmes astronomiques et peuvent donner lieu à diverses activités pédagogiques. Ces légendes, que l'on retrouve dans toutes les civilisations, semblent fort appréciées des scientifiques et des techniciens : nous allons ici vous en donner quelques exemples, utilisables dès les petites classes.

L'année 2019 est l'occasion de fêter les 50 ans de l'arrivée de l'Homme sur la Lune, « un petit pas pour l'homme, mais un pas de géant pour l'humanité ». Elle aura été riche en événements dans le domaine spatial, et beaucoup concernent l'exploration de la Lune. Bref, et les histoires ? Attardons-nous un instant aux noms choisis par les agences spatiales du moment...

L'Inde, avec son programme spatial Chandrayann, est dans la course. La sonde Chandrayann-2 est sur le point d'être lancée à l'heure où j'écris ce texte : en sanskrit, Chandra-yann veut dire « voyage vers la Lune ». **Chandra** n'est autre que la Lune, le Seigneur Lune de la mythologie hindou dont nous vous avons déjà raconté les mésaventures (« Mythes Indiens » - CC n° 84).

En 2019, la Chine a ouvert les festivités le 3 janvier en posant le module **Chang'e** 4 en un point de la face cachée de la Lune, dont le petit rover **Yutu** 2 explora les environs, envoyant de fort belles images qui firent la une des journaux. Un exploit technologique réalisé grâce à **Queqiao**, satellite relais indispensable pour les communications avec la Terre. Trois noms mystérieux dont nous allons tenter de retrouver l'origine en explorant quelques versions de la mythologie orientale.

En Chine, Chang'e est aussi une divinité lunaire et Yutu, un « Lapin de jade » qui lui tient compagnie.

Chang'e

Il y a de cela très longtemps, il y avait au ciel dix soleils. Si dans un premier temps ils se levaient les uns après les autres, il advint qu'ils décidèrent un beau jour de se lever tous ensemble. S'ensuivit une catastrophe planétaire : végétation brûlée, roches fondues, foules accablées de chaleur... L'empereur de Jade, divinité céleste, dut faire appel à l'un des immortels qui peuplent les cieux, l'archer céleste Hou Yi, pour rétablir l'ordre. Descendu du ciel avec arc et flèches magiques il résolut promptement le problème en tuant neuf des soleils, ne laissant survivre que celui que nous connaissons. L'empereur espérait une méthode moins brutale. Il se mit fort en colère, et Hou Yi fut puni, devenant alors un simple mortel.

Il épousa la belle Chang'e, mortelle elle aussi. Mais l'immortalité perdue rendait Hou Yi maussade. Il y avait pourtant une solution. Après de multiples aventures, Hou Yi parvint au palais d'une reine qui, touchée par son récit, lui confia une fiole d'élixir d'immortalité, qu'il comptait partager avec sa bien aimée Chang'e.

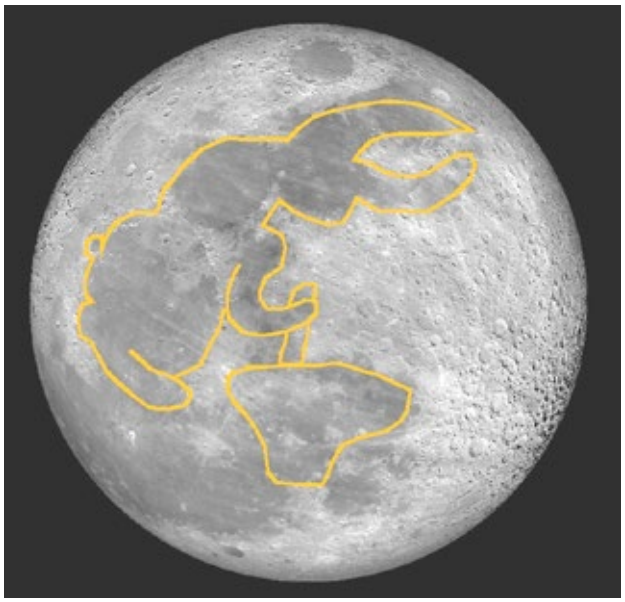
Ce ne fut hélas pas le cas car, menacée par un voleur qui voulait lui dérober le flacon, Chang'e le but d'une seule traite ! Dose excessive qui la rendit effectivement immortelle mais l'envoya aussi dans l'espace où elle se mit à flotter... Pas moyen de revenir sur Terre. Elle finit par trouver refuge sur la Lune, où elle vit désormais dans un palais, pleurant sans fin la perte de son époux Hou Yi...

Yutu

Le lapin (qui est parfois un lièvre) apparaît souvent dans les légendes d'Extrême-Orient. Et pour les habitants de l'est de l'Asie, il est associé à l'image de la Lune. Et bien des récits expliquent son arrivée là-haut. En voici un qui nous fera connaître Yutu.

Un jour, un dieu descendit sur Terre. Il souhaitait se rendre compte de la capacité des animaux à survivre dans les bois. Il prit pour cela la forme d'un homme affamé et se rendit dans une forêt. En le voyant si démuni, toutes les bêtes lui ramenèrent de la nourriture. Le singe, grimpant dans les arbres, lui ramena des fruits. L'ours, en allant pêcher dans la rivière, lui offrit des poissons. Les oiseaux chassèrent pour lui des insectes et des vers. Tous avaient un

présent pour lui, à l'exception du pauvre lapin. Il eut beau faire, à part quelques brins d'herbe, il ne réussit à trouver aucune nourriture pour l'apporter à l'homme. Très malheureux, le lapin cherchait pourtant désespérément un moyen de lui venir en aide et les autres animaux se mirent bientôt à se moquer de lui. C'est alors qu'il eut une idée : il demanda à ce qu'on allume un grand feu. Et il décida d'offrir sa propre vie, sa propre chair, en se sacrifiant dans le feu... Le dieu, très ému par cet acte héroïque, décida de lui sauver la vie. En récompense, il l'envoya habiter sur la Lune. Depuis ce temps, les habitants de l'Orient asiatique voient se dessiner un lapin sur la Lune quand celle-ci est pleine. C'est lui que les chinois appellent Yutu, « le Lapin de Jade », le compagnon de Chang'e. On raconte même que, muni d'un mortier et d'un pilon, et devenu apothicaire, il prépare un nouvel élixir d'immortalité !



Queqiao

Drôle de nom pour un satellite relais de télécommunications ! Et pourtant, il est fort bien choisi.

Dans la mythologie chinoise, Queqiao est le « Pont des Pies », celui que les oiseaux forment une fois l'an, pour permettre à la Tisserande, une déesse protectrice des femmes et des enfants, de rejoindre son amant, un simple bouvier humain. Tous deux vivent dans le ciel ; et nous vous avions déjà raconté leur histoire, sous sa forme japonaise (« Tanabata au pays du soleil levant » - CC n° 86). Tanabata était la Tisserande (Véga, dans la constellation de la Lyre) et Hikoboshi le jeune bouvier (Altaïr, dans la constellation de l'Aigle).

Une étonnante coïncidence

Une légende similaire sur le lapin de la Lune se retrouve dans la mythologie aztèque, bien loin de la Chine. Celui-là se nomme Tochtli.

Quetzalcoatl, le dieu Serpent à plumes, partit un jour en voyage sur la Terre, où il prit forme humaine. Sa longue marche l'avait fatigué. À la tombée de la nuit, il avait faim et soif. Il s'assit pour se reposer en admirant le ciel étoilé, où brillait une Lune immaculée. Un lapin, sorti de son terrier pour chercher quelque nourriture, lui proposa de manger quelques brins d'herbe. Mais Quetzalcoatl n'en voulut pas, car ce n'était pas sa nourriture habituelle. C'est alors que le lapin, dans un acte de grande noblesse, s'offrit à lui comme nourriture ! Pour que les hommes se souviennent de ce sacrifice, le dieu saisit le lapin et le souleva jusqu'à la Lune, où sa silhouette resta imprimée à tout jamais.

Gageons que ces quelques histoires vous inspireront pour d'agréables activités en classe, que vos élèves sauront imaginer leur propre légende du Lapin dans la Lune, et proposeront de multiples versions de son dessin…

■

Des animations pour les « petits » à Vaulx-en-Velin

Sylvie Thiault

Initiative peu répandue, le planétarium de Vaulx-en-Velin (69) propose en plus des « classiques » projections sous le dôme, adaptées aux moins de 7 ans, des animations pour sensibiliser les très jeunes enfants à l'astronomie et plus généralement à l'observation du ciel.

Deux niveaux sont concernés. Les tout petits de 20 mois à 4 ans et les 4 - 7 ans.

Pour les tout petits, le parcours proposé s'intitule « Regarde le ciel » ; et pour les plus grands, un atelier d'astronomie « Ma maison : la Terre » est dédié aux élèves de grande section et de CP.

Regarde le ciel !

Tous les parents et grands-parents ont probablement constaté que depuis leur poussette les enfants repèrent très vite la Lune dans le ciel, alors que les adultes ont, quant à eux, souvent oublié de chercher notre satellite au dessus de leur tête. Dès que l'enfant est capable de s'exprimer, cette observation engendre beaucoup de curiosité et de questions auxquelles l'adulte ne sait pas toujours répondre de manière juste ou adaptée.

Dans le cadre des actions culturelles et sociales menées par la ville, le planétarium de Vaulx-en-Velin a mené ce projet destiné à la petite enfance en collaboration avec le service communal « Petite Enfance ». Un partenariat a été noué avec le relais d'assistantes maternelles et les crèches.

Initialement, l'objectif du parcours « Regarde le ciel » était de proposer une ouverture vers les sciences aux professionnels de la petite enfance – crèches, assistant(e)s maternel(le)s – à travers une activité adaptée aux tout petits en lien avec l'astronomie. Finalement le public visé est plus large : classe de maternelle de petite section et famille avec de très jeunes enfants. Les enfants et leurs accompagnateurs sont très encadrés pendant la séance qui dure environ 1 heure. C'est l'occasion de faire comprendre que le planétarium n'est pas un lieu de loisirs comme un parc d'attraction, mais qu'il est avant tout un musée de sciences dans lequel il y a des codes de conduite à connaître et respecter : on ne se déplace pas n'importe comment, on ne crie pas, on ne mange pas...

Le parcours proposé, d'une heure environ, se déroule en deux temps : une séance de découverte du ciel sous le dôme du planétarium d'un quart d'heure environ puis des ateliers sensoriels.

Un dossier pédagogique est proposé aux accompagnateurs pour préparer la visite.

La séance de planétarium

Il s'agit essentiellement de découvrir le cycle journalier jour/nuit par l'observation du déroulement de trois jours consécutifs en accéléré.

Lors du déroulement de la première journée les enfants repèrent le Soleil et la Lune. Des animaux familiers apparaissent à différents moments de la journée : le coq au lever du jour, le mouton à midi, le chien au coucher du Soleil, la grenouille et la chouette la nuit.

La nuit, on observe les étoiles et on nomme quelques unes d'entre elles.

Lors du déroulement de la journée suivante, les enfants annoncent eux même les animaux et les activités qui rythment la journée. On cherche la Lune, les planètes…

Le troisième jour, le Soleil est déjà levé et la Lune est encore dans le ciel…

Quand la salle s'éteint et que le cycle journalier se déroule, le public est acquis.

Les ateliers sensoriels

On propose aux enfants de découvrir le monde avec 4 de leurs 5 sens : la vue, l'ouïe, le toucher et l'odorat. Avec un adulte ils vont successivement découvrir les 4 ateliers.

Ils vont utiliser leur oreille pour reconnaître des animaux et les associer à un moment de la journée (comme dans la séance de planétarium).

Avec leurs mains et leurs pieds (ils ont été invités à laisser leurs chaussures à l'entrée de la salle) ils vont toucher des objets dissimulés hors de leur vue ; ils devront être capables de dire s'ils sont humides, rugueux, doux… et de les reconnaître !

À l'atelier « odorat », 4 senteurs sont à identifier à l'aveugle.

Quant à l'atelier « vue », les enfants testent les superpositions de couleur, la visibilité des couleurs la nuit...

Pour cette deuxième partie du parcours, l'enfant en tirera d'autant mieux profit qu'il sera encadré pour verbaliser ses sensations et éviter un « zapping » bien naturel pour un tout petit.

Les promoteurs de ce parcours pensent que les participants prolongeront leur visite dans les salles d'exposition et auront envie de fréquenter régulièrement le Planétarium de Vaulx en Velin.

Pour ma part, j'ai eu l'occasion d'accompagner mes petits enfants (2 ans et 3 ans et demi à l'époque). Le souvenir qu'ils associent au Planétarium de Vaulx-en-Velin a sans doute nourri leur curiosité pour les objets célestes.

Ma maison, la Terre

Cet atelier d'une heure environ propose de se repérer dans l'espace et le temps. Des documents pédagogiques sont à disposition des enseignants pour préparer la séance.

Dans un premier temps les enfants organisés en tout petits groupes doivent construire « une scène » en 3D avec les objets familiers d'origine terrestre ou célestes qui leurs sont proposés : arbres, animaux, nuages, lune, avion… Le médiateur prend des photos des réalisations de chaque groupe.

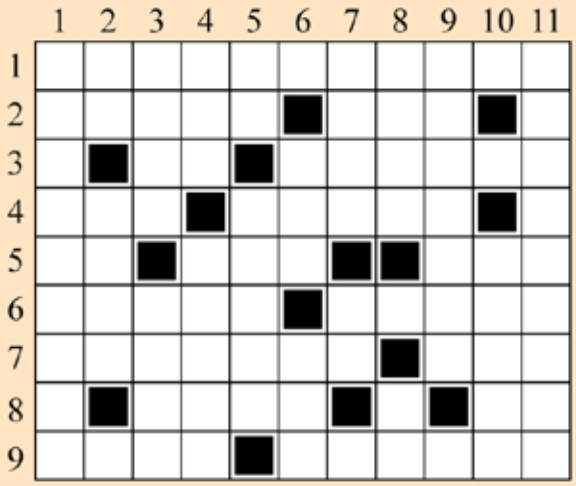
Dans un deuxième temps, le médiateur propose une projection à la classe d'images de Google Earth ou Google Maps. Le médiateur propose ainsi un voyage virtuel du sol à l'espace, ce qui permet aux élèves de débattre sur leurs différentes représentations et de se mettre d'accord pour situer les différents objets entre eux et par rapport à la surface terrestre.

Enfin autour d'une maquette de la Terre, les enfants prennent conscience de sa forme et réfléchissent à son éclairement par le Soleil : là encore, hypothèse, débat, validation...

Pour que les salles d'exposition intéressent aussi les petits, malgré les connaissances qui sont abordées, un document « jeu de piste » de trois pages est disponible pour motiver les enfants de grande section et de CP, (document téléchargeable sur le site internet du planétarium).

Le planétarium de Vaulx-en-Velin par ses diverses propositions pour les petits et tout petits fait le pari qu'une rencontre précoce avec les objets de ciel attisera le goût pour les sciences, tout comme l'initiation à l'observation, au questionnement, au débat d'idées. ■

Mots croisés astronomie à l'école maternelle



Horizontalement

1. Pour les petits.
2. Grande ou petite. À payer.
3. Lac des Pyrénées. Passe une couche.
4. Il siège. Outil pour parler astronomie aux petits.
5. Déchiffré. Interjection. Il a son arche.
6. Pas extra. Expertise.
7. Petite, moyenne ou grande à l'école. Queue du Serpent.
8. Chantés en maternelle. Comme une constellation de l'hémisphère sud.
9. Défaut. En maternelle par exemple.

Verticalement

1. À faire en astronomie à l'école mais peut-être pas encore en maternelle.
2. Elément produit dans les supernovae. Peut s'observer dès la maternelle.
3. Noir au centre de la Galaxie. esseniF.
4. Elle a ses instruments au Chili. Il vaut mieux ne pas s'y frotter.
5. Note. Les enfants connaissent bien celui de la Lune.
6. Il s'est intéressé au paradoxe du ciel noir (n'est-ce pas François). Tenté.
7. Certains l'imaginent dans le ciel, d'autres sur Terre. Révolution.
8. Fait comme la Lune. Déesse de la Terre.
9. On peut raconter celle de la Grande Ourse en maternelle.
10. Graissée.
11. Pour faire du théâtre en maternelle.

Chapelet réalisé lors de l'éclipse de Soleil du 2 juillet 2019 par Michel Vignand (La Réunion).

Petit carnet de voyage au Chili

12 jours dans l'hémisphère sud

Françoise et Daniel Descout

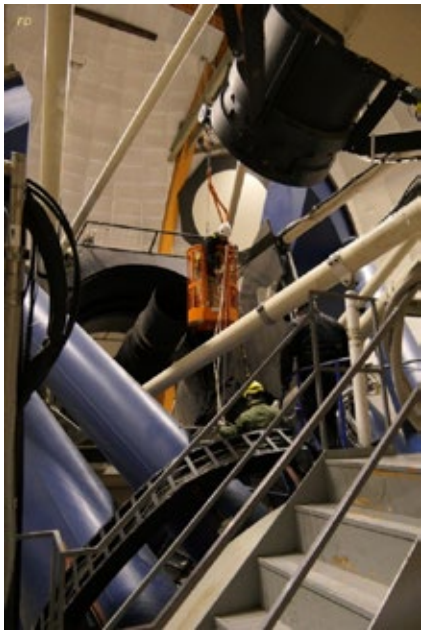
Voici le récit d'un voyage pour observer une éclipse de Soleil 100 ans après celle qui confirma la théorie de la relativité. L'expérience décrite dans l'article p. 2 a été refaite lors de l'éclipse de 2019, nous en aurons peut-être des échos prochainement.

Après un vol sans escale d'un peu plus de 14 heures, nous atterrissons à Santiago de Chile, et nous sommes accueillis par notre guide franco-chilien Vicente. C'est la deuxième fois que nous touchons la terre chilienne. La première fois, c'était en novembre 2015, au cours du printemps austral. Cette fois-ci, le 27 juin, c'est pendant l'hiver austral. Il y a quelques jours, il a neigé à Santiago.

Latitude 33° 26' S – longitude 70° 39' O ; décalage horaire avec la France : retard de 6 heures. La durée du jour est plus faible que celle des nuits, les crépuscules sont très courts, comparés aux interminables crépuscules dans le nord de la France métropolitaine fin juin.

Nous reprenons l'avion le 28 juin pour aller à La Serena, agréable petite ville au bord de l'océan pacifique. Nous enchaînons directement avec la montée au Cerro Tololo (2 200 m) où nous visitons l'observatoire interaméricain.

Nous avons la chance d'assister au nettoyage du miroir primaire du grand télescope « Blanco » (diamètre de 4 mètres), par un technicien suspendu dans une nacelle sous la coupole, et muni d'une lance à neige carbonique !



Après une agréable nuit passée au bord du Pacifique (bungalows de Punta de Choros), le 29 juin, nous sommes consignés à terre à cause de l'état de la mer (la houle et le vent nous interdisent de sortir en bateau pour l'excursion prévue dans le parc marin réserve des manchots de Humboldt). Déception !

Mais promenade en front de mer avec de belles découvertes.

Nous passons les 4 nuits suivantes dans un hôtel, en centre-ville de La Serena. La grande avenue éponyme traverse la ville d'est en ouest et nous sommes à une demi-heure à pied de la plage. Les couchers de soleil près du phare sont très beaux, et le Soleil semble plonger dans l'océan comme un fou de Bassan (un peu moins vite tout de même).

L'éclipse totale de Soleil est prévue le 2 juillet, et la tentation de capturer la lumière cendrée de la Lune est grande. Le 30 juin, faut-il attendre après le coucher du soleil, ou faut-il se lever avant lui ? À la fin juin, en France métropolitaine, le Soleil se lève au nord-est. Et à la fin de la lunaison, les fins croissants lunaires sont visibles le matin, avec deux pointes orientées vers le haut et la droite. À 30° de latitude sud, le Soleil se lève aussi au nord-est en juin, mais sa course l'amène ensuite à couper le plan méridien au nord ! Et la Lune précède le Soleil dans ce mouvement, un peu plus à l'ouest (..) que lui, en formant un croissant dont les pointes sont orientées vers le haut et la gauche.

Nous aurions dû passer 3 nuits dans la vallée de l'Elqui, mais l'hôtelier de Vicuña chez qui Vicente avait réservé notre séjour depuis 2 ans a fait flamber le tarif de la nuit en le multipliant par 10 à l'approche de juin 2019. Ce sont donc 3 nuits d'observation du ciel austral nocturne (altitude vers 700 m et loin des brumes océaniques) que nous espérions et que nous avons perdues.

Nous avons néanmoins pu visiter quelques jolis villages de montagne dans la vallée de l'Elqui, région où Gabriela Mistral est née (Vicuña) et a passé son enfance, avant de devenir enseignante, puis ambassadrice de son pays à travers le monde.

Deux groupes AFA ont profité à Vicuña de l'hospitalité d'Hugo, un ami de Vicente, pour faire une reconnaissance sur site le 30 juin, et, le 2 juillet, pour s'éparpiller dans ses vergers à avocatiers pour installer les instruments. Quelques beaux chapelets d'éclipse font partie de la moisson de photos, presque aussi réussis que la photo APOD du 5 juillet.

Et la couronne du Soleil … !

Pisco et champagne !

Et bravo aux Chiliens pour la bonne organisation de cet événement d'ampleur internationale.

La suite du voyage nous a conduits dans le désert d'Atacama, avec hébergement à San Pedro (altitude 2 400 m), un petit village qui a bien du mal à s'adapter au flux touristique. Mais les Chiliens ont des solutions à tous les problèmes pratiques, et les mettent en œuvre dans la bonne humeur. Enfin, nous avons pu bénéficier du légendaire « ciel d'Atacama ».

D'ailleurs, ce ciel n'était pas tout à fait à la hauteur de sa réputation. En effet, en ce début d'hiver, nous avons trouvé l'air beaucoup moins sec qu'au printemps en 2015. Et un voile nuageux de cirrus était présent chaque soir au crépuscule.

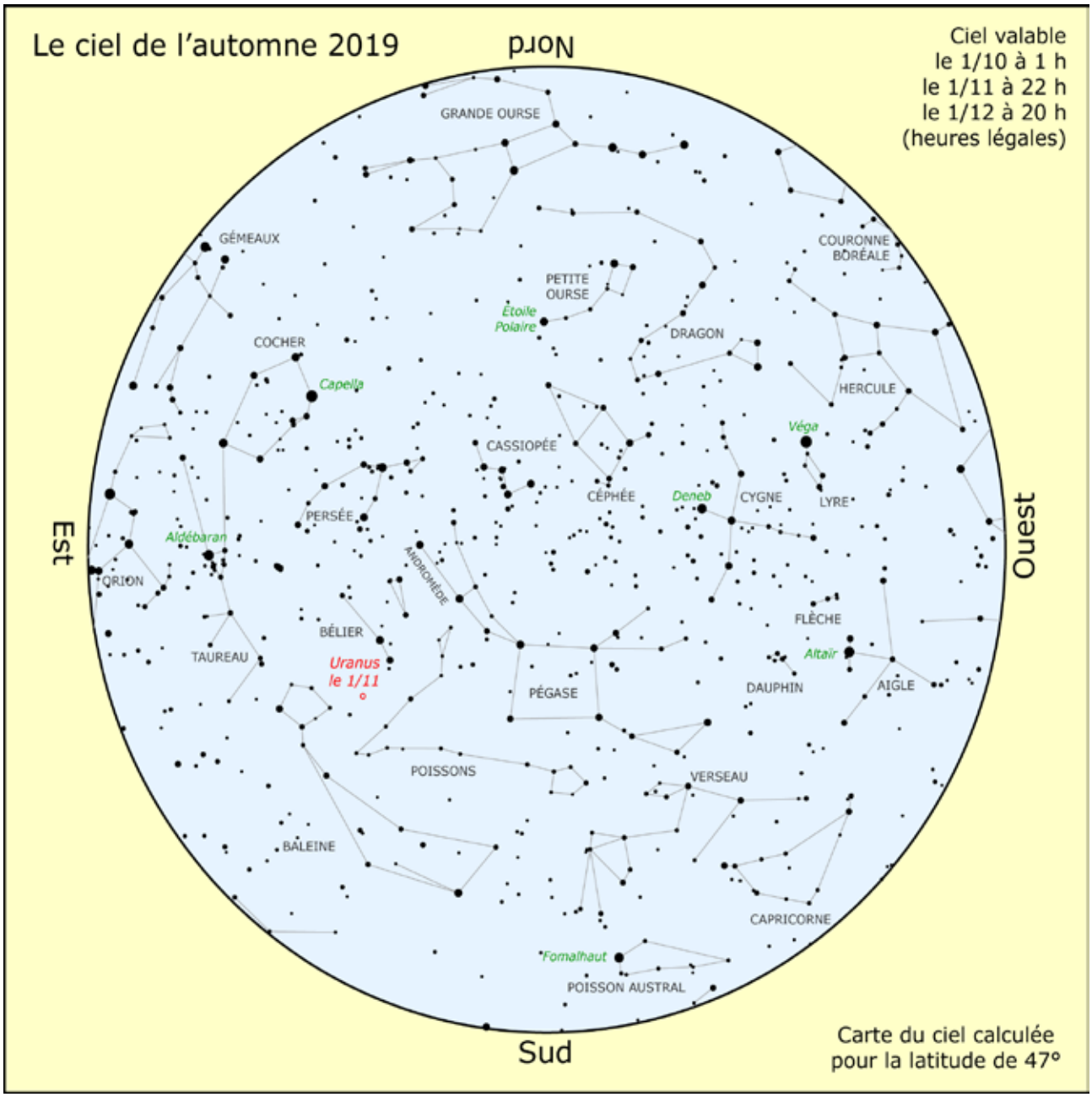
Le détour par la vallée de la Lune mérite un « 3 * » au guide national chilien. Et ici, le 4 juillet, la Lune suit le Soleil après son coucher au nord-ouest, avec un croissant aux pointes orientées vers le haut et la droite.

La visite du VLT fut aussi un grand moment du voyage (Cerro Paranal, altitude 2 635 m).

Si le VLT avait été en service le 21 juillet 1969, il aurait pu distinguer l'astronaute Neil Armstrong et le LEM sur la Lune au cours de la mission Apollo XI ! Au loin, sur la cime arasée du Cerro Armazones (3 060 m), les préparatifs d'installation de l'EELT sont en cours (télescope géant européen) pour construire le plus grand télescope optique jamais élaboré. Après une journée d'excursion sur l'Altiplano chilien, au cours de laquelle nous avons circulé sur une route de montagne à une altitude équivalente à celle du sommet du mont Blanc, nous sommes redescendus au bord de la mer (Antofagasta, port de commerce pour l'exportation du cuivre de la mine géante à ciel ouvert de Chuquicamata). Les oiseaux de la côte s'accommodent très bien de la présence humaine.

Pour la fin du voyage, la visite de Valparaiso et de ses ruelles tortueuses aux maisons décorées de larges tableaux de rues multicolores nous a ravis. ■

OBSERVATION



Visibilité des planètes

Mercure pourra être recherchée le matin fin novembre début décembre à l'horizon est-sud-est.

Vénus commence à être bien visible le soir à l'ouest à la fin de l'automne.

Mars est passée derrière le Soleil début septembre. Elle sera visible le matin (mais encore peu lumineuse) en novembre décembre.

Jupiter est toujours visible le soir jusqu'en novembre mais elle se couche de plus en plus tôt. Elle passe derrière le Soleil fin décembre (conjonction).

Saturne est encore observable le soir cet automne. Conjonction avec le Soleil le 13 janvier.

Uranus se trouve dans le Bélier.

Quelques événements (heures légales)

23/09 : équinoxe d'automne à 9 h 49 min.

5/10 : rapprochement Lune Saturne (moins de 1°). Occultation depuis le Sud de l'Afrique.

Fin oct début nov : maximum de l'étoile variable Mira Ceti, bien visible au sud vers minuit.

11/11 : passage de Mercure devant le Soleil à partir de 13 h 35 et jusqu'au coucher du Soleil. À observer avec un filtre solaire. Voir page 24.

18/11 : maximum des Léonides.

22/12 : solstice de décembre à 5 h 19 min.

Lune

Nouvelle Lune : les 28/09, 28/10, 26/11.

Pleine Lune : les 13/10, 12/11, 12/12.

11 novembre 2019 : passage de Mercure devant le Soleil

C'est un événement relativement rare puisqu'il se produit en moyenne 13 fois par siècle. Mais il n'est pas si facile à observer.

Tout d'abord, il faut absolument utiliser des filtres solaires certifiés pour éviter de se brûler la rétine.

Ensuite, il faut grossir suffisamment pour apercevoir, sur fond de disque solaire lumineux, le petit disque noir de Mercure qui ne mesurera que 10", presque 200 fois moins gros que le Soleil !

Ce passage, ou transit, débutera à 13 h 35 en heure légale. À cette heure-là, en France métropolitaine, le Soleil sera situé assez haut dans le ciel (à plus de 20°).

Le maximum est prévu à 16 h 20, le Soleil sera alors nettement plus bas.

Le Soleil se couchant avant 18 h, la fin, à 19 h 04, ne sera pas visible.

Le prochain passage aura lieu le 13 novembre 2032

Vous pouvez envoyer vos photos de l'évènement à vienney_j_m@orange.fr.

Sur cette photo du passage de Mercure de mai 2003, Mercure est le tout petit point situé au-dessus et à droite de la tache solaire (photo Alain Chatot).

Quelques activités possibles autour du passage de Mercure

Faire une maquette à l'échelle

Les données
Diamètre du Soleil : 1,4 million de km.
Diamètre de Mercure : 4 900 km.
Diamètre de la Terre : 12 800 km.
Distance Soleil-Mercure : 47 millions de km.
Diamètre de Mercure : 4 900 km.

On peut réaliser une maquette à l'échelle, avec la même échelle pour les distances et les diamètres, par exemple 1 / 2 500 000 000.

Dans ce cas, on aura
Diamètre du Soleil : 56 cm
(à dessiner sur un grand carton par exemple).
Diamètre de Mercure : 2 mm.
Diamètre de la Terre : 5 mm.
Distance Soleil-Terre : 59 m.
Distance Soleil-Mercure : 19 m.

On s'aperçoit alors que Mercure est invisible à l'œil nu. Même avec une paire de jumelles, il est difficile de la distinguer.

Calculer le diamètre apparent de Mercure et du Soleil

Avec ces mêmes données, on peut calculer le diamètre apparent de Mercure et du Soleil vus depuis la Terre.

Pour Mercure, on obtient 10" (4 900 km vus à 101 millions de km) et pour le Soleil 32,5' (1,4 million de km vus à 148 millions de km), soit presque 200 fois plus !

Calculer la baisse de luminosité du Soleil

En supposant l'éclat du Soleil uniforme sur tout le disque, on peut calculer sa baisse de luminosité pendant le passage de Mercure. C'est une des méthodes qui nous permet de détecter des exoplanètes depuis la Terre.
Le diamètre apparent de Mercure vaut environ 0,005 fois celui du Soleil donc l'aire du disque apparent de Mercure vaut $0{,}005^2$ ou 0,000 025 fois le disque solaire. La luminosité du Soleil baissera donc d'un facteur 0,000 025 soit 25 parties par million (ppm).
En termes de magnitude, cela correspond à une augmentation de $-2{,}5 \times \ln 0{,}999\,975$ soit 0,000 06 environ . C'est infime mais détectable par un satellite comme Kepler.
On pourra également se reporter au numéro 153 des Cahiers Clairaut (printemps 2016) où plusieurs articles sont consacrés à Mercure dont un, en accès libre, propose 6 activités ainsi que 6 questions autour des passages de Mercure[1].

1 http://clea-astro.eu/archives/cahiers-clairaut/CLEA_CahiersClairaut_153_11.pdf

ARTICLE DE FOND

Le volcanisme des planètes telluriques (2)

Chloé Michaut, professeur à l'École Normale Supérieure de Lyon

Dans la première partie (CC166), Chloé Michaut nous avait expliqué le volcanisme sur la Terre et sur la Lune. Voici la suite de son article avec Mercure, Vénus et Mars.

Mars

Mars présente une dichotomie topographique très marquée avec un hémisphère sud en moyenne plus haut de 5 à 6 km par rapport à l'hémisphère nord, couvert par des plaines de lave d'âge plus jeune de l'ordre de 3 Ga[1] contre un âge moyen de la surface supérieur à 3,5 Ga pour le sud. Entre les deux hémisphères, les reliefs géants des immenses volcans boucliers, appelés Mons, proches de l'équateur, se distinguent très nettement. Ils sont particulièrement hauts sur Mars (avec plus de 23 km de haut pour le géant du Système solaire Olympus Mons), car ils se sont construits pendant des milliards d'années sur une lithosphère immobile (au contraire de la Terre où le mouvement des plaques entraîne souvent la formation de chaînes de volcans comme à Hawaii).

1 3 giga-années soit 3 milliards d'années

L'origine de la dichotomie est encore très mystérieuse et plusieurs hypothèses ont été avancées : convection[2] de degré 1, tectonique des plaques dans les premiers temps de l'histoire de la planète ou encore impact géant ou nombreux impacts affectant l'hémisphère nord. Le relief de l'hémisphère sud est a priori compensé par une racine crustale épaisse ou par une densité crustale plus faible qu'au nord (ou un compromis des deux). Jusqu'à très récemment, on pensait la croûte martienne de nature homogène et de composition basaltique avec une masse volumique de l'ordre de 2 900 à 3 000 kg.m^{-3}.

2 La convection dans le manteau martien serait telle qu'elle privilégierait un seul panache ascendant et un panache froid descendant (diamétralement opposé, dans l'autre hémisphère), générant une croûte plus importante au niveau du panache ascendant chaud où plus de fusion partielle peut avoir lieu.

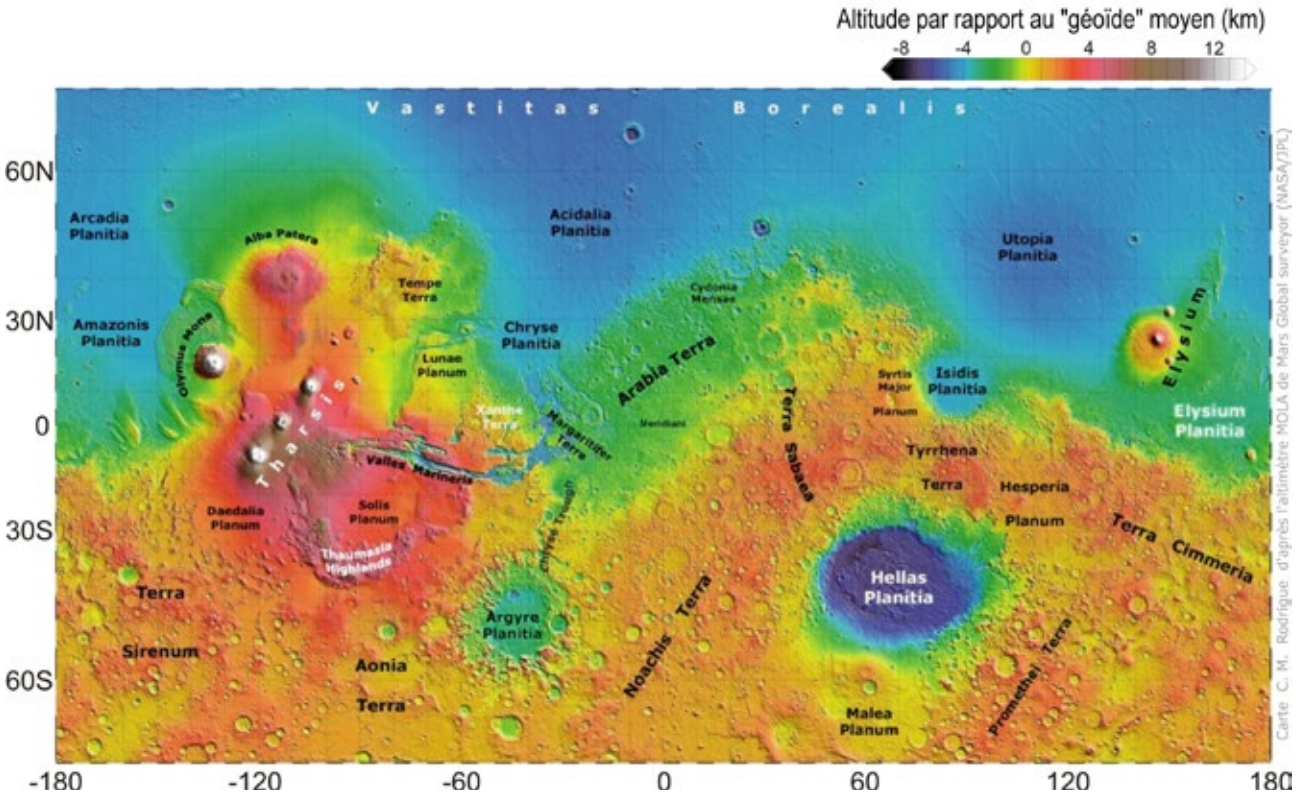


Fig.1. *Dichotomie topographique et volcans géants sur Mars.*

L'analyse par télédétection des compositions chimiques des laves permet de retracer leurs conditions de formation. Il apparaît que les compositions chimiques des laves formant les principales provinces magmatiques récentes, d'âge Amazonien (moins de 3 Ga), sont en bon accord avec une remontée directe depuis la zone de fusion mantellique jusqu'à la surface, sans phase de stockage au sein de la croûte. Le lent refroidissement du manteau au cours du temps et le progressif épaississement conjoint de la lithosphère immobile et stagnante en surface de Mars auraient conduit à des taux de fusion partielle de plus en plus faibles, et se produisant à des pressions de plus en plus importantes au cours du temps.

Les analyses récentes de densité à l'aide des données de topographie et de gravité ou encore les analyses de compositions en élément majeur des météorites martiennes recueillies sur Terre et des laves en surface pointent cependant vers des densités très importantes (3 200 - 3 300 kg.m^{-3}) avec une densité potentiellement plus faible au sud, expliquant partiellement son plus haut relief. De plus, très récemment, ont été mises en évidence des roches de composition différenciée à la surface de Mars, en particulier au sein de cratères suggérant un caractère intrusif pour ces roches. Des anorthosites ont été identifiées par télédétection à l'aide du spectromètre CRISM et des granodiorites par spectrométrie in situ par le spectromètre laser ChemCam au sein du cratère Gale, toutes dans des zones très anciennes, d'âge Noachien (plus de 3,7 Ga). Ainsi, les anciens terrains de l'hémisphère sud pourraient contenir une part différenciée non négligeable.

L'épaisseur probablement importante de la croûte sud martienne a pu générer, durant le premier milliard d'années de l'histoire de Mars, de forts gradients thermiques qui ont pu conduire à la fusion partielle de la partie profonde de cette croûte ou contribuer à la formation et la différenciation de réservoirs magmatiques. En effet, la croûte, produite par fusion partielle du manteau, concentre les éléments radioactifs car ce sont des éléments dits « incompatibles », c'est-à-dire qu'ils ont tendance à se concentrer dans les liquides lors d'une phase de fusion partielle.

La région des hauts plateaux correspondant aux anciennes structures noachiennes antérieures à la formation de Tharsis et d'Elysium présente un grand nombre de volcans centraux de 50 à 100 km de diamètre. De plus, en Arabia Terra, des cratères de forme irrégulière représentant un nouveau type d'édifice volcanique martien, semblent très similaires aux supervolcans terrestres. Ces anciennes structures éruptives sont associées à des dépôts faiblement consolidés à grains fins potentiellement issus d'éruptions pyroclastiques. La croûte martienne apparaît ainsi avec une nature duale : les dépôts volcaniques récents, formant l'essentiel de l'hémisphère nord, étant constitués de coulées de lave rigides et massives, alors que les hauts terrains anciens du Sud seraient au contraire constitués de matériaux volcaniques peu consolidés, potentiellement d'origine explosive. L'atmosphère de Mars étant ténue, sa pression de surface est faible et la teneur en volatils nécessaire à la fragmentation, i.e. à une éruption explosive, est là aussi plus faible que sur la Terre.

Finalement, comme sur la Lune, les cratères de quelques dizaines de km de diamètre semblent aussi, sur Mars, concentrer une certaine activité magmatique. On observe aussi sur Mars des cratères à sols fracturés, potentiellement dus à des intrusions magmatiques peu profondes, mais aussi des cratères remplis de lave (figure 2).

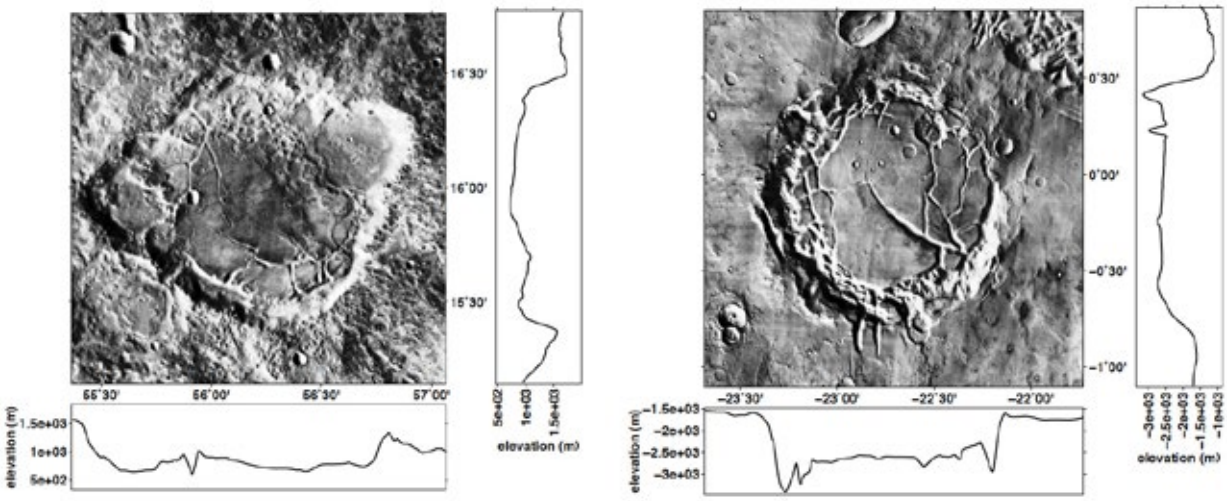


Fig.2. Un cratère à sol fracturé sur Mars (à gauche) et sur la Lune (à droite). (crédit D. Walwer).

Vénus

Vénus, parfois nommée sœur jumelle de la Terre, car de taille et de gravité comparables, reste une planète très mystérieuse. L'atmosphère très dense de Vénus, contenant 95 % de dioxyde de carbone, et ses nuages opaques d'acide sulfurique nous empêchent d'étudier avec précision la topographie et la composition de sa surface. Les conditions extrêmes qui règnent à la surface de Vénus, avec une pression moyenne de 9 MPa (près de 90 fois la pression sur Terre) et une température de 450 °C rendent toute mission spatiale fortement compliquée.

Les images de la surface de Vénus, obtenues par radar, font apparaître de grandes et basses plaines de lave, sans doute basaltique, et des plateaux plus déformés, de grands volcans boucliers et de nombreux volcans de tailles intermédiaires. Cependant, ces volcans ne sont pas alignés le long de limites de plaques tectoniques comme sur la Terre, et l'âge de la surface de Vénus semble plutôt homogène. Ceci suggère un événement de resurfaçage global il y a plusieurs centaines de millions d'années.

On observe aussi sur Vénus des coulées de lave très fluides mais surtout des objets volcano-tectoniques très curieux dont on cherche les équivalents terrestres, s'ils existent. On notera par exemple les « pancakes », ces dômes très plats et à pentes abruptes, qui semblent être des coulées de lave visqueuses (figure 3). Ils montrent cependant des dimensions bien plus grandes que les dômes de lave terrestres : leurs diamètres sont de plusieurs dizaines de kilomètres et leurs épaisseurs de plusieurs centaines de mètres, contre quelques kilomètres de diamètre et une centaine de mètres sur Terre.

Les coronae sont des objets volcano-tectoniques n'ayant apparemment pas d'équivalent direct sur Terre. Ces coronae sont des objets circulaires de tailles variables (allant de plusieurs dizaines à plus de mille kilomètres de diamètre) présentant des failles concentriques. Elles sont le plus souvent associées à un relief positif mais présentent parfois aussi des dépressions centrales. Elles sont souvent associées à des pancakes et des coulées de lave.

On les interprète comme le résultat de l'étalement, sous la lithosphère, et du refroidissement de « thermiques » mantelliques (blobs de matière chaude remontant par convection au sein du manteau). Ce modèle convient bien aux larges coronae mais peut être moins bien aux plus petites.

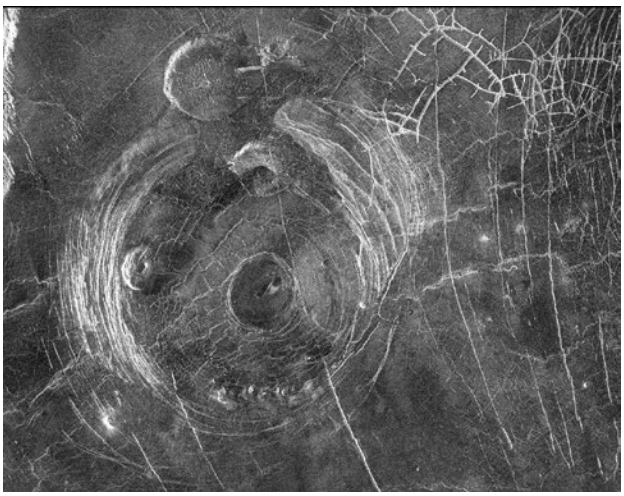


Fig.3. *Corona Aine, dans Aphrodite Terra, mesure environ 300 km de diamètre. On y trouve des dômes dits « pancakes » (au nord d'Aine Corona par exemple). Image radar de la sonde Magellan (Crédit NASA/JPL).*

Les fortes températures et pressions de surface sur Vénus modifient probablement fortement le comportement des roches sous l'effet de contraintes (leur rhéologie), leur nature cassante et la profondeur de la limite entre les régions ductiles, se déformant lentement de manière fluide, et les régions cassantes. Or la rhéologie des roches et les conditions environnementales influent fortement sur le transport du magma au sein de la croûte et donc sur la forme des édifices et structures volcaniques. Par exemple, la forte pression de surface ne permet pas une décompression efficace de la phase gazeuse éventuellement présente au sein du magma, empêchant ainsi la fragmentation du magma. Il est très peu probable que des explosions volcaniques aient eu lieu dans de telles conditions, d'autant plus qu'il est probable que Vénus ait perdu toute son eau.

Des preuves indirectes d'une activité volcanique actuelle ont été obtenues. Les sondes Pioneer puis Vénus Express ont ainsi détecté des émissions transitoires de dioxyde de soufre dans l'atmosphère de Vénus (le SO_2 étant instable dans l'atmosphère) dont l'origine est probablement volcanique. Des zones transitoirement très chaudes ont aussi été identifiées grâce aux observations d'émissivité thermique de la caméra de Vénus Express, ce dans des régions en extension, qui sont attribuées à des coulées de lave. Il serait très étonnant que Vénus, étant donné sa taille importante et donc sa forte teneur en éléments producteurs de chaleur, ne présente pas d'activité volcanique actuelle, mais aucune de ces preuves n'apparaît complètement irréfutable et les prochaines missions sur Vénus tendront à chercher les traces de cette activité.

Mercure

Mercure reste elle aussi une planète très peu étudiée. La mission Messenger (2011-2015) de la NASA a fait suite à presque 40 ans d'absence d'études de Mercure après la mission Mariner 10 (1973-1975). Cette mission a permis de révéler l'étonnante richesse en termes de volcanisme de Mercure, ce malgré sa petite taille et donc sa faible teneur en éléments radioactifs.

Tout comme les autres planètes, Mercure présente de grandes plaines de lave qui couvrent les hautes latitudes nord et occupent plus de 6 % de sa surface. Elles recouvrent et enterrent de nombreux cratères d'impact dont les tailles indiquent que ces plaines font plus d'un kilomètre d'épaisseur. Ces plaines de lave se sont sans doute déposées autour de 3,7 Ga et ce type de volcanisme effusif couvrant de vastes surfaces semble avoir cessé il y a 3,5 Ga.

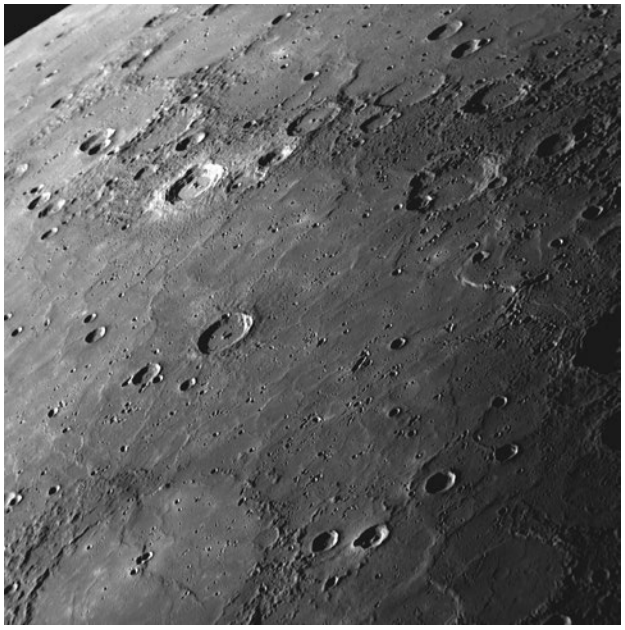


Fig.4. *Cratère rempli de lave (en bas à gauche). (crédit NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington).*

Une surprenante découverte a été la présence de dépôts brillants à marges diffuses caractérisés par un spectre de réflectance dominé par la couleur rouge (figure 4). Ces dépôts, interprétés comme des dépôts pyroclastiques, sont associés à des dépressions irrégulières que l'on attribue aux évents ayant donné lieu à ces éruptions. 90 % de ces dépôts se situent au sein de cratères d'impact, ce qui montre une fois encore le lien entre cratérisation et ascension du magma. Ces dépôts sont beaucoup plus étendus que les dépôts pyroclastiques lunaires ce qui montrerait une richesse en volatils plus importante des magmas sur Mercure et donc de l'intérieur de la planète elle-même. Ces dépôts pyroclastiques semblent aussi tardifs avec des âges estimés très récents allant jusqu'à 1 Ga, ce qui semble aller à l'encontre des modèles d'évolution thermique de Mercure qui prédisent un refroidissement très rapide et un volcanisme concentré durant le premier milliard d'années de la planète.

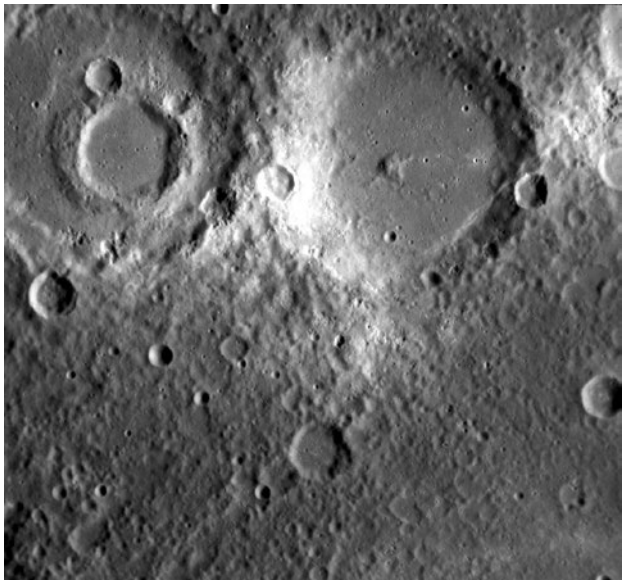


Fig.5. *Dépôts brillants à marge diffuse probablement d'origine pyroclastique sur Mercure. Image de la sonde Messenger. (crédit NASA Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/ Carnegie Institution of Washington).*

Conclusion

L'étude du volcanisme des planètes permet d'apporter des contraintes sur la composition globale et l'évolution thermique des planètes telluriques. Les observations des dernières décennies réalisées par les différentes missions spatiales sur les planètes telluriques du Système solaire ont révélé des particularités inhérentes à chacune d'elles et qui posent autant de questions quant à ces spécificités. L'étude de ces planètes nous permet aussi de nous représenter les caractéristiques possibles du volcanisme précoce de notre Terre et de sa dynamique interne et d'imaginer les scénarios ayant pu conduire à la tectonique des plaques, trait si particulier à notre planète.

■

LECTURE POUR LA MARQUISE

L'astrologie est-elle une imposture ?

(Préface de Jean Audouze)

Les enquêtes révèlent que la croyance dans l'astrologie perdure malgré tous les efforts des scientifiques. Pourquoi les arguments scientifiques développés par les astronomes n'atteignent-ils pas leur but ? La réédition du livre de Daniel Kunth et Philippe Zarka, deux astronomes réputés, pourrait apporter des éléments de réponses.

L'ouvrage comporte 8 chapitres :

- L'astrologie, un phénomène de société (Ch. 1) ;
- Brève histoire de l'astrologie occidentale (Ch. 2) ;
- Qu'est-ce que l'astrologie (Ch. 3) ;
- L'astrologie face à l'Astronomie (Ch. 4) ;
- L'astrologie est-elle une Science ? (Ch. 5) ;
- L'astrologie et les sciences humaines (Ch. 6) ;
- L'astrologie est-elle une imposture ? (Ch. 7) ;
- L'astrologie aujourd'hui (Ch. 8).

Ces deux auteurs considèrent que l'on ne peut contester l'astrologie qu'à condition de bien la connaître. Pour cela, après une brève histoire de l'astrologie occidentale, ils décrivent de manière claire et concise le « ciel des astronomes » puis indiquent les éléments qu'utilisent les astrologues en donnant la signification des termes utilisés (Maisons, Ascendant, Descendant, Milieu du Ciel etc.). Ils précisent les significations symboliques succinctes des *maisons,* des planètes. Une fois le décor planté il s'agit d'expliquer les règles du jeu de l'astrologue pour interpréter la pièce.

L'astronomie et l'astrologie semblent partager le même ciel. L'horoscope repose sur une base scientifique à laquelle il n'y a rien à reprocher : *c'est une représentation objective du ciel en un lieu et à un instant donné, et les calculs par les astrologues de la position des luminaires sont en général exacts (ce sont ceux des astronomes !).*

Le chapitre 5 pose la question : l'astrologie est-elle une science ?

Deux différences sont énoncées :

- L'astrologie ne fournit aucune explication causale, aucun cadre théorique à l'influence des astres. Les astrologues postulent l'existence de corrélations mais sans relations causales, chaque corrélation positive étant considérée comme une preuve…
- Une théorie scientifique doit, selon Karl Popper, être réfutable. C'est-à-dire qu'il existe des possibilités de prouver qu'elles pourraient être fausses.

Observons que l'homme de science est fondamentalement, d'abord quelqu'un qui doute, alors que l'astrologue lui sait…

Le chapitre 6 aborde l'astrologie et les sciences humaines.

Les auteurs soulignent que l'objet de l'astrologie n'est pas le ciel mais seulement l'homme qui est simultanément sujet et objet. Le client qui consulte l'astrologue se trouve dans une situation « d'attente croyante ». Il n'attend et n'entend que ce qu'il est venu chercher, ce qui comporte un fort risque de manipulation psychologique. L'astrologue sert de pilule de bonheur. La grille astrologique sert de prétexte préétabli qu'il est toujours possible de plaquer sur la situation du client.

Les enquêtes statistiques montrent que « l'attitude croyante envers l'astrologie augmente avec l'intérêt déclaré pour la science, culmine parmi les classes moyennes salariées, puis diminue drastiquement pour la classe de savoirs plus élevée, sans tomber à zéro ». Par contre, elle diminue avec l'âge.

Chapitre 7 : L'astrologie est-elle alors une imposture ?

Les auteurs estiment que les astrologues pratiquent leur art divinatoire avec « une évidente bonne foi » et que « leur posture ne relève en rien du désir de tromper autrui ».

Comment se fait-il que les arguments « rationalistes » n'aient guère d'effet ? Il est paradoxal d'observer que « plus la raison semble écrasante, moins elle remporte la mise ! »

Pour justifier cette observation les auteurs font observer que « fragiliser les croyances de quelqu'un, sur lesquelles il a en partie fondé son identité, est toujours vécu comme une agression et une remise en cause bien supérieure à ce que la connaissance rationnelle peut apporter. Une personne aura tendance à s'identifier à ses croyances et à les défendre comme si sa vie en dépendait. Renoncer à une croyance équivaut à une forme de mutilation. Cette dernière transforme le contradicteur en agresseur ».

Apparemment les astronomes et les astrologues semblent parler du ciel, à ceci près que l'astrologie n'en parle absolument pas. L'astrologie en fait s'occupe des personnes en tant que telles alors que l'astronomie s'occupe de lois universelles. Les sciences de la nature sont fondamentalement impersonnelles ; le sujet en est toujours absent.

En définitive, l'astrologie relève de la croyance, un terreau de l'émotion, tandis que la science ne s'adresse qu'à l'esprit.

Christian Larcher

Cartes du ciel, cartes de la Terre (4)

Michel Bobin, Pierre Causeret

Après les projections cylindriques et coniques vues dans les articles précédents, voici les projections azimutales pour réaliser des cartes de la Terre ou du ciel.

Projections azimutales

On projette la sphère $\mathcal{S}$, terrestre ou céleste, sur un plan $\mathcal{P}$ choisi ici tangent à la sphère en N, le pôle Nord. Un point M de la sphère, de coordonnées (L, φ), est projeté sur le plan en un point M' situé sur la demi-droite [Nt), intersection du plan tangent et du demi plan méridien de M (voir figure 27). Le pôle Nord N se projette en N et le pôle Sud n'a pas d'image.

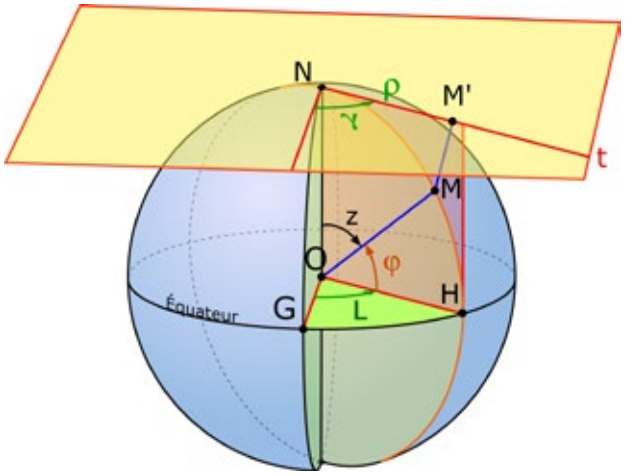


Fig.27. *Le plan sur lequel on projette est tangent à la sphère en N. Le point M de la sphère de coordonnées (L, φ) est projeté sur le plan en un point M' (ρ, γ) en coordonnées polaires.*

Il est souvent plus pratique de travailler avec la colatitude z qu'avec la latitude φ (on a $z = \pi/2 - \varphi$).

Les formules des projections azimutales seront de la forme : **$\gamma = L$ et $\rho = f(z)$** avec $f(0) = 0$ (car P→P).

Pour que la projection autour de N soit proche de l'identité, on choisira de plus $f'(0) = 1$.

Les trois projections qui suivent sont des projections perspectives avec, à chaque fois, un point de vue différent.

Projection gnomonique

Le projeté de M est à l'intersection de [OM) et du plan tangent (figure 28). On a donc **$\rho = \tan z$** (rappelons que l'on a pris le rayon de la sphère comme unité).

Dans cette projection :

- on ne peut représenter ainsi que l'hémisphère nord, sans l'équateur ;
- les demi-méridiens deviennent des demi-droites issues de O ;
- c'est une projection très déformante au voisinage de l'équateur ;
- mais elle possède une propriété intéressante : le chemin le plus court d'un point à un autre sur la sphère est un segment sur la carte. En effet, ces chemins les plus courts sont des arcs de grands cercles qui sont vus comme des droites depuis le centre de la sphère. La projection est dite orthodromique.

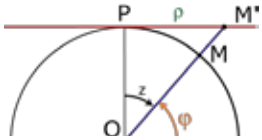


Fig.28. *Projection gnomonique. M se projette en M'. Le point de vue est en O : c'est comme si l'on regardait la sphère depuis son centre O.*

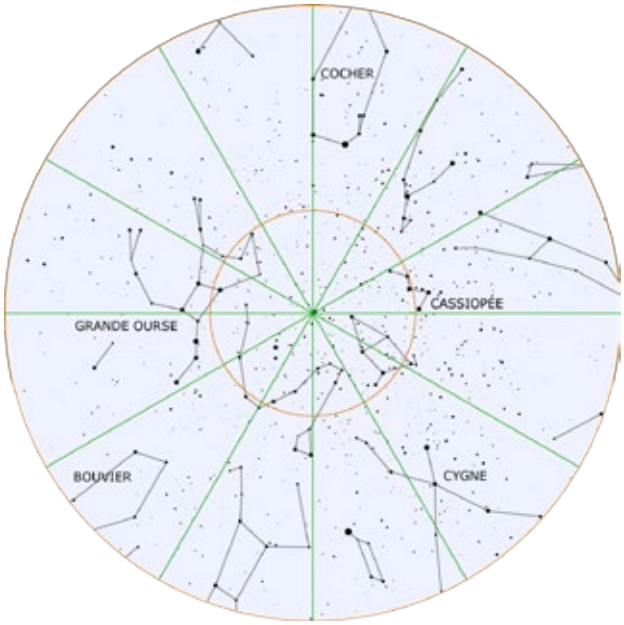


Fig.29. *Projection gnomonique du ciel pour les étoiles de déclinaison supérieure à 30°. Dans cette carte comme dans celle de la Terre, on observe des déformations importantes dès qu'on s'éloigne du pôle.*

Fig.30. *Projection gnomonique de la Terre pour des latitudes supérieures à 30°. Pour trouver le chemin le plus court de Paris à Tokyo, il suffit de joindre ces deux villes en ligne droite sur la carte.*

Projection orthographique

Il s'agit d'une projection orthogonale : (MM') est perpendiculaire au plan $\mathcal{P}$. On a **ρ = sin z**

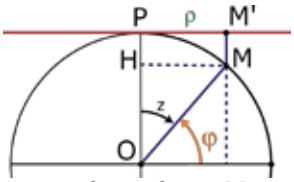


Fig.31. *Projection orthographique. M se projette en M'. Le point de vue est repoussé à l'infini. φ= HM = sin z.*

Fig.32. *Hémisphère nord de la Terre en projection orthographique.*

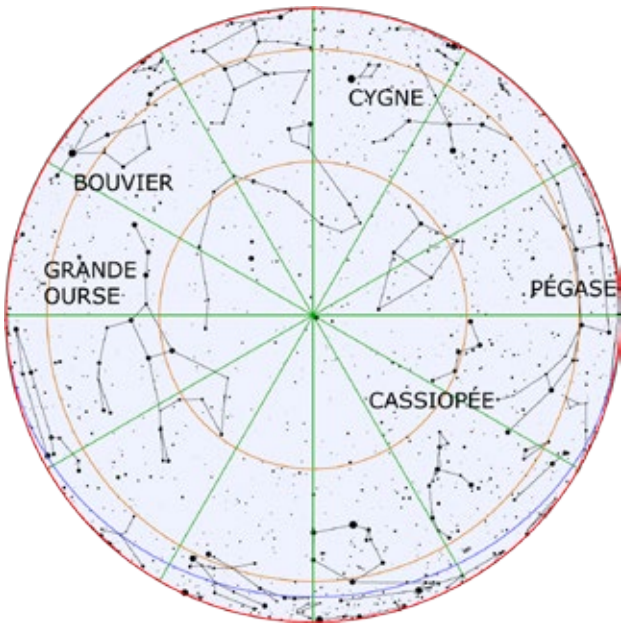


Fig.33. *Hémisphère nord du ciel en projection orthographique.*

Dans cette projection :

- on ne représente que l'hémisphère nord ;
- les parallèles sont projetés en vraie grandeur ;
- les demi-méridiens deviennent des rayons du cercle équateur ;
- pour la Terre, la carte obtenue est ce qu'on voit depuis l'espace, au zénith du pôle Nord et à une grande distance.

Projection stéréographique

Le point de vue est cette fois le pôle Sud S. M' est à l'intersection de (SM) et du plan tangent. L'angle inscrit $\widehat{PSM}$ vaut alors la moitié de l'angle au centre $\widehat{POM}$ donc $\widehat{PSM}$ = z/2.

tan $\widehat{PSM}$ = PM'/PS = ρ/2 donc **ρ= 2 tan (z/2).**

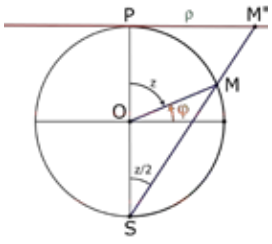


Fig.34. *Projection stéréographique. On observe la sphère depuis le pôle Sud S.*

Cette projection était connue d'Hipparque (-2ᵉ s.) et fut décrite par Ptolémée (+2ᵉ s.). Elle possède des propriétés intéressantes :

- c'est une projection conforme – elle conserve les angles donc les formes (voir encadré) ;
- l'image d'un cercle ne passant pas par S est un cercle (sinon, c'est une droite).

Cette deuxième propriété l'a rendue très intéressante pour la réalisation d'astrolabes. En effet, il faut représenter de très nombreux cercles de la sphère céleste : cercles de hauteur, cercles d'égal azimut, écliptique, équateur, tropiques (voir par exemple CC 144, hiver 2013, pages 20 et 29).

Fig.35. *La Terre en projection stéréographique, à partir de la latitude 30° S. La France ou Madagascar ont bien la bonne forme mais les échelles ne sont pas les mêmes. Dans cette projection, l'hémisphère nord est représenté à l'intérieur du cercle équateur (en rouge) et l'hémisphère sud à l'extérieur.*

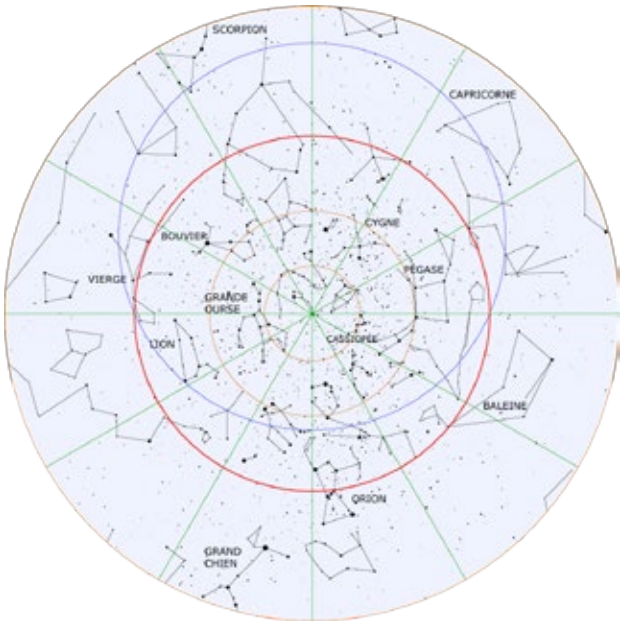


Fig.36. *Carte du ciel en projection stéréographique pour les étoiles de déclinaison supérieure à –30°. On reconnaît bien ici les formes des constellations, que ce soit la Grande Ourse ou Orion. Principal inconvénient de cette projection : plus on s'écarte du pôle Nord, plus l'échelle est grande. L'écliptique (en bleu) et l'équateur (en rouge) sont bien représentés par deux cercles.*

Lorsque l'on définit la projection stéréographique, on peut aussi projeter sur le plan de l'équateur en plaçant M' à l'intersection de (SM) et (OE) sur la fig. 34. On obtient la même carte mais à l'échelle ½.

Recherche d'une projection azimutale conforme

La projection étant azimutale, nous avons :

$\gamma = L$ donc $d\gamma/d\varphi = 0$ et $d\gamma/dL = 1$.

$\rho = f(z)$ avec $z = \pi/2 - \varphi$ donc $d\rho/dL = 0$ et $d\rho/d\varphi = -d\rho/dz$.

Pour une projection conforme, nous avons vu dans la partie 2 deux conditions, (C1) et (C2) (voir CC 165 p 33).

- La première traduit le fait que les méridiens images doivent couper les parallèles images à angle droit, ce qui est vrai pour toute projection azimutale. On peut d'ailleurs le vérifier facilement avec la formule (C1) :

$$\frac{d\rho}{dL}\times\frac{d\rho}{d\varphi}+\rho^2\frac{d\gamma}{dL}\times\frac{d\gamma}{d\varphi}=0$$

- La deuxième condition s'écrivait

$$\sqrt{\left(\frac{d\rho}{d\varphi}\right)^2+\rho^2\left(\frac{d\gamma}{d\varphi}\right)^2}=\frac{1}{\cos\varphi}\sqrt{\left(\frac{d\rho}{dL}\right)^2+\rho^2\left(\frac{d\gamma}{dL}\right)^2}$$

En remplaçant par les valeurs données au début de l'encadré :

$$\frac{d\rho}{dz}=\frac{1}{\sin z}\times\rho \quad \text{soit} \quad \frac{1}{\rho}d\rho=\frac{1}{\sin z}dz \ (C3)$$

Une primitive de $1/\sin z$ peut se trouver avec le changement de variable $t = \tan(z/2)$. On obtient $\ln(\tan(z/2))$.

En intégrant l'égalité (C3), on obtient $\ln \rho = \ln(\tan(z/2) + k$.

D'où $\rho = a\times\tan(z/2)$. La condition $f'(0) = 1$ nous donne $a = 2$, il s'agit bien de la projection stéréographique.

Projection azimutale mérid-équidistante

On veut ici que les distances soient conservées sur les méridiens. Donc $d\rho/dz$ doit être constant d'où $\rho = kz$ (pour $z = 0$, $\rho = 0$). Pour avoir $f'(0) = 1$, on choisira $k = 1$ donc $\boldsymbol{\rho = z}$.

C'est la projection azimutale de Guillaume Postel.

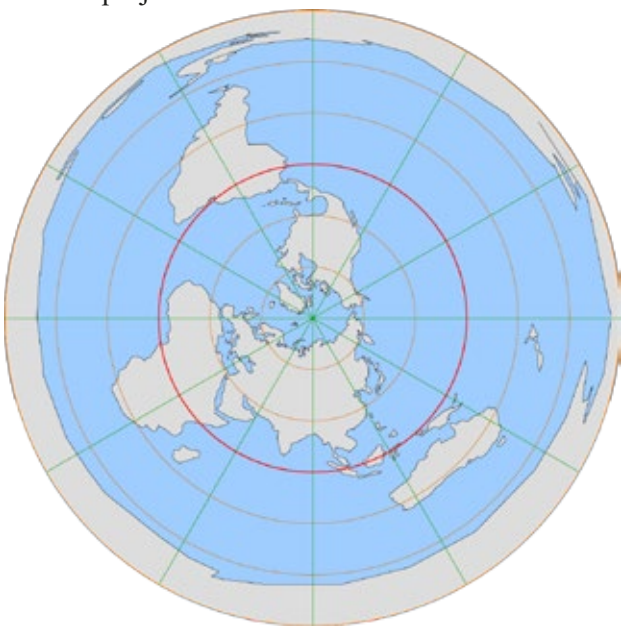


Fig.37. *La Terre en projection mérid-equidistante. On peut représenter l'ensemble de la Terre mais l'Antarctique prend ici une place énorme.*

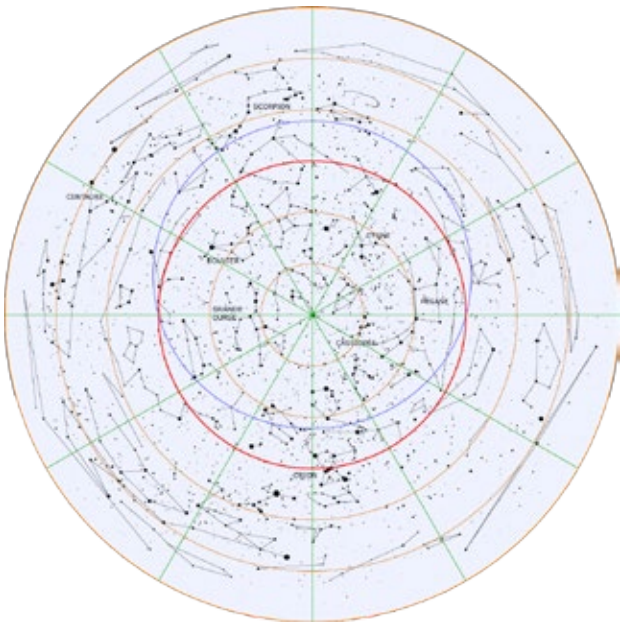


Fig.38. *Le ciel en projection mérid-équidistante. C'est la projection utilisée pour les cartes tournantes du ciel. Dans ce cas, on s'arrête aux alentours de -45° ou -50° de déclinaison, les étoiles plus au sud n'étant pas visibles à nos latitudes.*

Recherche d'une projection azimutale équivalente

Une projection est équivalente si (voir CC 164 p. 11) :

$$\frac{\rho}{\cos\varphi}\times\left(\frac{d\rho}{dL}\times\frac{d\gamma}{d\varphi}-\frac{d\rho}{d\varphi}\times\frac{d\gamma}{dL}\right) \text{ est constant}$$

On sait que $d\gamma/d\varphi = 0$, $d\gamma/dL = 1$, $d\rho/dL = 0$ et $d\rho/d\varphi = -d\rho/dz$
La condition ci-dessus devient :

$$\frac{\rho}{\cos\varphi}\times\left(-\frac{d\rho}{d\varphi}\right)=a \text{ soit } \frac{\rho}{\sin z}\times\frac{d\rho}{dz}=a \text{ d'où } \rho\cdot d\rho = a\times\sin z\cdot dz$$

On obtient en intégrant : $\frac{1}{2}\rho^2 = -a.\cos z + b$

Si $z = 0$, $\rho = 0$ donc $a = b$ et $\rho^2 = 2a \times (1 - \cos z)$.
Or, pour tout angle z : $\cos z = 1 - 2\sin^2(z/2)$.
Ce qui donne $\rho^2 = 4a \times \sin^2(z/2)$ donc $\rho = k \times \sin(z/2)$.
La condition $f'(0) = 1$ nous donne $k = 2$. D'où $\rho = 2\sin(z/2)$.

Projection azimutale équivalente de Lambert

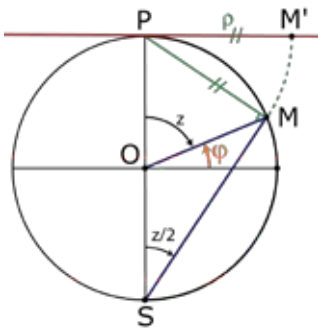


Fig. 39. *Projection azimutale de Lambert.*
Le projeté M' est tel que PM = PM'.
On peut vérifier que, dans ce cas, on a bien
PM = 2 sin (z/2) comme on a trouvé dans l'encadré car sin(z/2)=PM/PS.

La projection azimutale de Lambert conserve les aires, c'est une projection équivalente. On la définit par **ρ = 2 sin(z/2)** (voir encadré). On peut en déduire une construction géométrique des projetés (figure 39).

Fig.40. *La Terre en projection azimutale équivalente.*

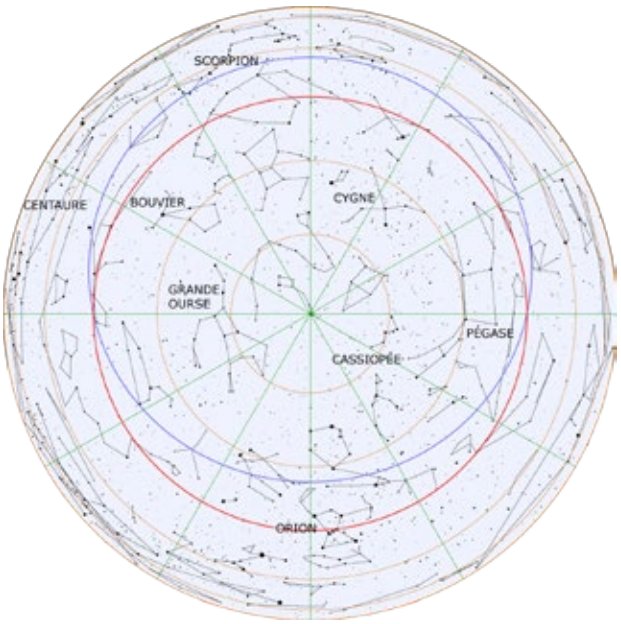


Fig.41. *Le ciel en projection azimutale équivalente. Les aires sont conservées mais les constellations sont de plus en plus déformées au fur et à mesure qu'on s'éloigne du pôle Nord.*

Propriétés des projections azimutales

Projection	gnomonique	orthographique	stéréographique	Mérid-équidistante	équivalente de Lambert
Images des parallèles	cercles				
Images des méridiens	segments				
Longueurs sur un parallèle		conservées			
Longueurs sur un méridien				conservées	
Angles			conservés		
Aires					conservées

Nous terminerons cette série dans le prochain numéro par la projection de Hammer-Aïtoff **.**

Les cadrans solaires : principe (2)

Nathalie Cugnet, professeur agrégé, collège Jean-Baptiste Rusca, Tende

Cet article fait au suite à une première partie dans le numéro 164 des Cahiers Clairaut pages 2 à 6. Il s'agit ici de comprendre comment les cadrans solaires peuvent nous donner des heures régulières. On abordera aussi dans cette partie la correction nécessaire pour retrouver l'heure légale actuelle.

Constitution d'un cadran solaire

Un cadran solaire comporte plusieurs éléments :

• une surface plane appelée table, sur laquelle sont tracées les lignes horaires. Comme à Saorge, cette table peut être agrémentée d'un décor et/ou d'une devise, voire de la date de création du cadran.

• un style qui est l'objet porte-ombre. L'ombre du style parcourt les heures au fur et à mesure que la Terre tourne. Elle permet la lecture de l'heure.

Fig.1. *Cadran restauré des anciennes écuries de l'observatoire de Nice.*

Différents types de cadrans solaires

Il existe de très nombreux types de cadrans solaires. Il y a en particulier :

1. Les cadrans équatoriaux : la table est parallèle à l'équateur terrestre et le style parallèle à l'axe de rotation de la Terre ;

2. Les cadrans horizontaux qui fonctionnent du lever au coucher du Soleil si aucun obstacle ne les cache à la lumière du Soleil, la table est horizontale et le style est toujours parallèle à l'axe de rotation de la Terre ;

3. Les cadrans verticaux, comme ceux de Saorge (article précédent). Les principales différences avec les cadrans horizontaux sont qu'ils ne pourront être éclairés par le Soleil toute la journée (en particulier au printemps et en été) et que, pour les cadrans orientés approximativement au sud, l'ombre du style tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Ces cadrans sont souvent à style polaire (style incliné parallèlement à l'axe de rotation de la Terre). Ils peuvent aussi être à style horizontal (comme ceux qui sont conservés au monastère de Saorge) et dans ce cas, c'est l'ombre du bout du style qui indique l'heure**.**

Mais un cadran vertical ne peut pas toujours être orienté selon le méridien local, car il est tracé sur un mur et donc tributaire de l'orientation de ce dernier. Cette orientation n'étant pas modifiable, c'est le tracé horaire qui doit être modifié en conséquence.

Aussi les cadrans verticaux peuvent être de trois types :

• méridional (orienté face au sud). Les lignes horaires convergent vers un point et sont symétriques par rapport à la ligne du midi, verticale. L'ombre du style est à gauche le matin, au milieu à midi, à droite l'après-midi. Au monastère de Saorge, plusieurs cadrans sont presque orientés plein sud (voir la première partie de l'article, CC 164 page 5 figure 7, il s'agit des n^{os} 1, 2, 3, 4, 5 et 10) ;

• déclinant est (orientation orientale), ils indiquent l'heure le matin, (déclinaison[1] de –90° pour les cadrans 8 et 9 sur le plan de Saorge, donc plein est) ou déclinant ouest (orientation occidentale), ils indiquent l'heure l'après-midi (déclinaison de +90°, cadrans 6 et 7, donc plein ouest) ;

• septentrional (déclinaison de 180°), ce type de cadran est rare. Il indique les premières et dernières heures de la journée et ne fonctionne qu'au printemps et en été. Il est tourné vers le nord et le style qui pointe vers le ciel part du centre du cadran. Les heures du matin sont donc à droite et celles du soir à gauche.

On constatera que les cadrans solaires du monastère

1 On appelle déclinaison d'un cadran l'angle entre la perpendiculaire au cadran et le sud. Elle vaut 0° pour un cadran méridional.

de Saorge ont été peints sur les murs est, nord et ouest du cloître. Ils sont donc méridionaux, déclinants du matin ou de l'après-midi. Ils couvrent ainsi la journée car la présence des murs implique que pour couvrir toutes les heures, il faut un grand nombre de cadrans. En effet, les murs est et ouest cachent les cadrans méridionaux de la cour à différents moments de la journée. Dans la cour intérieure, les cadrans situés sur la façade est indiquent les heures de l'après-midi et ceux situés sur la façade ouest les heures du matin. Pour un cadran qui voit le sud, donc avec une déclinaison comprise entre 90° est et 90° ouest, le style pointe vers le sol. Il est placé à gauche de la ligne de midi sur un cadran déclinant est ; sur un cadran déclinant ouest, il est à droite. Plus la déclinaison d'un cadran est importante (de 0 à 90°), plus le temps d'éclairage est court et plus ses lignes horaires sont parallèles entre elles.

Fonctionnement d'un cadran.

Pour comprendre le fonctionnement d'un cadran, il faut imaginer une expérience où on se placerait au pôle Nord en été. L'axe nord-sud sera matérialisé par un bâton planté perpendiculairement au plan horizontal.

Par suite du mouvement de rotation de la Terre sur elle-même en un jour, l'ombre du bâton balaie sur le plan horizontal un tour complet en 24 heures. En une heure l'ombre va donc balayer un secteur de 15° (360°/24). Le plan horizontal au pôle étant parallèle à l'équateur, nous avons réalisé un cadran équatorial. En tout autre point de la Terre qu'au pôle Nord, ce cadran peut être utilisé à condition de maintenir la table parallèle à l'équateur et le style parallèle à l'axe des pôles (il suffit de connaître la latitude du lieu qui est égale à la hauteur du pôle sur le plan horizontal).

Fig.2. *Cadrans équatoriaux installés au pôle Nord et en Europe.*

Fig.3. *Maquette d'un cadran équatorial.*

Sur ce cadran équatorial, l'heure se lit sur la face côté nord en été et au printemps et sur l'autre face les autres saisons. Par contre il sera difficile de lire l'heure au moment des équinoxes puisque le Soleil sera dans le plan du cadran.

Pour un cadran horizontal, le style devant être toujours parallèle à l'axe des pôles, il fera avec le plan du cadran un angle égal à la latitude du lieu. Pour un cadran vertical méridional, cet angle sera de 90° moins la latitude du lieu.

La plupart des cadrans indiquent l'heure solaire du lieu où ils se trouvent. Or il n'est pas midi au même instant partout en France, midi étant l'instant où le Soleil passe plein sud, au plus haut dans le ciel. Par exemple, il est midi 10 minutes plus tôt à Nice qu'à Marseille, Nice étant plus à l'est.

D'où l'expression « chacun voit midi à sa porte » ! Les églises de France ne sonnaient pas toutes midi en même temps !

L'avènement du temps moderne

Au 19e siècle, le développement du chemin de fer nécessite la mise en place d'une heure commune dans tout le pays. De plus, il y avait concurrence entre l'heure des horloges, régulière, et l'heure solaire vraie, irrégulière[2]. En 1816, le temps moyen des horloges est adopté à Paris.

Fig.4. *Médaillon Arago indiquant le passage du méridien de Paris, cour du Louvre.*

2 Voir par exemple « L'affaire de la Ste Luce », CC 147.

Puis après une longue « guerre des heures » entre la France et l'Angleterre, en 1911 la référence devient le temps moyen du méridien de Greenwich et la Terre est découpée en fuseaux horaires. En échange les Anglais devaient abandonner leur système métrique car les Français se sentaient lésés puisque qu'ils avaient matérialisé leur méridien les premiers.

Correction pour retrouver l'heure de sa montre

Autrefois ces corrections n'avaient pas d'importance car chacun voyait « midi à sa porte ». Dans la vie moderne ce n'est plus possible à cause des communications et des transports.

1. En France, on ajoute à l'heure donnée par le cadran, une heure en « hiver » et deux en « été ».

2. Pour se ramener à l'heure légale, il faut effectuer une seconde correction dite de longitude. Saorge est à 7° 33' est de longitude. Chaque degré représente 4 minutes puisque les 360° sont décrits en 24 h. Ainsi à Saorge, on retranche 30 minutes et 12 secondes. Le signe moins qui apparaît ici est dû au fait que Saorge voit midi avant Paris vu le sens de rotation de la Terre. C'est pour cela qu'il y a 10 minutes environ entre l'heure solaire à Marseille et celle à Saorge. De la même façon quand il est 12 h solaire à Brest, il est 12 h 49 min en heure solaire à Strasbourg car le Soleil avait culminé avant à Strasbourg. Par contre, l'heure solaire est la même tout au long d'un méridien.

3. La dernière correction à faire concerne ce que l'on appelle l'équation du temps. On la trouve dans des tableaux ou des graphiques. Cette correction va de +14 à -16 minutes.

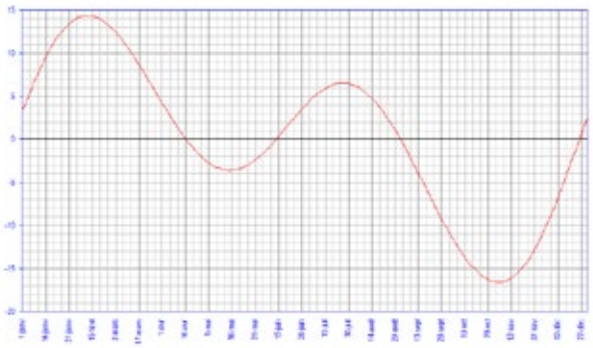


Fig.5. *Graphique donnant l'équation du temps.*

Elle est due au fait que la Terre ne tourne pas à la même vitesse sur son ellipse et que son axe est incliné. Le Soleil est donc tantôt en retard par rapport à l'heure moyenne de nos montres tantôt en avance. Une valeur positive de l'équation du temps indique que le Soleil vrai est en retard, c'est-à-dire plus à l'est, et une valeur négative qu'il est en avance, c'est-à-dire plus à l'ouest. Afin de prendre en compte ce phénomène, certains cadrans plus élaborés indiquent les heures moyennes du lieu avec les courbes en huit tracées autour des lignes horaires, comme celui de la figure 3.

Ces corrections, pouvant atteindre jusqu'à deux heures, la formule pour retrouver l'heure de la montre est donc :

L'heure légale de la France = heure solaire

+ écart en longitude (positif à l'ouest de Greenwich, négatif à l'est)

+ l'équation du temps (positive ou négative) + heure d'été ou d'hiver (1 h ou 2 h).

Ex : Lorsqu'un cadran à Saorge indique midi le 11 mai, le calcul à faire est 12 h – 30 minutes (écart en longitude à Saorge) – 3 minutes environ (équation du temps pour le 11 mai) + 2 h (heure d'été). On trouve donc 13 h 27. Ce qui correspond à notre montre ou téléphone.

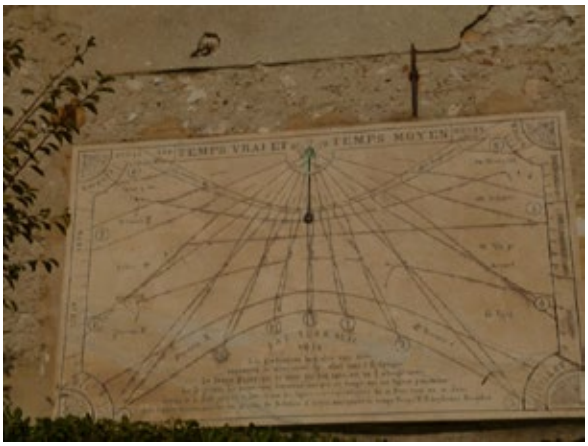


Fig.6. *Cadran du père Illonse, monastère de Cimiez, Nice (1876).*

Un cadran solaire indique parfois aussi la date. Il sert alors de calendrier. L'ombre d'un point d'un style décrit chaque jour une courbe dont la forme et l'emplacement varient au cours de l'année. Les arcs diurnes les plus souvent représentés sont ceux des solstices d'hiver et d'été qui sont les deux arcs extrêmes. Ces arcs sont remplacés par une ligne droite aux équinoxes. On parle d'équinoxiale. Pour lire la date, on utilise soit un style polaire muni d'un œilleton soit un style virtuel : une tige perpendiculaire à la table et terminée par un petit objet (boule...). L'heure et la date sont indiquées par l'ombre de cet objet. Le cadran du père Illonse ci-dessus est l'un de ceux qui indiquent l'heure et la date. Sur un cadran vertical méridional l'ombre est la plus courte le 21 décembre, et la plus longue le 21 juin. ■

JEUX

Solutions du devoir de vacances publié dans le précédent numéro des Cahiers Clairaut : cherchez les erreurs

Danielle Briot, observatoire de Paris

Tout d'abord quelques rappels sur l'aspect de la Lune dans le ciel.

L'erreur la plus absurde, et cependant fréquente, est de représenter des étoiles dans la partie située entre les cornes de la Lune quand la Lune est en croissant. Quelquefois même des étoiles sont dessinées sur la Lune. Ces images impliqueraient soit que la Lune diminue réellement, fond en quelque sorte, quand la partie éclairée que nous voyons dans le ciel diminue, soit que la Lune est transparente et laisse voir le ciel derrière elle, soit encore qu'il existe des étoiles entre la Terre et la Lune (!). Cette erreur est reproduite dans les figures 1 et 2 et 8.

Extraits des figures 1, 2, 8.

Au début de son cycle et dans notre hémisphère, la Lune apparaît le soir, comme un fin croissant, après le coucher du Soleil, vers l'ouest, la partie arrondie, c'est à dire la partie éclairée, étant vers le côté du Soleil, bien sûr. À ce moment-là, la Lune a l'aspect d'un C inversé de gauche à droite : ☽. Les représentations de la Lune sont plus fréquemment des « Lunes du soir », parce que le plus souvent nous dormons lorsque la Lune du matin est visible et ainsi nous connaissons mieux la Lune comme compagnon romantique de nos soirées. Et cependant les dessinateurs et les peintres représentent trop souvent un croissant de Lune en forme de C. On pourrait supposer que cette erreur courante est liée au fait que nous vivons de plus en plus souvent dans des villes et que nous ne regardons plus le ciel, mais la dite erreur était déjà soulignée dans *l'Astronomie Populaire* de Camille Flammarion, livre écrit en 1880. La Lune est représentée ainsi dans les figures 2, 3, 4 et 7.

La position du croissant de Lune de la figure 1 (voir figure ci-dessus) ne peut pas être vue ainsi. Il faudrait que le Soleil soit au-dessus du croissant de Lune. Cependant dans ce cas il ferait jour et le croissant de Lune ne serait pas visible.

Pour ce qui concerne la position du croissant de Lune, la figure 2 (voir figure ci-dessus) est légendée « Visage d'un soir ». Cela pourrait correspondre à ce que l'on voit dans l'hémisphère sud, mais comme la légende est en français, il faudrait qu'il s'agisse de territoires français d'outremer situés dans l'hémisphère sud.... Peu probable...

Sur la figure 3 ci-contre et comme l'indique la légende, cette erreur est voulue et est justement faite pour mettre en évidence les images fausses que l'on voit trop souvent.
L'image est extraite de *L'astronomie récréative* de Yakov Perelman (1882-1942).

La figure 4 (ci-dessous) est une des illustrations utilisées par Google. Elle représente l'histoire de Cendrillon, comme l'atteste la chaussure dessinée à droite. L'histoire de Cendrillon a été écrite dans l'hémisphère nord. Dans cet hémisphère, la Lune telle qu'elle est dessinée est une Lune du matin. Or après minuit le carrosse de Cendrillon est de nouveau transformé en citrouille et les chevaux en souris, ce qui n'est pas le cas sur cette image. Ce ne peut donc être une lune du matin.

Cendrillon chez Google (figure 4).

La Lune est le seul satellite du Système solaire qui ne se déplace pas dans le plan équatorial de sa planète, mais, à 5° près, dans le plan de l'écliptique, c'est à dire le plan dans lequel circulent toutes les planètes.

La figure 5 (ci-dessous) est une réclame pour un whisky dont nous avons dû cacher le nom, pour ne pas faire de publicité illicite... On est donc en Écosse, dans un château plus ou moins en ruines, dans une tour dont le toit a disparu. La photo est prise en contre-plongée. La tour est verticale, comme l'atteste les flammes des bougies. La Lune vue par l'ouverture

de la tour est donc plus ou moins au zénith. Comme cela se passe pour le Soleil, pour que la Lune apparaisse à un moment donné au zénith d'un lieu, il faut que ce lieu soit situé entre les deux tropiques. Or quiconque a passé ses vacances en Écosse sait que l'Écosse n'est pas en zone tropicale. La Lune a été ajoutée sur la photo pour augmenter l'effet romantique.

Publicité pour un whisky écossais (extrait de la figure 5).

Pour les deux photos de la figure 6, nous nous trouvons sur la Lune. On voit la Terre dans le ciel. Il fait jour, puisque le sol et les objets sont éclairés. Le ciel est noir à cause de l'absence d'atmosphère. Les ombres sur la surface lunaire laissent penser que le Soleil est à gauche, hors de la photo. Or la Terre dans le ciel est visiblement éclairée par un Soleil au-dessus d'elle. Comme le Soleil n'est pas une étoile double (ce qui compliquerait encore les choses...), on ne peut qu'en conclure qu'il s'agit encore une fois d'une photo trafiquée et que l'image de la Terre a été ajoutée dans le ciel. Pour ceux qui ne seraient pas convaincus, voici une preuve supplémentaire. On peut rechercher au cours de quelle mission Apollo ces photos ont été prises. Une rapide recherche sur Internet nous apprend que ces photos ont été prises au cours de la mission Apollo 16. Aucune photo de cette mission, signée de la Nasa ne montre une Terre dans le ciel. Continuons notre enquête et recherchons quel est le point d'alunissage de la mission Apollo 16. Nous constatons que ce lieu n'est pas très éloigné du centre de la face visible de la Lune. Donc depuis ce site lunaire, la Terre est visible près du zénith du lieu, et ne peut jamais apparaître si proche de l'horizon. Il s'agit donc bien d'une photo trafiquée. La légende ajoutée « Lever de Terre sur la Lune » est une erreur de plus. En effet, la Lune présentant toujours le même côté face à la Terre, la Terre, vue depuis la Lune, ne se déplace pratiquement pas dans le ciel et se contente de montrer des phases, semblables aux phases de la Lune, mais inversées. Pour contempler un lever de Terre sur la Lune, la seule solution serait de faire comme le Petit Prince qui déplace sa chaise lorsqu'il veut admirer un coucher de Soleil depuis sa planète, donc de se mettre en mouvement.

Lever de Terre (première photo de la figure 6).

La figure 7 est particulièrement fantaisiste. La légende de l'image dit : « Ils se réveillèrent au clair de la Lune ». Une Lune telle que celle qui est représentée dans le ciel ne peut pas exister en réalité. Le Soleil doit être du côté de la partie arrondie du croissant, soit plus haut dans le ciel, donc il fait jour, ce que montre en fait la couleur du ciel. Or il est difficile de voir un croissant de Lune en plein jour et il n'est plus question de clair de Lune. Enfin, un croissant de Lune, même dessiné au bon endroit, même la nuit, ne peut pas produire un clair de Lune.

« Et se réveillèrent au clair de la Lune » (extrait de la figure 7).

Image n° 8 (ci-dessous) : Première erreur, comme nous l'avons dit plus haut, lorsque l'on prolonge, jusqu'à faire un cercle, les cornes de la Lune que l'on voit par la fenêtre, une étoile se trouve devant le cercle de la Lune. Deuxième erreur : en aucun cas une Lune en croissant ne peut produire un clair de Lune, parce qu'elle ne reflète pas assez de lumière. Il existe bien sûr de très nombreuses illustrations de la très populaire chanson *Au clair de la Lune* et il est amusant de rechercher ces illustrations pour déterminer si elles sont ou non en accord avec la réalité d'une Lune dans le ciel susceptible de provoquer un clair de Lune. On peut de plus rechercher toutes les différences qui existent entre le texte de la chanson et ce dessin. Mais nous sortons là du domaine de l'astronomie pure…

Extrait de la figure 8 « Au clair de la Lune ».

Et maintenant, chers lecteurs, à vous de rechercher des images du ciel et de vérifier si elles sont conformes à la réalité astronomique.

■

L'école d'été du CLEA 2019

Nathalie Chabod, Jean-François Coliac, Coline Guitton

Le 19 août 2019, au cœur du golf du col Bayard, à côté de Gap, Danièle Imbault a accueilli avec un grand sourire et plein d'attentions, les stagiaires de l'école d'été d'astronomie 2019. Le thème abordé cette année était principalement les températures dans l'Univers.

Venus de Suisse et des quatre coins de France – et même de Guadeloupe –, seuls ou accompagnés, des professeurs, des retraités, des scientifiques, des chercheurs se sont retrouvés afin de partager leurs connaissances, leurs savoir-faire et leurs expériences dans le domaine de l'astronomie.

Une semaine bien chargée les attendait, avec des journées bien remplies : deux cours le matin, des ateliers l'après-midi et des soirées tout aussi intéressantes et conviviales. Pour les plus vaillants, une heure de marche était proposée avant le petit déjeuner. Le soir, un apéro avec découvertes de spécialités régionales, était offert à tous les participants - l'occasion de se consoler lorsque les nuages étaient trop imposants.

Des matinées studieuses

Des astronomes, des astrophysiciens, des cosmologistes, des climatologues ont accompagnés les participants dans un voyage pédagogique et intergalactique, vers des étoiles chaudes et froides, jeunes et vieilles, bleues et rouges. Frédéric Pitout, Alexis Coleiro, Isabelle Vauglin, Didier Paillard, Daniel Descout et Cécile Ferrari ont transporté leur auditoire depuis la Terre aux confins de l'Univers bolométrique, du Big Bang aux dernières découvertes.

Des après-midis enrichissantes

Les ateliers de l'après-midi ne laissaient aucun répit : impossible de faire la sieste. Le café brûlant à peine terminé, la digestion tout juste commencée, les curieux d'astronomie repartaient de plus belle vers des activités aussi bien pratiques que théoriques, choisies dans une liste digne du catalogue Hipparcos. Entre autres, il était possible d'enrichir ses pratiques pédagogiques, de découvrir ou d'approfondir sa connaissance des constellations ou de l'histoire des sciences, de fabriquer des spectroscopes solaires ou des planches équatoriales, mais aussi de réaliser et d'interpréter des spectres stellaires. Le tout, dans une ambiance décontractée, mais toujours dans un esprit rigoureux.

La visite de Cadarache et d'ITER

En milieu de semaine, les membres de l'école d'été d'astronomie ont fui le brouillard opaque au rayonnement visible (mais transparent aux rayons infrarouges) pour se retrouver dans une plaine ensoleillée, à Cadarache. La guide du CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) les a conduits du site de fabrication du technétium au réacteur WEST. Ce tokamak, dont la visite a été assurée par des chercheurs travaillant sur le site, est un dispositif permettant la fusion nucléaire magnétique dans un plasma confiné à 150 millions de kelvins.

Accueillis ensuite sur le site du chantier d'ITER sous une chaleur étouffante, les visiteurs auraient pu regretter la fraîcheur du col Bayard s'ils n'avaient pas été les témoins privilégiés d'un défi scientifique exceptionnel : 34 pays collaborant sur plusieurs dizaines d'années pour relever un des enjeux majeurs de ce siècle, à savoir maîtriser la fusion nucléaire dans le but – entre autres – de s'affranchir des énergies fossiles.

Les observations, en soirée et en journée

Il est difficile de commenter les observations du ciel sans citer Arago : « Quels que soient les progrès des sciences, les savants de bonne foi et soucieux de leur

réputation ne se hasarderont pas à prévoir le temps »...

Les journées furent l'occasion de regarder de magnifiques protubérances du Soleil et de mesurer sa température.

Le soir venu, impatients d'observer et de découvrir les beautés du ciel nocturne avec les télescopes, quelle déception quand les photons venus de l'infini furent bloqués par l'opacité des nuages ! Les soirées sans étoile furent cependant peuplées de quizz, de débats animés sur la rotondité de la Terre, etc.

Et alors que tout espoir semblait perdu, les nuages disparurent pour laisser place à un ciel incroyablement étoilé. Au travers de jumelles, de télescopes, de lunettes ou de systèmes catadioptriques, quel univers incroyable ! De ces profondeurs insondables surgirent des étoiles doubles semblant tournoyer dans un ballet autour de leur centre de gravité commun, comme deux diamants perdus dans l'infini. Puis, ce fut la belle galaxie Messier 31, majestueuse dans les bras d'Andromède, sauvée par Persée, entourée de son disque de poussières et de ses deux galaxies satellites. Plus proche, le fin et diffus voile des dentelles perdues dans les ailes du Cygne témoigne de la fin de vie d'une étoile.

Pour finalement terminer ce voyage, une visite dans le Système solaire où les quatre planètes géantes se sont révélées pour le plus grand plaisir des astronomes, professionnels ou amateurs. Pour commencer, la plus brillante de toutes : la grande Jupiter entourée de ses satellites. Puis, la princesse Saturne arborant sa couronne dorée. Enfin, les plus discrètes car les plus éloignées, les deux planètes aux confins du système solaire : Uranus dévoilant une légère teinte bleu azur et Neptune saisissante d'émotion dans sa robe bleu nuit...

Accompagnés par des spécialistes du ciel qui ont su initier les débutants, les constellations n'ont (presque) plus de secrets pour tous.

Cette semaine fut excessivement riche en rencontres et en échanges, aussi bien entre les stagiaires qu'avec les formateurs, généreux, toujours disponibles, et incroyablement compétents et créatifs. Tous ont également eu la chance de bénéficier d'une proximité privilégiée avec les scientifiques, accessibles et prêts à répondre à toutes les questions avec enthousiasme. ■

À noter que, pour ses photos, le CLEA utilise désormais l'interférométrie à large base.

Solutions des mots croisés page 20

Horizontalement

1. Maternelles. **2.** Ourse. Due. **3.** Oo. Peigne. **4.** Élu. Conte. **5.** Lu. Olé. Noé. **6.** Intra. Audit. **7.** Section. ent. **8.** Airs. Té (comme l'Équerre). **9.** Raté. Éleves.

Verticalement

1. Modéliser. **2.** Au (or). Lune. **3.** Trou. Tcat (tact inversé comme la finesse de la définition). **4.** ESO (Agence spatiale européenne). Ortie. **5.** Ré. Clair. **6.** Poe (« Le noir de la nuit repose sur la finitude du temps passé » Edgar Poe, dans *Eureka*, phrase que se plaît à citer François qui réalise la mise en page des CC). Osé. **7.** Eden. An. **8.** Luit. Gé. **9.** Légende. **10.** Ointe. **11.** Scénettes (petite scène de théâtre, à ne pas confondre avec saynette, petite pièce de théâtre).

Vous souhaitez débuter 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, mathématique et astronomie, le Soleil, …
HS10 Mathématiques et astronomie (2012)
HS11 Les constellations (2014)
HS12 L'astronomie à l'école (2016)
HS14 Le Soleil (2018)

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.

Maquettes

Astrolabes, cartes du ciel, fuseaux horaires, lunoscopes, nocturlabes, zodiaques ou lot des six maquettes.

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 web

Une information toujours actualisée

http://www.clea-astro.eu

LES CAHIERS CLAIRAUT

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

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

COMMENT NOUS JOINDRE ?

Informations générales :
http://www.clea-astro.eu

Siège social :
CLEA
Case courrier 7018
Université Paris Diderot - Paris 7
Bâtiment Sophie Germain
IREM de Paris
8, place Aurélie Nemours
75205 Paris cedex 13

École d'Été d'Astronomie :
daniele-imbault@laposte.net

Cahiers Clairaut :
christianlarcher3@gmail.com

Ventes des productions :
http://ventes.clea-astro.eu/

Site web :
contact@clea-astro.eu

Adhésion / Abonnement :

Adhésion CLEA pour 2019 :	**10 €**
Abonnement CC pour 2019 :	**30 €**
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/

Directeur de la Publication : Frédéric Pitout
Rédacteur de publication : Christian Larcher
Imprimerie Grapho12, 12200 Villefranche de Rouergue
Premier dépôt légal : 1er trimestre 1979
Numéro CPPAP : 0315 G 89368
Prix au numéro : 9 €
Revue trimestrielle : numéro 167 automne 2019