LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 162 - Juin 2018 9 €

Bulletin du Comité de Liaison Enseignants et Astronomes

Numéro 162 - été 2018

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 2018
Présidente : Cécile Ferrari
Trésorière : Sylvie Thiault
Trésorière adjointe : Chantal Lecoutre
Secrétaire : Danièle Imbault
Secrétaire adjoint : Jean-Luc Fouquet

Responsables des groupes
Vie associative : Jean-Michel Vienney
Cahiers Clairaut : Christian Larcher
Productions Pédagogiques : Pierre Causeret
Communication : Charles-Henri Eyraud
École d'Été d'Astronomie : Danièle Imbault
Responsables du site :
Francis Berthomieu et Charles-Henri Eyraud

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

Daniel Bardin, Francis Berthomieu, Samuel Boissier, Alain Brémond, Nathalie Cartier, Pierre Causeret, Jean-Luc Fouquet, Véronique Hauguel, François Hurter, Murièle Jacquier, Christian Larcher, Chantal Lecoutre, Geroges Lecoutre, Pierre Le Fur, Pierre Magnin, Brigitte Malfante, Roseline Primout, Jean Ripert, Sylvie Thiault, Isabelle Vauglin, Thomas Widermann.

Les auteurs recevront plusieurs numéros 162 afin de faire connaître la revue autour d'eux.

Le curieux aspect d'une phase de Saturne vue d'un de ses satellites.

Il s'agit d'une peinture de Lucien Rudaux, directeur de l'observatoire de Donville dans la Manche, extraite de son ouvrage *Sur les autres Mondes* paru en 1937. On y trouve des représentations des différents paysages planétaires du Système solaire, longtemps avant les premières sondes spatiales. La dernière planche en couleur montre deux exoplanètes « éclairées par deux soleils diversement colorés ».

Fils de peintre, grand père par alliance de Francis Rocard, Lucien Rudaux (1874-1947) était rédacteur scientifique et artiste pour les revues *La Nature* et *L'Illustration*.

Les Cahiers Clairaut

Été 2018

Éditorial

De nombreux artistes peintres s'inspirent de phénomènes naturels pour leurs compositions artistiques. On y retrouve souvent le Soleil, la Lune, les étoiles. Mais ces œuvres sont-elles réalistes ou ne font elles que refléter une vision personnelle de l'artiste ?

Des physiciens, des astronomes, ont parfois mené des enquêtes minutieuses, analogues à celles conduites par la police scientifique. Par exemple, le célèbre tableau de Claude Monet *Impression Soleil levant,* à l'origine du mot impressionnisme, avait bien ce titre en 1874 mais dès 1878 il était vendu avec le titre *Impression Soleil couchant*. Les experts ignoraient en quelle année ce tableau avait été réalisé. Une enquête méticuleuse a été mise en œuvre ; elle a utilisé les relevés météo et les hauteurs des marées pour la période envisageable pour cette œuvre, analysé la direction du Soleil et les reflets, recueilli un ensemble d'informations. Le tout a permis d'affirmer qu'il s'agissait d'un Soleil levant et d'indiquer que ce tableau fut réalisé le 13 novembre 1872 à 7 h 35 du matin, à partir d'une des chambres de l'hôtel de l'Amirauté qui donnait sur le port, alors même que cet hôtel a disparu…

Antérieurement, l'astrophysicien J.-P. Luminet avait réalisé une étude analogue sur le tableau de Van Gogh *nuit étoilé* peint à Saint-Rémy-de-Provence. À l'aide d'un logiciel « de planétarium » comparable à l'actuel « Stellarium » il parvenait à conclure que ce tableau fut réalisé le 25 mai 1889 à 4 h 20 du matin.

Dans la partie thématique vous trouverez d'autres exemples illustrant des liens entre l'art et l'astronomie.

Sur le plan historique Alain Brémond cherche à déterminer si, à son époque, Galilée aurait pu voir Neptune dans sa lunette.

Dans la rubrique *avec nos élèves* un article propose une démarche pour préparer une soirée d'observation avec des écoliers. Avec des élèves plus âgés, un autre article nous invite à revisiter les *rainures d'Hyginus* sur la Lune, décrites par François Arago dans son *Astronomie Populaire,* en utilisant des instruments modernes.

Enfin, si vous cherchez un site astronomique très exceptionnel, Isabelle Vauglin vous recommande le Dôme C de la base Concordia en Antarctique à 3 233 m. Sur ce continent de paix dédié aux sciences, le ciel est d'une très grande pureté. Les astronomes et les glaciologues s'efforcent de remonter le temps. Les uns en regardant le ciel avec leurs télescopes, les autres en réalisant des forages très profonds leurs permettant de reconstituer l'évolution climatique depuis 800 000 ans.

Christian Larcher pour l'équipe

Sommaire

Histoire
Impressions lunaires
Pierre Le Fur p 2

Thème : art et astronomie p 7

Article de fond
Art et astronomie, relations et dialogue
Daniel Bardin p 8

Histoire
L'astronomie dans l'art : quelques exemples dans la peinture et dans la chanson populaire francophone
Samuel Boissier p 13

Mots croisés p 17

Avec nos élèves
Art et astronomie instrumentation ou co-construction
Roseline Primout p 18

Histoire
La supernova de l'an 1006 et ses représentations
Thomas Widemann p 20

Solutions mots croisés **p 22**

Lecture pour la marquise
Art et astronomie, ressources
Jean-Luc Fouquet p 23

Histoire
Galilée a-t-il vu Neptune ?
Alain Brémond p 25

Avec nos élèves
Préparation d'une soirée d'observation
Brigitte Malfante et Véronique Hauguel p 28

Article de fond
Concordia – Dôme C un ciel d'une qualité extraordinaire (1)
Isabelle Vauglin p 31

Observation
Ciel de l'été 2018
Eclipse de Lune
Mars en 2018
Pierre Causeret p 36

Vie associative
Hommage à Philippe Merlin
Isabelle Vauglin, Sylvie Thiault p 39

Lecture pour la marquise
Les ondes gravitationnelles
Pierre Magnin p 40

Impressions lunaires : À la découverte des rainures d'Hyginus

Pierre Le Fur

Cet article nous invite à refaire les observations historiques décrites par François Arago dans son « Astronomie Populaire » sur une région particulière de notre satellite naturel : le cratère Hyginus et ses rainures. Un exemple d'activité motivante à réaliser avec des élèves en utilisant les outils modernes.

Un monde se découvre

Vous rappelez-vous de l'étonnement ressenti lors de votre premier regard à l'oculaire d'un télescope braqué sur les reliefs lunaires ? Cette impressionnante vision d'un nouveau monde qui se découvre à nous est restée imprimée dans notre cœur autant que dans notre mémoire. Cette émotion ressentie, nul ne sait mieux l'exprimer que Victor Hugo dans le « promontoire des songes » [1] : « *Tout à coup, j'eus un soubresaut, un éclair flamboya, ce fut merveilleux et formidable, je fermai les yeux d'éblouissement. Je venais de voir le soleil se lever dans la lune.* »...

« *Puis successivement resplendirent, comme les couronnes de flamme que porte l'ombre, comme les margelles de braise du puits de l'abîme, le mont Proclus, le mont Cléomèdes, le mont Pétavius, ces Vésuves et ces Etnas de là-haut*; »… « *des vallées se creusaient, des précipices s'ouvraient…* » « *Cela existait magnifiquement.* »… « *Arago m'expliqua* ». « *Cette vision est un de mes profonds souvenirs.* »

Il écrivit ces lignes trente après avoir observé la blonde Phoebe, en 1834, à l'Observatoire de Paris, invité par son ami Arago, directeur de l'observatoire [2]. L'immense émotion avait frappé son esprit et imprimé sa mémoire. Ce monde si lointain à cette époque semble si proche après les épopées lunaires des missions Apollo qu'on pourrait oublier de l'observer, de l'ausculter, de le photographier.

C'est aussi l'occasion de lutter contre les influentes théories du complot qui nient la réalité de l'homme sur la Lune. À l'heure des sondes Kaguya, Chang'e, et des rovers Yutu, je vous invite à redécouvrir ce monde sélène, non dans sa totalité mais dans son originalité, à travers l'exemple d'une région bien particulière : le cratère Hyginus et ses « rainures ».

Morphologie

Schroeter et la rainure d'Hyginus

Dans son « Astronomie Populaire » [3], le même François Arago entame une description détaillée de notre satellite naturel. Là, il s'appuie sur les observations visuelles de Johan Hyéronimus Schroeter, astronome à Lilienthal (Basse Saxe). Entre 1782 et 1813, dans son observatoire équipé d'un télescope de type Herschel, à miroir de bronze, il parcourut visuellement la Lune et réalisa de nombreux dessins.

Ses travaux regroupés dans « Selenotopographische fragmente » furent publiés en 1802. On y trouvera également les traces de ses recherches sur les séléniens qu'une hypothétique atmosphère aurait permis de maintenir en vie.

Il fut le premier à remarquer des rainures fines [4], [5], « dals vom hyginus zwey eingetifte drillen… » ; fossés visibles aux environs du premier quartier, dont l'existence fut confirmée le 29 février 1792. Ceux-ci se coupent sur le cratère Hyginus, non loin de la mer des vapeurs (voir figure 1).

Fig.1. *Première représentation de Schroeter du réseau de rainures dans la région d'Agrippa, (avec Hyginus petit cratère en bas à gauche au milieu de la rainure qui se termine dans Agrippa) découvert par Schroeter en décembre 1788 (télescope de 152 mm, Grossissement x134 [6]).*

Un télescope d'amateur débutant de 100 mm de diamètre ou une lunette de 80 mm permet de refaire ces observations historiques avec une précision et une résolution accrue par les progrès de l'optique ; des détails de moins de trois kilomètres précisent alors la forme en V de ce fossé de plus de 200 km de long (figure 2).

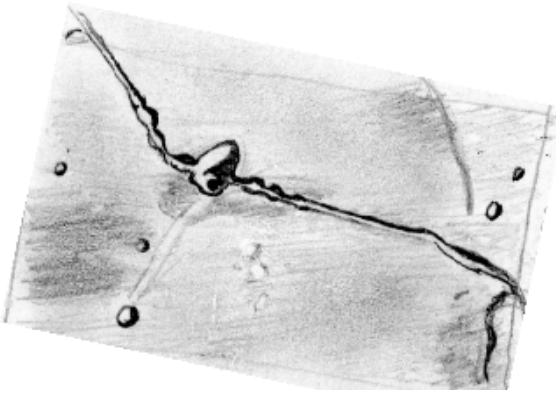
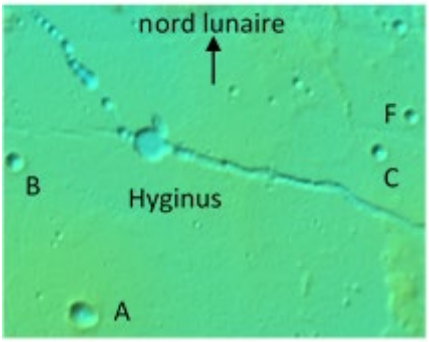


Fig.2. Observation visuelle au télescope de 100 mm, le 08 juin 1973 G=150 X, turbulence très faible.
Centrée sur 21h20min TU (durée 25 min) 1 jour après le premier quartier.; résolution ≈1,5" d'arc (2 km sur la Lune).



Rainure d'Hyginus de largeur moyenne 3 km.
Cratère F diamètre 4 km.
Carte altimétrique par Lunar Reconnaissance Orbiter lancé en 2009 (NASA).

La réalisation de croquis pris à l'oculaire conduit à découvrir minute après minute de nouveaux détails que l'œil révèle d'autant mieux que le cerveau s'adapte à l'analyse de ces visions furtives et turbulentes.

Le miracle des images numériques

Réaliser des dessins exploitables nécessite beaucoup de patience et reste un travail certes très formateur mais solitaire, une sorte de face à face intime avec notre satellite.

Rares seront les jeunes attirés par ce type d'activité. Alors que réaliser des clichés lunaires, les exploiter, les analyser va motiver nombres d'élèves et d'étudiants. D'autant que cette activité ne nécessite pas un matériel trop sophistiqué : une webcam ou une caméra astronomique simple, des logiciels de traitement gratuits (Autostaekkert et Registax 6). On réalise quelques prises de vue vidéo (5 à 6 minutes maximum par prise de 5000 images) avec un petit groupe d'élèves motivés, puis on peut traiter et étudier les images en classe. Nous verrons par la suite des exemples de tels travaux. La figure 3 réalisée avec une focale modeste d'environ 1,50 m présente la région centrale de la Lune au cœur de laquelle « trône » cette rainure.

Examiner une telle image est l'occasion rêvée d'apprendre à utiliser une carte de la Lune ou mieux

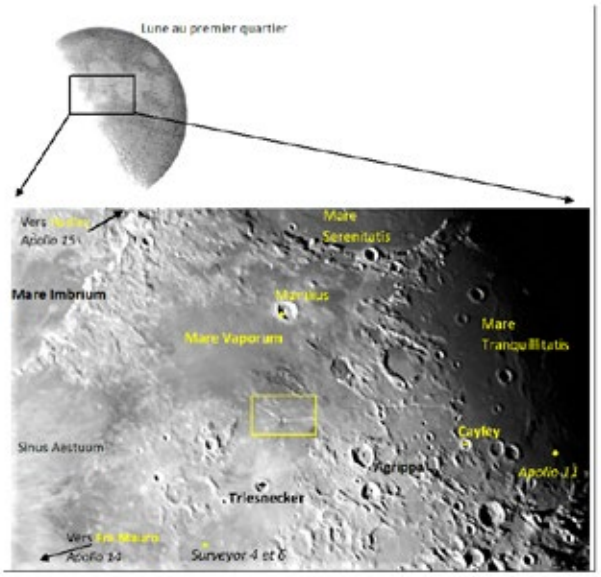


***Fig.3.** Région du centre lunaire (1200X1800km environ), 28 octobre 2010 5 h 15 TU F/D=5 (Meade 305mm 375 images/1800 caméra Imaging source couleur) 2 jours avant le dernier quartier. La rainure d'Hyginus est contenue dans le cadre jaune central (100x200 km). (photo de l'auteur).*

un atlas comme celui du célèbre Antonin Rückl [7]. De nombreuses informations sont également disponibles dans l'atlas virtuel de la Lune, «AVL », indispensable logiciel, téléchargeable gratuitement sur internet [8]. On y apprend qu'Hyginus est le nom d'un écrivain-poète de langue latine qui vécut autour de l'an 0 de notre ère.

On peut alors reconnaître la mer des vapeurs, les cratères voisins Agrippa et Triesnecker. Un site de grande importance géologique apparaît en haut à gauche, c'est la mer des pluies (Mare Imbrium) bordée au sud-est par la chaine des Apennins lunaires.

Elle donne son nom à une période majeure de l'histoire de la formation de la Lune : l'Imbrium situé entre -3,7 et – 3,2 giga-années juste après le maximum du bombardement météoritique massif [9].

On remarque qu'à 600 km au sud, deux sondes Surveyor lancées fin 1967 par la NASA attendent posées (pour Surveyor 6) mais invisibles pour l'observateur, ou fracassées (Surveyor 4) sur le sol du sinus medii (golfe du centre). Cette région devait être le lieu d'un alunissage Apollo. Mais c'est la mer de la tranquillité, 1 200 km à l'Est, qui fut retenue pour le premier pas de l'homme sur la Lune, lors de la mission Apollo 11 le 21 juillet 1969. D'ailleurs, un premier test de décollage depuis le sol lunaire fut réalisé avec succès par Surveyor 6 en novembre 67 : il fallait être certain que les astronautes pourraient assurer ainsi le retour sur Terre.

À l'époque d'Apollo, la photo argentique utilisée par les professionnels comme les amateurs était le seul moyen de fixer les détails lunaires. On se souvient des photographies réalisées au télescope d'1 m du Pic du Midi afin de

préparer les cartes pour l'exploration lunaire et de celles de l'atlas d'amateur de Georges Viscardy qui balaya notre satellite depuis son observatoire « monégasque » équipé d'un télescope de 350 mm. Toutefois l'observation visuelle restait plus précise encore.

La révolution des images numériques permet maintenant d'atteindre la résolution théorique des instruments lorsque l'atmosphère reste raisonnablement calme. Pour preuves les fabuleux travaux photographiques des Higgins, Thierry Legault et autres Damian Peach, [10] [11], dont la résolution de 500 m à 300 m sur la Lune dépasse totalement celle des atlas précédents et même rivalise avec les résultats de la sonde Clémentine [12].

Rappelons la relation très approchée entre le diamètre de l'instrument D et la résolution sur le sol lunaire R (km) : $R(km) \approx 200 / D(mm)$

Des détails de près d'1 km sont accessibles avec un instrument de 200 mm.

Estimer les dimensions avec Géogebra

Obtenir un cliché détaillé exploitable ne nécessite plus qu'un instrument optiquement bien réglé doté d'une monture motorisée qui permet de compenser la rotation de la Terre. L'exemple proposé figure 4 montre un gros plan obtenu en ville, par turbulence modérée, avec un télescope de 300 mm équipé d'une monture de médiocre qualité, assurant un suivi approximatif, pendant une prise de film de 5 minutes. Malgré tout, la résolution y approche 650 m environ.

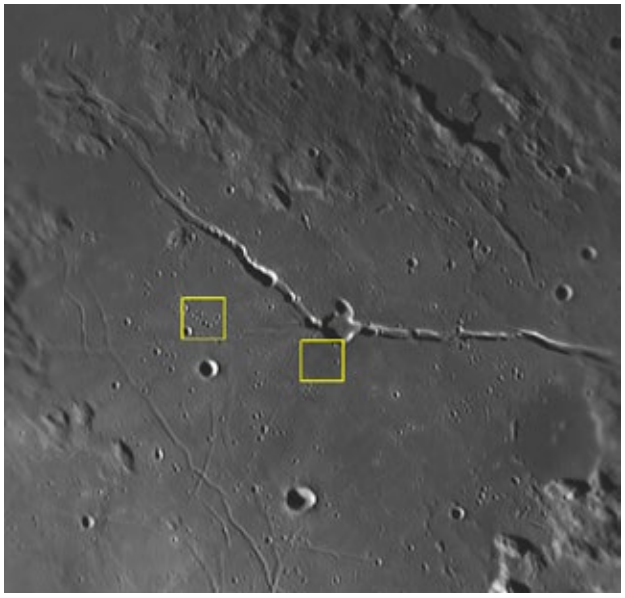


Fig.4. *Gros plan sur Hyginus (environ 200x200 km²) obtenu avec un télescope Meade 305 mm LX 90 à monture azimutale le 6 août 2015 à 2 h 20 min TU. F/D = 25 ; 2 000 images sur 6 869, pose 20 ms à 22 images par seconde avec une caméra noir et blanc « I Nova » résolution 0,5 » soit environ (élévation du Soleil 13') un jour avant le dernier quartier (auteur).*

Fig.4bis. *En jaune deux carrés de 10 x 10 km de côté permettant de calculer la densité locale de cratères.*
Au nord d'Hyginus B, 10 cratères / 100 km² (diamètre moyen 1,3 km) soit 0,1 cratère / km² et au sud d'Hyginus 2 cratères / 100 km² soit 0,02 cratère / km².

Cette image est idéale pour une exploitation quantitative à l'aide de « Geogebra » afin de faire des mesures de tailles de cratères, de longueur d'ombre donc d'altitude ou de profondeur mais aussi pour caractériser la densité locale en cratères.

En utilisant « Editer » puis « insérer une image depuis » on met en place le cliché. À l'aide d'un atlas [7] on détermine la distance entre centres des cratères Hyginus B et H (voir figure 2) soit d = 77,8 km. On place deux points aux centres de ces cirques, ils seront fixes. On définit le segment correspondant BH.

Puis on génère deux points mobiles C et D, associé au segment variable CD. Avec le tableur, on calcule d*CD/BH qui est la distance en kilomètres entre les points mobiles C, D que l'on placera sur la photo agrandie avec l'outil loupe en fonction des besoins :

- Si C et D sont diamétralement opposés sur un cirque minuscule de l'image, ils donnent la résolution de 650 m soit le diamètre des plus petits cratères visibles.
- La largeur du fossé à l'est du cratère atteint 2,7 km.
- En plaçant C au centre de la caldeira et en déplaçant D en deux fois vers les extrémités nord-ouest et sud-est des fossés, on obtient 124 + 106 = 230 km de longueur totale.
- Le diamètre moyen de la caldeira d'Hyginus vaut près de 8,7 km et au maximum 11,2 km.
- L'ombre des parois portée sur le fond supposé plat du cratère principal donne 3,3 km.

Grâce à cette dernière mesure on accède à la profondeur d'Hyginus. La hauteur du Soleil au-dessus de la plaine peut se déterminer avec le logiciel AVL [8] par différence entre la longitude du lieu et celle du terminateur (approche rapide). Pour deux heures solaires différentes (figures 5 et 5bis) les mesures restent cohérentes et donnent une profondeur de 750 m environ. La littérature spécialisée retient une valeur moyenne [13] comprise entre 650 m [13] et 800 m [8].

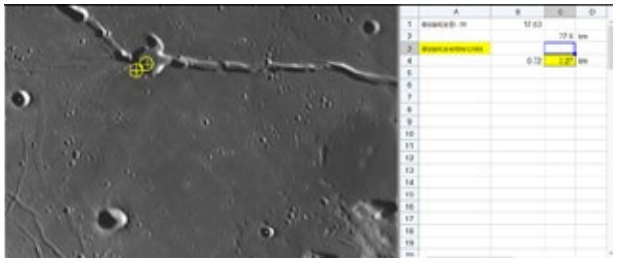


Fig. 5. *La largeur de l'ombre entre les croix vaut 3,27 km, connaissant l'élévation du Soleil, on en déduit la profondeur H. H = 3,27 tan (13°) = 750 m.*

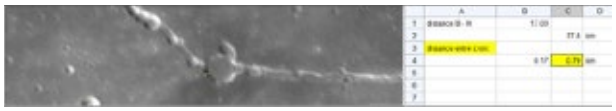


Fig. 5bis. *Pour une nouvelle élévation solaire de 44° H = 0,79 tan (44°) = 760 m.*

On remarquera une absence quasi-totale de parois surélevées entourant le cratère principal Hyginus, contrairement aux cratères d'impact Hyginus A et B : même sous un éclairage rasant correspondant à une élévation solaire faible il n'y a pas d'ombres portées par d'éventuelles parois annulaires (voir figure 6).

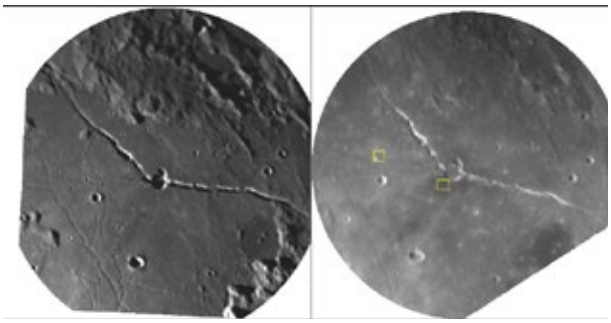


Fig. 6. *17 août 2014 à 3 h 20 min TU image sur 3500 (élévation du Soleil 6°) 0,5 jour avant le dernier quartier (auteur).*

Fig. 6bis. *16 juillet 2014 à 3 h 06 min TU (élévation du Soleil environ 44°) 3 jours avant le dernier quartier (auteur).*

Le comptage de la densité en petits cratères montre des différences très nettes suivant la zone de 100 km² considérée (figure 4 bis), en relation avec la réflec-tance du sol ou albédo (figure 6 bis). La zone à faible densité est sombre, celle à forte densité est claire.

Mais nous voilà déjà aux portes de l'étude géologique qui nous permettra de connaître les origines de ces formatons.

Géologie

Albédo et géologie

L'observation de la Lune depuis le sol a permis d'obtenir des cartes précises comme celles destinées à préparer les missions Apollo.

Mais la constitution de cartes géologiques a nécessité l'utilisation de multiples moyens télescopiques utilisés sous fortes illuminations ou éclairages rasants (télescope de 61 cm Catalina ou celui de l'US Naval Observatory à Flagstaff) [15] complétés par des vues rapprochées obtenues par les « Lunar Orbiters » entre 1965 et 1967. Cela amena même les américains à financer en partie l'installation du télescope de 106 cm dans la coupole Gentili du Pic du Midi en 1963 [14].

Le Lunar and Planetary Institute fondé en 1963 à Houston Texas, donne accès à une très riche documentation qui témoigne des recherches lunaires anciennes et récentes [16]. On y trouve l'ouvrage de référence de géologie lunaire écrite par Don Wilhelms en 1987 « *The Geologic History of the Moon* » téléchargeable sur le site du LPI [17] (USGS professional paper 1348).

La suite de cet article est largement inspirée par deux cartes et leurs annexes I.945 (par Pike en 1976) et I.543 (par Wilhelms en 1968) décrivant la structure du sous-sol de la région d'Hyginus. D'ailleurs un projet d'un alunissage Apollo près de la bordure nord d'Hyginus avait été mis sur pied mais jamais réalisé.

Afin de concrétiser la relation entre aspects du sol lunaire et géologie, une expérience simple peut être conduite en traçant un profil de luminosité du sol dans une région géologiquement connue décrite par la carte I.945. En augmentant le contraste de l'image correspondant à une hauteur solaire de 44° (16 juillet 2014- figure 6 bis), on peut analyser l'albédo (intensité lumineuse) avec le logiciel « SalsaJ2 » et ses outils « sélection rectiligne » puis « analyse » et « coupe ».

Le résultat présenté figure 7 montre nettement la concordance entre la nature géologique du sol et sa réflectivité. Ce qui retient l'attention est la région de laves (ou dépôts pyroclastiques) sombres qui entoure la caldeira d'Hyginus.

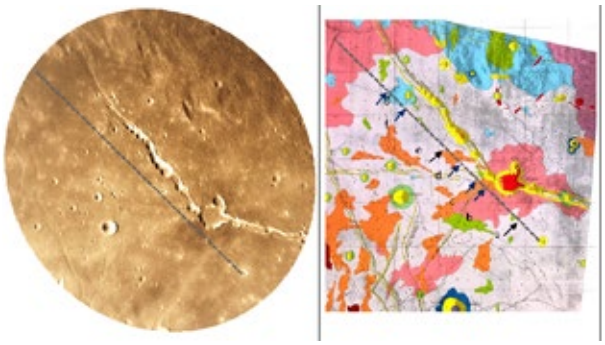


Fig.7. *Image du 16 juillet 2014 à contrastes augmentés : étude de l'albédo. Élévation solaire 44°. En pointillés la trace de la coupe choisie.*

Fig.7bis. *Carte géologique de la Lune (US Geological Survey par Richard Pike 1976) contribution principale Lunar Orbiter V [18].*

Vers une histoire géologique d'Hyginus et sa région

Avant de proposer une histoire géologique plausible de la région des rainures d'Hyginus, rappelons les grandes périodes de l'histoire géologique de la Lune, entre la formation de Lune (-4,6 Gannées) et celle des premiers grands bassins d'impacts comme Sérénita-tis, on trouve le Prénectarien.

À partir de -4,0 Ga, commence la formation de la plupart des grands bassins d'impact (Nectar, Humorum, Humboldt) : le Nectarien.

À -3,8 Ga on place l'Imbrien puisque le dernier grand bassin de la face visible, celui de la mer des pluies (Imbrium), apparaît tardivement suivi de la mer orientale. L'ensemble conduit à la formation des plus vieilles « mers » par des épanchements volcaniques massifs.

La quatrième période, l'Ératosthénien débute à -3,2 Ga par la formation du cirque éponyme et s'achève vers -1,2 Ga. Elle se caractérise par les dernières formations de mers et la cratérisation faible mais continue qui

donne des cratères à trainées d'éjectas fines. La dernière période, le Copernicien nous amène jusqu'à notre époque. Les derniers grands cratères d'impact comme Copernic se dévoilent clairement par leurs éjectas immenses, rectilignes, qui recouvrent les formations plus anciennes.

Le tableau décrivant une histoire géologique plausible de la région d'Hyginus tente de concrétiser les hypothèses formulées par les géologues américains de l'USGS en Impressions lunaires :

1976, 1987 et plus récemment 2010 et 2013. Il ne prend en compte que les formations dont les traces sont visibles actuellement ; nombre de cratères d'impacts ont disparus, érodés ou ensevelis sous les impacts ou dépôts volcaniques.

On remarque que trois sortes de cratères existent dans cette zone : les cratères d'impacts comme Hyginus A (voir figure 2), le cirque principal d'Hyginus qui semble être une véritable caldeira volcanique [13], [18], entourée par les dépôts pyroclastiques sombres et récents (peu cratérisés). Enfin à l'intérieur du fossé constituant la rainure elle-même, une longue série de cratères d'effondrements s'est formée au cours des milliards d'années.

Cette collection de types de cratères montre l'originalité de cette zone puisque l'immense majorité des cirques lunaires reste d'origine « météoritique ».

Conclusion

Ces rainures d'Hyginus correspondent donc à une région lunaire tout à fait particulière que des phénomènes complexes, multiples et étalés dans les temps géologiques ont formée.

L'histoire de ces formations nous est accessible grâce aux résultats des missions Apollo et du travail de longue haleine des géologues. Cette recherche fondamentale axée sur notre satellite continue aujourd'hui et certains travaux d'amateurs [12], [22] y contribuent grâce aux progrès de l'imagerie numérique.

Explorer notre satellite par la photographie et l'observation visuelle reste une source sans limites de découvertes et de questionnements.

Partageons cette quête avec nos élèves. Mais n'oublions pas de leur faire ressentir la poésie des nuits éclairées par Phoebe, de leur apprendre à savourer ces subtils instants de douces lumières des quartiers de Lune que nos yeux saisissent directement sans interfaces.

Ressentir cette force énigmatique de la nuit décuple notre envie de savoir ; elle fit écrire à Victor Hugo : « *Les poètes ont créé une lune métaphorique et les savants une lune algébrique. La Lune réelle est entre les deux* ».

Bibliographie-«netographie » :

1. Victor Hugo le promontoire des songes, 2012, (1901) Gallimard, (Calmann-Lévy) p. 25 à 29.
2. Victor Hugo le promontoire des songes, 2012, (1901) Gallimard, (Calmann-Lévy) p. 17, annotations.
3. François Arago Astronomie Populaire 1865, Théodore Morgand p. 420, tome III 2ème édition.
4. François Arago Astronomie Populaire 1865, Théodore Morgand p. 425, tome III 2ème édition.
5. Schroeter Hieronymus, selenotopographice fragmente… 1802 Baier p219 § 792.
6. Schroeter Hieronymus selenotopographice fragmente… 1802 Baier tableau LXII fig 2.
7. Rückl Antonin Atlas de la lune 1990 Gründ carte 34 et p92 à 95.
8. Patrick Chevalley, Christian Legrand https://www.ap-i.net/avl/fr/start.
9. Tanaka Hartmann Lakdawalla
http://www.planetary.org/blogs/emily-lakdawalla/2013/09301225-geologic-time-scaleearth-moon.html
10. Higgins http://higginsandsons.com/astro/
11. Damian Peach http://www.damianpeach.com/lunarindex.htm
12. Wood, Pau, Daversin and all, A New Source of High Resolution Lunar Images: Amateur Astronomers 2004 Lunar and Planetary Science XXXV (1749.pdf).
13. Giger, Wilson and all 41st lunar and planetary science conference 2010 LPSC 1129 pdf.
14. http://www.tbl.omp.eu/Multimedia/histoire/coupolegentili
15. Pike Richard J. us geological survey 1976 usgs I 945.
16 https://www.lpi.usra.edu/lunar/
17. Don Wilhelms http://ser.sese.asu.edu/GHM/ ghm geologic history of the moon.
18. Pike Richard J. https://www.lpi.usra.edu/resources/mapcatalog/usgs/index.shtml 1976 I-945, Geologic Atlas of the moon Rima Hyginus region.
19. Don Wilhelms https://www.lpi.usra.edu/resources/mapcatalog/usgs/I548/150dpi.jpg 1968 I-548 Geologic Atlas of the moon Mare Vaporum Quadrangle region.
20. Don Wilhelms geologic history of the moon chapter 6 1987 usgs p 120 relation imbrium branche nord ouest rima.
21. Don Wilhelms geologic history of the moon chapter 6 1987 p 115 relation procellarium branche sud est.
22. R. Lena and all https://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2013/pdf/1003.pdf 2013.

THÈME : ART ET ASTRONOMIE

La grande nébuleuse d'Orion, par Étienne Léopold Trouvelot (1827-1895) peintre et astronome français.

Il est l'auteur de plus de 7 000 illustrations astronomiques. Tout d'abord astronome amateur, il a pu observer au télescope de 15 pouces de l'observatoire du Harvard College puis à l'Observatoire naval américain et à la grande lunette de Meudon (planche XV de The Trouvelot Astronomical Drawings 1881-1882).

Melencolia, gravure sur cuivre d'Albrecht Dürer (1471-1528), datée de 1514.

Pour certains auteurs, l'astre au fond représenterait une comète qui traversa effectivement le ciel occidental au cours des années 1513 et 1514 ou encore la météorite d'Ensisheim en 1492 (voir l'article de D. Bardin page 8).

Les astronomes, de Paul Delvaux, peintre belge (1897-1994).

Reproduction d'une partie du tableau par D. Bardin (voir son article page 8). Plusieurs de ses œuvres contiennent un croissant de Lune, parfois mal orienté comme ici (il fait nuit, les lampadaires sont allumés, mais l'orientation de la Lune indique que le Soleil n'est pas couché).

Art et astronomie, relations et dialogue

Daniel Bardin, Marseille

Daniel Bardin nous propose ici un survol des liens entre peinture et astronomie, de l'avant Galilée jusqu'au vingtième siècle.

L'astronomie

Les merveilleux spectacles célestes et l'envie de les comprendre ont captivé les humains depuis la nuit des temps.

Au cours des siècles mais, en particulier, dans notre monde occidental et à partir de la Renaissance, puis avec Galilée et tous les savants de son époque, de nombreux résultats de recherche ont fait leur apparition : traces écrites d'hypothèses, de calculs et d'observations, croquis, cartes, dessins, gravures, peintures, maquettes et images de toutes sortes… ; des livres, des publications, les progrès de la connaissance et, encore, des images… ; la mondialisation et la multiplication des techniques : la photo, la spectroscopie, les filtres et l'exploration des longueurs d'ondes, les montures des instruments, les grands miroirs, les optiques adaptatives, l'interférométrie, les radiotélescopes, les capteurs électroniques et les sondes qui explorent in situ, les mondes lointains….

On ne s'étonnera donc pas que les activités de création artistique qui fournissent, elles aussi, des images (et des objets en 3D), puissent être mises en regard des documents d'astronomie de plus en plus diversifiés.

L'art

Ce domaine d'expression qui fournit, avant tout, des productions esthétiques s'est longtemps cantonné dans l'art figuratif : « ce qui est REprésenté est REconnu parce que c'est REssemblant ». Grâce à cela, on est… RAssuré !

Balzac écrivait : « La mission de l'art n'est pas de copier la nature mais de l'exprimer en lui donnant du sens ». L'apparition des œuvres abstraites au tout début du vingtième siècle (par les peintres Kandinsky, Mondrian et Malevitch, qui ont aussi publié des textes fondamentaux sur les théories de l'acte créatif) n'a pas fait disparaître la notion du sens, bien au contraire.

C'est donc surtout dans les arts plastiques, créneau extrêmement riche en images, peintures et photos, que nous vous proposons de découvrir quelques correspondances sémiologiques, des décalages et des transcriptions plastiques ou chromatiques et, parfois des similitudes formelles étonnantes.

Dans le cadre de cet article, il a fallu effectuer un nécessaire choix parmi des œuvres qu'on a voulues les plus représentatives.

Avant Galilée

Les fresques et les bas-reliefs égyptiens rendent un hommage permanent au Soleil et à ses rayons. Cette image appartient au domaine des stéréotypes. Sans nous attarder sur des cartes célestes de la Chine ou les documents remarquables des Mayas ou des Aztèques, il nous semble préférable de considérer des œuvres d'époques et de cultures plus proches de nous ; nous y trouverons des documents dans lesquels des éléments d'astronomie mêlés à une création artistique nous seront plus familiers.

À la Renaissance, on trouve des gravures, des peintures et des enluminures qui présentent des scènes figuratives mêlées à des calendriers, des zodiaques ou des allégories ; le géocentrisme règne et les éléments d'astronomie ne sont pas encore prééminents.

Pourtant, un évènement marquant fut relaté bien avant le xve siècle : la comète de Halley est représentée sur la tapisserie de Bayeux qui célèbre la conquête de l'Angleterre par Guillaume le Conquérant (Hasting, 1066).

Fig.1. *Tapisserie de Bayeux et comète de Halley.*

Le dessin n'est pas très réaliste (une étoile rayonnante suivie d'un peigne au bout d'un manche) mais cet astre, considéré comme un signe prémonitoire, fut alors mis à l'honneur. Vers 1305, Giotto (1266-1337) peignit cette même comète juste après son passage de 1301 : dans une très belle fresque, à Padoue, l'artiste a représenté une adoration des mages surmontée d'une comète rougeoyante plus réaliste que celle de la tapisserie de Bayeux.

Fig.2. *Giotto. « Adoration des mages ».*

Vers 1430 : Jean Van Eyck (vers 1390-1441) peint une crucifixion sur une toile verticale et étroite ; au-dessus d'une foule dense et bigarrée se dressent les trois crucifiés du Golgotha. Entre le condamné de droite et le limbe de la toile, on peut voir une lune, assez détaillée malgré sa petitesse, gibbeuse décroissante approchant de son coucher durant la matinée. Van Eyck, grâce à une observation faite à l'œil nu, montre là son intérêt pour une création picturale réaliste très convaincante.

Fig.3. *Van Eyck.« Crucifixion (détail) ».*

Albrecht Dürer (1471-1528) a très soigneusement gravé une image nommée *Melancolia* (1514) ; on y voit un personnage ailé (un ange) qui médite. Il est entouré de nombreux objets appartenant au symbolisme et à ce que nous nommons maintenant la physique, les mathématiques, l'astronomie et le travail manuel. Une sphère à ses pieds, à son côté un gros polyèdre et, au fond, ce qui ressemble à une comète resplendissante. Les historiens pensent qu'il s'agit plutôt de la chute de la météorite sur Ensisheim (7 novembre 1492) ; le polyèdre serait alors une forme idéalisée de la pierre qui fit grand bruit (dans tous les sens du terme) et dont un gros morceau est conservé dans la petite ville d'Alsace. À l'époque, Dürer se trouvait non loin de là, à Bâle.

À Prague, Jiri Daschitzsky grave, en couleurs, la Grande Comète de 1577, entourée de fragments rocheux qui filent à ses côtés. Elle fut l'occasion pour Tycho Brahe (1546-1601), de suggérer que ces astres ne sont pas des phénomènes aériens mais bien des objets astronomiques lointains.

Fig.4. *Jiri Daschitzsky. « La Grande Comète de 1577 ».*

La révolution galiléenne

Nicolas Copernic et son *De Revolutionibus*, puis l'invention de la lunette et l'utilisation qu'en fit Galilée ont marqué avec éclat l'entrée de l'astronomie scientifique dans l'aventure humaine.

Les premiers dessins de la Lune (Thomas Harriot, juin 1609 puis Galilée, hiver 1609-1610) constituent les premiers degrés d'une démarche de progrès. Les observations des satellites de Jupiter, des phases de Vénus puis la nature stellaire de la Voie lactée et les taches solaires ont conforté le rejet du géocentrisme et des thèses d'Aristote. Les savants de ce siècle entament fréquemment des relations épistolaires et, parfois, se rencontrent. Les Galilée, Gassendi, Peiresc (et, plus tard, Riccioli et ses très longues lunettes, Hévélius puis Cassini et l'observatoire de Paris) sont rendus populaires et honorés dans des

portraits gravés ou peints. Notons au passage que les dessins d'astronomie (seul procédé pour garder les traces des observations autrefois) se sont améliorés et diversifiés en relation avec les progrès des lunettes et des télescopes. À notre époque, des amateurs chevronnés utilisent encore cette technique.

Dès 1630, les cartes lunaires, les cartes du ciel et les dessins des constellations réunissent, à la fois, des images esthétiques et des documents scientifiques. Semblablement, la toile *L'astronome* de Johannes Vermeer (1632-1675) montre un personnage étudiant un globe des constellations à côté d'un astrolabe, regroupant ainsi le ciel et l'orientation au cours des voyages lointains sur terre et sur mer.

Fig.5. *Vermeer. « L'astronome ».*

Vers 1660, à Amsterdam, Cellarius publia *Harmonia macrocosmica* où l'on peut admirer des planches gravées : le système de Ptolémée puis, en regard, celui de Copernic et même une image d'observateurs visant, à l'aide d'une lunette, un cercle contenant une carte céleste agrémentée des figurines des constellations. Ces images soignées et très esthétiques, qui sont autant de documents scientifiques illustrant l'héliocentrisme, ont abondamment fleuri au cours de ce XVIIIe siècle.

Du romantisme à l'époque moderne

William Turner (1775-1851) est, avant tout, le peintre des espaces, des atmosphères, des paysages parfois oniriques ; lui qui admirait passionnément Claude Lorrain (1600-1682), est considéré par certains comme un précurseur des impressionnistes. Certains de ses tableaux s'intitulent *Clair de lune sur le lac de Lucerne*, *Lever du soleil dans la brume*, *Venise au clair de lune* ou encore *Soleil couchant sur un lac*. Ces œuvres sont envoûtantes et figuratives, très proches de ce qu'on pourrait obtenir avec un appareil photo moderne dans les mêmes conditions de lumière. Nous sommes devant des images qui combinent la réalité astronomique de l'éclairement solaire ou lunaire avec une forme de songe poétique.

Fig.6. *Turner. « La comète Donati ».*

Claude Monet (1840-1926) et *Impression soleil levant* (on connaît trois versions de ce tableau) est, malgré lui, à l'origine du mot « impressionnisme » : c'est la conséquence de la moquerie acide d'un critique devant le titre de son tableau. D'autres peintures se nomment : *Soleil couchant sur Seine* ou encore *Coucher de soleil sur le Parlement*. La similitude avec les œuvres de Turner est frappante, pour les mêmes raisons que ci-dessus. À la même époque, des artistes symbolistes produisirent des œuvres empruntant des composantes astronomiques à leurs tableaux.

Fig.7. *Monet. « Impression, soleil levant ».*

Parmi les peintres figuratifs de cette époque, le nom de Van Gogh (1853-1890) vient tout de suite à l'esprit. Ses tableaux sur le thème des nuits étoilées

(surtout celui où figure le croissant de lune à côté du tourbillon central) révèle l'intérêt que portait l'artiste aux images de la nature (cf. l'article de Samuel Boissier page 13).

Van Gogh peignit plusieurs tableaux de scènes champêtres et, en particulier, des semeurs à contre-jour. Il s'autorisa parfois à utiliser des couleurs assez vives dans les parties non éclairées par le soleil couchant qui est sur l'image. Cette licence permet d'enjoliver l'image ; essayez donc de créer la même scène en photographie sans « déboucher » les ombres avec un flash… !

Fig.8. *Van Gogh. « Le semeur au Soleil couchant ».*

Le vingtième siècle

Camille Flammarion (1842-1925) est l'auteur de nombreux ouvrages dans lesquels il a inséré des vues imaginaires du sol et de l'environnement d'autres planètes du Système solaire ; les exagérations des reliefs du sol, les végétaux grandioses peuplent ces images de rêve.

On n'en est pas encore aux documents collectés par les astronautes sur la Lune. Quant aux images des nombreux corps du Système solaire fournies par les sondes, elles ne proviennent pas d'un procédé strictement artistique mais elles nous transportent souvent par leur beauté.

Mais revenons à notre dialogue entre les artistes et les scientifiques. Lucien Rudaux (1874-1947) qui dirigea l'observatoire de Donville (Manche) publia de nombreux articles et des livres aux qualités pédagogiques et esthétiques indéniables ; il produisit de nombreuses images explicatives, ajouta des photos fournies par les grands instruments mondiaux, mais surtout il fut un maître dans la création de paysages réalistes et en couleurs ; imaginant ce qu'on verrait en s'approchant ou en se posant sur les astres du Système solaire, il fut un magnifique précurseur de ce qui allait se développer après 1950 sous le vocable de « space art » dans le monde entier. La délicatesse de ses gouaches et la justesse de ses prévisions sont captivantes.

De plus, lorsqu'on regarde les illustrations (sur le même thème) de Flammarion ou de l'abbé Moreux (1867-1954), on découvre des montagnes lunaires aussi pointues qu'une forêt d'aiguilles géantes et acérées ; on peut suggérer qu'il y a là un souvenir des ombres démesurées de ces montagnes éclairées par un soleil rasant. Les peintures de Rudaux sont, elles, conformes aux clichés pris sur notre satellite par les pionniers de l'astronautique.

Fig.9. *Relief lunaire avec la Terre visible dans le ciel chez Camille Flammarion à gauche et Lucien Rudaux à droite.*

De nombreux artistes ont traité le thème du soleil levant ou couchant et toutes les dérives chromatiques ont été utilisées. Edvard Munch (1863-1944) dans un tableau de « Soleil radieux » rend l'éblouissement créé par notre étoile en mêlant aux rayons clairs et surdimensionnés des lignes contrastées vertes, bleues et rouges ; de plus, l'horizon marin est enfoui sous l'auréole centrale jaune et blanche du soleil.

Fig.10. *Munch. « Le Soleil ».*

Paul Delvaux (1897-1994) excella dans le genre réaliste et onirique. Plusieurs de ses tableaux ont un titre relatif au ciel dont ceux-ci : *Les phases de la lune III* et *Les astronomes* ; dans ces deux scènes nocturnes, la Lune est en croissant et, dans les deux cas, mal inclinée. En effet, si le Soleil était placé dans chaque image, il serait à droite et un peu plus haut que la Lune ; l'image serait diurne !

Fig.11. *Paul Delvaux. « Les astronomes ». Reproduction partielle de l'auteur.*

Maurits Cornelius Escher (1898-1972) créa en 1947 une image étonnante : dans une architecture aux choix perspectifs multiples sont dessinées de larges ouvertures. Au travers de chaque baie apparaissent des paysages à dominante foncée, orientés dans tous les sens et qui montrent des sols cratérisés, une comète, une petite pleine lune, Jupiter et ses satellites, Saturne, un amas globulaire et une galaxie spirale. La liste des publications relatives à cet artiste montre que son expérience puise souvent dans les mathématiques, la géométrie des volumes, les illusions spatiales et graphiques.

Frantisek Kupka (1871-1957) créa des peintures à partir de fleurs ; il tritura tellement les formes que certaines ressemblent beaucoup (mais involontairement) à des taches solaires.

D'autres domaines peuvent être explorés : les dessins de couverture de beaucoup de livres de science-fiction (deuxième moitié du vingtième siècle) ; certains montrent des paysages plus ou moins fantastiques mais qui s'inspirent de données astronomiques sérieuses. De même, les illustrations du roman de Jules Verne (le voyage vers la lune) et les films de Georges Méliès (sur le même sujet) sont plus orientés vers la fantaisie scientifique.

Les peintres produisant des images abstraites sont légion à imager des thèmes astronomiques. Le rapport entre les titres des tableaux d'une part, et les formes et les couleurs d'autre part, peut être choisi par les artistes à l'aide de critères très variés, de la correspondance logique à l'étrangeté absolue.

Robert Delaunay (1885-1941) créa, comme sa femme Sonia, de nombreuses œuvres en utilisant surtout ce qu'on appelle les couleurs pures, c'est-à-dire les primaires et les familles de binaires. *Soleil, lune, simultané 2*, *synchromie cosmique* ou *Formes circulaires soleil n° 2* constituent des exemples joyeux, lumineux et dansants où les cercles, complets ou non, ne s'éloignent pas trop de la réalité astronomique.

L'un des fondateurs de l'abstraction, Vassily Kandinsky (1866-1944) produisit des œuvres rigoureusement abstraites dès 1910. Si les titres des

Fig.12. *Robert Delaunay. « Soleil, lune, simultané 2 ».*

tableaux n'évoquent pas l'astronomie, les couleurs raffinées, souvent vives, et les formes souples, rondes, font parfois penser à des planètes de mondes inconnus, par exemple dans *Quelques cercles* (1927).

Fig.13. *Kandinsky. « Quelques cercles ».*

Des sculpteurs contemporains ont réalisé des montages à inspiration astronomique, comme Alexander Calder (1898-1976) qui construisit une *Constellation* faite d'une large structure de gros fil de fer sur laquelle sont enfilées de petites masses convexes peintes de couleurs vives.

Et puisqu'il faut bien s'arrêter, un regard sur Mars : une caméra embarquée dans une sonde en orbite autour de la planète a fourni des clichés du sol à haute résolution. La variété, la finesse et l'étrangeté d'une majorité de ces images leur donne un sens profondément non figuratif : retournement de situation puisque la machine, en photographiant, produit des images abstraites…

Le présent article ne fait qu'effleurer le sujet proposé. Qu'il soit au moins une invitation à rechercher des exemples supplémentaires dans l'histoire des arts et de l'astronomie, pour votre plaisir.

Vastes domaines… ■

L'astronomie dans l'art : quelques exemples dans la peinture et dans la chanson populaire francophone

Samuel Boissier

chercheur CNRS au Laboratoire d'Astrophysique de Marseille (LAM),
président de la Société Française d'Astronomie et d'Astrophysique (SF2A)

L'auteur de cet article étudie la diversité des connections entre le monde des arts et celui de l'astronomie. Il montre dans un premier temps ce que l'astronomie peut apporter dans l'interprétation des tableaux des peintres. Dans un second temps, après avoir évoqué les liens bien connus entre astronomie et musique, il se livre à une intéressante recherche des connections existantes entre des termes astronomiques et le répertoire des différents chanteurs.

Objets mystérieux et lointains, les astres ont toujours inspiré les artistes et les poètes. Les astronomes trouvent la justification de leur travail dans ces représentations artistiques, et parfois une source de motivation. Depuis quelques années, je me suis intéressé aux liens entre arts et astronomie avec la complicité de quelques collègues (en particulier Sébastien Vives, ingénieur de recherche). Nous les avons exploités pour proposer au public une approche poétique de l'astronomie au travers de films, d'interfaces interactives et de conférences. Cette approche nous a permis de trouver un public plus large que celui que l'on peut rencontrer lors d'exposés plus « savants ». En ces heures en lesquelles l'obscurantisme, les « faits alternatifs », et le complotisme s'imposent, il nous semblait important de rappeler que l'astronomie (comme la science en général) appartient à tous car elle est au cœur de nos sociétés ; comme c'est d'ailleurs démontré par les étoiles, lunes et constellation sur nos drapeaux ; nos téléphones « Galaxy » ; les spectacles comme « l'exo-conférence » d'Ale-xandre Astier. Les exemples sont extrêmement nombreux. Certains sont donnés dans ces pages. Chacun pourra en trouver beaucoup d'autres ! Dans cet article, je vais explorer deux aspects totalement indépendants pour illustrer la diversité des connections entre arts et astronomie. Tout d'abord, j'évoquerai ce que les connaissances astronomiques peuvent apporter dans l'interprétation de tableaux très connus. Ensuite, je m'intéresserai au champ lexical de l'astronomie dans la chanson populaire francophone.

L'astronomie dans la peinture

Ce thème est déjà bien trop vaste pour être exploré dans ce seul article. J'éviterai donc tout ce qui concerne les représentations mythologiques, ainsi que les artistes contemporains. Je présenterai seulement quelques exemples dans lesquels les connaissances astronomiques (ou scientifiques) peuvent être utiles pour apporter une information nouvelle concernant une œuvre. Pour cela, je m'inspire très largement des enquêtes menées par Donald Olson et son équipe, rapportées dans l'ouvrage anglais *Celestial Sleuth*. On peut aussi retrouver ces informations dans le livre très complet de Yael Nazé : *Art et Astronomie*.

Comme nous le montre Donald Olson, nous pouvons utiliser l'astronomie pour obtenir des informations complémentaires sur certains tableaux.

Soleil couchant à Étretat.

C'est le cas par exemple du célèbre « Soleil couchant » de Monet, représentant les falaises d'Étretat. À partir de l'apparence des falaises, on peut savoir où sur la plage se trouvait le peintre, et dans quelle direction il regardait. Le tableau donne aussi la position du Soleil, et la hauteur de la marée. En combinant ces informations astronomiques avec

d'autres (relevés météos, et lettres de l'artiste), Olson nous explique que l'on peut très précisément dater l'œuvre, ou du moins son esquisse, au 5 février 1833 à 16 h 53.

Cette information de contexte peut être importante pour savoir où ce place cette peinture dans la chronologie des œuvres de Monet.

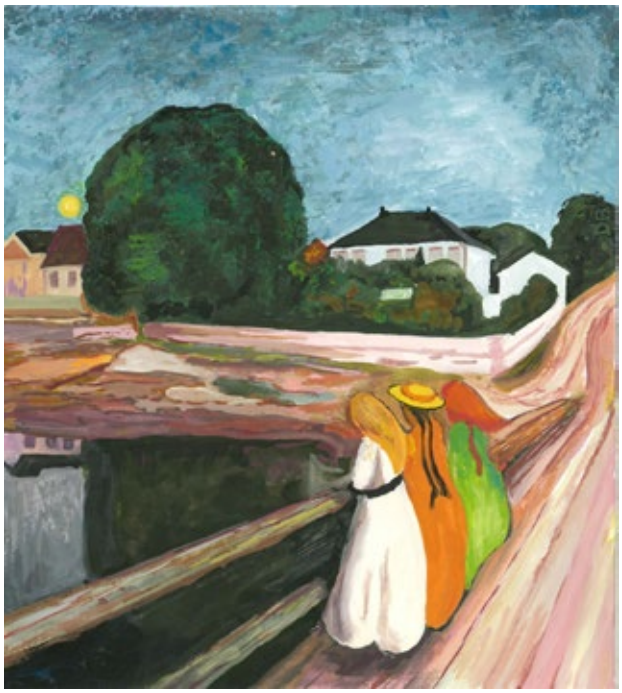


Illustration du tableau « Jeunes Filles » sur le pont par Daniel Bardin.

Un autre exemple intéressant nous est donné par « Jeunes Filles sur le pont » de Edvard Munch, illustré ci-dessus. Les experts ont longtemps débattu de la nature de l'astre représenté sur le tableau : Soleil, Lune, ou représentation purement symbolique ? Une autre question était l'absence de reflet de cet astre dans l'eau : oubli de l'artiste, ou porteuse de sens ? Là aussi, Olson s'est rendu sur les lieux représentés, dans la petite ville d'Åsgårdstrand (Norvège) où Munch passa plusieurs étés. Ce voyage a permis à Olson de trouver l'orientation de la scène, ce qui donne immédiatement la réponse à la première question. Seule la Lune peut se trouver à cet endroit du ciel en été. Le Soleil ne se couche dans cette partie du ciel que quelques semaines en novembre et janvier, dates ne correspondant ni aux séjours de Munch, ni au paysage estival dépeint.

On répond à la deuxième question en faisant un peu d'optique (discipline très utile aux astrophysiciens avec leurs télescopes !). Le chevalet se situe sur le pont, au-dessus de l'eau. La maison et la Lune sont à des distances très différentes. Les rayons lumineux en provenance de la Lune qui se refléteraient dans l'eau pour atteindre l'œil du peintre passeraient… au travers du bâtiment. Il est donc tout à fait normal et réaliste de ne pas observer le reflet de l'astre. La géométrie du problème est illustrée dans le schéma ci-dessous.

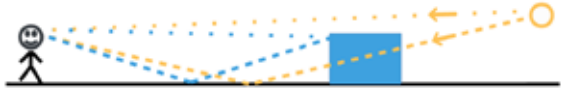


Schéma expliquant l'absence de reflet de l'astre dans le tableau de Munch « Jeunes filles sur le pont ». Les pointillés indiquent les rayons correspondant à la vue directe de l'artiste qui peut voir le bâtiment, et l'astre. Les tirets indiquent les rayons qui se refléteraient dans l'eau. L'artiste peut voir le reflet du bâtiment, mais pas celui de l'astre puisque ses rayons sont bloqués par le bâtiment.

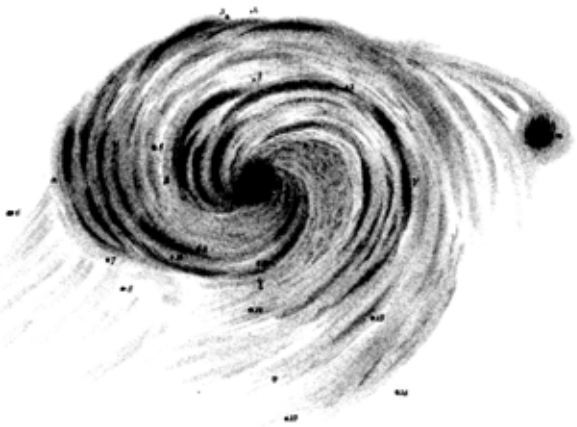
Munch a peint d'autres tableaux représentant le ciel nocturne. En connaissant approximativement les dates et la région où il se trouvait à l'époque, on peut utiliser des logiciels de planétarium (comme Stellarium) pour reconnaître le ciel, et ainsi repérer en particulier Jupiter, les Pléiades ou Arcturus, selon les toiles. Arcturus a été retirée de certaines reproductions de « La tempête », car les éditeurs ont vu dans ce point brillant perdu dans les nuages un défaut. Plus récemment, André Brahic a rapporté que la même mésaventure est arrivée à l'ombre d'un satellite de Jupiter lors de la reproduction destinée au public d'une photographie astronomique !

Finalement, il serait difficile de ne pas mentionner Van Gogh dans cette partie. Ses tableaux représentant le ciel nocturne sont nombreux, et au moins pour certains d'entre eux très célèbres. Leurs étoiles semblent s'étaler en scintillant comme par une nuit de mauvais « seeing ». Plusieurs faits sont remarquables dans ces tableaux. Tout d'abord, on y reconnaît très clairement des objets astronomiques. Dans *Nuit étoilée sur le Rhône*, c'est une Grande Ourse légèrement difforme qui flotte au-dessus de l'horizon. Ce ciel est assez réaliste pour la période, mais ne correspond pas à l'orientation des berges qui ont été identifiées. Cela indique que Van Gogh composait peut-être ses tableaux en mélangeant une observation du ciel à un moment donné, et un paysage à un autre. Dans de nombreux tableaux de Van Gogh, on trouve aussi le croissant de Lune, et la planète Vénus. On ne peut pas se tromper sur la nature de la planète car elle est systématiquement représentée avec un diamètre un peu plus grand que les étoiles, or Van Gogh écrivait dans une lettre à son frère « Ce matin, j'ai vu la campagne de ma fenêtre longtemps avant le lever du Soleil avec rien que l'étoile du

matin laquelle paraissait très grande ». À cette époque, Camille Flammarion suggérait d'ailleurs d'observer Vénus, et on peut penser que Van Gogh a été familier avec ses écrits. Flammarion conseillait aussi d'observer des conjonctions remarquables. Dans *Route avec cyprès et une étoile*, on trouve ainsi probablement la représentation d'une conjonction Lune-Mercure-Vénus. À un détail près, cependant : les positions sont inversées (un effet miroir que l'on retrouve dans plusieurs tableaux, et dont il sera question à nouveau plus loin). Je proposerai presque que Van Gogh peignait effectivement le ciel vu dans un miroir. Cela aurait été plutôt malin pour que la lumière de la Lune éclaire la toile de l'artiste plutôt que de voir son travail à contre-jour !

La nuit étoilée, un des tableaux les plus connus de l'artiste, nous montre encore un ciel nocturne avec la Lune et Vénus. Mais ce qui attire peut-être le plus l'œil est le tourbillon au centre de la toile. À partir de cartes du ciel, même si l'accord avec la position des étoiles n'est pas parfait, Jean-Pierre Luminet a suggéré qu'il représentait le ciel le 25 mai 1889, à 4 h 40.

C'est un exercice assez similaire à celui fait par Olson pour les falaises d'Étretat. Il a aussi suggéré, comme des collègues américains, que le tourbillon est une représentation de la galaxie Messier 51 (*whirpool galaxy*, en anglais, « La galaxie du tourbillon »). Celle-ci avait été observée par Lord Rosse au travers de son télescope en 1845, et il en avait produit des dessins que Camille Flammarion avait diffusés en France. On peut effectivement trouver une grande ressemblance (voir les reproductions ci-dessous).



La galaxie Messier 51 dessinée par Lord Rosse en 1845 et publiée en 1850.

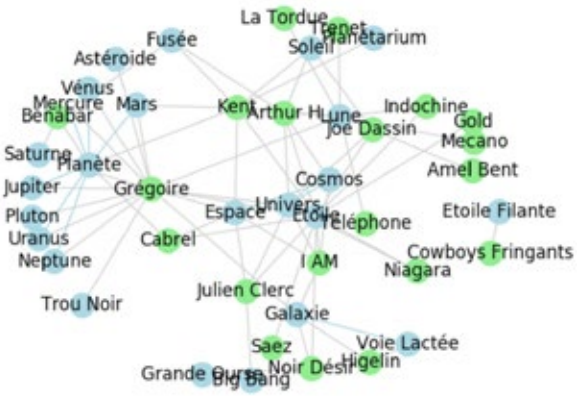
Illustration du tableau « La nuit étoilée » de Van Gogh par Daniel Bardin.

On peut noter cependant une différence : le tourbillon au centre semble tourner dans le mauvais sens. Encore un effet miroir, difficile à expliquer. Un autre élément peut nous troubler. Très clairement, il s'agit d'une nuit venteuse. Les cyprès oscillent, la turbulence atmosphérique étale les étoiles qui sont loin d'être ponctuelles. Les tourbillons représentent-ils le mistral soufflant sur Saint-Rémy-de-Provence ? Cette hypothèse a aussi été avancée. Nous ne saurons jamais ce que Van Gogh voulait vraiment représenter, mais ses tableaux continuent à nous montrer le ciel avec ses yeux à lui, si particuliers, et à nous émouvoir.

L'astronomie dans la chanson populaire francophone

Les liens entre astronomie et musique ont souvent été traités (lire par exemple *l'harmonie des sphères* de Dominique Proust). On peut facilement transposer toute vibration (par exemple celles qui font trembler la surface des étoiles, les pulsations des pulsars, les variations du champs électro-magnétique pour les ondes lumineuses, ou bien des déformations de l'espace-temps pour les ondes gravitationnelles) en ondes sonores via un jeu de transposition de leur fréquence et ainsi obtenir un son qui peut être introduit dans une composition avec plus ou moins de bonheur selon vos goûts musicaux. Par exemple, *Le noir de l'étoile* (Grisey) est rythmé par des pulsars, *Cygnus XI-21* (Clais) utilise les phénomènes d'accrétion autour des trous noirs, *La nouvelle musique des sphères* (Lévine/Vauclair) incorpore les oscillations qui animent les surfaces des étoiles, *Music for a dying star* se base sur des données de l'observatoire ALMA.

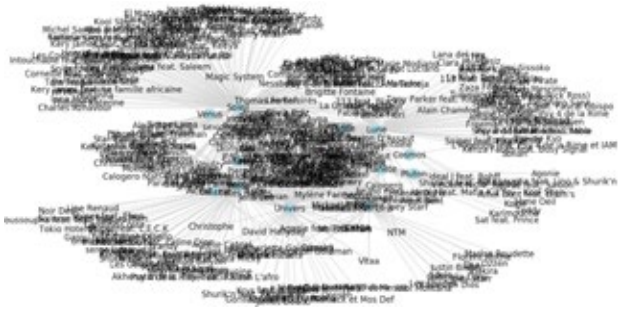
Dans cette partie, je vais traiter un aspect totalement différent, celui du champ lexical. Dans un premier exercice auquel je m'étais livré (et on peut imaginer que n'importe qui, ou bien n'importe quel groupe de personnes, puisse se livrer à un exercice similaire), j'avais choisi une liste de termes astronomiques (comme « Big Bang », « Lune », « Soleil », « Étoile »...), et répertorié toutes les chansons (francophone pour limiter le problème) qui y font mention et auxquelles je pouvais penser. Les connexions entre les uns et les autres dessinent le réseau représenté ci-dessous.



Réseau de connections entre termes astronomiques et chanteurs ou groupes les mentionnant.

Ce réseau est très personnel (même si j'avoue y avoir inclus quelques suggestions récoltées lors de conférences). On peut tout de même y noter quelques relations particulières. Le chanteur Grégoire dans une seule chanson, *Rue des étoiles* (référence qui m'a été soufflée lors d'une conférence au club Véga d'Ollioules), cite toutes les planètes du Système solaire et d'autres objets astronomiques. Vers le centre du diagramme, on trouve le chanteur Kent (Kent Cokenstock, fondateur du groupe Starshooter). Ce n'est pas un hasard puisqu'il est en effet l'auteur de nombreuses chansons ayant des échos astronomiques, par exemple quand il apostrophe la Lune et le Soleil dans *Regarde-moi, Soleil*, quand il s'imagine enfant rêvant de planétarium et de fusée (*Tous les mômes*), ou même Martien tout au long de l'album *L'homme de Mars*. Il fustige l'astrologie, défend la rationalité et fait référence à Galilée dans *Superstition*. Pendant que je rédigeais ma thèse de doctorat, je l'ai entendu clamer son intérêt pour l'astronomie dans une interview sur France Inter. Je notai rapidement ses propos pour placer cette citation en tête du chapitre introductif de ma thèse « Les études d'astronomie rendent petit, infiniment petit, c'est même dérisoire. Ça m'intéresse parce que c'est drôle de se rendre compte que chaque découverte en astronomie prolonge l'imagination ». Une citation qui nous conforte dans l'intérêt réel porté à l'astronomie de la part du chanteur. Un autre cas que j'aime citer est celui de Bénabar qui apparaît dans ce schéma pour le titre « Saturne », dans lequel le vocabulaire astronomique est utilisé pour parler en réalité de notre capitale, avec ses « anneaux périphériques », et sa « fusée rouillée ». Dans ce cas, finalement, il n'est pas du tout question d'astronomie, mais notre vocabulaire a été suffisamment intégré par la société pour que le chanteur puisse l'utiliser de cette façon imagée.

Afin de rendre l'exercice plus complet, j'ai récemment recherché sur un site de « base de données » des textes de chanson qui utilisent du vocabulaire astronomique (requêtes sur la page http://www.paroles-de-musique.eu/recherche.php). Cette fois, pour des raisons pratiques, je me suis limité à une sélection de mots simples (Soleil, Lune, Planète, Fusée, Étoile, Cosmos, Espace, Univers, Galaxie, Saturne, Vénus, Pluton). J'ai ainsi obtenu une statistique importante (plus de 2 000 réponses), ce qui rend le diagramme ci-dessous à peu près impossible à lire ! Notons cependant que malgré cette statistique et ce processus « automatique », les résultats ne sont pas complets, certains chanteurs ayant été identifiés dans le premier exercice n'apparaissent pas ici : le site internet utilisé a son propre biais avec lequel nous devons faire !



Réseau de connections entre termes astronomiques et chanteurs obtenus à partir de requêtes sur une base de données.

On peut cependant noter que le Soleil et la Lune ont des positions privilégiées vers le centre du graphe et présentent des centaines de connections. Il est assez naturel que nos deux astres principaux soient les plus cités, et il faut avouer que *Le lundi au soleil*[1] (pour prendre un exemple parmi beaucoup d'autres) a peu à voir avec l'astronomie. C'est souvent le cas, car même des mots plus techniques sont souvent utilisés au sens figuré (par exemple, les pingouins de la galaxie d'Higelin, ou bien l'univers que contrôle le businessman dans Starmania…).

1 Claude François.

Les études statistiques ont donc leurs limites. L'illustration suivante tente d'isoler quelques facteurs en observant quels sont les termes les plus utilisés par Francis Cabrel, Céline Dion, et le groupe IAM.

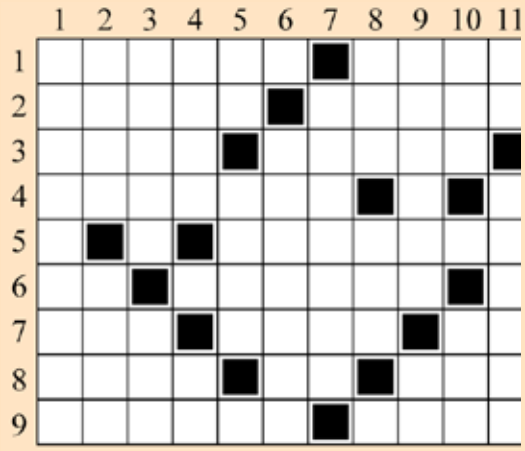
Fréquence des termes astronomiques dans les chansons du groupe IAM, de Francis Cabrel, et de Céline Dion de gauche à droite.

De cette dernière figure, nous pouvons tout de même déduire quelques éléments. Tout d'abord, si Céline Dion apparaissait très souvent dans nos résultats, c'est surtout en raison de la taille de son répertoire et pour son utilisation répétée du mot « Soleil » (et très peu d'autres termes astronomiques). On peut comprendre que le Soleil lui a manqué considérant sa contrée d'origine[2] ! Francis Cabrel est lui le champion de l'Espace, mot qu'il utilise plus fréquemment que tous les autres chanteurs. Pour continuer dans les régionalismes, on pourrait y voir un lien avec son goût prononcé pour les grands espaces ruraux, « bien loin de la ville ». On trouve aussi chez lui bon nombre de mentions au Soleil, à la Lune et les étoiles. L'astronomie n'est pas forcément au cœur de son inspiration, mais le ciel apporte un coté romantique à ses chansons (comme chez de nombreux autres auteurs). Chez IAM, on trouve la combinaison galaxie-cosmos-espace-univers. En se penchant sur les paroles, on découvre alors (sans doute avec surprise pour certains) que le groupe de rap s'est véritablement inspiré des questions astronomiques et cosmologiques (*Cosmos*, album *Ombre est lumière*).

Une étude complète de l'utilisation des termes astronomiques dans la chanson francophone demanderait beaucoup plus de travail que ce qui a été fait pour cet article. Je n'ai fait qu'effleurer le sujet. Il faudrait sans doute séparer les cas où le ciel étoilé et la Lune ne sont utilisés que pour leur côté romantique ; l'utilisation délibérée de termes astronomiques dans un autre contexte (comme pour « Saturne » de Bénabar), ou bien les cas où l'astronomie est véritablement au cœur de la réflexion de l'artiste (comme pour Kent et IAM, pour ceux dont j'ai parlé dans cet article). Toujours est-il que le ciel chanté est un autre angle d'attaque pour parler d'astronomie à une population a priori peu attirée par les sciences, puisque la musique, dit-on, adoucit les mœurs. ■

2 NDLR : il faut signaler que l'auteur de cet article travaille à Marseille, ville qui bénéficie de 2 836 heures d'ensoleillement par an, contre 2 051 à Montréal. Mais les Parisiens n'ont droit qu'à 1 662 heures.

Mots croisés art et astronomie



Horizontalement

1. Il a peint de superbes constellations. Ses montres peuvent illustrer la relativité du temps.
2. Figure artistique, au même titre qu'une lune ou un soleil. Il a impressionné son monde avec son soleil levant.
3. Fit comme Secchi avec les étoiles. Artiste et scientifique.
4. Il a peint l'école d'Athènes avec Pythagore, Platon, Ptolémée et beaucoup d'autres.
5. Il accompagne Neptune.
6. Demi-sel. On en voit une sur la tapisserie de Bayeux.
7. Offre pas toujours amicale. Comme les planètes entre 1930 et 2006. Nombre transcendant.
8. Ses toiles colorées montrent souvent des lunes ou des planètes. Un(e) de perdu(e)… Rimbaud y place un dormeur.
9. Artiste passionné par l'espace et les illusions. Van Gogh l'a souvent peinte.

Verticalement

1. Peint par Vermeer.
2. Elle a chanté Passe-moi le ciel. Taureau.
3. Sous-vêtements. Le Sagittaire en possède un.
4. On y trouve une base martienne. Exclamation.
5. Syndicat. Soleil égyptien.
6. Il a peint l'astronome.
7. Ils peuvent être interstellaires ou interplanétaires…
8. On peut en faire un au CLEA. Ils rappent Neptune.
9. Bien fixée. Entre venu et vaincu.
10. Monnaies roumaines. Satellite berger de Saturne.
11. Dans Magritte. Van Gogh en a peint plus d'une.

Solution p. 22

Art et astronomie

instrumentation ou co-construction

par **Roseline Primout**, enseignante en physique-chimie

Faut-il utiliser l'art pour faire de l'astronomie ou peut-on étudier à la fois l'art et l'astronomie à partir de certaines œuvres ? Roseline Primout nous propose cette réflexion avec de nombreux exemples, qui devraient aider les enseignants à se lancer dans des projets interdisciplinaires.

L'art permet d'illustrer, de diffuser et voire même de vulgariser la science. Ainsi, monter des projets interdisciplinaires auprès d'élèves mêlant art et astronomie semble pertinent. Des activités relevant de l'instrumentation de l'art seront présentées puis, dans un second temps, des projets de co-construction. Pour des questions de droit à l'image et afin d'éviter de transformer cet article en imagier, peu d'œuvres sont présentées, la plupart sont juste citées pour conseiller les enseignants. Les thèmes de la science-fiction[1] et des exoplanètes[2] n'ont pas été retenus car déjà présentés dans de précédents Cahiers Clairaut.

Les projets explicités dans cette partie montrent que l'art peut raconter l'astronomie. Certains artistes ont été commandités pour décrire, à travers leurs dessins, les observations faites, comme Donato Creti ou Léopold Trouvelot. Ce dernier a été appelé par le directeur du Harvard College Observatory et ses oeuvres restent un modèle de part leur richesse et l'exactitude rendue des observations, égalant une photo, car il reproduit à l'identique, sans interpréter. Il sert l'astronomie.

Pour parler de l'évolution de la vision du monde, illustrations, tableaux, gravures peuvent servir d'appui. Le système géocentrique a été schématisé de multiples fois comme dans *Harmonia Macroscomica* d'Andreas Cellarius, avec l'O*rbium Planetarum terram complectentium scenographia*. Les huiles sur toile de Donato Creti, *Observations astronomiques*, valorisent les travaux de Galilée. La vulgarisation scientifique au Temps des Lumières est mise en évidence avec le tableau d'Henri Testelin, *Établissement de l'Académie des sciences et fondation de l'Observatoire*, présentant le rôle du pouvoir politique sur le développement des sciences, thème qui peut être traité en parallèle en EMC[3]. *Philosophe faisant son exposé sur le planétaire* de Joseph Wright of Derby illustre le système héliocentrique sans la présence du Soleil, ce qui rend l'œuvre originale. Une illustration présentant Caroline et William Heschel observant les nébuleuses avec leur télescope permet d'aborder la place de la femme dans la société, thème appartenant à l'EMC. Les pastels d'Étienne Léopold Trouvelot, comme *La Nébuleuse Oméga du Sagittaire* ou *Ensemble de taches solaires*, montrent les observations faites au XIXe. Cette présentation a été réalisée avec des classes de 5e. Les élèves ont été plus captifs comparé à une présentation plus traditionnelle sur l'évolution de la vision du monde.

Groupe de taches solaires dessiné par Léopold Trouvelot.

De plus, de nombreuses œuvres plastiques traitent de phénomènes inexpliqués au moment de leur réalisation, comme le passage des comètes[4] qui annoncent de mauvais présages permettant de traiter des peurs ancestrales, de montrer que souvent les phénomènes inconnus inquiètent ou sont présentés comme des créations divines, comme dans *Le livre des miracles* d'Augsbourg. C'est l'occasion d'expliquer que la science a besoin de temps et de

1 Voir Cahiers Clairaut nos 146 (astronomie et imaginaire juin 2014) et 157 (astronomie et littérature mars 2017).

2 Article de Didier Laloum paru dans le BUP, février 2018, vol. 112 (L'art savant d'imager les exoplanètes).

3 Éducation morale et civique.

4 Voir CC n° 141 (mars 2013).

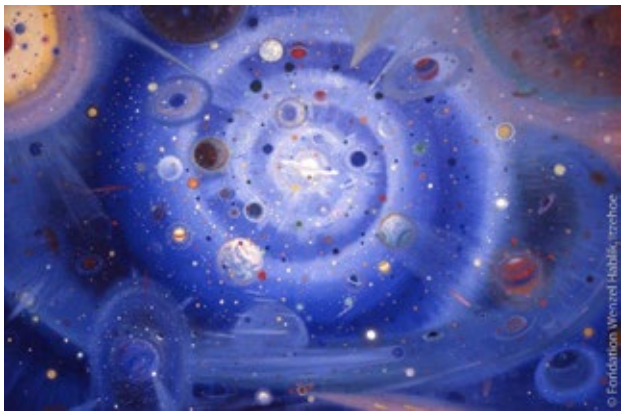
technologie pour créer des instruments permettant d'expliciter les phénomènes observés et incompris. Ce thème offre la possibilité de développer l'esprit critique chez les élèves en s'intégrant dans le domaine 5 du socle de compétence.

La présentation d'œuvres plastiques est ici une ouverture, un point de départ, une ressource pour aborder l'astronomie. Toutefois, cette méthode est restrictive car l'art ne reste qu'un outil pour diffuser et valoriser l'astronomie.

Pour que l'art ne reste pas au stade de l'exploitation, dépasse le stade d'outil et devienne un objet de co-constuction avec l'astronomie, les élèves doivent se questionner, mener une réflexion.

L'un des moyens est la mise en place de démarches d'investigations à travers l'analyse de la scène représentée. En effet, des artistes dessinent les astres de manière fantaisiste soit volontairement soit par méconnaissance. Par exemple, Antoine Caron a peint une éclipse solaire ressemblant plutôt à un soleil couchant, haut dans le ciel, dans *Denys l'Aéropagite convertissant les philosophes païens*. Paul Delvaux représente des phases de Lune sur nombreux de ses tableaux comme *Les phases de la lune III* obligeant une position du Soleil rendant la situation impossible sur le plan scientifique. Un tableau particulier est celui de Maria de los Remedios Varo Uranga, *Nature morte ressuscitée*, alliant héliocentrisme et spiritisme. La réflexion demandée aux élèves les oblige à avoir compris le phénomène abordé, voire à le maîtriser.

Une autre méthode est d'impliquer, entre autres, les collègues d'art plastique dans des projets afin que les élèves se questionnent sur un sujet d'astronomie à travers la réalisation d'une production.



Sternhimmel, 1913 (Firmament), de Wenzel Hablik.

Une possibilité est de partir de représentations abstraites, futuristes ou imaginaires du monde et de sa création. Suite à l'étude du *Firmament* de Wenzel Hablik, *Les Nénuphars* (inspiré par le rayonnement X) de Kupka, *Universel* d'Amédée Ozenfant, les gravures de Maurits Cornelis Escher, les œuvres d'Alexander Calder…, des élèves de 5e ont mené une réflexion sur leur vision du monde et ont dû la représenter plastiquement. Ce travail est intéressant pour l'enseignement scientifique car il permet de traiter de la constitution de l'Univers en détruisant des conceptions erronées par l'analyse des travaux des élèves.

Une autre démarche à suivre est de réfléchir sur la symbolique utilisée pour figurer l'astronomie. Sur de nombreux tableaux anciens, un astrolabe et un planisphère incarnent l'astronomie comme sur «*Allégorie de la vue»* de Jan Bruegel et Pierre Paul Rubens. Cette symbolique n'est plus d'actualité au XXIe siècle ; il serait intéressant de proposer aux élèves de rechercher laquelle serait la plus représentative de nos jours.

Symbolique de l'astronomie. Observatoire de Greenwich.

Sur les bâtiments des observatoires, un buste d'Uranie ou d'Astronomia est souvent représenté. On pourrait mettre les élèves dans une situation d'appel d'offre : choisir l'allégorie qui sera reproduite sur un observatoire en construction au XXIe siècle.

Ces quelques pistes illustrent des possibilités pour allier l'art et l'astronomie auprès de ses élèves. L'art peut être exploité pour vulgariser l'astronomie ou devenir un outil créatif nécessitant questionnement. Les projets interdisciplinaires, explorant l'art et l'astronomie, sont une co-construction entre ces disciplines au lieu d'une simple valorisation de l'art ou de l'astronomie.

■

Bibliographie

Alexis Drahos. *L'astronomie dans l'art*. Citadelles et Mazenod, 2014, 184 pages.

Richard-Emmanuel EASTES, La dialectique art-science-technicités dans la médiation scientifique : de l'instrumentalisation à la co-construction, *La science en culture : le détour par l'art*, Paris : Les atomes crochus, 2011, 188 p.

La supernova de l'an 1006 et ses représentations

Thomas Widemann, Observatoire de Paris, LESIA

Pour expliquer l'évolution de la supernova de 1006, l'auteur étudie les représentations anciennes de quelques autres supernovae postérieures : la nébuleuse du crabe de 1054, celle de Tycho Brahé en 1772 et enfin celle de Kepler en 1604.

Chacun des lecteurs des *Cahiers Clairaut* est certainement familier de trois grandes supernovæ du second millénaire : 1054 (la nébuleuse du Crabe), 1572 (Tycho Brahé), 1604 (Kepler). Il l'est certainement moins de la supernova « oubliée » de l'an 1006, à laquelle cette contribution souhaite rendre justice et que l'on serait tenté de nommer la « supernova d'Avicenne ». Sa représentation un temps supposée parmi les gouaches et les aquarelles du *Livre des miracles* d'Augsburg (*Augsburger Wunderzeichenbuch*) vers 1552, semble plutôt celle d'un bolide observé en Europe continentale l'année suivante.

En l'an 1054, la supernova du Crabe (SN 1054) apparaît à proximité de l'amas des Hyades, tout près de l'étoile ζ Tau dans la constellation du Taureau. Elle donne naissance à l'un des événements astronomiques de l'histoire et l'un des objets les plus étudiés de la voûte céleste : le pulsar et la nébuleuse du Crabe.

Planche 28. *Le Livre des miracles d'Augsburg (Augsburger Wunderzeichenbuch) vers 1552. La représentation imaginaire d'un bolide observé en Allemagne en l'année 1007, a pu un temps être confondu par la tradition avec la supernova de l'an 1006 (« en l'an 1007, une merveilleuse comète apparut. Elle lançait des flammes et du feu dans toutes les directions. Elle fut visible depuis l'Allemagne et la Suisse romande jusqu'à sa chute sur la Terre »).*

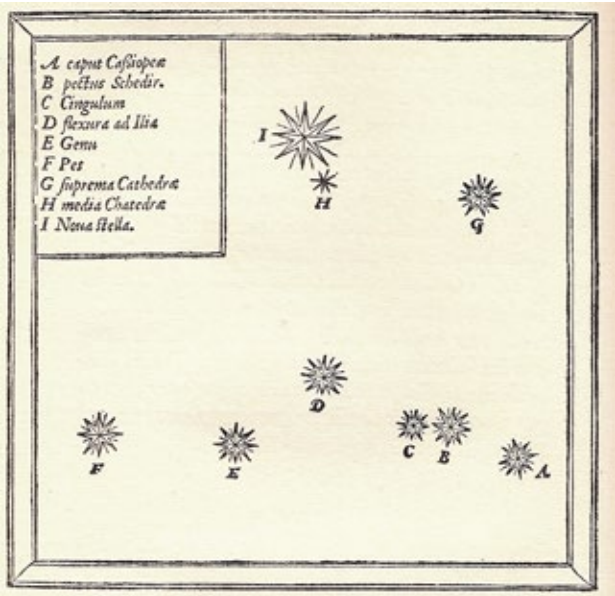
L'« étoile invitée » est mentionnée dans plusieurs chroniques chinoises de la dynastie Song (960-1279) :

« Ère Zhihe, première année, septième mois lunaire, 22e jour. *J'observe humblement qu'une étoile invitée est apparue ; au-dessus de l'étoile il y a une faible lueur de couleur jaune. Si l'on examine les divinations concernant l'Empereur, le fait que l'étoile n'ait pas envahi le ciel et que sa brillance soit importante signifie qu'elle représente une personne de grande valeur* ».

L'importance de ces chroniques n'est pas tant l'étude de l'interprétation des phénomènes célestes au 11e siècle, que leur datation précise.

Celle-ci nous permet de connaître la durée et l'ampleur du phénomène sur de nombreux mois, et des éléments de l'aspect visuel du phénomène.

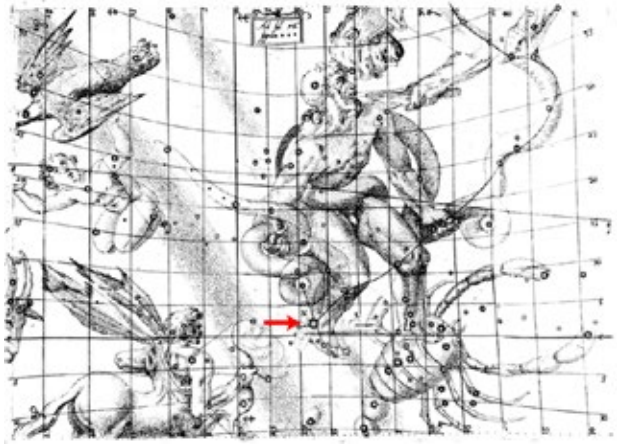
La supernova de Cassiopée en 1572, dite supernova de Tycho Brahé (SN 1572) va retentir dans le ciel de l'Europe moderne, trente ans à peine après la mort de Copernic.



La supernova de Tycho Brahe de 1572 (étoile notée I) dans Cassiopée. Extraite du livre de Tycho Brahé Stella Nova, *de 1573.*

L'observatoire d'Uraniborg sur l'île de Hven, près de Copenhague, est richement décoré et équipé des instruments de visée angulaire les plus précis ayant alors jamais existé dans l'histoire. Tycho Brahé, inlassable artisan des mesures de distances entre étoiles et planètes sur la voûte céleste, démontre que l'étoile nouvelle est d'une constante fixité par rapport aux étoiles voisines de Cassiopée, sur une durée de plusieurs semaines. Ne se déplaçant pas devant les étoiles, elle n'est ni un météore, ni une planète nouvelle mais elle est bien attachée à ce qu'on nomme encore la sphère des étoiles fixes. Or cette sphère, conçue depuis Aristote comme un lieu immuable et éternel, assurant tous les mouvements du monde, ne peut être le siège de phénomènes transitoires.

Enfin, en 1604, la supernova de Kepler (SN 1604) dans la constellation d'Ophiuchus, va nourrir profondément la réflexion de l'astronome de l'Empereur du Saint-Empire, Rodolphe II de Prague. Johannes Kepler décrira ses observations de la supernova dans l'ouvrage *De Stella Nova in Pede Serpentarii* (Au sujet de l'étoile nouvelle sur le pied du Serpentaire).

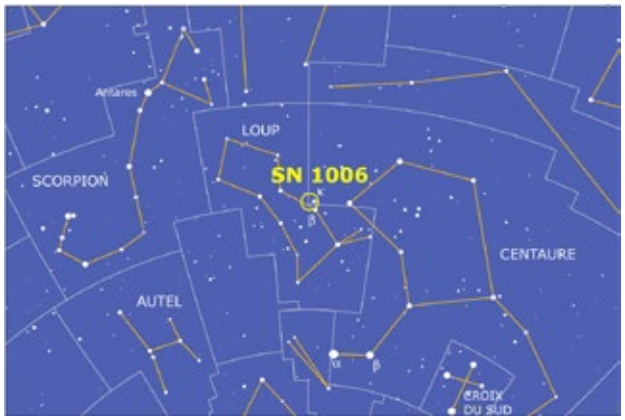


La supernova de Kepler de 1604. Extrait de De Stella Nova in Pede Serpentarii, publié en 1606. On y voit représentée la nouvelle étoile dans le pied droit du Serpentaire (Ophiuchus).

L'astronomie n'a jamais rendu justice aux événements du ciel austral. Lorsque ces derniers ont une déclinaison fortement négative, ou à plus forte raison parmi les étoiles circumpolaires australes, ou lorsque ces événements sont invisibles aux savants des rares lieux d'enseignement, ou des cours royales ou impériales tenant la chronique des phénomènes naturels au cours des premiers millénaires de notre histoire, il est très difficile d'en retrouver des représentations et ils disparaissent de notre mémoire collective. Il a fallu attendre l'expédition au Cap de Bonne Espérance de l'Abbé Louis-Nicolas de Lacaille sous Louis XV, pour que soient achevées d'être nommées les constellations du ciel austral. C'est dans ce contexte qu'il faut aborder l'événement stellaire de l'an 396 de l'Hégire, c'est à dire l'an 1006 de l'ère chrétienne.

L'astronome Ali ibn Ridwan (988-1061), né à Gizeh en Égypte, la décrit ainsi dans son *Commentaire* sur Ptolémée : « L'étoile nouvelle est apparue au soir du 17 Shaban 396 (30 avril 1006). Le spectacle était celui d'un grand objet circulaire, de 2,5 à 3 fois la dimension de la planète Vénus. Le ciel était lumineux autour de lui du fait de son éclat. L'intensité de sa

lumière était un peu supérieure à celle d'un quartier de lune ». Elle fut décrite par Ali ibn Ridwan durant tout l'été qui a suivi, mais vers la mi-août le Soleil s'en est trop rapproché, de sorte qu'elle était noyée dans le crépuscule puis l'étoile n'a plus été revue.

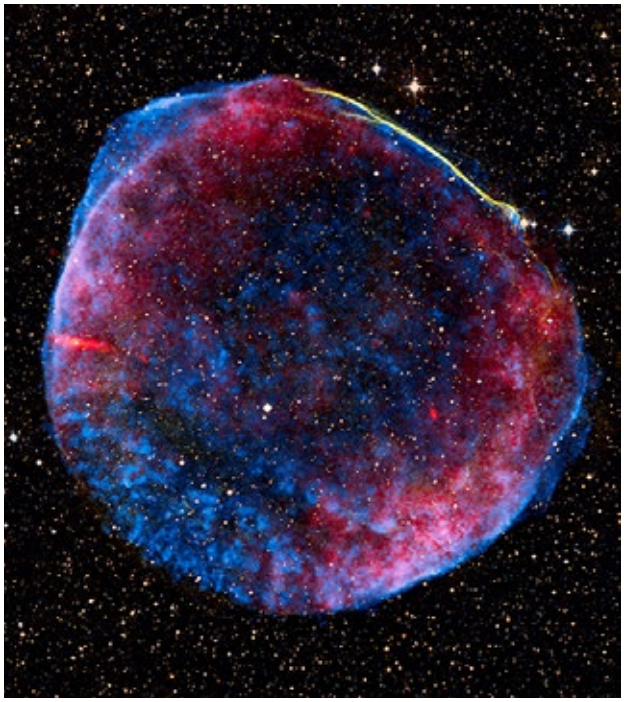


La supernova de 1006 se situait à promimité des étoiles β du Loup et κ du Centaure.

Voici maintenant l'interprétation qu'en fait le grand philosophe persan Avicenne (980-1037), dans son *Livre du Remède* ou *De la Guérison*, deuxième section, cinquième partie : *Sur les minéraux et les phénomènes météorologiques*, chapitre 5 : *Sur le tonnerre, l'éclair, la foudre, les étoiles filantes, les feux tournoyants et les comètes*. Il replace l'apparition de l'étoile de 1006 dans la physique d'Aristote :

« Si la matière [des étoiles filantes, comètes et autres phénomènes analogues] est subtile et légère, de telle sorte que sa subtilité lui permette de se convertir rapidement en feu et que sa légèreté la rendre capable d'atteindre la limite où le feu est très fort, son ignition se dissipe instantanément, devient feu pur et transparent.

Si la matière est épaisse, solide et lourde, sa conversion en feu pur est lente : il n'y a pas de froid pour l'éteindre, et elle ne s'élève pas rapidement vers la région du feu. Ainsi il arrive que son inflammation et son ignition durent longtemps, en forme de mèche ou de queue, surtout au nord mais parfois au sud, **ou en forme d'étoile, comme celle qui apparut en l'an 397[1]. Celle-ci se maintint pendant trois mois environ, devenant subtile jusqu'à se dissiper. Au début elle tirait vers le gris et le vert, puis elle se mit à lancer des étincelles et à devenir de plus en plus blanche et subtile avant de disparaître** (…).»



Rémanent de la supernova SN 1006. Vue composite comprenant des données de rayons X en bleu, des données optiques en teintes jaunâtres et des données d'image radio en rouge. Credits : NASA, ESA, Zolt Levay (STScI).

Nous avons donc là – en dépit des interprétations physiques erronées – une description scientifique, précise, de la durée et la visibilité de la supernova de l'an 1006. On sait maintenant qu'elle était située près de l'étoile β Lupi de la constellation du Loup, sous le Scorpion. La « forme d'étoile » montre que les supernovae sont encore assimilées aux comètes durant le Moyen Âge.

■

1 Soit 1006 de notre ère.

Solutions des mots croisés

Horizontalementv

1. Al Sufi. Dali. **2.** Salto. Monet. **3.** Tria. Vinci. **4.** Raphaël. **5.** Trident. **6.** Na. Comète. **7.** OPA. Neuf. Pi. **8.** Miro. Ex. Val. **9.** Escher. Lune.

Verticalement

1. Astronome. **2.** Lara. Apis. **3.** Slips. Arc. **4.** Utah. Oh. B FO. Aton. **6.** Vermeer. **7.** Milieux. **8.** Don. DTF. B Ancrée. Vu. **10.** Lei. Pan. **11.** it. Étoile.

LECTURE POUR LA MARQUISE

Art et astronomie, ressources

Deux ouvrages indispensables

Jean-Luc Fouquet

Pour qui s'intéresse à cette question de la convergence possible entre l'art et la science, ces deux ouvrages paraissent indispensables. Ce sont de beaux livres, très richement illustrés qui ne se contentent pas, l'un comme l'autre, d'égrener de très nombreux tableaux s'inspirant du ciel étoilé, mais qui, à l'aide d'œuvres savamment sélectionnées, témoignent des multiples relations, des liens complexes mais compréhensibles entre scientifiques et artistes. Pourtant, les auteurs de ces livres semblent appartenir à deux mondes bien différents. Yaël Nazé est astrophysicienne à l'Université de Liège alors qu'Alexis Drahos est docteur en histoire de l'art à la Sorbonne à Paris. Chacun a cependant ce même dessein de décrire ces incessants échanges entre artistes et savants, et de montrer que si les peintres se nourrissent de l'astronomie, les scientifiques font souvent appel à l'art pour mettre en scène leurs découvertes.

Alexis Drahos, Citadelles

L'astronomie dans l'art, de la Renaissance à nos jours.

Mazenot, septembre 2014

Le sous-titre du livre d'Alexis Drahos est « de la Renaissance à nos jours », et les œuvres étudiées sur les cinq derniers siècles, de Copernic au début de l'art contemporain, illustrent cinq grandes parties traitées en respectant une certaine chronologie, des enluminures de la Renaissance aux œuvres surréalistes.

Pour illustrer cette relation entre œuvre d'art et découvertes scientifiques, je ne citerai que deux ou trois exemples. Admirons d'abord cette Lune galiléenne de Cigoli, artiste italien ami de Galilée, dans son tableau peint en 1612, « l'Immaculée Conception ». La Lune y est représentée avec une ombre et de nombreux cratères, bien que jusqu'alors la Vierge était représentée les pieds posés sur une Lune idéale et parfaite, boule blanche sans taches, voire croissant renversé en berceau. D'ailleurs, dans l'Espagne très catholique de la même époque, Vélasquez fait reposer son « Immaculée Conception » sur une sphère étincelante, telle la Lune décrite depuis l'Antiquité par Aristote. Découvrons encore cette série de tableaux de l'italien Donati Creti représentant en 1712 le Soleil, la Lune ou chaque planète, très agrandis et comme vus dans une lunette, dans des paysages bucoliques. Jupiter par exemple porte des bandes de nuages sombres et la fameuse tache rouge observée en 1665 par Dominique Cassini.

Sommaire

La Renaissance, de l'astrologie à l'astronomie

À l'heure de la révolution galiléenne

La vulgarisation scientifique au temps des Lumières

Le XIXe siècle et la découverte de l'immensité de l'Univers

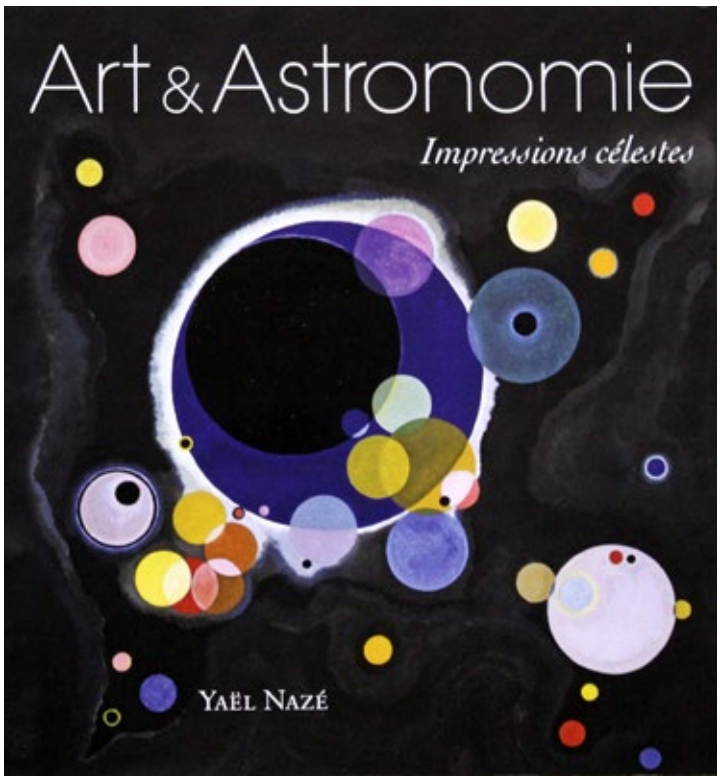
Le XXe siècle entre onirisme et technologies

Yaël Nazé

Art et astronomie, impressions célestes

Omniscience, septembre 2015

Le livre de Yaël Nazé n'est pas chronologique et beaucoup plus foisonnant. On y retrouve les grandes révolutions scientifiques de l'ouvrage précédent, mais aussi de bien nombreuses autres facettes illustrant des thèmes tels les symboles ou allégories, les savants, la Lune, les comètes et les éclipses, les cartes ou les instruments, permettant d'innombrables allers-retours entre des œuvres, des donnée historiques ou scientifiques, et une foule d'anecdotes rendant la lecture très attrayante. Le fil conducteur du livre est le même : l'art est au service de la science, mais l'inverse est aussi vrai. La science peut aider à mieux comprendre l'œuvre d'art, par exemple à dater et situer des œuvres de Van Gogh, de Millet ou de Munch ou de bien d'autres, à montrer qu'au 19e siècle, la culture fait état d'un engouement de plus en plus prononcé pour les découvertes, en parallèle avec les romans de Jules Verne… Et puis Yaël Nazé a aussi l'ambition de nous faire découvrir comment les autres cultures, de l'Europe à l'Extrême-Orient, se sont représenté le Ciel.



Sommaire

Le ciel fantasmé

L'art du métier

Art et découverte

Spectacle céleste

À la recherche de l'astre perdu

Art spatial

Sur ce thème « Art et Astronomie », ces deux livres sont à picorer sans cesse, à reprendre autant de fois que nécessaire, avec des données historiques et scientifiques qui rendent l'accès à l'œuvre d'art et à la physique bien plus plaisant !

Quelques autres ressources

Vous trouverez aussi des ressources dans les anciens numéros des Cahiers Clairaut (http://clea-astro.eu/archives).

N° 157 (printemps 2017) Plusieurs articles sur le thème « astronomie et littérature ».
N° 147 (automne 2014) Le temps d'un tableau p. 26-28.
N° 146 (été 2014) Plusieurs articles sur le thème « Astronomie et imaginaire » (cinéma et littérature).
N° 140 (hiver 2012) De la Lune des poètes à la Lune des savants p.12-15.

Nous rappelons que tous les numéros de plus de 3 ans sont en libre accès, les numéros plus récents sont réservés aux abonnés numériques.

Citons aussi le hors-série n° 12, astronomie à l'école, dans lequel un chapitre est consacré à la littérature.

Galilée a-t-il vu Neptune ?

par **Alain Brémond**, Lyon

En 1613, Neptune s'est trouvée très proche de Jupiter, à une époque où Galilée observait la planète géante. L'a-t-il vue ? L'a-t-il notée dans ses carnets d'observation ? Alain Brémond mène l'enquête…

Urbain Le Verrier a calculé la position de la planète Neptune en 1846. Sur ses indications, l'astronome Gottfried Galle a confirmé par l'observation l'existence de cette nouvelle planète.

David Jamieson, astronome à Melbourne, bon connaisseur des travaux de Galilée, s'est posé la question de savoir si ce dernier n'avait pas fortuitement vu la planète qu'il aurait notée comme une simple étoile.

En se basant sur les carnets de Galilée[1], sur une modélisation du ciel avec le logiciel Stellarium et en s'aidant des éphémérides de l'IMCCE Miriade, nous avons essayé de retrouver les observations de Galilée pour cette période où Jupiter et Neptune se trouvaient en rapprochement visuel.

Les dessins de Galilée

Ils sont tirés de ses carnets d'observations tenus au jour le jour sur plusieurs années depuis la découverte initiale des satellites de Jupiter en 1609. Pour ses observations, il prend comme référence le plan orbital des satellites. Les distances sont données en rayons de Jupiter. Galilée note souvent la présence éventuelle d'une étoile fixe proche de Jupiter, montrant ainsi son déplacement et celui de ses satellites au cours du temps.

Il inscrit la date et l'heure des observations. Celle-ci est donnée en heures italiques ou heures inégales, comptées à partir du coucher du Soleil (ab occasu) et pour le méridien du lieu (Padoue puis Florence). On ne sait pas précisément l'heure du coucher du Soleil prise par Galilée : disparition du Soleil ou crépuscule astronomique. Il peut en résulter que lorsque l'heure dépasse minuit, Galilée indique encore la date du jour précédent. En réalité cette incertitude ne perturbe pas les conclusions que l'on peut tirer des observations de Galilée.

1 Le opere di Galileo Galilei : edizione nazionale sotto gli auspicii di sua maesta il re d'Italia. Vol. 3 / 2 / [pubblicata da Antonio Favaro, Isidoro del Lungo, V. Cerruti, G. Govi, G. V. Schiaparelli, Umberto Marchesini] G. Barbera (Firenze) 1890-1909

Les observations

Ce n'est qu'à partir du 25 janvier 1613 que Galilée note la présence d'une étoile fixe à proximité de Jupiter. Il notera sa position jusqu'au 28 janvier. Ensuite, il ne la signale plus (figures 1 à 5).

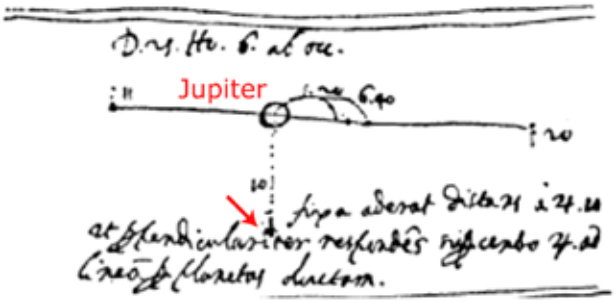


Fig.1. *Première observation d'une étoile à proximité de Jupiter le 25 janvier 1613, six heures après le coucher du Soleil.*

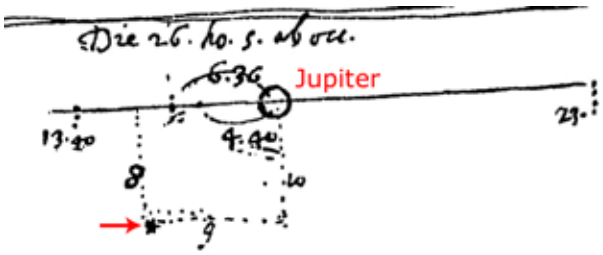


Fig.2a. *Le 26 janvier, l'étoile fixe est déjà notée à proximité de Jupiter. Sa distance est donnée en coordonnées « cartésiennes » avec pour origine le centre de Jupiter : 9 rayons à gauche de Jupiter et 8 rayons en-dessous.*
L'observation à été faite 5 heures après le coucher du Soleil (Ho. 5. ab occasu) soit vers 23 heures.

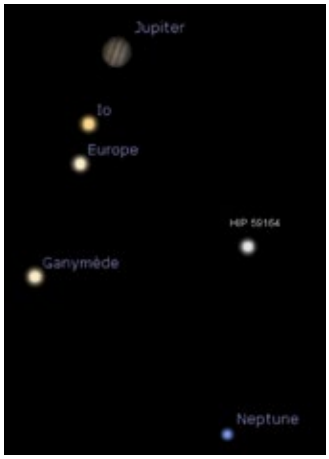


Fig.2b. *À gauche, image de Stellarium pour le même jour. Notez que c'est la position de l'étoile HIP 59164 qui correspond le mieux au dessin de Galilée : l'étoile se projette entre Europe et Ganymède.*

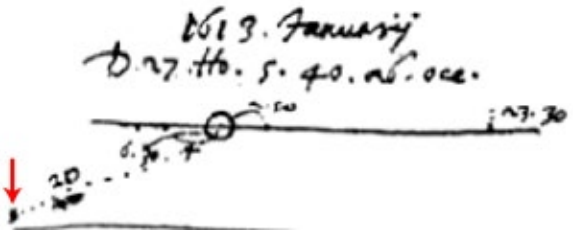


Fig.3. *Le 27 janvier 1613 à 23 heures.*
Position de Jupiter et de ses satellites avec en haut le dessin de Galilée, et à gauche le champ donné par Stellarium avec l'étoile HIP 59164 entre Jupiter et Neptune.

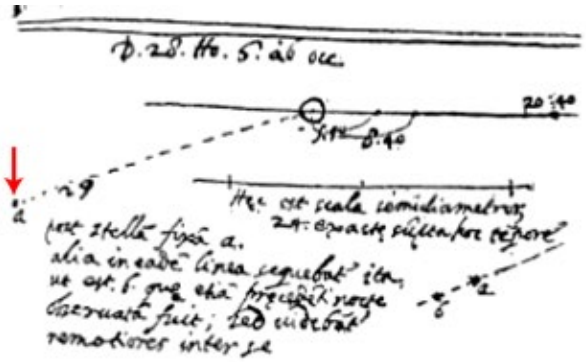


Fig.4. *Le 28, Jupiter s'est encore éloignée, à 29 rayons de l'étoile.*

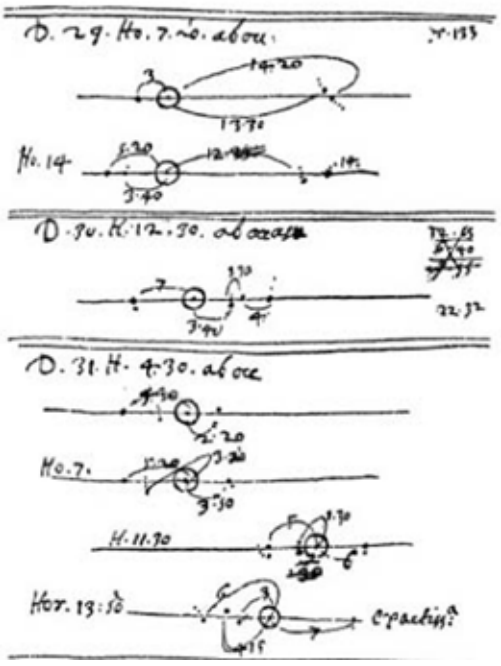


Fig.5. *À partir du 29 janvier, Galilée ne fait plus mention de l'étoile qui est maintenant loin de Jupiter et probablement hors du champ étroit de sa lunette.*

Comparaison avec la modélisation donnée par Stellarium.

Il existe une excellente concordance entre l'image de Stellarium et les dessins de Galilée notamment en ce qui concerne la position des satellites de Jupiter. Cela donne une bonne fiabilité pour comparer ensuite les positions respectives des différents astres présents dans ce secteur du ciel. Il faut cependant noter une différence importante. Les dessins de Galilée ne signalent qu'une seule étoile. Or il existe sur Stellarium, dans le même champ, Neptune et l'étoile HIP 59164, de magnitude apparente 6 alors que celle de Neptune n'est que de 8.

Ces observations sont confirmées par le calcul des positions respectives de Jupiter, HIP 59164 et Neptune grâce aux données de l'IMCCE.

	Jupiter	Neptune
27 janvier 1613	α = 12 h 07 m 55 s δ = 0° 42' 28''	α = 12 h 08 m 13 s δ = 0° 34' 55''
28 janvier 1613	α = 12 h 07 m 44 s δ = 0° 43' 58,3''	α = 12 h 08 m 9 s δ = 0° 35' 21''
29 janvier 1613	α = 12 h 07 m 32 s δ = 0° 45' 32''	α = 12 h 08 m 6 s δ = 0° 35' 47''

	HIP 59164
1613	α = 12 h 08 m 1 s δ = 0° 37' 26''

Tab.1. *Positions respectives de Jupiter et de Neptune selon les éphémérides de l'IMCCE (Miriade) ainsi que celles de l'étoile HIP 59164.*

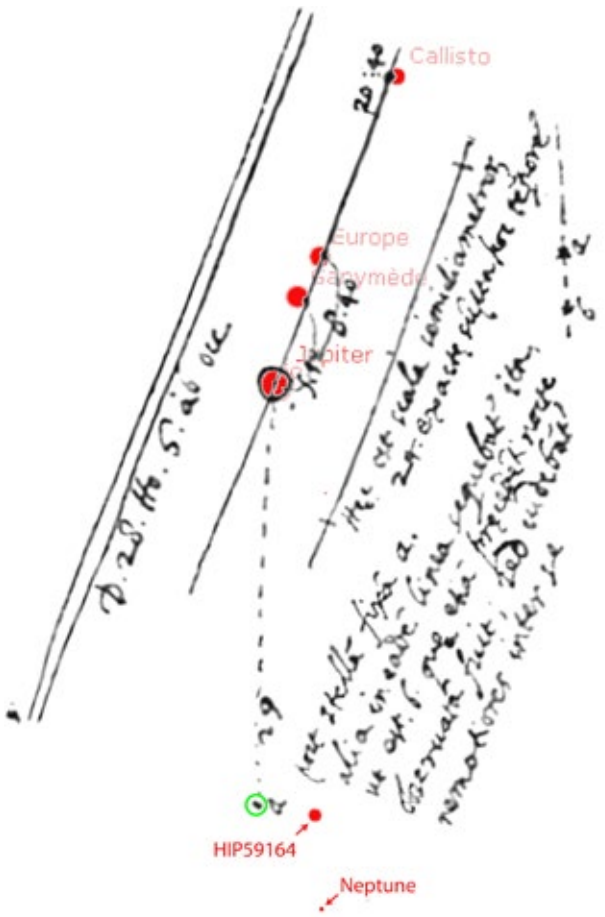


Fig.6. Comparaison entre le dessin de Galilée (en noir) et l'image donnée par le logiciel Stellarium (en rouge) pour la même date : le 28 janvier. Les directions données par Galilée et par Stellarium sont très proches ; la différence n'est que de 7° 21'.

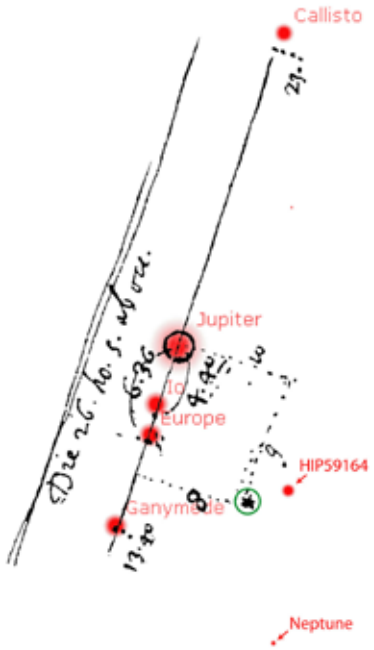


Fig.7. Superposition du dessin de Galilée et de l'image de Stellarium pour le 26 janvier : une remarquable correspondance.

Pourquoi Galilée n'a-t-il pas vu Neptune ?

L'étoile est de magnitude apparente 6 et Neptune est beaucoup moins lumineuse (m = 8) avec un petit diamètre apparent de 2,3''. Certes, le diamètre apparent des satellites est plus petit que celui de Neptune mais ils sont plus brillants (autour de m = 6)[2]. Par conséquent, il n'est pas possible de savoir si ce que Galilée représente sur son carnet est Neptune ou l'étoile HIP 59164.

En outre, l'attention de Galilée était focalisée sur les mesures de positions et de distances des satellites par rapport à Jupiter. Il ne s'intéressait pas aux objets voisins. Enfin, le champ réduit de sa lunette ne lui permettait pas de bien observer l'ensemble des objets voisins de Jupiter.

Quand William Herschell découvrira par hasard Uranus, il disposera d'un instrument de plus grand diamètre, son travail consistera à chercher et caractériser tous les objets nébuleux de son champ et Uranus en fera partie. Au contraire, Galilée était focalisé sur la position et la distance des satellites de Jupiter, dans le but de créer des tables destinées au calcul de la longitude.

Conclusions

On observe qu'il existe une bonne concordance entre les dessins de Galilée et la position des satellites donnée par le logiciel.

Il existait à proximité de Jupiter et de ses satellites une étoile et la planète Neptune.

Néanmoins, Galilée ne parle que d'étoiles fixes. S'il a vu Neptune, il ne l'a certainement pas identifiée comme une planète. Connaissant la perspicacité et la ténacité de Galilée, s'il avait pensé que cette étoile fut une planète, il est certain qu'il aurait continué à la suivre. Il ne l'a pas fait comme en témoigne les dessins des nuits suivantes.

■

2 Une différence de 2 magnitudes correspond à un rapport de luminosité de 6,3 fois (m1–m2=2,5 log E2/E1).

Préparation d'une soirée d'observation

Brigitte Malfante et **Véronique Hauguel**

Comment faire de l'astronomie à l'école primaire ? Voici un exemple d'animation sur 5 séances avec une professeur des écoles et une animatrice du CLEA.

L'école primaire de Fauville-en-Caux dans laquelle enseigne Brigitte Malfante s'appelle l'école Jean-Loup Chrétien. C'est déjà tout un programme. En 2018, cet astronaute va fêter ses 80 ans. On est aussi à 75 kilomètres de Dieppe où est né Thomas Pesquet qui aura 40 ans en 2018. Les élèves de cette école ont tous entendu parler de près ou de loin de la conquête de l'espace et de ses merveilles. Cette année, tous les CM1-CM2 de l'école sont partis en voyage de neige du 27 janvier au 2 février.

Dans sa classe formée de CE2 et CM1, Brigitte souhaite faire découvrir aux élèves les constellations d'hiver, constellations visibles en début de nuit en ce début d'année civile, avec le « G » de l'hiver, en espérant observer le ciel pendant le séjour à la montagne. Plusieurs séances ont été organisées pour préparer cette observation.

Première séance

Première étape

Les jeunes, munis d'une boussole prennent connaissance de l'objet et de l'aiguille aimantée. Ils apprennent comment tenir la boussole en précisant les mots. On définit ainsi l'horizon, notion plus facile pour des enfants habitant près de la mer ! Puis, en bougeant dans la salle, les enfants prennent conscience des différentes directions, de l'orientation des quatre principaux points cardinaux. À l'aide de la maquette (figure 1) constituée d'un globe qu'on peut incliner suivant la latitude et d'un personnage avec de la « patafix » collée aux pieds (qui simule la gravité quand on le place sur le globe), les élèves sont amenés à faire plusieurs manipulations. Il faut :

- définir l'horizon ;
- placer le personnage à Fauville (remarque sur le problème d'échelle !) ;
- le tourner pour qu'il regarde vers le nord ;
- positionner le globe pour que le personnage reste vertical, comme chacun des élèves ;
- placer la maquette en suivant l'orientation de la salle repérée précédemment.

Fig.1. *La première maquette utilisée dans cette séance. Le globe est inclinable pour être positionné comme la Terre sous nos pieds (voir CC n° 134).*

Deuxième étape

On fait parler les enfants sur le ciel, les étoiles, les dessins dans le ciel pour arriver aux constellations. On cherche ensuite dans quel sens tourne la Terre. Pour cela, on fait tourner chaque enfant sur lui-même, la personne sur Terre étant un personnage posé sur son nez. Par exemple, on prend une source lumineuse et on mime un coucher de Soleil sur la mer vers l'ouest.

On prend ensuite le parapluie des constellations (figure 2). Un élève continue à tourner sur lui-même dans le sens de rotation de la Terre sous le parapluie qui est maintenu fixe. L'élève lit les constellations qui se suivent au cours de son mouvement. Puis en

lui demandant de s'arrêter, il fait tourner le parapluie pour faire la même lecture. On recommence avec d'autres élèves autant de fois que nécessaire. On observe ainsi comment la voûte céleste tourne au-dessus de notre tête.

La séance s'arrête après avoir raconté quelques histoires mythologiques liées aux constellations visibles l'hiver.

Fig.2. *Le parapluie des constellations, posé ici sur un socle*[1].

Deuxième séance

Les maquettes sont là pour reprendre avec les élèves ce qu'ils ont observé et compris lors de la première séance. Cette séance se passe avec le logiciel Stellarium, manipulé ici par l'enseignant.

Après avoir fait un tour panoramique et repéré les points cardinaux, on observe où s'est levé le Soleil, son mouvement sur la journée jusqu'à son coucher (Brigitte propose d'en parler dans un autre projet au printemps) puis le ciel commence à se couvrir d'étoiles brillantes.

• Vers le nord, on repère la Grande Ourse puis la Petite Ourse. On observe le mouvement du ciel. Cette étape se termine par l'histoire de la naissance de Zeus et son éducation auprès des deux nymphes Cynosure et Héliké, envoyées dans le ciel sous forme d'ourses par Zeus.

• Vers le sud, on repère le « G » de l'hiver formé par les étoiles principales de ces constellations : Taureau, Cocher, Gémeaux, Petit Chien, Grand Chien et Orion. On les reprend plusieurs fois en contant régulièrement les histoires mythologiques sur chacune d'elles.

Dans le même temps, les élèves posent de nombreuses questions sur la couleur des étoiles, sur la Voie lactée…, qui viennent enrichir le propos déjà dense.

1 Pour ceux qui voudraient fabriquer eux-mêmes un tel parapluie, les plans des différents fuseaux sont sur le CD du hors-série n° 11 des Cahiers Clairaut «Constellations».

Troisième séance

Le G de l'hiver est accroché en classe (figure 3), il servira de fil conducteur pour se remémorer les différentes histoires.

Le but pour les élèves est de travailler principalement l'expression orale. Nous repérons :

• Orion en premier, avec ses deux chiens Procyon et Sirius (les élèves peuvent faire le parallèle avec Harry Potter et le personnage de Sirius qui se transforme en chien) ;

• l'étoile Capella, dans la constellation du Cocher ;

• Castor et Pollux ;

• l'œil du Taureau, Aldebaran et la légende d'Europe.

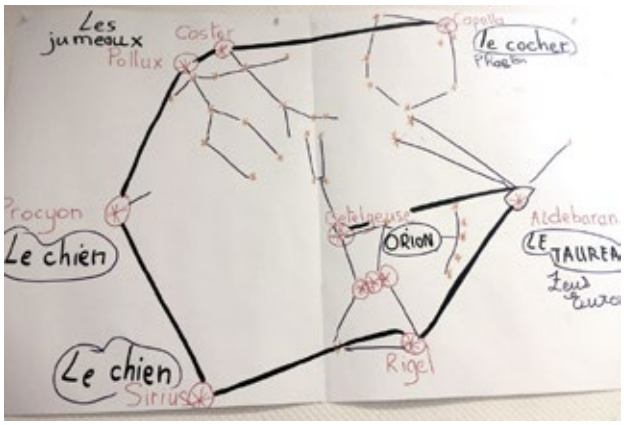


Fig.3. *Le grand « G » de l'hiver.*

Le but ici est également d'introduire des éléments de culture générale pour nos élèves puisque la mythologie se retrouve dans beaucoup de films, livres ... d'aujourd'hui.

Quatrième séance, en classe de neige

Les conditions météorologiques nous ont permis de faire une soirée « étoiles » qui a été une belle réussite (Orion, visible juste à la sortie de notre chalet, nous a simplifié la tâche).

Cinquième séance et suite

En primaire, l'astronomie est l'un des rares domaines où les notions scientifiques, la littérature, l'histoire, les arts, l'imagination, sont fortement imbriqués.

Le travail se continue en français :

• résumer une légende : situation initiale, élément déclencheur, résolution du problème et situation finale ;

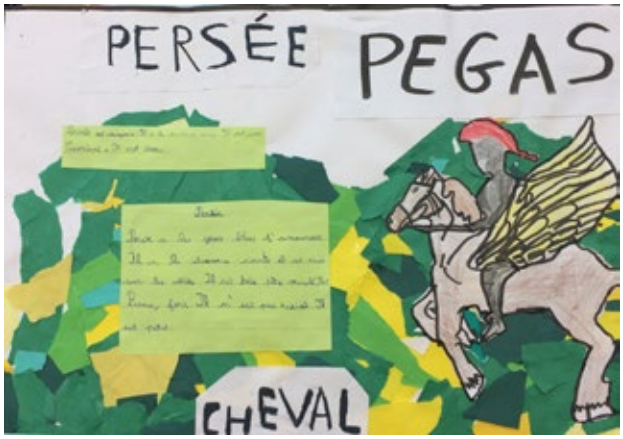
• décrire un personnage et enrichir le texte par l'ajout d'adjectifs... avec un travail sur la structure de la phrase ;

• en arts visuels : les galaxies (accrochées dans divers endroits de la classe/école puisqu'elles sont très éloignées les unes des autres) ;

• les grands nombres peuvent évidemment être abordés en mathématiques ;

• le travail avec la boussole se poursuit en EPS avec des séances basées autour de l'orientation (activités puis course) ;

• savoir s'exprimer à l'oral, en présentant les légendes aux autres classes. Pour cela les élèves peuvent s'aider de panneaux résumant la légende (arts visuels). Ceci a été fait une autre année avec les histoires d'Andromède, Persée, Pégase ;



• en sciences bien sûr avec les relevés des horaires des levers et couchers du Soleil, l'observation de la course du Soleil, les saisons…

Et aussi

Le ciel de printemps, le gnomon et le cadran solaire, une maquette du Système solaire en extérieur (avec les premières planètes)…

Les activités sont multiples et les élèves réellement intéressés.

En guise de conclusion, par Brigitte

Je suis professeur des écoles, j'aime l'astronomie, l'histoire, j'ai donc toujours proposé des activités dans ce domaine à mes élèves mais ne suis pas issue d'un cursus scientifique. L'été dernier j'ai « sauté le pas » et me suis inscrite à l'école d'été du CLEA. Cela m'a fourni les connaissances qui me manquaient (nombreuses !) et quantité d'idées. Les élèves « accrochent » et c'est un vrai plaisir. ■

ARTICLE DE FOND

Concordia – Dôme C un ciel d'une qualité extraordinaire (1)

Isabelle Vauglin, CRAL – Observatoire de Lyon, 69230 Saint-Genis-Laval
Membre du Comité National Français des Recherches Arctiques et Antarctiques (CNFRA)
Représentante française dans le groupe des sciences physiques du Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR)

Observer le ciel depuis le pôle Sud pose de nombreux problèmes mais le site est exceptionnel comme nous l'explique ici Isabelle Vauglin dans ce premier article. Dans une deuxième partie elle reviendra sur l'exploitation d'un tel site.

Grâce à ses pionniers, la France a acquis un savoir-faire unique en matière d'activités scientifiques en milieux polaires. Les Français gèrent avec les Italiens une base peu connue sur le plateau Antarctique à 3 233 m d'altitude : Concordia, au Dôme C.

Les qualités atmosphériques de Concordia en font un site exceptionnel pour les observations astronomiques et le site du Dôme C sur le plateau Antarctique s'avèrera probablement le meilleur site astronomique au monde, rivalisant à certaines longueurs d'onde avec le domaine spatial, mais les conditions d'exploitation y sont particulièrement difficiles.

Fig.1. *Vue d'avion de la base antarctique Concordia.*

Les contraintes atmosphériques des observations astronomiques

L'atmosphère est absolument indispensable à la vie sur Terre mais pour les astronomes, elle constitue à toutes les longueurs d'onde, de l'ultraviolet jusqu'au domaine radio-millimétrique, un obstacle et un problème. Composée de gaz et de particules solides très fines, les aérosols, elle dégrade la qualité des images : elle est à la fois ***source d'extinction*** (absorption dans des raies ou des bandes, diffusion) de la lumière provenant des astres observés, ***source de turbulence*** qui dégrade le « piqué » (résolution angulaire) des images et ***source d'émission de lumière parasite***, soit thermique propre (c'est un corps noir à environ 300 K), soit solaire diffusée (par les aérosols, nuages, diffusion Rayleigh)…

Bref, elle n'a pour nous presque que des défauts.

À toutes les longueurs d'onde, ce sont les propriétés de l'atmosphère au-dessus du site qui conditionnent la qualité des observations astronomiques. Pour s'affranchir de ce problème, les astronomes ont eu deux pistes : (1) s'installer à haute altitude pour diminuer autant que possible l'épaisseur d'atmosphère au-dessus de leur tête ou (2) aller dans l'espace, mais à des coûts très élevés et avec, le plus souvent, un manque de flexibilité et des conditions nettement plus difficiles.

Les astronomes voudraient évidemment essayer d'obtenir à partir du sol, des données de qualité comparable à celles que l'on obtiendrait dans l'espace mais à un coût moins prohibitif.

La sélection de sites d'observation

Pour installer les télescopes dans des sites aussi propices que possibles, les astronomes font des recherches de sites, c'est-à-dire qu'ils installent dans les lieux sélectionnés des instruments qui vont mesurer en continu les paramètres physiques de l'atmosphère pendant plusieurs années. Dans le choix d'un bon site, il n'intervient que des considérations de qualités atmosphériques reconnues (faible opacité, grande stabilité des images et faible émission propre).

C'est ainsi que les sites, par exemple, du Mauna Kea à Hawaii, de la Silla, du Paranal et de Chajnantor dans la chaîne des Andes au Chili font partie des meilleurs sites astronomiques reconnus et exploités aujourd'hui et c'est là qu'est installée la plupart des grands instruments modernes tels que CFH, Keck, Gemini, VLT, ALMA, et le futur E-ELT.

Et l'Antarctique ?

Depuis la signature du Traité sur l'Antarctique en 1959, l'Antarctique est un ***continent de paix dédié exclusivement aux sciences***, et il est spécifié *qu'aucune activité intervenant pendant la durée du Traité ne constituera une base permettant de faire valoir, de soutenir ou de contester une revendication de souveraineté territoriale dans l'Antarctique*. Le Protocole au Traité sur l'Antarctique relatif à la protection de l'environnement, entré en vigueur en 1998, est venu compléter le Traité. Il désigne l'Antarctique comme une *réserve naturelle consacrée à la paix et à la science* et *interdit toutes les activités relatives aux ressources minérales de l'Antarctique autres que la recherche scientifique. Jusqu'en 2048, il ne peut être modifié qu'avec l'accord unanime de toutes les Parties consultatives au Traité sur l'Antarctique*.

Pour les astronomes, le continent Antarctique et notamment ses sites les plus élevés (les « Dômes ») présentent des avantages cruciaux par rapport aux meilleurs sites « conventionnels » parce que l'atmosphère terrestre y est d'une qualité exceptionnelle.

De l'exploration à l'installation

Ce n'est pas un hasard si la France est présente aux pôles. Dans la suite de Dumont d'Urville et de Charcot, c'est en grande partie grâce à Paul-Émile Victor et ses expéditions au Groenland que la France a acquis une longue expérience de l'exploitation des sites polaires à des fins scientifiques. C'est ainsi qu'elle a pu dès 1978 développer et faire fonctionner la base continentale de Concordia au Dôme C, à 1 100 km de la base côtière de Dumont d'Urville (DDU).

Claude Lorius est une autre figure française de la science aux pôles : glaciologue passionné des pôles, il réalise son premier hivernage dans des conditions très précaires à la base Charcot en 1957 avec Roland Schlich et Jacques Dubois. En observant les bulles de gaz qu'un glaçon libère dans son verre de whisky, il a l'intuition qu'elles contenaient les archives de la composition de l'air au moment de la formation de cette glace. Avec Jean Jouzel, ils sont les premiers à faire le lien entre concentration atmosphérique de gaz à effet de serre (CO_2 et CH_4) et évolution du climat de la Terre et créent ainsi la paléoclimatologie, l'étude des climats passés.

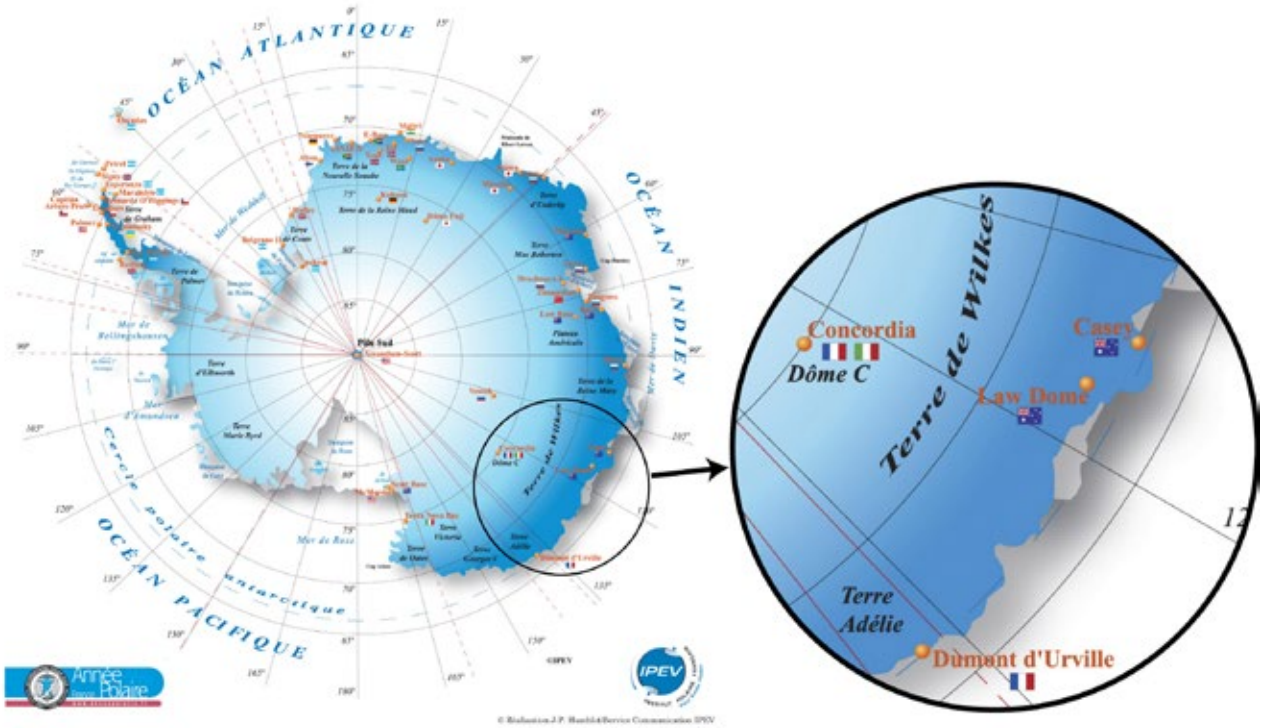


Fig.2. *Les bases scientifiques du continent Antarctique.*

Sous l'impulsion de C. Lorius, les Français réalisent des forages profonds, principalement en Antarctique et au Groenland, afin d'étudier la composition des bulles d'air incluses dans les carottes de glace, qui sont les archives privilégiées des climats anciens. La France accède alors au cercle très fermé des pays capables de réussir des forages profonds en régions polaires. Démarré en 1995 à la base franco-italienne de Concordia, le forage européen EPICA atteint le socle rocheux à –3 270,20 m le 21 décembre 2004. Ce record de profondeur permet d'étudier l'évolution climatique sur la période la plus longue, allant au-delà de 800 000 ans.

La France a acquis un savoir-faire solide et envié (!) et une capacité reconnue à mener des recherches en milieu polaire.

Fig.3. *Vue de la base franco-italienne de Concordia, plateau Antarctique.*

La station Concordia : un atout majeur pour la France et l'Europe

Grâce à son Institut Paul-Émile Victor (IPEV), la France est, avec son partenaire italien, l'opérateur d'une des deux seules stations de l'intérieur du continent Antarctique en activité tout au long de l'année : la station Concordia peut fonctionner en hivernage avec seize personnes depuis 2005 (figure 3). Les hommes y arrivent en avion depuis DDU ou depuis la base côtière italienne de Mario Zuchelli à Terra Nova (à 1 200 km). Elle est régulièrement approvisionnée en matériel lourd par le « Raid », le convoi entre DDU et Concordia capable de parcourir les 1 100 km en 10 à 12 jours, apportant 500 tonnes de fret à la base, dont presque la moitié de fuel et 10 tonnes de nourriture. Il est possible de faire au maximum 3 allers-retours par an, une limite stricte à la quantité de matériel apporté ! L'organisation de ces convois logistiques sur la calotte glaciaire constitue un savoir-faire indispensable à l'existence d'une base continentale.

De février à octobre, les hivernants vivent en totale autarcie car la base est absolument inaccessible pendant l'hiver.

Fig.4. *Le convoi de ravitaillement sur le plateau Antarctique entre DDU et Concordia. Indispensable pour assurer l'acheminement du matériel et de la nourriture, le raid demande un savoir-faire que l'IPEV maîtrise parfaitement.*

Bien que cette station n'ait pas été créée pour l'astronomie, elle abrite depuis près de deux décennies des recherches pluridisciplinaires (glaciologie, physique de l'atmosphère, sismologie, biologie, télédétection) et le site s'est révélé particulièrement favorable à l'observation astronomique.

Cet avantage exceptionnel place la France en situation privilégiée pour être un fer de lance du développement de l'astronomie en Antarctique. Certes, les USA exploitent la station Amundsen-Scott au pôle Sud avec des moyens logistiques beaucoup plus importants, mais ce site n'est pas du tout favorable à l'observation astronomique dans les domaines visible et infrarouge.

D'autres pays sont sur les rangs, notamment la Chine au Dôme A (peut-être de qualité meilleure que le Dôme C) et le Japon au Dôme F. Ces deux pays ont des projets astronomiques significatifs, mais ne sont pas encore en mesure de réaliser des hivernages malgré leurs prévisions et les moyens importants qu'ils y ont consacrés.

L'extraordinaire qualité du site de Concordia

Il est probable que le site du Dôme C sur le plateau antarctique sera le site d'avenir de l'astronomie au sol du XXIe siècle car il présente des conditions atmosphériques tout à fait extraordinaires, en particulier pour le domaine infrarouge thermique, au-delà de 2,5 µm, et en submillimétrique vers 200 µm, domaines spectraux difficilement accessibles hors de l'espace.

La caractérisation astronomique du site de Concordia a été menée pendant plus de dix ans par les équipes niçoises du laboratoire universitaire Lagrange de J. Vernin, E. Fossat, E. Aristidi…, qui ont démontré une propriété remarquable du site : en hiver, plus de 95 % de la turbulence est confinée dans les 30 premiers mètres au-dessus du sol, couche dénommée *ground layer*.

Au-dessus de cette couche turbulente, le seeing moyen est fantastique : des images avec une résolution de 0,3» (alors qu'elle est en général de 0,6» à 0,8» dans les meilleurs observatoires) seraient accessibles en quasi-permanence, proche des conditions hors atmosphère. Par comparaison, l'épaisseur de cette couche turbulente, celle qui dégrade la qualité des images, est de plusieurs centaines de mètres, voire d'un kilomètre, au-dessus des autres observatoires.

De plus, ce seeing de 0,3" est accessible au sol chaque jour entre 13 h et 18 h pendant l'été car la température devient homogène quand on s'élève au-dessus de la base (i.e. la tropopause descend jusqu'au sol). Or, comme ce sont les variations de températures qui produisent les turbulences, une température constante « fige » l'atmosphère et nous avons des images d'une qualité spectaculaire !

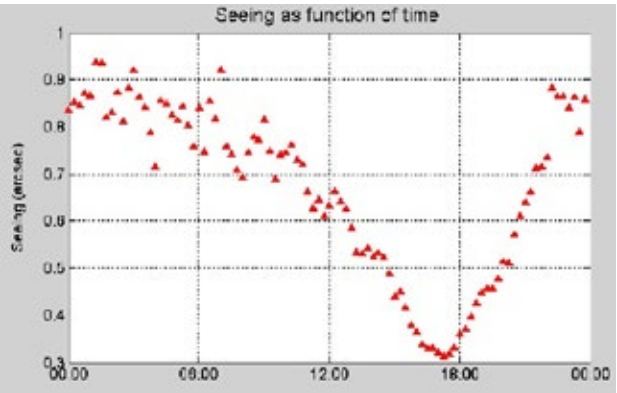
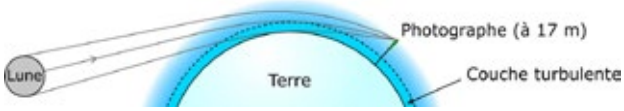


Fig.5. *Variations moyenne du seeing sur 24 h en été mettant en évidence un phénomène spectaculaire et unique : chaque jour en fin d'après-midi, la température devient homogène au-dessus de la base rendant l'atmosphère parfaitement stable et les turbulences disparaissent. On atteint un seeing de 0,3", comparable à l'espace.*

Et ce n'est pas la seule qualité de ce site :

- l'angle d'isoplanétisme[1] est deux à trois fois plus grand que dans tout autre site connu, ce qui est très favorable pour l'optique adaptative ;
- la vitesse du vent est très lente en moyenne (2,8 m/s, Aristidi et al. 2005), contrairement à la base US d'Amundsen-Scott où des vents catabatiques[2] dépassent 55 m/s ;
- la quantité de vapeur d'eau précipitable (precipitable water vapour ou PWV) est très faible : seulement 0,26 mm sur la période d'hiver de mars à septembre et 0,72 mm en été, en décembre. Concordia est un des sites les plus secs au monde.

Fig.6. *Mise en évidence de la minceur de la couche turbulente « ground layer » sur ce lever de Lune en février 2008 au Dôme C : sur ce cliché, le bord inférieur de la Lune est perturbé alors que le bord supérieur est régulier.*



Ci-dessus, schéma explicatif du phénomène.

Par conséquence :

- cela ouvre la fenêtre atmosphérique entre 200 µm et 350 µm. La très faible quantité d'absorbant (H2O) contenue dans les basses couches de l'atmosphère permet d'accéder à ces fenêtres spectrales du domaine submillimétrique, alors qu'il faut monter à des altitudes bien plus élevées (> 5000 m) dans les sommets andins par exemple pour bénéficier de transmissions comparables ;
- les observations à 350 µm et 450 µm sont possibles en continu ;
- une faible PWV signifie une meilleure transmission aussi dans le proche et le moyen infrarouge et des

1 L'angle d'isoplanétisme correspond à la distance angulaire maximale entre deux points sources affectés par la même turbulence. À l'intérieur de cette zone, la réponse de l'atmosphère est constante, la fonction d'étalement est identique.

2 Vents produits par des masses d'air froid, plus lourdes, qui dévalent les pentes.

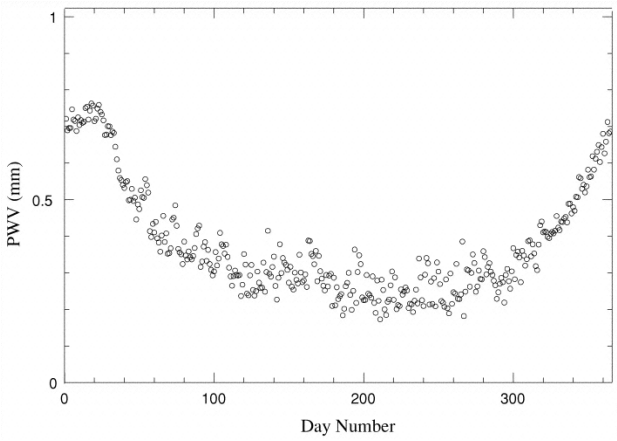


Fig.7. *Variation de la quantité de vapeur d'eau précipitable (PWV) sur une année. Pendant l'hiver austral (jour 120 à 300), la moyenne de PWV est de 250 µm seulement ! (d'après Chamberlin, 2000).*

fenêtres atmosphériques plus larges, donc des longueurs d'onde nouvelles, inaccessibles au sol ailleurs sur Terre ;

- du fait des température très basses (entre –50 °C et –85 °C soit autour de 210 K), la brillance du ciel en infrarouge est diminuée d'un facteur 10 à 20 au-delà de 2,3 µm (du fait de la loi de Planck) ;
- la brillance du ciel en visible est également plus faible : le ciel est noir quand le Soleil est en dessous de –12°, ce qui correspond à plus de 2 500 heures noires par an. Le ciel est de qualité photométrique dans 80 à 85 % du temps pendant l'hiver.

Ces conditions atmosphériques exceptionnelles font que les astronomes français et italiens ont donc accès au meilleur site astronomique terrestre (si ce n'est le Dôme A, mais les Chinois n'ont pas encore réussi à le prouver) parce que l'atmosphère y est **plus stable** (la couche de turbulence y est beaucoup moins épaisse qu'en aucun autre site), **plus transparente** (étendant l'infrarouge et ouvrant les ondes submillimétriques) et **moins émissive** (sensibilité accrue dans l'infrarouge). Ces trois facteurs conjugués font qu'un instrument de même taille peut être 10 à 20 fois plus performant (notamment en matière de sensibilité) s'il est installé au Dôme C plutôt que sur l'un des meilleurs sites conventionnels. Enfin, dans le domaine visible et proche infrarouge, les nuits polaires permettent des observations de très longue durée sans interruption jour-nuit et donc le suivi sans lacune temporelle d'objets variables dans le temps ou intermittents (astérosismologie, étoiles variables, transits exo-planétaires, phénomènes transitoires imprévisibles tels que supernovae, sources de rayons gamma, etc.).

■

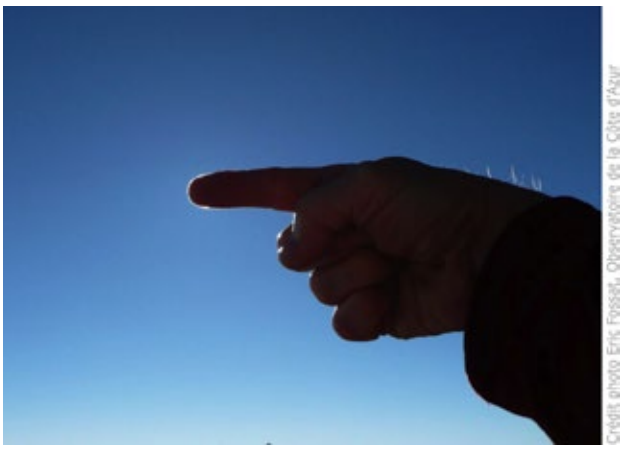


Fig.8. *Pour résumer les qualités du ciel au Dôme C : le ciel est coronal, c'est-à-dire sans diffusion atmosphérique, il n'y a aucun halo blanchâtre autour du Soleil, masqué juste par l'index !*

À suivre…

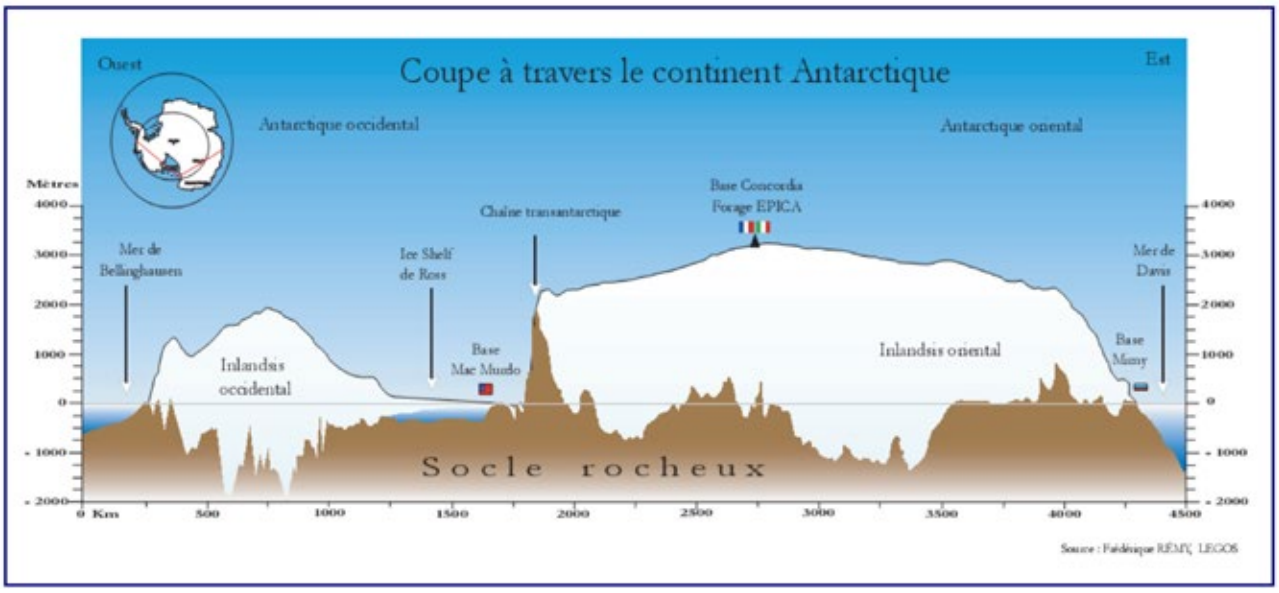
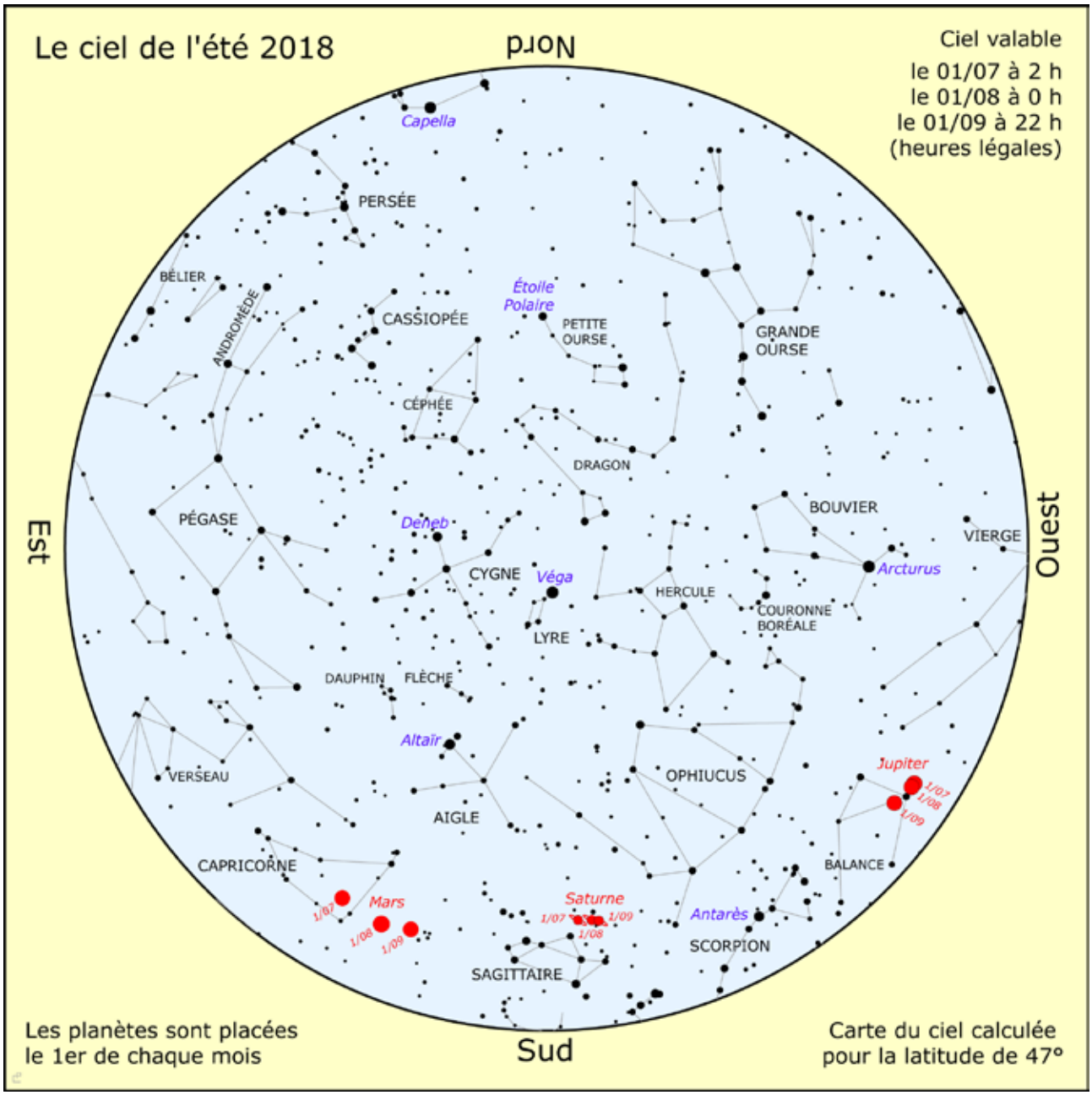


Fig.9. *Coupe à travers le continent antarctique, à 98 % recouvert de glace. C'est le continent le plus froid.*



Visibilité des planètes (été 2018)

Vénus brille toujours le soir à l'ouest jusqu'à fin août, où elle apparaît en quartier au télescope. Elle disparaît ensuite petit à petit dans les lueurs du couchant.

Mercure pourra être observée le soir du 10 au 15 juillet à l'ouest, mais surtout le matin début septembre à l'est.

Mars rétrograde du 28 juin au 28 août (voir page 38), c'est la meilleure période pour l'observer.

Jupiter est toujours visible le soir, très lumineuse.

Saturne est à l'opposé du Soleil le 27 juin, elle est alors visible toute la nuit. On pourra continuer à la suivre le soir tout l'été.

Quelques évènements (heures légales)

21/06 : solstice d'été à 12 h 07.
15/07 (soir) : rapprochement Lune Vénus.
27/07 : éclipse totale de Lune visible en France (cf p. 37).
11/08 : éclipse partielle de Soleil visible depuis le nord de l'Europe (pays scandinaves).
12/08 : maximum des Perséides (étoiles filantes). C'est une bonne année, en l'absence de Lune gênante.
17/09 (soir) : rapprochement Lune Saturne.
23/09 : équinoxe d'automne à 3 h 53.

Lune

Nouvelle Lune : les 13/07, 11/08, 9/09.
Pleine Lune : les 28/06, 27/07, 26/08, 25/09.

L'éclipse totale de Lune du 27 juillet 2018

Vendredi 27 juillet, la Lune se lèvera en France partiellement ou totalement éclipsée (suivant le lieu où vous vous trouverez). Toute la fin de l'éclipse sera observable à condition bien évidemment que le ciel soit clair…

Principe d'une éclipse de Lune

Une éclipse de Lune se produit lorsque la Lune traverse l'ombre de la Terre. Toutes les personnes situées du bon côté de la Terre, côté nuit, peuvent l'observer.

Fig.1. *Principe d'une éclipse de Lune (le schéma n'est pas à l'échelle).*

Les horaires de l'éclipse (heures légales)

1. 20 h 24 : entrée dans l'ombre (invisible en France).

2. 21 h 30 : début de la totalité.

3. 22 h 22 : maximum de l'éclipse.

4. 23 h 13 : fin de la totalité.

5. 00 h 19 : fin de l'éclipse.

La Lune se lèvera en France métropolitaine entre 20 h 53 à Nice et 21 h 56 à Brest. On ne verra donc pas le début de la totalité, quel que soit le site d'observation en France. Au lever de la Lune, le ciel sera encore clair et la Lune peu visible. Ce sera donc la deuxième partie de l'éclipse la plus intéressante.

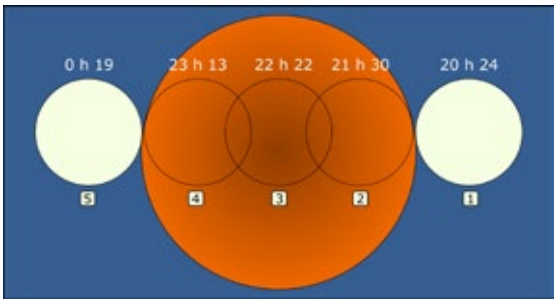


***Fig.2**. La Lune traversant l'ombre de la Terre entre 20 h 24 et 0 h 19 (heures légales). En réalité, cette ombre n'est pas visible dans le ciel. Pour la voir comme sur le schéma, il faudrait installer un immense écran dans l'espace.*

Comment observer l'éclipse ?

Il faut déjà trouver un site où l'horizon sud-est est bien dégagé. On peut observer l'éclipse à l'œil nu mais c'est mieux avec des jumelles ou un instrument astronomique. Aucune protection particulière n'est nécessaire. Vers la fin de l'éclipse, lorsque la Lune sort de l'ombre et devient plus lumineuse, on peut éventuellement utiliser un filtre lunaire à visser sur l'oculaire. La planète Mars sera située sous la Lune pendant toute l'éclipse.

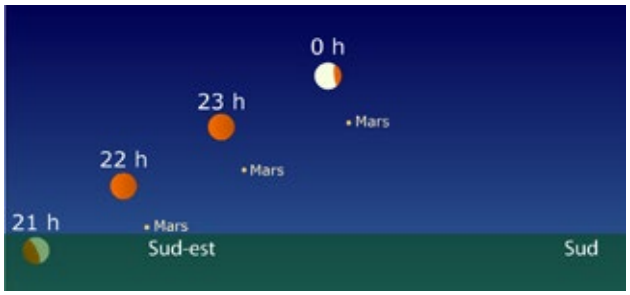


***Fig.3.** Lever de Lune éclipsée du 27 juillet.*

***Fig.4.** Montage de trois photos de l'éclipse de Lune du 3 mars 2007 faisant apparaître l'ombre de la Terre.*

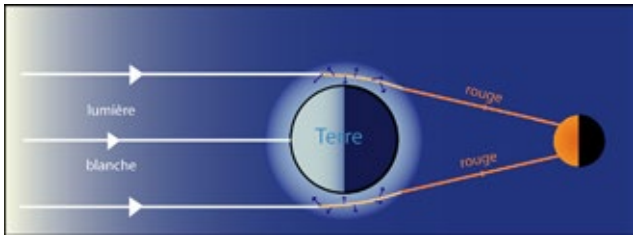


***Fig.5.** Au moment où l'éclipse est totale, la Lune n'est pas totalement invisible comme on pourrait le croire ; elle apparaît rouge plus ou moins sombre. Elle est faiblement éclairée par des rayons lumineux en provenance du Soleil qui ont été déviés et rougis en frôlant la Terre et en traversant la haute atmosphère.*

Prochaine éclipse totale de Lune le 21 janvier 2019 au matin.

Mars en 2018

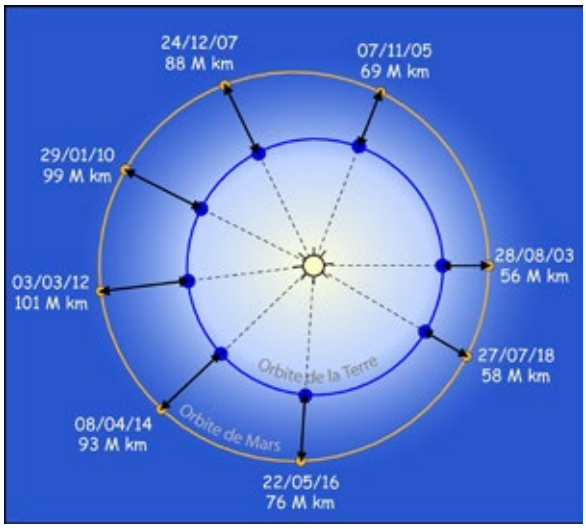
La planète Mars passe à l'opposition le 27 juillet, le jour de l'éclipse de Lune… De mi-juillet à mi-août, sa distance sera inférieure à 60 millions de km (minimum le 31 juillet avec 57,6 millions de km) et son diamètre apparent supérieur à 23» (maximum 24,3» fin juillet et début août).

Une opposition de Mars se produit lorsque, vue depuis la Terre, la planète est située à l'opposé du Soleil. On a donc un alignement Soleil Terre Mars.

L'orbite de Mars étant elliptique, la distance Terre Mars à l'opposition varie suivant les années. On obtient les distances minimales lors des oppositions « périhéliques » quand Mars est au plus près du Soleil.

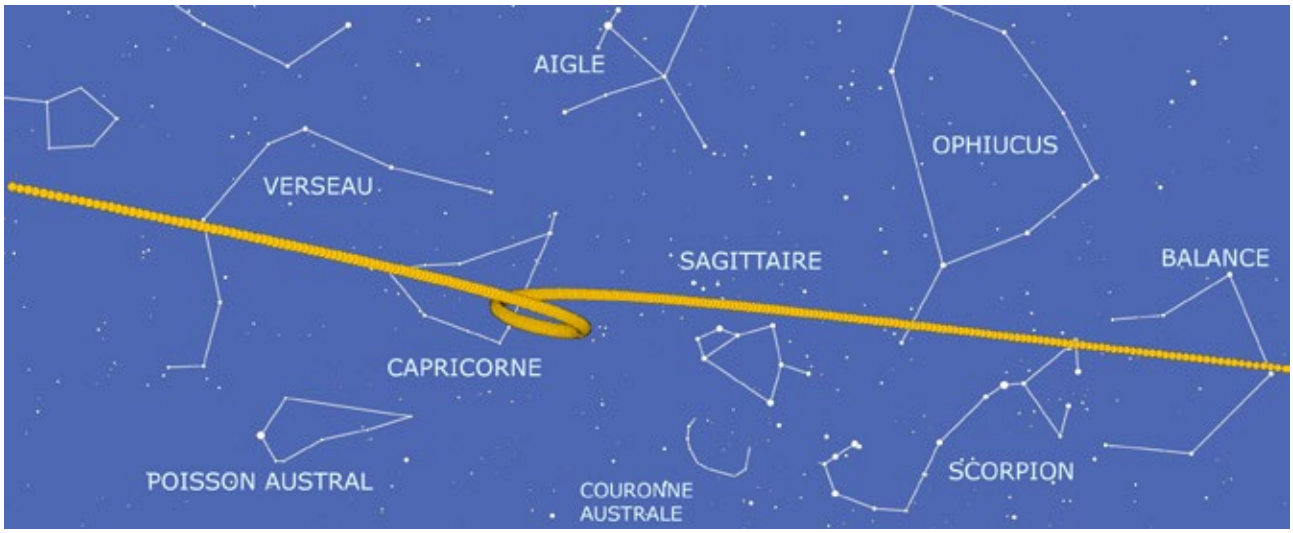
C'est donc cette année une opposition très intéressante puisqu'elle se passe quand Mars est assez proche du Soleil (Mars passe au périhélie le 16 septembre). Pour mémoire, Mars était passée particulièrement près de la Terre en août 2003, à 55,76 millions de km, situation que l'on retrouve approximativement cette année.

Les oppositions périhéliques se passent tous les 15 à 17 ans en moyenne.



Oppositions de Mars de 2003 à 2018.

Mais tout n'est pas parfait pour les observateurs européens puisque cette opposition se produit dans le Capricorne, une constellation du zodiaque qui est assez bas sur l'horizon. La turbulence peut être importante, ce qui gêne pour observer avec un fort grossissement ou pour faire de l'imagerie. Pour les observateurs proches de l'équateur ou situés dans l'hémisphère sud, le Capricorne est situé beaucoup plus haut au-dessus de l'horizon et les conditions d'observation sont meilleures.



Mars en 2018. La planète est positionnée ici chaque jour de 2018, depuis le 1er janvier à droite, jusqu'au 31 décembre à gauche. Le mouvement habituel de Mars se fait donc sur la carte de droite à gauche mais avec une période de « rétrogradation », du 28 juin au 28 août, qui a lieu passe au moment où la Terre double Mars sur son orbite. Pour de plus amples explications, on pourra se reporter au n° 127 des Cahiers Clairaut (automne 2009) page 24.

Comment observer Mars ?

À l'œil nu, elle brille tout l'été et est facilement reconnaissable à sa couleur orangée. Elle se trouve sous le triangle de l'été (Véga, Deneb, Altaïr).
Au télescope ou à la lunette, il faut pouvoir grossir suffisamment pour deviner quelques détails, des étendues plus sombres comme Syrtis Major par exemple ou la tache claire de la calotte polaire sud située juste sur le limbe.

La campagne de photos de la rétrogradation de Mars continue ! Tous les détails sur notre site http://clea-astro.eu

Hommage à Philippe Merlin

Isabelle Vauglin, Sylvie Thiault

CRAL – Observatoire de Lyon, 69230 Saint-Genis-Laval

Le 21 mars 2018, Philippe Merlin nous a quitté brutalement, au début d'un stage de formation des enseignants. Astronome retraité de l'Observatoire de Lyon, il était toujours très actif dans les actions de diffusion de l'astronomie, toujours à nos côtés.

Philippe a fait toute sa carrière à l'Observatoire de Lyon, accumulant un nombre impressionnant de missions d'observation sur les télescopes de l'Observatoire de Haute-Provence, du Chiran, du Gornergrat, d'Hawaii. À partir de 1985, il a rejoint l'équipe infrarouge qui développait des moyens d'observation pionniers : des caméras utilisant des cibles infrarouges bidimensionnelles qui remplaceront les anciens photomètres. Ces caméras nécessitaient des moyens informatiques nouveaux, et, dans ce domaine, la compétence et la ténacité de Philippe ont joué un rôle clef. L'élégance et l'optimisation des solutions retenues, dans le souci constant d'optimiser l'instrument exploité, faisaient partie des retours d'expériences des missions effectuées avec lui.

Philippe avait un goût très fort pour la diffusion des savoirs. Son départ en retraite n'avait en rien diminué ses activités.Toujours là pour aider à faire les observations au télescope avec les étudiants, pour accueillir les élèves qui venaient à l'observatoire et ceux que nous allions rencontrer dans leurs classes.

Il a animé un nombre considérable de stages de formation des enseignants, d'ateliers d'initiation à l'astronomie, mis au point quantité de ressources pédagogiques : documents, maquettes et appareils à construire, expériences…

Toujours volontaire pour participer à ces stages et ateliers, il avait continuellement des idées nouvelles pour faire « maniper » les profs, leur faire construire de petites maquettes, leur faire utiliser GeoGebra, avec l'idée constante que les enseignants puissent ensuite les utiliser avec leurs élèves.

Toujours un projet plus loin, il n'arrêtait jamais d'améliorer nos propositions, de monter un nouvel atelier, de peaufiner un nouveau spectro. Que d'heures a-t-il passé pour finaliser sa dernière production, le CD Spectro, dont une version sera présentée dans le prochain HS14 !

Tous les résultats de ses cogitations étaient mis à disposition de tous sur le site internet de la formation aux enseignants du CRAL (https://cral.univ-lyon1.fr/labo/fc/).

L'école d'été du CLEA et les Cahiers Clairaut ont bénéficié à de nombreuses reprises de ses idées innovantes. Il répondait toujours aux appels à contribution et le prochain hors-série profitera de plusieurs de ses productions.

Philippe est parti au moment de l'équinoxe de printemps, notion qu'il a tant de fois expliquée ! Nombreux sont les enseignants qui, grâce à lui, ont des notions de spectroscopie, connaissent un peu le ciel, les mouvements des étoiles, de la Terre et du Soleil. Il voulait de la rigueur et de l'exactitude dans nos enseignements, pour que nous soyons fiables, pas comme ce que l'on trouve parfois et qu'il balayait avec sa phrase habituelle : « y'a pas beaucoup de physique là-dedans ! »

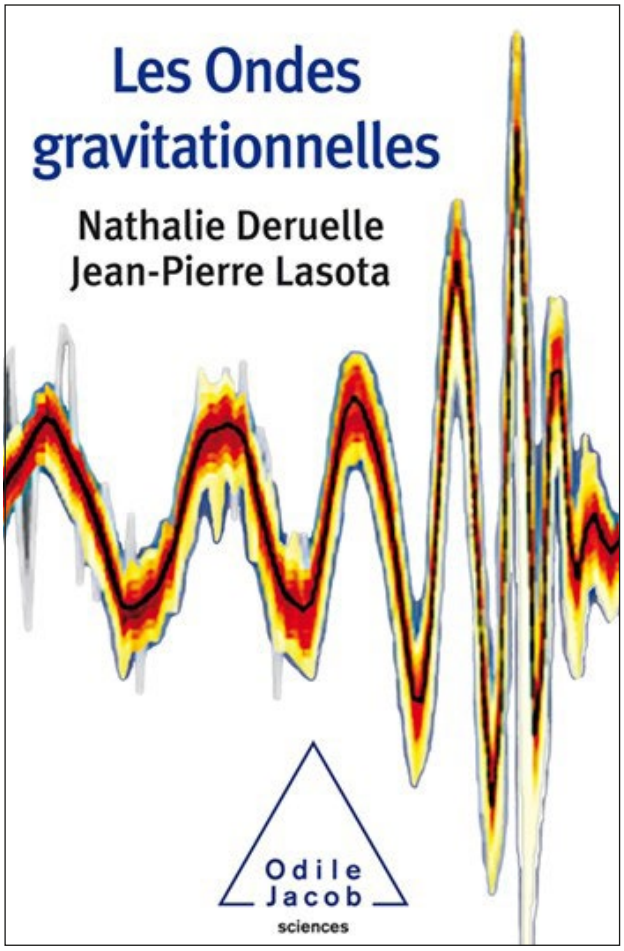
Philippe nous manquera pendant longtemps et il sera difficile de continuer sans lui.

LECTURE POUR L A MARQUISE

N. Deruelle et JP Lasota

Les ondes gravitationnelles

Odile Jacob



Bien que prévue dès 1916 par Albert Einstein lui même comme une conséquence de sa théorie de la relativité générale, l'existence des ondes gravitationnelles - vibrations de l'espace-temps lorsque des masses sont accélérées et qui se propagent à la vitesse de la lumière dans le vide – avait cependant été mise en doute pendant de nombreuses années.

Depuis quelques décennies la recherche expérimentale s'est développée pour observer directement une manifestation du passage fugace d'un tel ébranlement : après une longue période de construction et de mise au point, ce dernier se manifesta dans l'installation américaine LIGO le 14 septembre 2015.

Il était donc temps de faire le point sur ce sujet pour les esprits curieux et, en ce début d'année 2018, Nathalie Deruelle et Jean-Pierre Lasota, deux chercheurs spécialistes du sujet, ont uni leur compétence pour nous offrir un ouvrage remarquable, « Les ondes gravitationnelles » chez Odile Jacob.

Le livre est découpé en plusieurs parties : après une description précise de l'enchaînement des événements ayant eu lieu ce jour là, les auteurs nous présentent les premières tentatives – infructueuses mais pleines d'enseignements – de mise en évidence des ondes gravitationnelles. Vient ensuite la description des dispositifs LIGO et Virgo – équivalent européen de l'installation américaine – et tout l'historique de l'aventure ayant abouti à ce succès. Ayant été proches des équipes impliquées dans ces programmes, ils nous offrent, d'une manière critique et bien documentée, une analyse détaillée du long cheminement ayant abouti au magnifique résultat final. On constate sans surprise que, comme pour toute entreprise humaine, la science n'échappe pas aux querelles d'ego et aux groupes de pression. On retiendra cependant un type d'affrontements plus particulier entre théoriciens et expérimentateurs qui, ici, ont été quelquefois virulents.

La partie suivante est consacrée à l'aspect théorique des ondes gravitationnelles à travers une présentation rigoureuse mais accessible de la relativité générale. Le cadre théorique étant en place, les auteurs pouvaient passer à une description des événements générant des ondes gravitationnelles détectables avec les installations disponibles : coalescence d'objets compacts (étoiles à neutrons, trous noirs), supernovae proches. L'ouvrage se termine par quelques chapitres prospectifs consacrés à cette nouvelle fenêtre qui vient de s'ouvrir sur l'Univers : poursuite des travaux théoriques pour affiner nos connaissances à propos des solutions possibles des équations d'Einstein, amélioration des instruments existants et construction de nouvelles installations.

En un peu plus de trois cent pages denses, rigoureuses mais passionnantes Mme Deruelle et M Lasota nous donnent accès à un nouveau domaine de l'astronomie qui va révolutionner dans les prochaines années nos connaissances sur l'Univers, ses débuts et son évolution.

Pierre Magnin

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, la Lune, gravitation et lumière, mathématique et astronomie, …
HS10 Mathématiques et astronomie (2012)
HS11 Les constellations (2014)
HS12 L'astronomie à l'école (2016)

Fascicules thématiques de la formation des maîtres, en astronomie

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

Matériel

Filtres colorés et réseaux de diffraction.

DVD

Les archives du CLEA de 1978 à 2006 (Cahiers Clairaut et Ecoles d'Eté d'Astronomie).

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

Le formulaire de commande est sur le site.

Le site internet

Une information toujours actualisée

http://www.clea-astro.eu

LES CAHIERS CLAIRAUT

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
ou
http://www.ac-nice.fr/clea

Siège social :

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

École d'Été d'Astronomie :

daniele-imbault@laposte.net

Cahiers Clairaut :

christianlarcher3@gmail.com

Ventes des productions :

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

Site internet :

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

Adhésion / Abonnement :

Adhésion CLEA pour 2018 :	**10 €**
Abonnement CC pour 2018 :	**25 €**
Adhésion + abonnement CC :	**35 €**
Adhésion + abonnement CC + abonnement numérique :	**40 €**

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

Directrice de la Publication : Cécile Ferrari
Rédacteur de publication : Christian Larcher
Imprimerie Grapho12, 12200 Villefranche de Rouergue
Premier dépôt légal : 1er trimestre 1979
Numéro CPPAP : 0315 G 89368
Prix au numéro : 9 €
Revue trimestrielle : numéro 162 été 2018