

# LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 176 - Décembre 2021 9 €

Bulletin du Comité de Liaison Enseignants et Astronomes



Numéro 176 - hiver 2021-2022



## 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 :

Lucienne Gouguenheim  
Georges Paturel  
Cécile Ferrari

### Bureau du CLEA pour 2021

**Président** : Frédéric Pitout  
**Trésorière** : Sylvie Thiault  
**Trésorière adjointe** : Chantal Lecoutre  
**Secrétaire** : Grégory Silva  
**Secrétaire adjoint** : Vincent Bouneb

### Responsables des groupes

**Vie associative** : Jean-Michel Vienney

**Cahiers Clairaut** : Christian Larcher

**Productions Pédagogiques** : Pierre Causeret

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

**Responsables du site** : Jean-Michel Vienney



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

Estelle Blanquet, Pierre Causeret, Louis-Amédée de Fouquières, Daniel Descout, Henri Faivre, François Hurter, Éric Jouguelet, Christian Larcher, Chantal Lecoutre, Georges Lecoutre, Pierre Le Fur, Grégory Manzanara, Florian Mathieu, Serge Paupy, Frédéric Pitout, Jean Ripert, Béatrice Sandré.

Les auteurs recevront plusieurs numéros 176 afin de faire connaître la revue autour d'eux.

« La couverture illustre le thème du dossier de ce numéro : le temps. Certains auront peut-être reconnu dans l'image de fond Véga en haut et Deneb en bas à gauche. »

Pour la partie horloge : crédit photo 123RF/magicleaf

# Les Cahiers Clairaut

Hiver 2021-2022

## Éditorial

Au quatrième siècle de notre ère Augustin d'Hippone (354 – 430) écrivait :

« Qu'est-ce que le temps ? Qui pourra le définir clairement et en peu de mots ? Qui pourra le saisir par la pensée pour traduire cette conception en paroles ? Quoi de plus connu ?... »

(*Les Confessions*, livre onzième chapitre XIV)

Seize siècles plus tard, en sait-on beaucoup plus ? Nous vous proposons de nouveau d'effleurer ce thème.

Ceux qui aiment les mathématiques et le calcul mental se familiariseront avec le calendrier milésien. Ce calendrier découpe l'année en douze mois alternés de 30 et de 31 jours. Il « réconcilie les semaines » et permet de retrouver de tête de nombreuses informations.

Au niveau du collège les professeurs de physique avec leurs élèves pourront associer astronomie et électronique en construisant une horloge électronique indiquant les positions relatives du Soleil, de la Terre et de la Lune avec ses phases.

À partir de l'observation du mouvement des aiguilles d'une bonne vieille pendule retrouver la formule littérale utilisée pour déterminer différentes périodes astronomiques : syzygie, conjonctions, précessions.

Pourquoi historiquement le temps est-il perçu différemment dans la culture occidentale et dans la culture chinoise ? Que mesure réellement une horloge ? Que veut dire que l'Univers existe depuis 13,8 milliards d'années ?

En dehors du thème nous vous proposons une méthode didactique pour introduire la notion de relativité (galiléenne) du mouvement ; ce concept est un véritable obstacle épistémologique pour nombreux élèves. Pour lever l'obstacle, une méthode expérimentée avec des élèves, consiste à faire appel à la fiction d'une bande dessinée.

Nous vous proposons aussi une enquête minutieuse concernant l'évolution de la fameuse tache rouge de Jupiter.

Enfin notre président inaugure une nouvelle rubrique concernant l'actualité astronomique : *Brèves d'observatoires et autres nouvelles*.

**Christian Larcher** pour l'équipe

## Sommaire

### Observation

#### Tache rouge de Jupiter, enquête télescopique

Pierre Le Fur p 2

### Actualités

ACTUALITÉS

#### Brèves d'observatoires et autres nouvelles

Frédéric Pitout p 8

### Thème: le temps

p 11

#### Notion de base

##### Petit dictionnaire du temps

Pierre Causeret p 12

#### Article de fond

##### C'est quoi le temps ?

Christian Larcher p 13

#### Avec nos élèves

##### Une horloge des phases de la Lune

Hervé Faivre p 17

#### Article de fond

##### Syzygies, conjonctions, précessions, relation entre les différentes périodes en astronomie

Daniel Descout p 22

#### Article de fond

##### Réconcilier les semaines

Louis-Aimé de Fouquières p 28

##### Mots croisés et le temps dans les Cahiers Clairaut

Pierre Causeret p 33

### Observation

ACTUALITÉS

#### Le ciel d'hiver 2021 - 2022

Pierre Causeret p 34

### Didactique

#### Fiction pour associer enseignement de l'astronomie et de la relativité du mouvement : Rahan et le secret du Soleil

Estelle Blanquet p 35

### Histoire

#### Une place pour l'astronomie dès l'enfance dans les pédagogies libertaires au tournant du XXe siècle

Florian Mathieu p 40

### Vie de l'association

#### L'école d'été d'astronomie du CLEA 2021

Grégory Manzanares et Serge Paupy p 46

#### Assemblée générale

p 48

#### Solution mots croisés

p 48

# TACHE ROUGE DE JUPITER

## ENQUÊTE TÉLESCOPIQUE

Pierre Le Fur

*Une étude quantitative de certains détails observés à la surface de Jupiter. Des activités envisageables avec de bons élèves ou dans le cadre des activités pratiquées dans des clubs astronomiques.*

### La sonde Juno explore Jupiter

Depuis le 4 juillet 2016, la sonde spatiale de la NASA orbite en 53 jours autour de Jupiter en évitant les destructrices ceintures de radiations. Sa mission s'achève en juillet 2021 après 34 révolutions autour de la géante. La moisson de résultats est considérable comme le soulignait déjà Philippe Zarka, directeur de recherche au CNRS-LESIA et co-investigateur de Juno, dans sa conférence du 3 mars 2020 à l'Institut d'astrophysique de Paris.<sup>1</sup>

Parmi les innombrables données recueillies, intéressons-nous aux mesures concernant la fameuse tache rouge, cet anticyclone géant, d'une fois et demie le diamètre terrestre.

Juno a pu réaliser un sondage en profondeur grâce aux observations de son instrument MWR (radiomètre micro-ondes) montrant ainsi que la structure de la grande tache rouge (GTR ou Great Red Spot en anglais) se développe sur près de 300 km en profondeur au-dessous de la surface visible (pour un rayon équatorial de la planète de 71 400 km). Voir figure 1. Mais Juno participe aussi aux nombreuses recherches sur le mystère de l'évolution temporelle de cette structure.

Alors, les grandes lignes des phénomènes atmosphériques que Juno analyse sont-elles visibles depuis

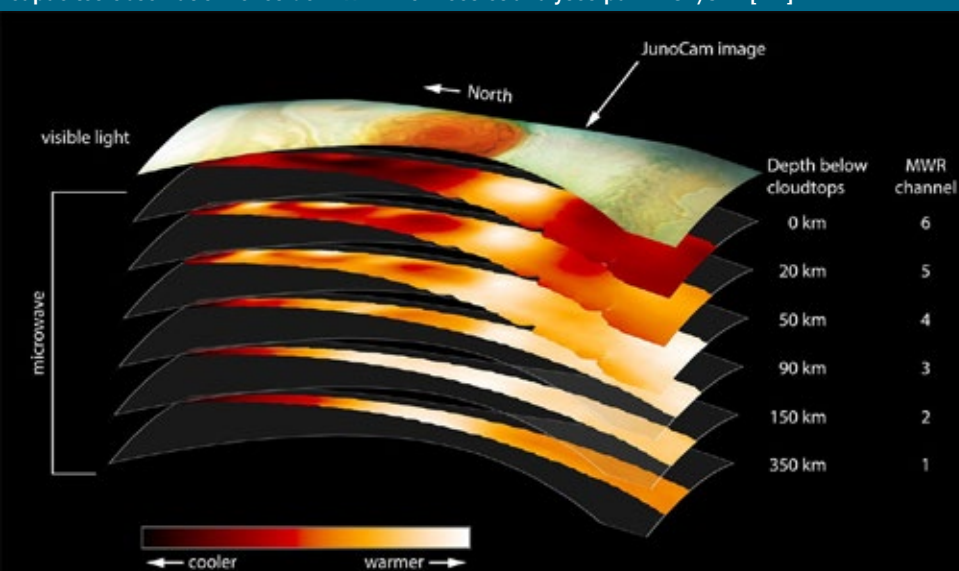
la Terre ? Dans quelles conditions peut-on faire observer à nos élèves ou étudiants la fameuse tache rouge ? Peut-on réaliser quelques mesures physiques simples et pourquoi pas suivre les changements de cette GTR et de son environnement ?

### Observer les variations atmosphériques de long terme

Même lorsque l'on observe la géante épisodiquement, quelques fois par an, avec un instrument modeste, on peut facilement suivre les évolutions des formations atmosphériques typiques comme la GTR. Le temps joue en faveur de l'astronome amateur : fouiller dans de vieilles archives de dessins ou photographies permet de révéler des changements

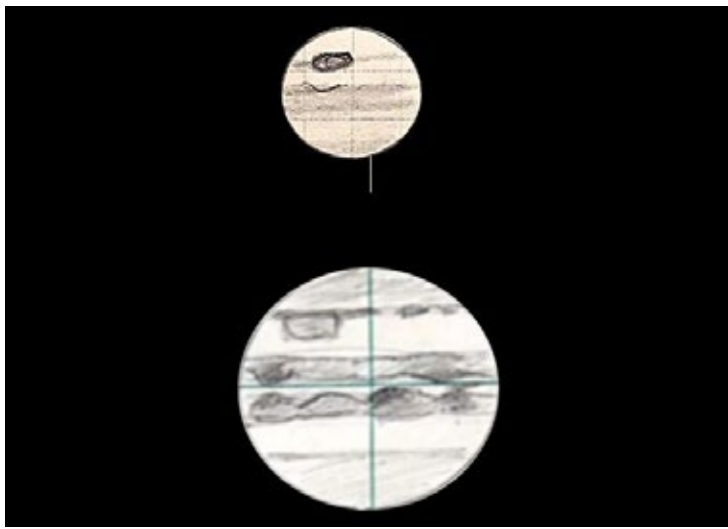
marqués [5]. Si on ne dispose pas de tels documents, on peut se procurer des images sur le site de la Société astronomique de France, commission des surfaces planétaires [13] ou celui de Damian Peach [6]. La figure 3, tirée d'archives personnelles, présente la tache « rouge » à trois époques différentes de 1977 à 2017 ; on pourra comparer également avec la figure 2. On s'aperçoit immédiatement que la fameuse teinte rouge-orangée associée à un albédo faible (un aspect sombre) n'apparaît que certaines années ; par exemple, en 2017 le facteur de visibilité atteint 1,4. Parfois même l'albédo augmente jusqu'à celui de la zone tropicale sud (STZ) et la GTR disparaît alors totalement, comme en 1977 où la visibilité tombe à 0,08 ; la tache devient alors quasi invisible avec des instruments modestes.

Fig.1. La figure montre le résultat des mesures des 6 canaux fréquentiels du radiomètre (MicroWaveRadiometer) placé à bord de la sonde Juno. Les données ont été collectées lors du 7<sup>e</sup> "périjove" en passant au dessus de la GTR ( en 2017). On y a superposé l'image en visible de la "JunoCam" MWR permet d'explorer les couches profondes de 0 à 350 km sous le niveau des nuages de surface (vers 0,3 bars de pression, au niveau des nuages d'ammoniac). Les fréquences utilisées augmentent de 1 à 6 bar. La structure à grande échelle de la GTR est donc détectée jusqu'aux limites des capacités observationnelles de MWR . Données et analyses par NASA/JPL [14].

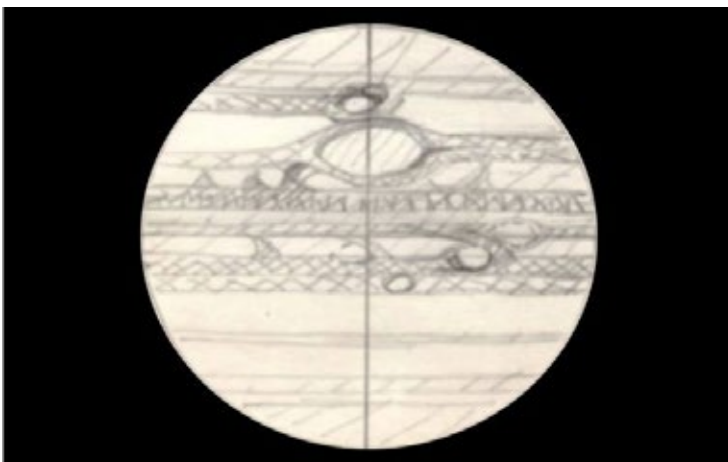


<sup>1</sup> [https://www.canal-u.tv/video/iap/resultats\\_de\\_la\\_mission\\_juno.55111](https://www.canal-u.tv/video/iap/resultats_de_la_mission_juno.55111).





Lunette diamètre 55 mm (en haut), télescope 100 mm (en bas)  
 $G = 55\times$ , Résolution  $\approx 3'' \approx 8\%$  du diamètre  
 Croquis, 18 h 25 min TU (?) le 27/07/1971.



Télescope Newton 200 mm  
 $G = 112,5\times$ , Résolution  $\approx 1,5'' \approx 4\%$  du diamètre  
 Croquis, 20 h 37 min TU le 23/08/1976.



Télescope Schmidt-Cassegrain 305 mm  
 $G = 200\times$ , Résolution  $\approx 0,8'' \approx 2\%$  du diamètre  
 Croquis, 19 h 22 min TU le 15/02/1979

Fig.2. La tache rouge à différentes dates avec différents instruments.

Certains expliquent ainsi qu'au XVII<sup>e</sup> siècle, Cassini perdit la trace de la tache qu'il avait suivie, pour laquelle il avait même constitué des éphémérides [1] (voir encart). Celle-ci ne fut retrouvée que vers 1831 par l'astronome allemand Heinrich Schwabe, et suivie en continu depuis cette date, malgré sa variabilité [5], [7], [8]. L'astronome J.H. Rodgers, spécialiste de Jupiter, pense que la formation étudiée par Cassini n'est pas l'actuelle tache rouge mais un anticyclone de même type, aujourd'hui disparu [7].

De plus, la taille exprimée en degrés de longitude  $\Delta L$ , ou en kilomètres, décroît au cours du temps (figure 3). Ce phénomène est particulièrement net ces toutes dernières années 2011 à 2017.

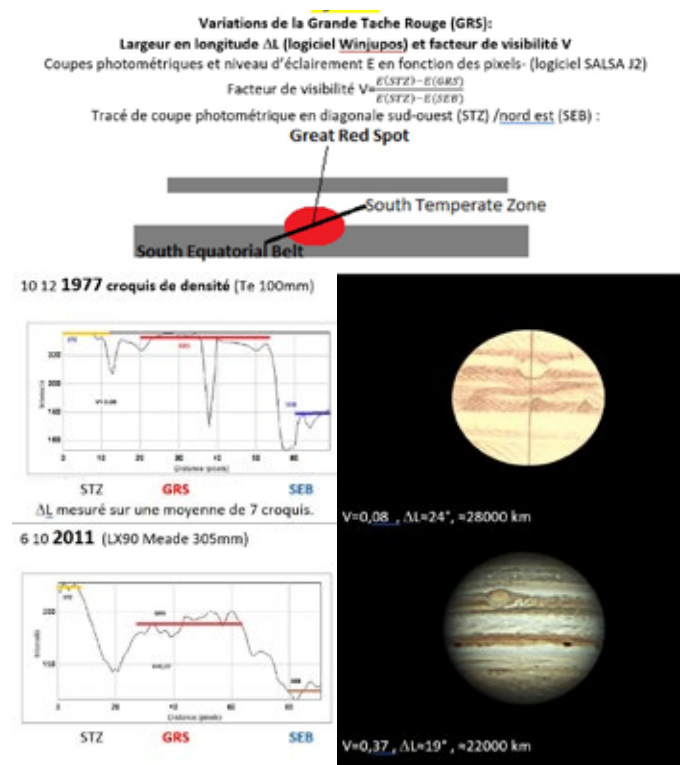


Fig.3. Variations de la GTR (dessin et image de l'auteur).

En effet, cela excite l'attention des astronomes professionnels qui estiment la décroissance accélérée à près de 900 km par an depuis 2012 ; pour atteindre 16 500 km de grand axe (1,3 fois la Terre) en 2017 (mesure de la sonde Juno) [8], [9], [10]. Une circularisation de la forme accompagne cette évolution. La grande tache rouge disparaîtra-t-elle dans les prochaines années ? D'autre part, cette structure tourne sur elle-même de plus en plus vite, avec des nuages supérieurs qui s'élèvent de plus en plus, son moment cinétique semble constant.

Ce gigantesque anticyclone doit donc être surveillé car son comportement, son origine et sa constitution restent des sujets de recherche actuels. De nouveaux modèles de dynamique atmosphérique justifiant sa longévité continuent d'être publiés [11] et des simulations expérimentales récentes justifient la teinte orangée

par l'interaction en haute altitude jovienne des UV solaires avec des molécules organiques du type acétylène dérivées du méthane et des nuages d'ammoniac [Baines et al., JPL/Nasa]. C'est probablement à rapprocher des teintes cuivrées observées sur Pluton.

## Mesurer la vitesse des courants lents

D'autres formations anticycloniques majeures sont bien visibles sur les figures 4 (page 5) au sud de la bande équatoriale dans laquelle est enchâssée la GTR. La bande tropicale sud contient ainsi les trois WOS (white oval spots), nommés BC, DE et FA. Notons que leur teinte blanche provient de nuages d'ammoniac blanc de grande altitude qui cachent les zones sous-jacentes. Un télescope de 100 mm permet de suivre leurs mouvements. Mais avec un instrument de 200 mm ces formations deviennent évidentes comme le montrent les figures 4 (page suivante). En 1979, on a pu suivre au jour le jour le mouvement de BC qui est venu frôler sa grande sœur dans sa partie sud. À ces dates, 1979, la sonde Voyager I observait également la rencontre de ces deux anticyclones : en route pour son « grand tour » vers Saturne, Voyager ne s'est pas arrêté près de Jupiter alors que l'amateur a continué son travail

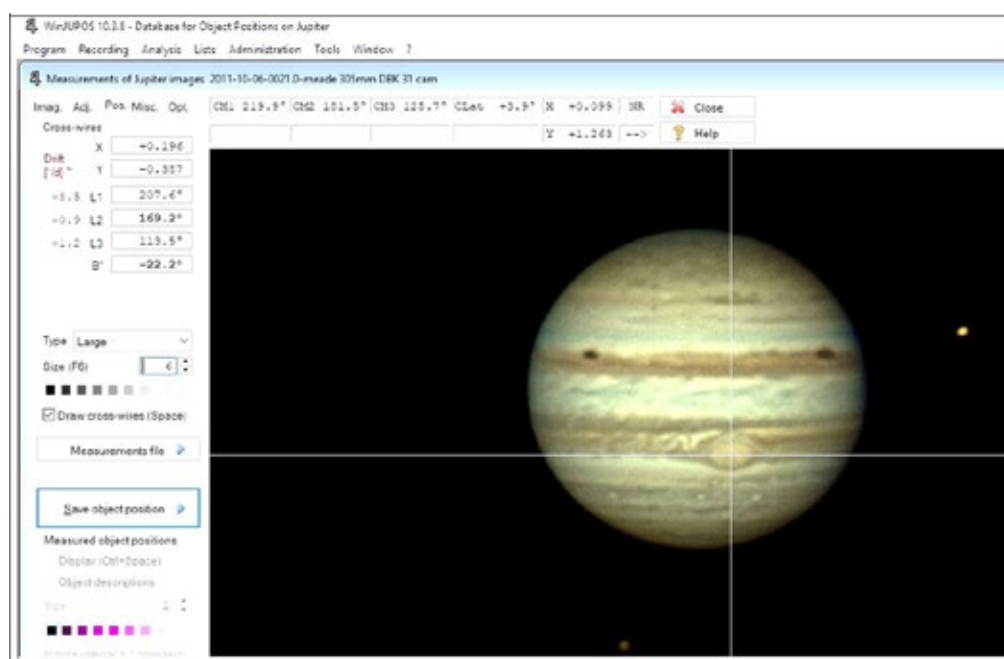


Fig.5. Logiciel Winjupos, repérage d'un détail en latitude et longitude. (Latitude - 22,2 °, longitude 169,2°). L'image est chargée avec le menu « recording, image measurements ». Puis on introduit les date et heure d'observation. On peut alors commencer les mesures.

de surveillance.

Depuis, ces trois structures ont fusionné en 1999-2000 pour donner la « mini » tache rouge appelée « ovale BA », visible actuellement car les nuages d'ammoniac n'ont pas suivi l'augmentation d'altitude liée à la fusion permettant la synthèse des composés organiques orangés.

Pour quantifier ces mouvements relatifs, on peut utiliser le puissant logiciel « WINJUPOS » téléchargeable gratuitement [15] : on repère la longitude du centre des taches, ou de leurs bords pour plus de précision. (figure 5).

En 1979, la grande tache rouge dérivait lentement de +0,19° par jour environ par rapport au système de référence correspondant à ces latitudes, appelé système II. L'oval BC avait un mouvement plus rapide en sens inverse de près de -0,65° par jour (figure 6).

À cette latitude  $l \approx 25^\circ$ , ce déplacement relatif de  $w \approx 0,84^\circ$  par jour représente une vitesse relative  $V = RJ \cos(l) w \approx 40 \text{ km/h}$  seulement ! Cela correspond toutefois à près de 4 diamètres de tache rouge parcourus en 3 mois. On parle de courants lents, car cette vitesse de déplacement d'ensemble est celle des centres des anticyclones et non celle des vents ou des jet-streams à l'origine de ces formations. Les données de Juno montrent d'ailleurs que la tache rouge semble perdurer en absorbant certains de ces « petits » anticyclones.

Mais ces dérives ne sont pas réservées aux anticyclones. L'évolution des positions des formations dépressionnaires très sombres et allongées, les « barges », se remarque facilement, d'autant que ces taches sont bien observables en particulier dans la bande équatoriale nord (figure 7).

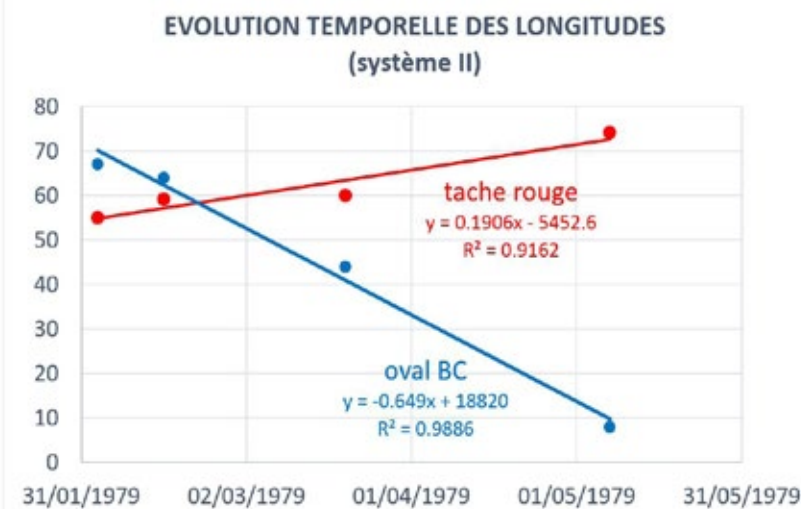
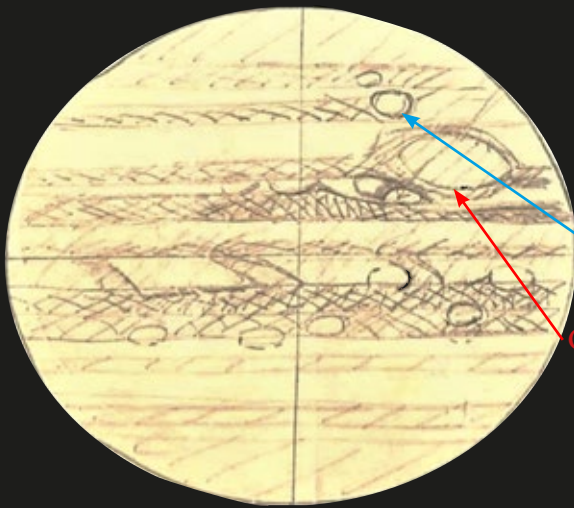
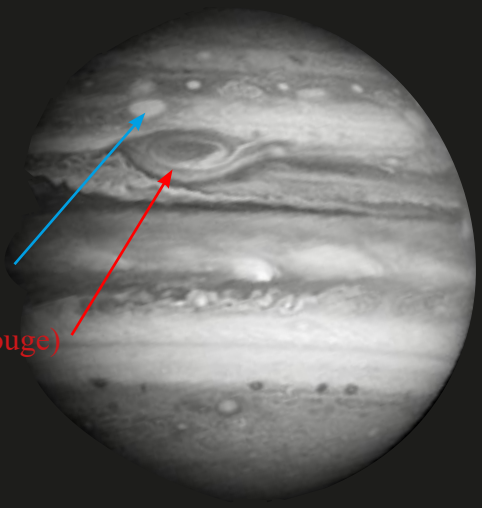


Fig.6. Longitude des deux anticyclones grande tache rouge GTR et ovale BC en 1979 déterminées à partir des croquis de la figure 4.





03/02/1979 20 h 27 min TU  
Télescope C8, G = 200X  
Turbulence = 2



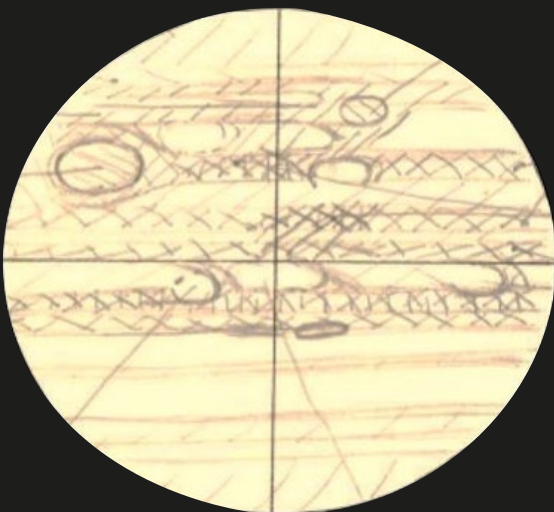
Voyager 1 vers le 7 février (NASA)



15/02/1979 19 h 27 min TU  
Télescope C8, G = 200X  
Turbulence = 3



Voyager 1 vers le 27 février (NASA)



07/05/1979 20 h 41 TU  
Télescope C8, G = 200x  
Turbulence = 3 vent fort



Voyager 1 vers le 27 février (NASA)

Fig.4. Autres formations anticycloniques. (Tous les dessins sont de l'auteur).

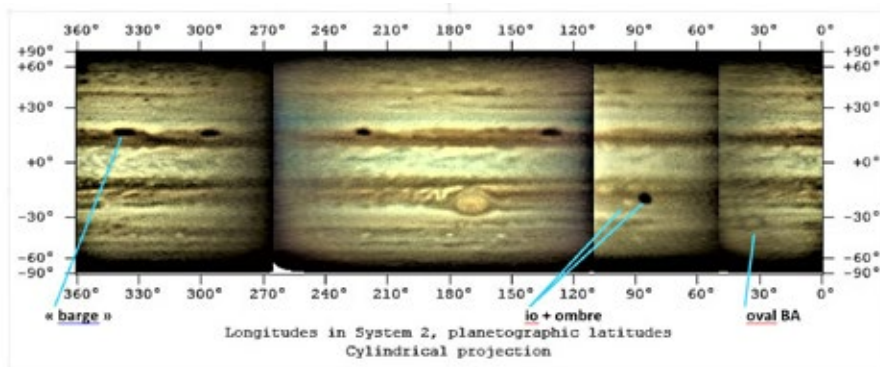


Fig.7. Planisphère de Jupiter présentant l'aspect général de la planète en octobre 2011 (sud en bas), réalisé avec le logiciel Winjupos à partir des trois images des 17/09, 06/10 et 22/10 (jour du passage d'Io et de son ombre sur la planète). (Menu « analysis, map computation »).  
Télescope Mead 305 mm, camera couleur « imaging source ». Image de l'auteur.

Les barges constituent de véritables ouvertures dans les nuages laissant apparaître les couches profondes.

On aperçoit également la formation anticyclonique « ovale BA » encore appelée mini tache rouge (malgré un contraste faible cette année-là, 2011). Elle a été formée dix ans plus tôt. On détermine son diamètre, environ 10 000 km, soit un peu moins que celui de la Terre.

Jours après jours, de multiples autres formations, parfois quasi-ponctuelles sur les photographies, dansent littéralement sur le planisphère. Le film constitué par les images de la sonde Voyager [12] montre bien la dynamique complexe de l'atmosphère supérieure de la planète géante. Le site de Damian Peach présente également de remarquables animations des planisphères obtenues avec « Winjupos » [6].

Mais la détermination précise des vitesses réelles des vents, souvent plusieurs centaines de kilomètres par heure, nécessite des images de haute définition donc réservées aux sondes et grands télescopes professionnels. Parfois, un satellite vient ajouter son ombre à cet ensemble très complexe et se profile sur le fond des nuages joviens. Sur les clichés : sur la figure 7, c'est l'ombre de Io.

## Perspectives

Le monde jovien interpelle l'observateur et constitue une riche source de sujets de constatactions expérimentales, quel'on peut partager avec les élèves de tous niveaux ou les passionnés. Les notions d'histoire des sciences, de géographie (pôles, équateur, latitude, longitude,

renflements équatoriaux, rotation propre...), de météorologie (vents alizés, dépressions, anticyclones, cellules de Hadley...), de physique (effet Coriolis, force centrifuge, mécanique céleste pour les passages des satellites...) abondent et s'entrecroisent. De plus, si le dieu des planètes le décide, la passion peut vous prendre et alors il ne vous reste plus qu'à entrer à la commission des surfaces planétaires de la Société astronomique de France [13] ; certes vos travaux n'auront sans doute pas l'écho de ceux de Cassini mais ils présenteront d'autant plus d'intérêt qu'ils seront mis en commun avec ceux des autres passionnés et peuvent constituer une base de données pour des recherches « professionnelles ». En attendant, laissons-nous emporter par les extraordinaires images de Juno (figure 8) qui continue son voyage pour explorer désormais les satellites galiléens.



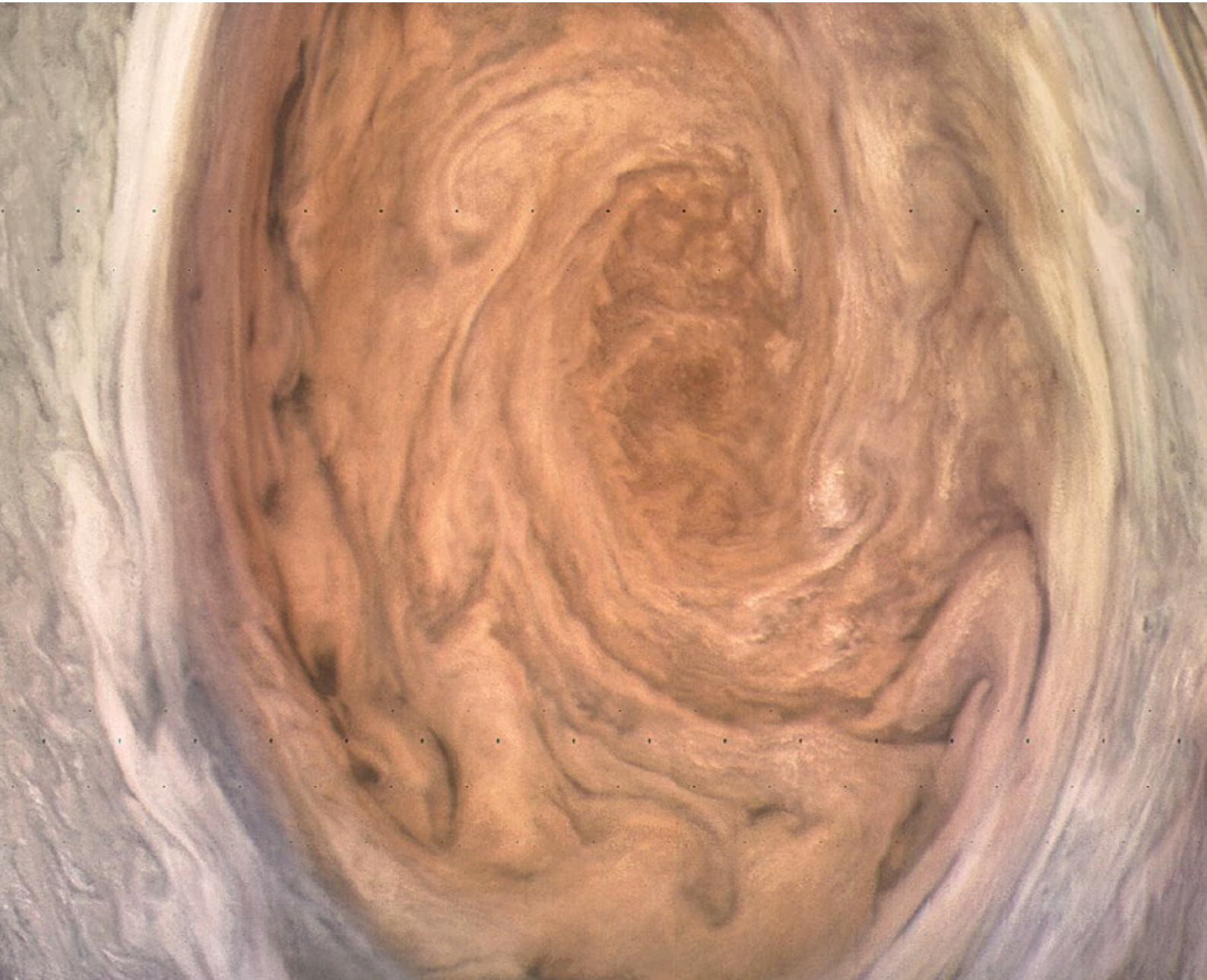
Fig.8. Ovale BA et tache rouge vus par Juno en décembre 2018 sud en bas (photo NASA).



## Biblio, neto-graphie

1. Journal des savants 1672 p 70 Gallica -BNF
2. Astronomie tome 4 p.334 et 328, Arago, édit Th Morgand 1865.
3. Astronomie planétairep. 187 à 204 et p. 35, Pellier et al, édit Axilone 2015.
4. À l'affut des étoiles p. 105, Bourge, Lacroux, Dupont Bloch, édit Dunod 18<sup>e</sup> édition 2015.
5. Astronomie p. 213, 215, Rudaux et Vancouleurs, éditb Larousse 1948.
6. <http://www.damianpeach.com/index.htm> et <http://fredburgeot.fr/>
7. The giant planet Jupiter, Rodgers, Jonh H. Cambridge university press.
8. <https://www.nasa.gov/press/2014/may/nasas-hubble-shows-jupiters-great-red-spot-is-smaller-than-ever-measured/>
9. <https://www.britannica.com/place/Great-Red-Spot>
10. <http://www.astrosurf.com/luxorion/sysol-jupiter3.htm>
11. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re\\_de\\_Jupiter](https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re_de_Jupiter)
12. <http://www.astrosurf.com/luxorion/Illustrations/jupiter-grs-animation-closeup.gif>
13. <http://www.astrosurf.com/planetessaf/jupiter/>
14. [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/juno/main/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/juno/main/index.html)
15. <http://jupos.org/gh/download.htm>

Image obtenue par Juno-NASA le 10 juillet 2017 à 9900 km de la surface de Jupiter  
(vitesse ~ 200000 km/h)(7<sup>ème</sup> passage).



# BRÈVES D'OBSERVATOIRES ET AUTRES NOUVELLES

Frédéric Pitout, IRAP Toulouse

## Vénus n'aurait jamais pu avoir d'océans

Vénus et la Terre sont souvent qualifiées de jumelles. Effectivement, elles ont des tailles, des densités et des compositions très voisines mais la comparaison s'arrête là. Vénus est sensiblement plus proche du Soleil, sa période de rotation est très lente et elle ne dispose pas (ou plus) de champ magnétique. Quant à son atmosphère de CO<sub>2</sub> dense et surchauffée, elle n'est pas particulièrement accueillante.

Pourtant, on avait tout lieu de penser que Vénus n'avait pas toujours eu des conditions aussi extrêmes et que, peut-être, des océans avaient un jour baigné quelques rivages. Des modélisations, auxquelles le Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux (LAB) et le Laboratoire atmosphère, milieux, observations spatiales (LATMOS) ont contribué, indiquent que les conditions n'ont jamais été favorables à la condensation des nuages et donc à la présence d'étendues liquides.

Lien : <https://astrophys.u-bordeaux.fr/?p=4097>.

## Télescope spatial James Webb

Au moment où nous bouclons ce numéro, le James Webb Space Telescope (JWST) est arrivé par bateau au port guyanais de Pariacabo, tout près de Kourou et donc du Centre spatial guyanais.

Le périple depuis la Californie où le télescope a été assemblé a duré 16 jours avec un passage par le canal de Panama. Le lancement, par une fusée Ariane 5 ECA, initialement prévu le 18 décembre 2021 a été repoussé au 22 décembre « au plus tôt » en raison d'un incident survenu pendant les préparatifs.

Le JWST embarque le plus grand miroir primaire spatialisé à ce jour : environ 6,5 m de diamètre ! (À comparer avec les 2,4 m de Hubble.) Le télescope est

conçu pour observer dans l'infrarouge moyen, il accèdera donc à l'Univers « froid » (voir article de F. Pitout et C. Vastel, CC 165). Ses cibles favorites seront par conséquent l'Univers profond, le milieu interstellaire, les disques protoplanétaires mais aussi les exoplanètes et les corps du Système solaire.

Notons qu'à l'occasion du lancement, dix scientifiques de l'Observatoire de Paris iront dans des classes guyanaises parler d'astronomie. C'est le programme « La Guyane vers les étoiles ».

Lien : <https://www.jwst.fr/>

## L'observatoire du pic du Midi s'agrandit

La capacité d'accueil à l'observatoire du pic du Midi est très limitée, notamment pour les groupes d'étudiants qui viennent se former à l'observation. Pour remédier à cela, l'État, la région Occitanie et l'université Toulouse 3 - Paul Sabatier ont investi pour construire le bâtiment Dauzère-Soler qui contiendra une trentaine de couchages ainsi que deux salles de cours.

Pour une construction dans un tel milieu, quelques contraintes sont à prendre en compte. D'abord les conditions météo font que les travaux ne peuvent raisonnablement se dérouler que quelques mois par an. Ensuite, le dossier de candidature à l'Unesco pour faire classer l'observatoire au patrimoine mondial impose que les bâtiments historiques soient conservés. Fin des travaux prévu en 2023.

## Prospective de l'Insu

L'Institut national des sciences de l'Univers (Insu), effectue tous les 5 ans un exercice de bilan et de prospective, nous avons d'ailleurs fait un résumé en deux parties du précédent (2015-2020) dans les CC 154 et 155. En 2020, l'exercice s'est fait de manière transverse et interdisciplinaire avec d'autres instituts du CNRS





Image de synthèse de l'observatoire du pic du Midi où l'on voit, avec ses murs blancs, le futur bâtiment Dauzère-Soler.  
(Image : Christophe Montheil/OMP).

et structures de recherche. Les documents, résumé et complet, de la prospective 2020-2025 sont consultables.

Lien : <https://www.insu.cnrs.fr/fr/prospective>

## La grande histoire des observatoires astronomiques

Grand Labo, le « média pour celles et ceux qui font et partagent la science » s'est associé au CNRS pour une série de courts documentaires intitulés *Lieux de science*. Le premier épisode est consacré à quatre hauts lieux de l'astronomie française : les observatoires de Paris, Besançon, Strasbourg et du pic du Midi.

Lien : <https://lejournale.cnrs.fr/videos/la-grande-histoire-des-observatoires-astronomiques>

## Nouvelle collection consacrée à l'astronomie pour l'éducation

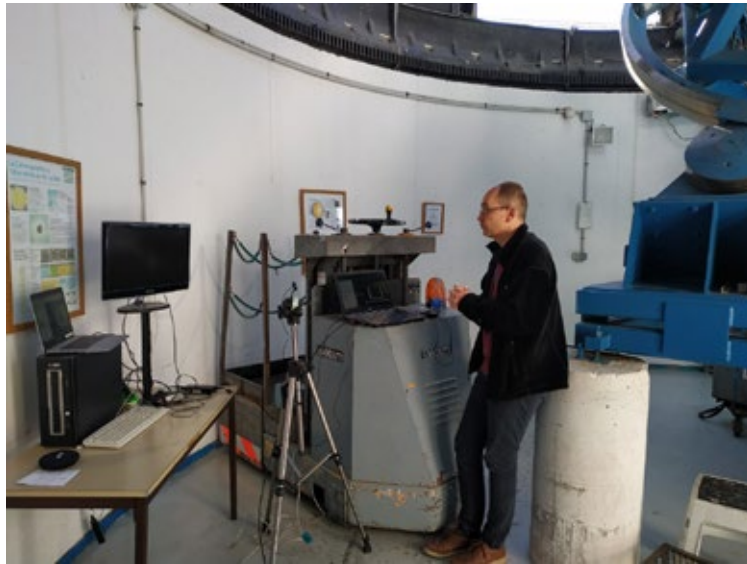
Suite au colloque AstroEdu-FR sur l'astronomie pour l'éducation dans l'espace francophone qui s'est tenu en ligne en janvier 2021, des groupes de travail ont planché sur les actes et la synthèse de l'événement. Cette restitution sera publiée aux éditions Le Manuscrit sous la

direction d'Emmanuel Rollinde, professeur de didactique des sciences à Cergy université. Cet ouvrage constituera le premier d'une collection intitulée « Astronomie pour l'éducation ».

## La journée des deux observatoires – rendre visible l'invisible

À l'occasion des 30 ans de la Fête de la science, une journée à distance a été organisée en direct des observatoires de Haute-Provence et du pic du Midi. L'objectif était de parler des thématiques de recherche des deux observatoires aux élèves et de donner des idées d'activités aux enseignants. Une vingtaine de classes de collèges et lycées de toute la France ont ainsi pu suivre des présentations sur divers sujets et échanger avec les chercheurs. Quatre présentations en direct ont été proposées : « Rendre visible l'invisible », « Pourquoi surveiller le Soleil ? », « Les rayons cosmiques, particules de l'extrême » et « Astronomie du 21<sup>e</sup> siècle ». En soirée, des observations avec le télescope télé-opérable Iris (voir article de C. Baudoin et S. Basa, CC 160) ont été organisées et aussi retransmises. Les captations des interventions seront bientôt mises en ligne.





Frédéric Pitout s'adressant aux élèves, par caméra interposée, depuis la coupole Climso au pic du Midi.

## Lucy dans le ciel (sans diamants)

La sonde Lucy a été lancée par la Nasa le 16 octobre 2021. Elle a pour objectif de survoler 7 astéroïdes troyens, ces « gros cailloux » vestiges des débuts du Système solaire et qui ont des orbites stables aux points de Lagrange 4 et 5 du couple Jupiter-Soleil. Les objectifs scientifiques de la mission concernent la géologie de surface, la mesure d'albédo, la détermination de leur masse et composition, la recherche de petits corps satellites ou anneaux, etc. Arrivée à proximité du premier objectif, l'astéroïde

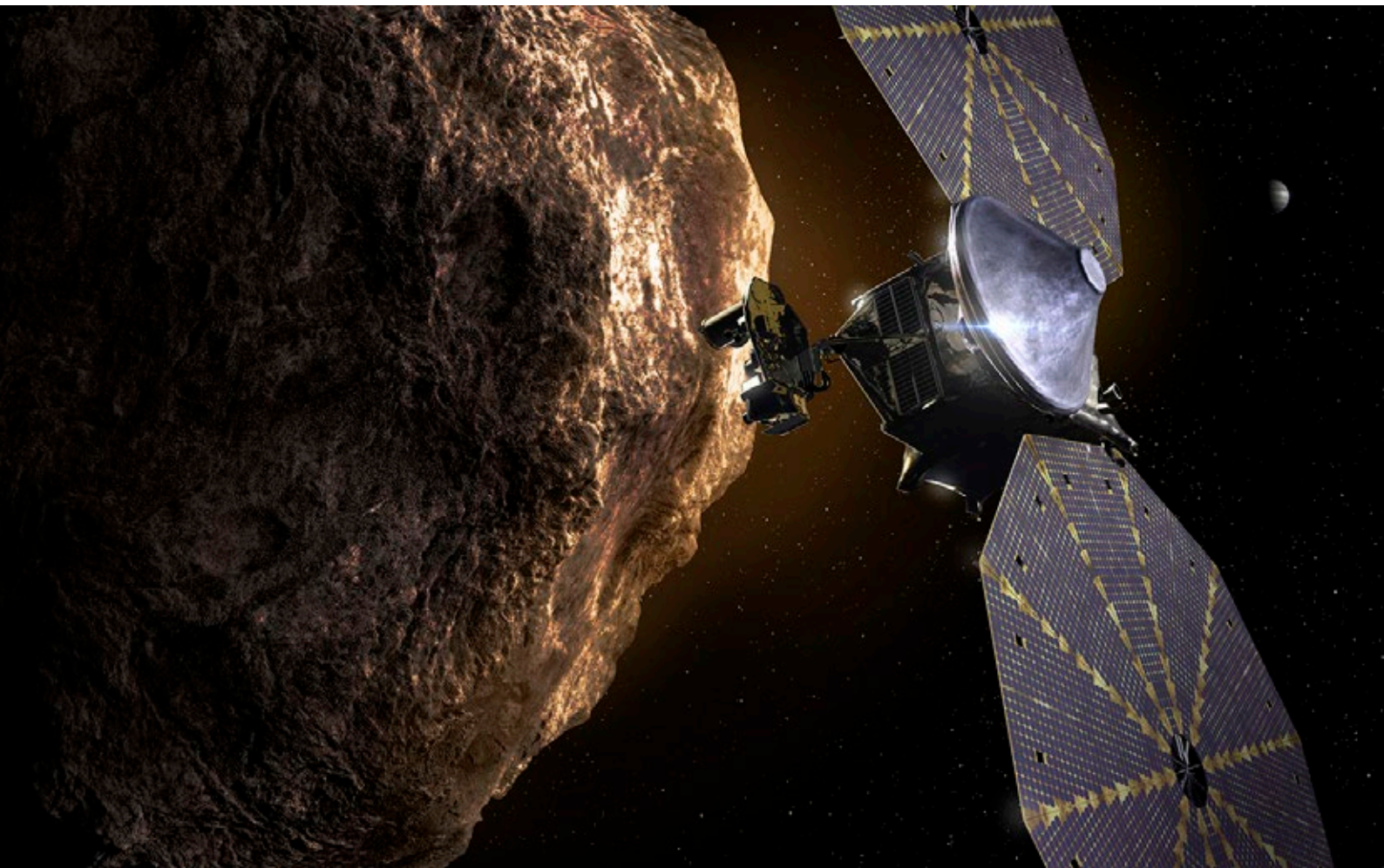
troyen (3548) Eurybates et son satellite Queta (autour de L4) : août 2027.

Anecdote amusante : puisque la sonde terminera sa « vie » dans une zone de grande stabilité gravitationnelle, elle y restera des milliers voire des millions d'années et survivra vraisemblablement à l'humanité. Les scientifiques l'ont donc pourvu d'une plaque comme les sondes Pioneer et Voyager au cas où quelqu'un d'autre la trouve un jour...

Lien : <http://lucy.swri.edu/>



Vue d'artiste de la Sonde Lucy survolant un astéroïde. (Image : Nasa).







# Le Temps





# PETIT DICTIONNAIRE DU TEMPS

## Temps sidéral

C'est l'heure aux étoiles. La période sidérale de rotation de la Terre étant de 23 h 56 min 4,1 s, une horloge donnant le temps sidéral doit être réglée sur cette période. Elle tourne donc plus vite qu'une horloge classique. Plus précisément, le temps sidéral est l'angle horaire du point vernal. Il est 0 h quand le point vernal passe au méridien. Il s'écoule un jour sidéral entre deux passages consécutifs du point vernal au méridien. C'est un temps pratique en astronomie : un astre aura toujours la même position dans le ciel à une heure sidérale donnée.

## Temps solaire vrai

C'est le temps de la plupart des cadrans solaires : il est midi solaire quand le Soleil passe dans le plan du méridien (donc plein sud en France métropolitaine). Ce temps est local (l'heure solaire n'est pas la même à Strasbourg qu'à Brest) et irrégulier. Le jour solaire vrai, intervalle de temps entre deux midis au soleil, varie de 23 h 59 min 39 s à 24 h 0 min 30 s, pour deux raisons : la vitesse de la Terre sur son orbite varie et son axe est incliné par rapport au plan de l'écliptique. Théoriquement, on fait commencer l'heure solaire à midi (midi = 0 h) mais il est courant de la décaler de 12 h sur certains cadrans.

## Temps solaire moyen

C'est le temps solaire corrigé de ses irrégularités. Il reste local. Tous les jours solaires moyens durent 24 h. La différence entre le temps solaire moyen et le temps solaire vrai s'appelle l'équation du temps. Elle varie en fonction de la date de - 16 min à + 14 min.

## Temps GMT (Greenwich Mean time)

C'est le temps moyen de Greenwich. Il fut adopté comme temps officiel en Grande-Bretagne en 1880. En France, à partir de 1891, l'heure légale était le temps moyen de Paris. En 1884, le méridien de Greenwich fut adopté comme méridien international (pour les fuseaux horaires). Finalement, le 9 mars 1911, la France adopte l'heure moyenne de Greenwich (sans le dire puisque le texte parlait du temps moyen de Paris retardé de 9 min 21 s). On parle maintenant de temps universel.

## Temps universel et temps atomique

Jusque-là, le temps était directement lié à la rotation de la Terre. On s'est aperçu que celle-ci n'était pas si régulière que ce que l'on croyait. Il a fallu définir le temps de manière plus précise :

**UT1** est basé sur la rotation de la Terre, mais celle-ci n'est pas uniforme. Donc UT1 dérive de manière variable par rapport au temps atomique international.

**TAI**, le temps atomique international n'a plus de rapport avec les astres. Il est donné par des horloges atomiques et est basé sur la définition actuelle de la seconde<sup>1</sup>. À l'origine, la seconde avait été définie comme la 86 400<sup>e</sup> partie du jour solaire moyen. La définition actuelle basée sur l'atome de césium a été choisie pour être la plus proche possible de l'ancienne définition. Le temps atomique international est donc très proche du temps universel tout en étant plus stable.

**UTC**, le temps universel coordonné, est égal au TAI à un nombre entier de secondes près ; il doit rester proche de UT1 avec un écart maximal de 0,9 s. On ajoute donc de temps en temps une seconde intercalaire. Le temps légal est maintenant défini à partir de UTC.

<sup>1</sup> La seconde est égale à la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133 non perturbé.



# C'EST QUOI LE TEMPS ?

Christian Larcher

*Peut-on répondre à cette question ? Le temps est-il un phénomène physique ou un simple produit de la conscience ? Chaque homme ne sent-il pas le temps passer en lui au plus profond de son être ? Pour certains physiciens, le temps n'a pas de réelle existence, c'est une tentative pour mettre de l'ordre dans le ballet de la complexité du réel. (Carlo Rovelli).*

## Le temps dans la culture occidentale

### Temps et langage sont intriqués

Dans l'éducation des enfants, la notion de temps n'est jamais immédiate ; elle résulte d'un long processus venant couronner un long itinéraire. En apprenant à parler à nos enfants, nous leur faisons structurer les temps passé, présent, à venir, ce qui sera repris à l'école par l'apprentissage systématique des conjugaisons. La langue est impuissante à définir le temps puisqu'elle le porte déjà en elle. Henri Poincaré fait remarquer dans *La science et l'hypothèse* que « le temps ne s'impose pas plus que la langue française ne préexiste aux vérités que l'on exprime en français ».

Il faut aussi constater que toutes les langues ne se conjuguent pas et par conséquent qu'elles ne sont pas conduites à séparer les temps ; c'est le cas de la Chine qui représente le cinquième de la population humaine.

#### Le temps passe...

Les langues occidentales sont issues des mondes grec et latin. Ces civilisations anciennes ont délibérément choisi un temps « qui passe » en utilisant l'image d'un fleuve.

« Le temps est un fleuve fait d'événements... » Marc Aurèle (121 – 180).

Mais Héraclite avait déjà prévenu 2 500 ans avant notre ère que :

« On ne se baigne jamais dans le même fleuve ».

« Le temps, vrai et mathématique, sans relation avec rien d'extérieur, coule uniformément et s'appelle durée » Newton ; *Principia* (1687).

« Le temps dont on dit qu'il passe alors qu'il s'assoit là, à vous regarder passer » J. Prévert.

#### Le temps est dans la conscience de chacun

« Le temps est la substance dont je suis fait.

Le temps est un fleuve qui m'emporte, mais je suis le fleuve ;

C'est un tigre qui me dévore, mais je suis le tigre ;

C'est un feu qui me dévore, mais je suis le feu. »

(Jorge Luis Borges : *Une nouvelle réfutation du temps*, 1957).

Pour Blaise Pascal « c'est un mot primitif », pour Kant « une forme a priori de la sensibilité ».

### Les attributs du temps

Le temps c'est quelque chose que l'on mesure

« *Le temps c'est ce que mesure une horloge* » Einstein ; 1922 à Kyoto au Japon.

#### Le temps n'existe pas

« Pour nous physiciens dans l'âme, la distinction entre passé, présent et futur n'est qu'une illusion, quoique persistante » (Albert Einstein un mois avant sa mort en 1955).

### Une date origine dans le calendrier chrétien

C'est au cinquième siècle de notre ère que le moine et astronome scythe, Denys le Petit proposa au pape de faire démarrer le calendrier à la date supposée de la naissance du Christ. Comme à cette époque on ne connaissait pas le zéro, cette année reconstituée débuta directement en l'an un. On sait qu'à la naissance d'un enfant il faut attendre 12 mois pour qu'il termine sa première année. En occident une année débute le 1<sup>er</sup> janvier et se termine au 31 décembre. À partir du 1<sup>er</sup> janvier suivant débute une nouvelle année. Il faut de même attendre 1 000 ans écoulés pour passer au millénaire suivant. C'est ainsi que le troisième millénaire a commencé le 1 janvier 2001 lorsque 2 fois 1 000 ans se sont écoulés.

Depuis la fixation de cette date, et on le sait bien avant, le temps en occident ne s'arrête jamais, il est perçu comme une grandeur continue et mesurable.

Dans la perception chrétienne, le temps a été créé en même temps que l'Univers et il y aura « une fin des temps ». Cette vision a certainement profondément imprégné la mentalité occidentale.

### La musique : l'art du temps

L'émotion musicale prend naissance au niveau du cerveau. La musique semble créer, dans le présent, une mystérieuse harmonie entre un passé tout proche et un avenir immédiat.

La musique se déroule dans le temps prévu par la partition mais sa perception abolit la frontière entre le futur et le passé. Cette frontière n'est pas complètement étanche elle est entourée d'un halo où se mêlent les notes tout juste « tombées » dans le passé et les prochaines notes à venir. Lorsqu'on écoute un morceau de musique connue, il existe une certaine tension résultant de l'attente de la note qui va venir et du souvenir qu'en garde la pensée. Va-t-elle ou non recréer la synthèse harmonieuse attendue provoquant l'émotion ?

Parfois on peut avoir la sensation d'un bref arrêt du temps suite à une exécution particulièrement réussie.

Parmi les arts, la musique tient un rôle particulier, elle n'est pas liée à l'espace, ni à aucune représentation comme pour la peinture, la sculpture ou l'architecture. Elle est dans le temps et seulement dans le temps. Elle est comme le disait le philosophe français Jankélévitch **l'art du temps**.

### Le temps et la finitude humaine

Le fait de vieillir, d'être confronté à la mort des autres est une expérience que chacun vit et qui implique le temps. La vie conduit avec certitude à la mort « a-venir ». L'idée de la mort est une composante essentielle à l'origine de la temporalité. Les philosophes de toutes les époques ont largement disserté sur ce qu'il convient de faire de ce temps de vie qui conduit inévitablement vers la mort. Pour Socrate « l'important n'est pas de vivre mais de vivre bien ». C'est-à-dire selon ses valeurs.

## Le temps dans la culture chinoise

Dans la pensée chinoise il n'y a pas l'équivalent d'un Cronos/Saturne qui dévore ses enfants pour tenter d'enrayer le temps. Il n'y a pas non plus un démiurge créateur de l'Univers, ni une annonce de la fin des temps. Le temps n'a pas de début ni de fin, il est infini. L'Univers est infini dans l'espace et le temps.

Dans le passé, la Chine a fabriqué des calendriers, des almanachs. Ils étaient destinés entre autres à rappeler les moments favorables pour entreprendre les travaux liés aux saisons. Il y avait aussi des jours décrétés comme fastes ou néfastes. Les Chinois ont construit de nombreuses horloges

à eau. En particulier des horloges astronomiques. La plus connue est celle imaginée par Su Song (1020 – 1101) dont on a retrouvé les plans à Kaifeng. Elle faisait dix mètres de haut et permettait la rotation d'un globe terrestre et d'une sphère armillaire.

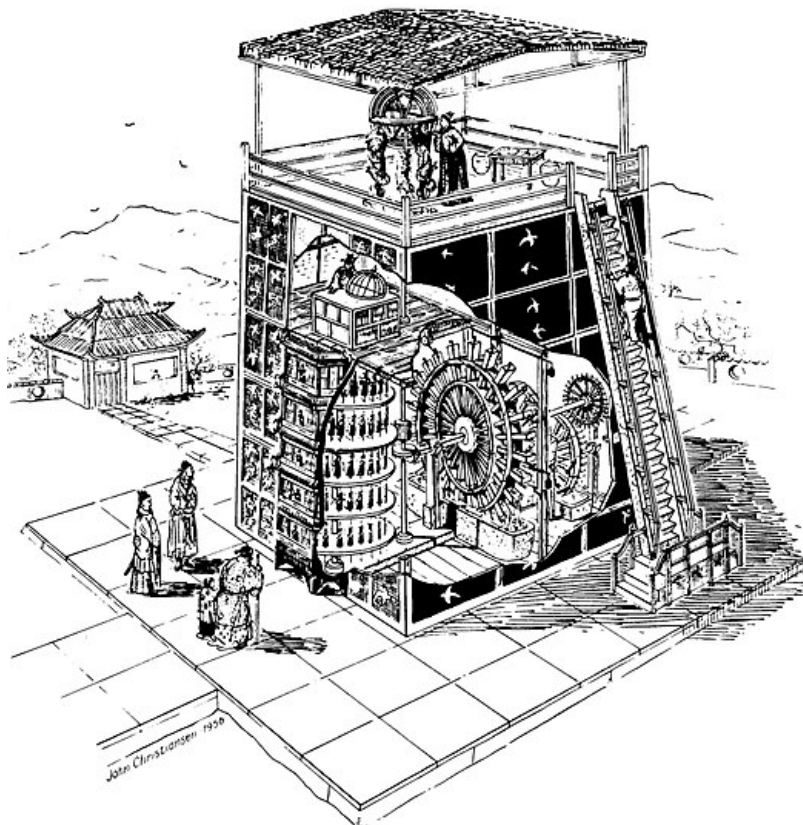
Mais en Chine il n'existe pas, comme en Europe, un temps homogène et abstrait qui enveloppe toute chose dans un grand continuum ininterrompu. Il n'y a pas de « cause première » et cette

non-question du temps entraîne la non-question de son origine.

Devant les événements quotidiens les Chinois manifestent souvent une certaine sérénité. Pour eux il importe surtout d'être toujours en phase avec les changements naturels ou non. Il faut savoir attendre et profiter du moment opportun, de l'occasion favorable.

Le temps peut apparaître cyclique ou linéaire. L'aspect cyclique reflète bien le mouvement des corps célestes, le renouvellement des générations, les cycles de la vie, de la mort et, pour certains bouddhistes, l'idée de réincarnation.

La Chine contemporaine connaît le calendrier grégorien mais la culture reste fortement imprégnée par le culte des ancêtres et les conceptions anciennes.





## Le temps se mesure-t-il ?

### Qu'est-ce qu'une horloge ?

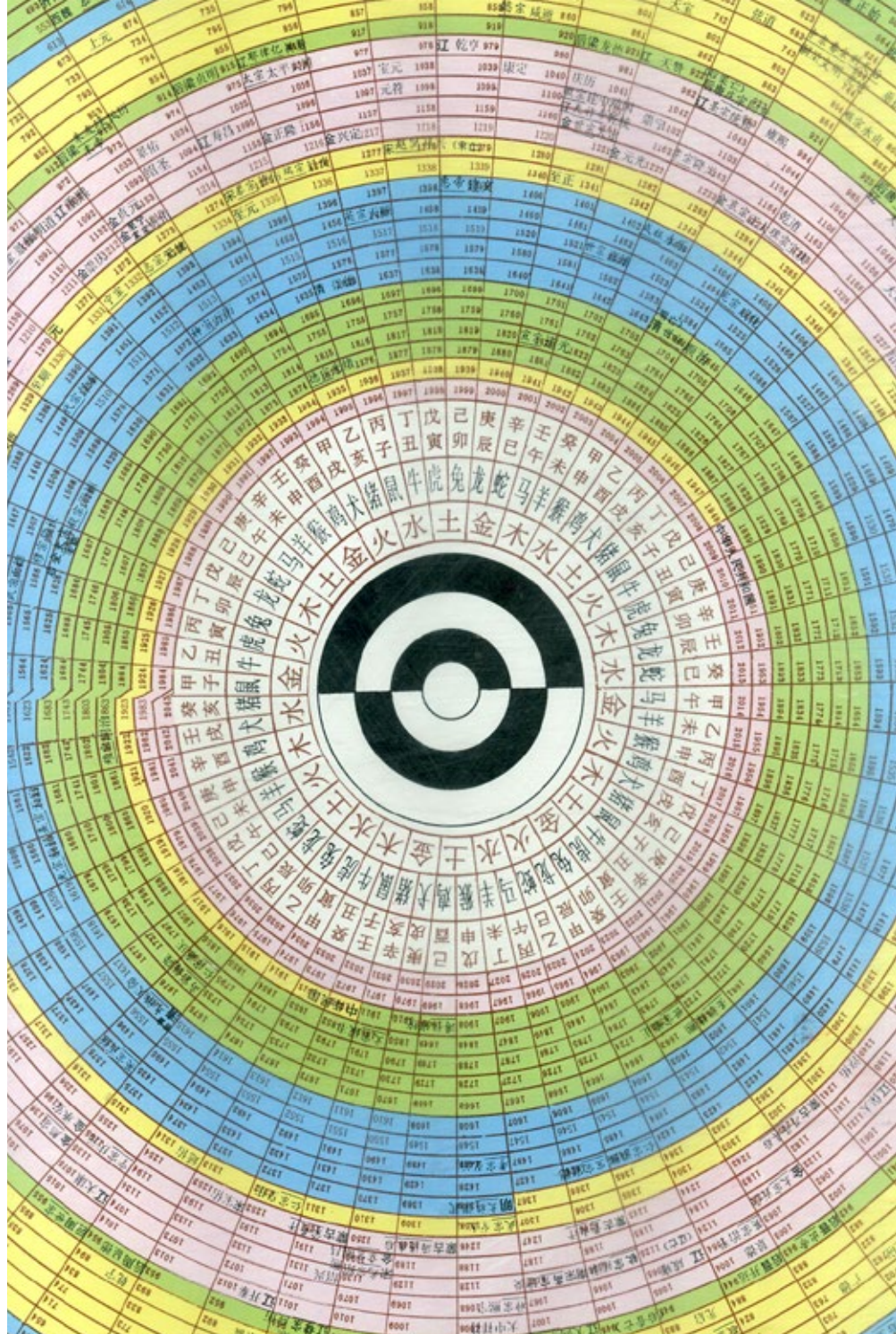
L'étymologie du mot horloge provient du latin *horologium* « Qui dit l'heure ». L'horloge nous parle, elle fait apparaître le temps, elle fabrique le temps, le temps « en soi » n'aurait-il aucune réalité physique ? On est de nouveau prisonnier du langage. La mesure du temps ne serait qu'une pure convention associant des variations régulières à des durées. Ces variations sont souvent des espaces et cela tombe bien car on sait mesurer des espaces. Donc le temps devient une grandeur mesurable.

### Qu'est-ce qu'une grandeur « mesurable » ?

On dit qu'une grandeur est mesurable si l'on peut la comparer à une autre grandeur de même espèce choisie comme unité. Ce qui implique de pouvoir définir l'égalité et la somme de leurs valeurs.

Exemple pour mesurer la longueur d'une pièce on la compare à la longueur d'un « mètre étalon » avec ses sous multiples. Il est alors facile de déterminer l'égalité et la somme de deux longueurs en les disposant parallèlement. Toutes les grandeurs physiques ne sont pas mesurables. Par exemple il est possible de déterminer l'égalité de température de deux liquides mais pas leur somme. En mélangeant un litre d'eau à la température de 12 °C avec un litre d'eau à 15 °C on n'obtient pas 2 litres d'eau à 27 °C. Une longueur, on peut l'avoir sous ses yeux devant soi. On peut faire et refaire sa mesure à volonté. Une durée, on ne peut jamais l'avoir *in extenso* devant soi. Le temps s'enfuit en permanence, il nous semble glisser entre les doigts...

Georges Lemaître donne d'une horloge une définition dans une lettre adressée à Albert Einstein le



La conception d'un écoulement du temps en spirale s'oppose à notre conception d'un écoulement linéaire.

3 octobre 1947 : « Tout instrument qui répète indéfiniment la même expérience et compte le nombre d'expériences effectuées est une horloge » Cité par J.P. Luminet p. 201 du livre : *L'invention du Big Bang* (Seuil, Points Sciences 2004).

Habituellement on distingue :

- **un processus cyclique**, le plus régulier et constant possible (une sorte de métronome) ;
- **un compteur** du nombre de cycles (aiguille devant un cadran ou compteur).

### Comment le temps est-il devenu « mesurable » ?

Le physicien et épistémologue Olivier de Beauregard (1911 - 2007) écrivait : « Avant Galilée le temps n'était pas une grandeur mesurable »<sup>1</sup>. Galilée avait pour objectif de mathématiser la physique. Dans l'ouvrage *l'Essayeur* (1623), il expliquait que l'Univers était écrit en langage mathématique.

Il mesurait les durées de chute d'une bille le long d'un plan incliné à l'aide

<sup>1</sup> *La Nature Du Temps* ; Vrin Paris 1983).



d'une horloge à eau en déterminant la quantité d'eau recueillie qu'il pesait ensuite soigneusement.

« Pour mesurer le temps, nous prenions un grand seau rempli d'eau que nous attachions assez haut ; par un orifice étroit pratiqué dans son fond s'échappait un mince filet d'eau que l'on recueillait dans un petit récipient, tout le temps que la boule descendait dans le canal. Les quantités d'eau ainsi recueillies étaient à chaque fois pesées à l'aide d'une balance très sensible, les différences et proportions entre les poids nous donnaient les différences et proportions entre les temps » (*Discours concernant deux sciences nouvelles*, Galilée, PUF 1995 p. 144).

Le temps devient progressivement une grandeur mesurable. Surtout quand, à la suite des travaux de Galilée, Newton établit la relation fondamentale de la dynamique :  $F = ma$

Cette relation faisait intervenir quatre paramètres : longueur, force, masse et temps.

Or les trois premiers paramètres sont déjà des grandeurs directement mesurables. Il est logique d'en déduire que le temps devenait une grandeur mesurable.

Plus tard H. Poincaré écrivait : « Le temps doit être défini de telle façon que les équations de la mécanique soient aussi simples que possible. En d'autres termes, il n'y a pas une manière de mesurer le temps qui soit plus vraie qu'une autre ; celle qui est généralement adoptée est seulement la plus **commode**. » *La valeur de la science* ; H. Poincaré. Champs Flammarion 1970 p. 46 et 47.

### Mais il ne faut pas confondre le temps avec sa mesure !

Jean Schneider (astronome à l'Observatoire de Paris) écrit dans la revue *Topique* de novembre 2000 :

« La mesure du temps avec une horloge est doublement trompeuse.

Ce qui est mesuré n'est pas le temps.

Elle présuppose que la variation de temps est préalable à la mesure alors qu'il s'agit d'une opération qui a pour effet de **construire le temps** ».

Un physicien britannique (Julian Barbour) va jusqu'à affirmer :

« Le temps n'est rien **qu'une mesure des positions changeantes des objets**. Un pendule oscille, les aiguilles de l'horloge avancent. »

Cette position ne fait pas l'unanimité parmi les physiciens

### L'invention du Big Bang et de l'âge de l'Univers

Après la découverte de l'expansion de l'Univers, qui se manifestait par l'éloignement de toutes les galaxies les unes des autres, Georges Lemaître se demanda ce qui se

passerait si on inversait le sens des trajectoires de chacune d'elles. Il parvint à la conclusion que l'on aboutirait à ce qu'il appelait « l'atome primitif ». Une époque où la température et la densité devenaient infinies. Certains imaginèrent qu'il s'agissait de l'instant zéro de l'Univers. Ce que Georges Lemaître dénonça fermement.

Cet instant critique fut désigné par l'expression « singularité initiale ». Lors d'une émission radio de la BBC le 29 mars 1949 le cosmologiste britannique Fred Hoyle, l'un des opposants à cette théorie, utilisa le terme Big Bang pour tourner cette théorie en dérision. Depuis lors l'expression a été consacrée.

Le Big Bang est une théorie scientifique dont la vulgarisation s'est emparée pour en faire un récit quasi mythologique mais qui n'a aucune « réalité en soi ». On arrive seulement dans une situation extrême pour laquelle les équations de la physique actuelle sont inapplicables.

On a néanmoins essayé de dater l'époque en question. Sur ce sujet le théoricien et cosmologue Marc Lachièze-Rey vient de publier un ouvrage intitulé *l'âge de l'Univers* (Éditions humenSciences mai 2021) dans lequel il écrit p. 88 :

« Parler de l'âge de l'univers doit se faire sans référence au temps [...] La cosmologie a cependant la possibilité de définir une grandeur appelée " temps cosmique " ».

Cette grandeur ne peut pas **se mesurer** car elle ne possède pas les propriétés que l'on attribue au temps. C'est une **chronologie artificielle** mais elle permet de déterminer des repères.

Actuellement ce « temps cosmique » est estimé à 13,8 milliards d'années.

Mais pour arriver à cette valeur il faut choisir un des différents modèles de Big Bang, faire « des hypothèses simplificatrices » par exemple admettre le « principe cosmologique » (donc posé a priori). Ce principe stipule que l'Univers doit-être isotrope et homogène (pas de direction ou de position privilégiée) ce qui est bien en accord avec les observations. Ce temps cosmique serait le « temps propre » que pourrait mesurer des observateurs particuliers appelés « comobiles ». Ces observateurs virtuels seraient répartis dans tout l'Univers avec leur horloge et se déplaceraient au rythme de l'expansion universelle.

Pour étudier correctement cette question il faudrait d'abord parler de la théorie de la relativité. Cette théorie, établie par Albert Einstein il y a un siècle, conduit à une conception véritablement révolutionnaire du temps et de l'espace.





# UNE HORLOGE DES PHASES DE LA LUNE

Hervé Faivre, enseignant de sciences physiques, Semur-en-Auxois

Comme le montre cet article, il est tout à fait possible de concilier, ici dans le cadre d'un club, astronomie (avec les phases de la Lune), programmation (avec un Arduino), bricolage (branchements, soudure...) et utilisation d'une imprimante 3D.

Le projet qui nous a occupé une bonne partie de l'année passée au club astronomie du collège était de construire une horloge qui indique les positions relatives du Soleil, de la Terre et de la Lune avec une aiguille imprimée en 3D et motorisée avec un rotor pas à pas, la phase de la Lune étant affichée avec des LED et un écran LCD.

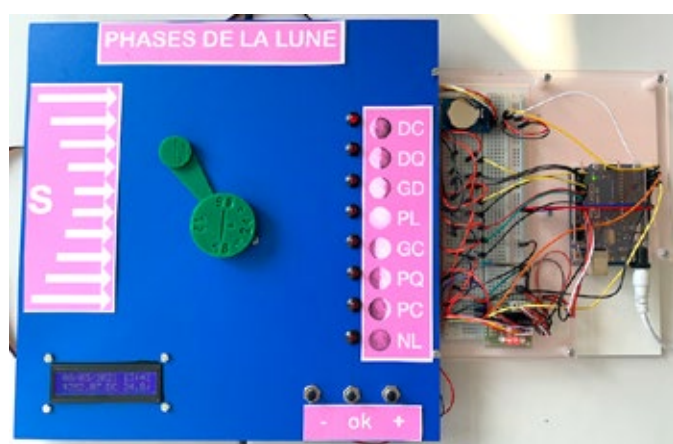


Fig.1. L'ensemble de la maquette.



Fig.2. L'écran LCD.

2 450 000)<sup>1</sup>, la phase de lune (DC) et l'âge de la Lune (24,8 j).

Sur le **disque central** qui représente la Terre, le nombre 12 pointe vers le Soleil (figure 3). C'est le midi. Le petit



Fig.3. À gauche, le Soleil S, au centre, la Terre avec une graduation en heure solaire. Au-dessus, la Lune avec sa partie éclairée à gauche et sa partie dans l'ombre à droite, hachurée.

## Vue d'ensemble de la maquette

En voici un petit résumé avec quelques détails techniques.

L'écran LCD 16x02 à 16 caractères sur deux lignes (figure 2) indique la date (08/03/2021), l'heure (13:44), le jour julien décimal (9282,07) « raccourci » (en retirant

1 Le but est de limiter le nombre de chiffres significatifs dans les calculs et à l'affichage.

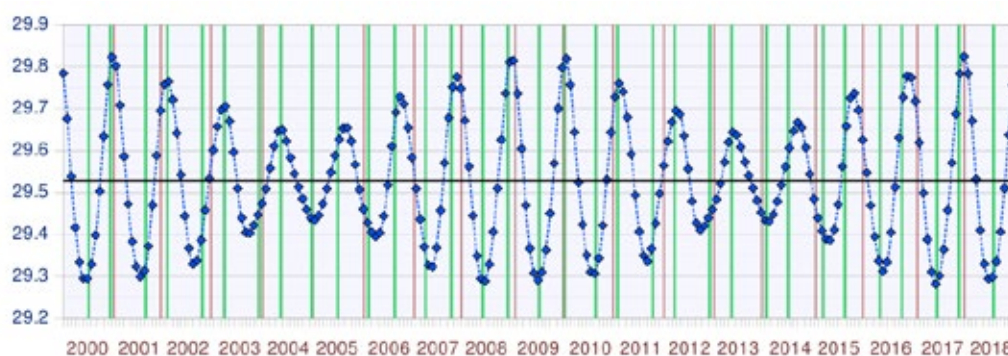


Fig.4. La durée de la lunaison peut varier de +/- 6 h comme le montre ce graphique (crédit W!B/Wikipédia).

**disque demi-hachuré** représente la Lune et sa nuit. Il pivote pour orienter la partie éclairée de la Lune dans la direction du Soleil.

Sur cette image, on voit que pour la date indiquée la Lune est en dernier croissant. L'horloge montre aussi que la Lune est bien visible au sud dans le ciel vers 7 h le matin. Ainsi, avec cet exemple, on peut se représenter ce que voit un observateur terrestre au sud vers 7 h du matin : un croissant éclairé par la gauche *i.e.* un dernier croissant.

Dans cette version simplifiée de l'horloge<sup>2</sup>, la position de la Lune est calculée à partir de la fraction de l'âge



de la Lune sur la période synodique moyenne de 29,53 jours<sup>3</sup>. L'horloge n'est donc jamais vraiment juste mais jamais très fausse ( $\pm 1$  j environ pour la phase).

Cette période moyenne de 29,53 j est découpée en 8 phases principales : NL, PC, PQ, GC, PL, GD, DQ, DC. Une LED rouge est allumée à côté de l'abréviation DC (dernier croissant) et d'un dessin de la phase correspondante (figure 5).

Fig.5. Les 8 phases.

Chaque phase durant  $29,53 \text{ j} / 8$  soit environ 3,7 j. Ainsi la LED pour la pleine Lune doit s'allumer environ 2 j avant et rester allumée presque 4 j.

Trois boutons permettent d'interagir avec la machine. Deux d'entre eux ( + et - ) permettent de modifier la date par pas de 1 jour afin de chercher la prochaine pleine lune par exemple. Le bouton Ok permet de revenir à l'heure et à la date actuelles ou de réinitialiser l'horloge avec un appui long (il n'est pas nécessaire de connaître la phase de la Lune pour démarrer, on doit juste placer l'aiguille en position de nouvelle lune avec les boutons + et - puis valider avec Ok pour enregistrer la position de référence pour le moteur lors du démarrage de l'horloge.

**Le matériel électronique** pour la maquette coûte au total moins de 25 €. Il est composé d'un Arduino Uno<sup>4</sup>, d'une horloge RTC I2C DS1307, d'un écran LCD I2C

<sup>2</sup> Une version plus complète et plus précise de l'horloge calcule la phase à partir des longitudes écliptiques géocentriques du Soleil et de la Lune à l'aide des équations données dans les *Calculs astronomiques à l'usage des amateurs* de Jean Meeus.

<sup>3</sup> 29,53 j pour une lunaison est une moyenne. Entre 2005 et 2012 elle a oscillé entre 29,82 et 29,28 (figure 4).

<sup>4</sup> Il s'agit d'un microcontrôleur qui peut être programmé. Il dispose d'entrées numériques et analogiques et de sorties numériques.

16x02, d'un moteur pas à pas 28YBJ-48 et son *driver*, de 8 LED et résistors 470  $\Omega$ , de 3 boutons poussoirs, des fils, une alimentation et une platine d'expérimentation ou « breadboard » (plaque pour connexions rapides).

### Les connexions

Les leds sont connectées aux broches 2 à 9 de sorties numériques et protégées par les résistances avec la masse (GND) en commun.

Les entrées analogiques A1, A2 et A3 sont utilisées pour les boutons reliés au GND. On définira ces entrées en INPUT\_PULLUP. Ainsi lorsqu'on presse un bouton, on force un état bas, l'Arduino réagira donc à un front descendant de potentiel sur les entrées analogiques A1, A2 et A3.

Le moteur via son contrôleur utilise les broches 10, 11, 12 et 13.

L'horloge temps réel RTC et l'écran LCD utilisent le même bus I2C : SDA (Serial Data) sur A4 et SCL (Serial Clock) sur A5 et sont alimentés entre le 5V et le GND.

Pour la **décoration du plan de l'horloge** nous avons le projet de réaliser les indications en gravant des plaques de PVC bicolores avec le robot d'usinage de la salle de technologie, mais le confinement nous a fait prendre du retard sur cette partie du projet alors nous avons étudié une suggestion de décoration presque comestible et biodégradable venue d'outre-Atlantique.

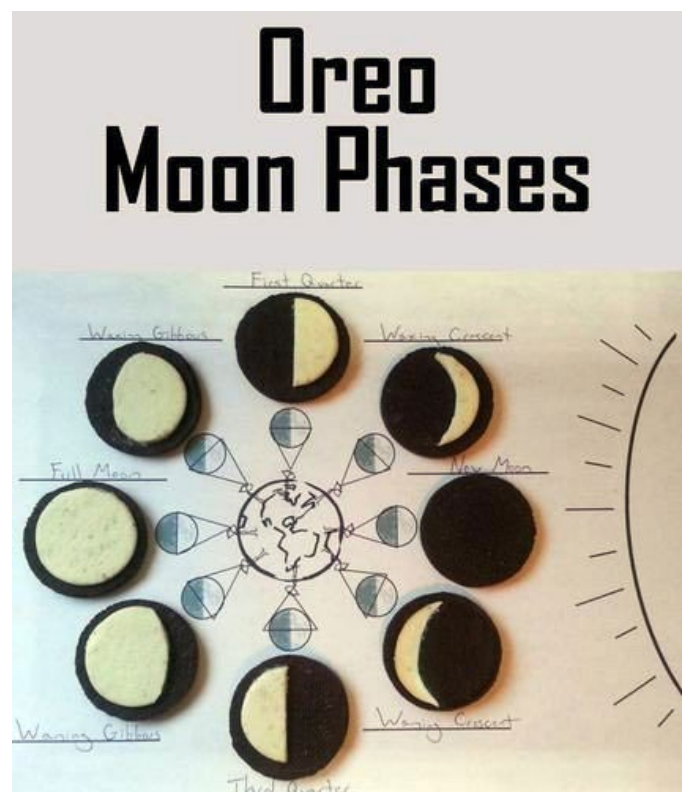


Fig.6. Ici les phases de la Lune sont représentées en gâteaux « OREO ».



Finalement, nous nous sommes contenté temporairement d'une impression couleur <sup>5</sup> sur bristol.

## Les pièces à imprimer en 3D

Les modèles ont été créés avec [www.tinkercad.com](http://www.tinkercad.com) en ligne. Pour un premier prototype, une simple flèche en

$$k = (JD - REFLUNE) / 29.53$$

On ramène ce nombre dans l'intervalle  $[0,1[$  (avec des boucles de type `while` par exemple) .

Le reste de la division euclidienne par 8 de l'arrondi à l'entier de  $8 \cdot k$  correspond à un numéro de phase entre 0 et 7.

$$\text{numero\_phase} = \text{round}(k * 8) \% 8$$

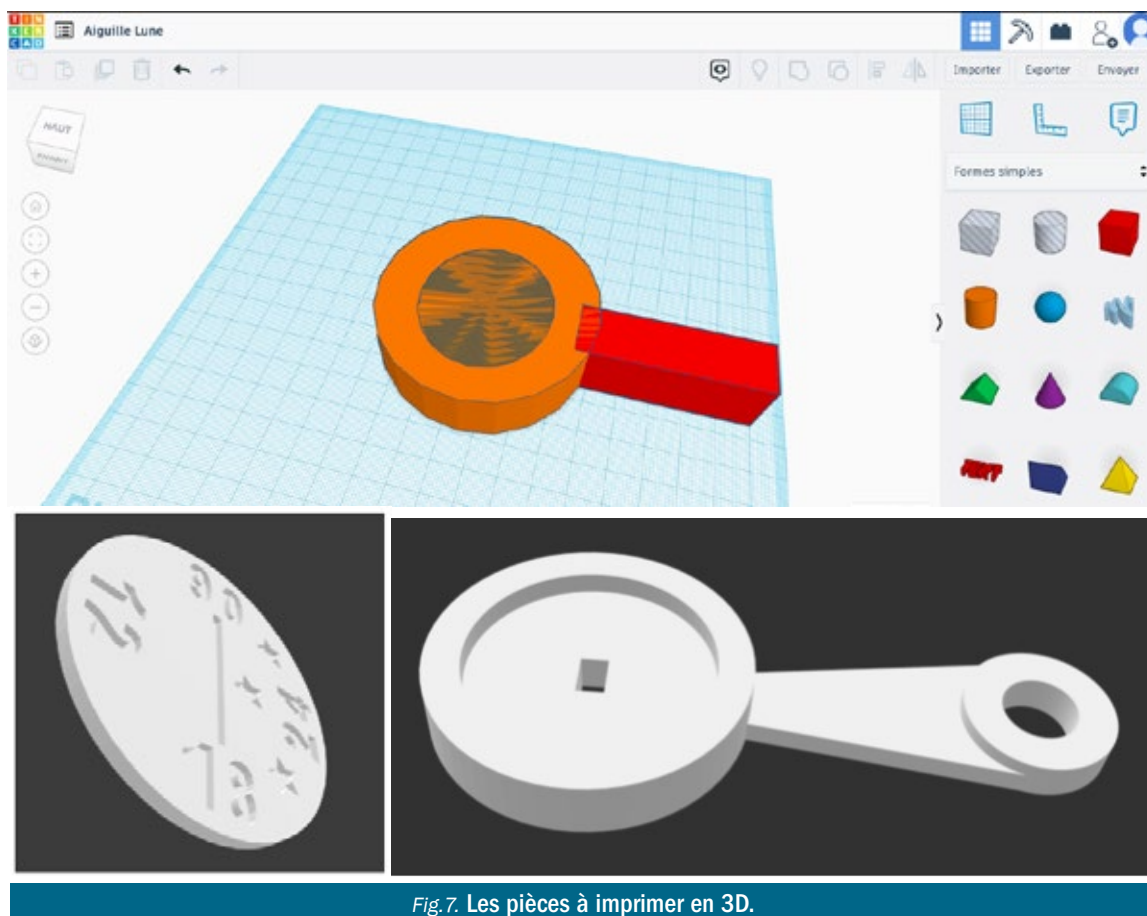


Fig.7. Les pièces à imprimer en 3D.

carton indiquait la phase. C'était déjà satisfaisant mais nous avons réquisitionné l'imprimante 3D des salles de technologie.

## Principe de fonctionnement et programmation en C++

La phase de la Lune est obtenue en comptant le nombre de jours depuis une date de référence (notée REFLUNE dans le programme) : la nouvelle lune du 13 janvier 2021 à 05 h 01 min UT (julien 2 459 227,709 03).

On commence par calculer le jour julien (variable de type float notée JD) en fonction de la date donnée par l'horloge RTC en temps universel. Le calcul est donné dans le code en fin d'article. L'algorithme est issu du livre de Jean Meeus *Calculs astronomiques à l'usage des amateurs*. On peut aussi négliger le décalage heure d'été / heure d'hiver). On calcule ensuite le nombre (décimal)  $k$  de lunaisons moyennes (29,53 j) écoulé depuis la date de référence.

<sup>5</sup> Hélas, l'imprimante était en panne de couleur. Le bleu nuit est sorti rose. On s'y fait.

Ainsi 0 est la nouvelle lune, 1 est le premier croissant, 2 est le premier quartier... 7 est le dernier croissant.

**On allume la LED** qui correspond à ce numéro de phase. Pour chaque LED dans une boucle `for (i= 0; i<8; i++)` on regarde si la LED numéro  $i$  doit être éteinte ou allumée. Cette procédure évite d'écrire les 8 cas à la suite.

**On affiche sur le LCD** la date, l'heure, le jour julien, la phase selon le numéro et le nombre  $k \times 29,53$  qui correspond à l'âge de la Lune. Pour la phase on pourrait utiliser une suite de conditions comme :

**if (numero\_phase == 0) nom\_phase= « NL » ;**

**if (numero\_phase == 1) nom\_phase= « PC » ; ...**

ce qui est facile à comprendre pour les collégiens, ou même créer un (switch / case) sur la variable `numero_phase` mais, après quelques explications, il s'est avéré plus rapide d'aller chercher dans une liste déclarée en constante :

**nom\_phase[numero\_phase]**

Il reste à gérer la **rotation du moteur** pour placer correctement la Lune. On est aidé par le driver du stepper (moteur pas à pas) en lui indiquant simplement le nombre

de pas à réaliser dans un sens ou l'autre. Ici un tour complet de  $360^\circ$  correspond à  $32 \times 64 = 2\,048$  pas.

Pour se positionner à la bonne phase, on doit indiquer au moteur un nombre de pas égal à  $2\,048 \times k / 29,53$  par rapport à la position de référence nouvelle lune. Cela ne paraît pas trop compliqué a priori mais il existe une contrainte de taille : le moteur n'a pas de « mémoire » de sa position de référence. On devra donc gérer cela en créant une variable qui sera la mémoire de la position actuelle, la mettre à jour à chaque mouvement et on devra donc passer par une étape d'initialisation pour donner la référence au démarrage de l'horloge.

Quelques petites améliorations optionnelles :

- afin d'éviter au moteur (assez lent) de réaliser plus d'un demi-tour dans un mouvement on peut calculer l'angle entre la position initiale et finale et si cette valeur dépasse  $180^\circ$  on indique alors un ordre de rotation dans l'autre sens égal à  $(360^\circ - \text{l'angle})$  ;
- afin de faire un petit effet, on peut précéder chaque changement par un petit mouvement de recul qui sera rattrapé ensuite dans l'ordre de rotation.

## L'interaction avec les boutons

**Les boutons + et -** permettent de changer la date par pas de 1 j. La date est alors déconnectée de l'horloge temps réel RTC (suspension du mode automatique) et l'heure est fixée à midi.

**Le bouton Ok** permet de revenir au mode automatique piloté par l'horloge RTC. Un appui long sur Ok démarre la séquence d'initialisation qui se fait normalement au démarrage de l'horloge.

**Pour initialiser l'horloge** on utilise les boutons (+) et/ou (-) pour placer la Lune en position de nouvelle lune puis on valide avec **Ok**.

On utilise ici les PIN A1, A2 et A3 qui sont des entrées analogiques mais dans ce montage elles sont utilisées comme des entrées numériques avec un digitalRead (ButtonPin) qui retourne un état LOW lorsqu'on presse le bouton. En effet, en appuyant sur le bouton, on force la mise à la masse GND de cette entrée qui est maintenue en temps normal à l'état HIGH dans sa déclaration comme INPUT\_PULLUP.

```
philune $
1
2 //bibliothèques
3 #include <LiquidCrystal_I2C.h> // Ecran LCD sur le bus I2C
4 #include <DS3231.h> // Horloge RTC
5 #include <math.h>
6 #include <Stepper.h> // Driver du moteur pas à pas
```

Fig.8. Pour le code C++ dans l'IDE ARDUINO, des bibliothèques sont nécessaires (écran LCD, horloge RTC, math, driver du moteur pas à pas).

## Quelques pistes d'améliorations possibles, pour un prochain projet

Avec un Arduino MEGA on obtient plus de ports d'entrée/sortie, de puissance et de mémoire. Il est possible d'améliorer le dispositif en tous points :

- utilisation d'une bibliothèque ephemeris.h (trop lourde pour la version UNO de l'Arduino) basée sur les calculs de Jean Meeus, la VSOP87 et ELP2000<sup>6</sup> ; on peut réaliser des calculs plus rapides et précis des positions Terre, Lune et Soleil ;
- affichage TFT de la phase de la Lune avec l'inclinaison de la Lune par rapport à l'horizon ;
- utilisation d'un GPS pour la position et le temps universel ;
- affichage des phases sur une matrice de LED ;

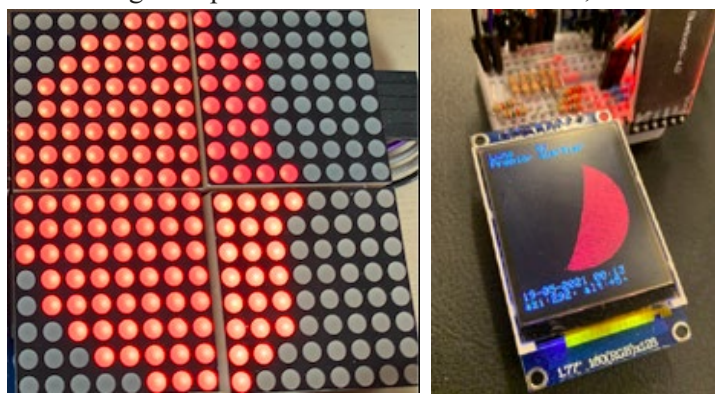


Fig.9. Affichage de la phase sur une matrice de leds  $16 \times 16$  à gauche, et sur un écran TFT  $128 \times 160$  avec l'inclinaison par rapport à l'horizon à droite.

- Les broches D0 et D1 étant réservées pour la communication avec le port série pendant la phase de test, il reste une broche analogique A0 libre. Elle pourrait être utilisée dans une amélioration pour y connecter une sonde de Hall. Elle détecterait le passage d'un petit aimant attaché à l'aiguille pour créer une position de référence du moteur pas à pas pour simplifier la procédure d'initialisation ;
  - éphémérides plus précises des planètes, de la Lune et du Soleil (lever/coucher, coordonnées ALT/AZI ou RA/Dec, avec distance) ;
  - capteurs météo ;
- etc.

On peut trouver toutes sortes de composants pour des coûts très modiques. En fait, la limite est l'imagination et les élèves du club astro n'en manquent pas.

## L'investissement des élèves

Bien impliqués dans la partie programmation, dessin 3D et astro, Ils ont particulièrement bien aimé la partie

6 Variations séculaires des orbites planétaires : VSOP est un modèle numérique utilisé pour les calculs des positions des planètes du Système solaire, de Mercure à Neptune. La théorie ELP2000 permet de calculer avec une précision satisfaisante la position de la Lune.



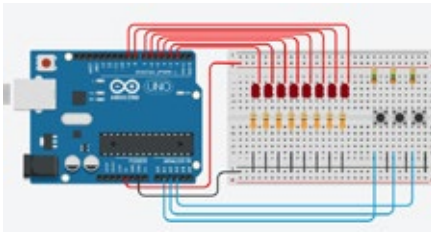


Fig.10. Simulation d'Arduino avec Tinkercad.

réalisation quand il s'est agi de percer, souder, coller, brancher les fils...

Pour la conception des objets 3D et pour le schéma de montage et simulation d'Arduino, nous avons été bien aidés avec le logiciel de conception en ligne tinkercad.com. La conception d'objet 3D est vraiment à la portée des élèves du collège. L'export des fichiers en .stl, directement utilisables par le logiciel CURA de l'imprimante 3D, est très rapide (voir la figure 7).

La même application permet également de simuler des montages avec Arduino (figure 10), de programmer avec des blocs (type Scratch). La conversion en code C++ est automatique.

C'est très pratique et intuitif pour les élèves les plus jeunes. C'est notamment les élèves de 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> qui se sont le plus intéressés au montage et à la découverte du code. Ils avaient principalement comme objectif de faire réagir l'Arduino aux signaux d'entrée et faire allumer des leds en sortie (figure 11).

Pour les plus aguerris, c'est la gestion du moteur qui a été le plus gros du travail. En partant d'exemples simples de code C++ et non plus en blocs, ils ont cherché les possibilités de modifier les valeurs, assembler des morceaux pour faire correspondre un angle de rotation et une phase de lune.

Au cours du projet, de nombreuses notions d'astronomie de mathématiques et de code ont été abordées et adaptées selon les niveaux (calendriers, lunaison et phases de la Lune, angles, proportionnalité,

division euclidienne, conditions, boucles). L'assemblage final du code est bien sûr trop complexe pour les collégiens. Lors de la lecture expliquée, l'objectif principal était surtout comprendre l'intérêt de créer des fonctions que l'on peut appeler à chaque fois que nécessaire et qui retournent une valeur (voir l'encadré plus loin pour l'exemple de fonction qui retourne le jour julien à partir d'une date JJ,MM,AAAA,HH,MN) ou une action (rotation du moteur en fonction d'un angle donné en argument).

Plutôt que tinkercad.com, pour coder les élèves ont préféré l'application proposée par vittascience.com plus conviviale, elle permet simuler le fonctionnement et de téléverser directement dans l'Arduino pour tester le code.

L'apprentissage du code appliqué avec un microcontrôleur rend la programmation très concrète, notamment pour les conditions et les entrées/sorties : par exemple, *if* (si) le bouton envoie un signal bas sur l'entrée n, alors allume une led en envoyant un état haut sur la sortie *p* *else* (sinon) il faut l'éteindre. De même pour les boucles *for* (faire jusqu'à) ou *while* (faire tant que) qui sont souvent utilisées aussi.

Ça s'allume, ça bouge, ça fait du bruit. Les élèves se sont montrés très créatifs dans cette phase de découverte.

Nous ne tarderons pas à trouver un prochain projet.

### Un extrait du code

```
##### CALCUL DU JOUR JULIEN
#####
// fonction de conversion d'une date en
jour julien décimal à partir de DD/MM/
YYYY HH:MN
// jour julien raccourci (-2450000)
pour éviter les problèmes de chiffres
significatifs des float (ou double) sur
Arduino
float Julien (int DD, int MM, int YY, int
HH, int MN) {
    float JJ = floor(365.25 * (((MM < 3) ?
YY - 1 : YY) + 4716))
    + floor(30.6001 * (((MM < 3) ? MM +
12 : MM) + 1))
    + DD + 2 - floor(((MM < 3) ? YY - 1 :
YY) / 100.0)
    + floor((floor(((MM < 3) ? YY - 1 :
YY) / 100.0)) / 4.0) - 1524.5 - 2450000;
    JJ = JJ + (HH + MN / 60.0) / 24.0;
    return JJ;
}
```

Le code complet peut être téléchargé sur le site du Clea ([www.clea-astro.eu](http://www.clea-astro.eu)) en cliquant sur Cahiers Clairaut n° 176 Hiver 2021.

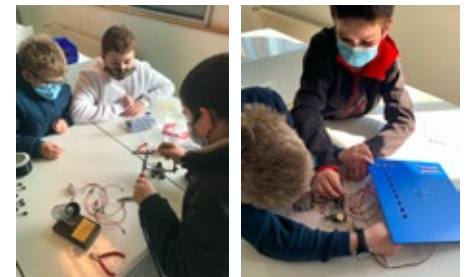


Fig.12. Les élèves en action.

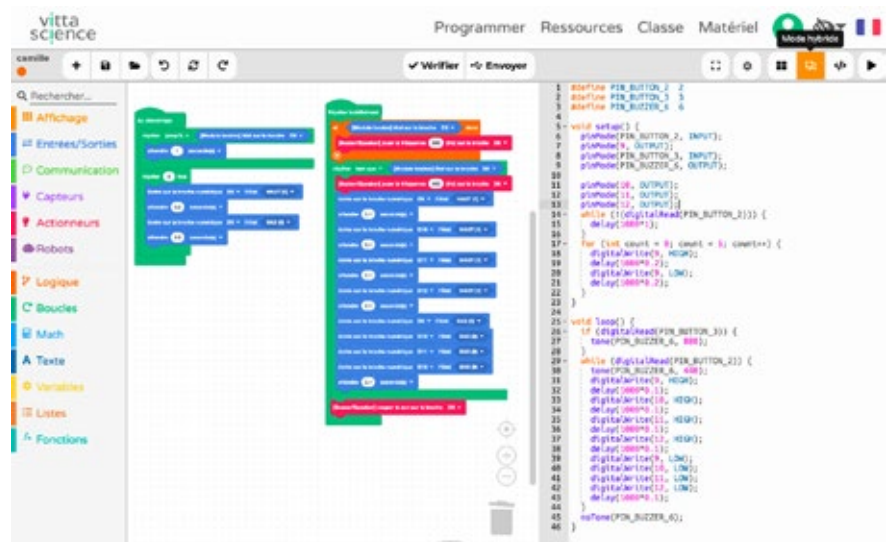


Fig.11. Initiation au codage en bloc et en lignes avec Vittascience.com.

# SYZYGIES, CONJONCTIONS, PRÉCESSIONS

## RELATIONS ENTRE DIVERSES PÉRIODES EN ASTRONOMIE

Daniel Descout, Deuil-la-Barre

*Comment à partir de la lecture d'une bonne vieille horloge à aiguilles on peut retrouver les lois qui régissent le mouvement des astres Soleil, Terre, Lune, engendrant la grande horloge astronomique. Un retour aux sources du temps par excellence.*

Observée depuis la Terre, la Lune présente des phases qui se succèdent périodiquement (figure 1). L'intervalle de temps entre deux nouvelles Lunes consécutives varie de 29,28 jours à 29,82 jours environ et est nommé *lunaison*. La *lunaison moyenne*, valeur moyenne calculée sur plusieurs centaines de lunaisons, vaut plus précisément 29,530 589 jours (un jour, ou jour solaire moyen, vaut 86 400 secondes).



Fig.1. Les phases de la Lune (crédit IMCCE / P Rocher).

Cette succession des phases lunaires est directement liée à l'orientation de l'axe [Terre – Lune] par rapport à l'axe [Terre – Soleil], considéré comme axe fixe. Les Nouvelles Lunes surviennent lors d'une syzygie, ou alignement presque parfait du trio [Soleil – Lune – Terre]. La lunaison moyenne est aussi nommée *période synodique* lunaire (notée  $L_s$  par la suite).

Dans un référentiel géocentrique orienté par rapport aux étoiles dites lointaines, l'axe [Terre – Lune] effectue une rotation avec la *période sidérale* lunaire (notée  $L^*$ ). La valeur moyenne de  $L^*$  est 27,321 662 jours. Dans un tel référentiel, l'axe [Terre – Soleil] effectue une rotation avec la période dite *année sidérale* terrestre (notée  $T^*$  ensuite). Sa valeur moyenne est 365,256 363 jours.

Les trois périodes ( $L_s$ ,  $L^*$  et  $T^*$ ) sont liées. La relation entre elles s'exprime par une formule littérale applicable à de nombreux autres phénomènes périodiques en astronomie, comme les conjonctions planétaires, la précession des équinoxes ou la succession des éclipses.

Après avoir démontré cette formule en choisissant un exemple hors du domaine de l'astronomie (voir encadré), cet article se propose de montrer la généralité de ses applications en astronomie.

### Encadré

#### Coïncidence d'aiguilles

À l'école élémentaire, au fond de ma classe, à bonne hauteur, était installée la maîtresse du temps, une horloge à aiguilles. Lors de certains après-midis de juillet, quand la chaleur incitait à céder à une certaine torpeur, le dernier quart d'heure avant la sonnerie libératrice de 16 h 30 semblait s'allonger démesurément. Alors inattentif aux dernières recommandations du maître d'école, l'esprit s'évadait. Et si la sonnerie venait à retentir un peu plus tôt ! Par exemple, juste lorsque la grande aiguille coïncide avec la petite aiguille ! Avec combien de minutes d'avance serions-nous libérés ?



Fig.2. À midi, petite et grande aiguille sont superposées. Une autre superposition est représentée, aux environs de 4 h 22.

Une façon (parmi d'autres) de répondre à cette question consiste à chercher les instants de toutes les coïncidences entre la grande aiguille (celle qui donne la succession des minutes, en vert sur les figures 2, 3, 4 et 5) et la petite aiguille (celle qui donne la succession des heures, en rouge sur ces mêmes figures).



Les deux aiguilles tournent avec une vitesse angulaire constante, ce qui revient à mesurer le temps grâce à des mesures d'angles balayés par les aiguilles, toutes les deux articulées au même point, le centre de la pendule. Les périodes de rotation ( $P$  et  $G$ ) de la petite et de la grande aiguille sont respectivement de douze heures et d'une heure. La vitesse angulaire de la petite aiguille ( $1/P$ ) est d'un tour en 12 heures ( $1/12$  avec l'unité tour par heure, ou tour/h) ; celle de la grande aiguille ( $1/G$ ) est d'un tour en 1 heure (1 tour/h).

Si l'on choisit comme origine des temps le midi de la pendule, on choisit de fait l'origine des angles comme la demi-droite matérialisée par les deux aiguilles en coïncidence devant le nombre « 12 » (coïncidence zéro par convention ; figure 3).



Fig.3. L'origine des angles est le haut de la pendule. Après un temps  $t$ , la petite aiguille a parcouru un angle  $\alpha(t)$ , représenté en rouge, et la grande aiguille un angle  $\beta(t)$ , en vert. Le chiffre 1 en bleu indique la première coïncidence après midi.

À un instant  $t$  ( $> 0$ , quelconque), la petite aiguille a tourné d'un angle  $\alpha(t) = t/P$ , et la grande aiguille a tourné d'un angle  $\beta(t) = t/G$  (figure 3). La première coïncidence après midi entre les deux aiguilles survient lorsque la grande aiguille, après avoir bouclé un tour, rattrape la petite aiguille. Soit  $c$  l'instant de cet événement. Pour cette coïncidence :  $\beta(c) = 1 + \alpha(c)$  (angles exprimés en tours).

Autrement écrit :  $c/G = 1 + c/P$  ;  
ou encore :  $c = 1/(1/G - 1/P)$ .

La deuxième coïncidence après midi survient (à l'instant noté  $c'$ ) lorsque la grande aiguille, après avoir bouclé deux tours, rattrape une deuxième fois la petite aiguille. Soit :  $\beta(c') = 2 + \alpha(c')$ .

Autrement écrit (en tours) :  $c'/G = 2 + c'/P$  ;  
ou encore :  $c' = 2/(1/G - 1/P) = 2c$ .

La succession des coïncidences est donc périodique et de période  $C = c$ , avec :

$$1/C = 1/G - 1/P \text{ (équation 1)}$$

Numériquement :  $C = 1/(1 - 1/12) = 12/11$  (heure), ou environ 1 h 05 min 27,3 s.

La quatrième coïncidence après midi survient à l'instant  $t = 4C = 48/11 \approx 4$  h 21 min 49,09 s.

Cette coïncidence survient donc 8 minutes et 10,91 s avant 16 h 30 min.

L'équation 1, entre les périodes  $P$ ,  $G$  et  $C$ , est transposable en astronomie, et s'avère très utile. Nous serons amenés à l'adapter dans le cas d'aiguilles contrarotatives, ou en tenant compte d'anticoïncidences.

### Cas des anticoïncidences

Appelons « anticoïncidence » la configuration où les deux aiguilles sont dans le prolongement l'une de l'autre (figure 4).



Fig.4. Deux cas d'anticoïncidence des aiguilles : à 6 h et à environ 8 h 11.

Il est possible de montrer (par la même méthode que précédemment) que les anticoïncidences se succèdent périodiquement (avec une période notée  $A$ ), et que  $A = C$ .

L'instant de l'anticoïncidence de référence est 6 h 00 (par choix de simplicité). Il est intercalé entre les instants de la cinquième coïncidence ( $5C = 60/11$  h) et de la sixième ( $6C = 72/11$  h). Et il partage l'intervalle entre ces deux coïncidences en deux intervalles égaux ; en effet :

$$(5C + 6C)/2 = 132/22 = 6,0 \text{ h.}$$

**Conséquence** : les anticoïncidences et les coïncidences se succèdent à intervalles réguliers, par alternance, avec une période  $C/2$ . Ce résultat est à reprendre utilement dans le cas des éclipses de Soleil et de Lune (voir la partie consacrée aux « saisons d'éclipses »).

## Relation entre les périodes sidérale et synodique lunaires moyennes

La transposition astronomique du schéma de la figure 3 consiste à placer la Terre au centre du cadran de la pendule. La sphère céleste est alors la sphère circonscrite à la pendule, et le cadran est assimilé au plan de l'écliptique. La petite aiguille représente l'axe [Terre → Soleil], et la grande aiguille représente l'axe [Terre → Lune]. Ce faisant, nous confondons le plan orbital lunaire et le plan de l'écliptique, ce qui équivaut à prendre comme nul un angle de 5 degrés environ.

Le mouvement de rotation régulier et périodique des aiguilles est associé aux mouvements apparents du Soleil et de la Lune vus de la Terre, mouvements de révolution qui se font dans le même sens, et mouvements dont on néglige les irrégularités pour ne considérer que les mouvements moyens.

L'année terrestre sidérale moyenne ( $T^*$ ) est l'équivalent de la période  $P$  de la petite aiguille. La période sidérale lunaire moyenne ( $L^*$ ) est l'équivalent de la période  $G$  de la grande aiguille. Et la période synodique lunaire moyenne ( $L_s$ ) est l'équivalent de la période  $C$  des coïncidences d'aiguilles. Compte tenu de ces approximations et de ces correspondances, on écrit :

$$1/L_s \approx 1/L^* - 1/T^* \text{ (équation 2)}$$

Les périodes moyennes  $L_s$  et  $T^*$  sont connues par des mesures directes (valeurs respectives 29,531 et 365,256 jours), on en déduit la période  $L^* = 27,322$  jours, ce que l'on peut vérifier par l'observation de la Lune devant les étoiles.

## Relation entre les périodes terrestres : jour sidéral, jour solaire moyen et année sidérale

Dans un référentiel lié à la Terre (topocentrique), le jour sidéral (noté  $D^*$ ) est la durée qui sépare deux passages consécutifs d'une même étoile au méridien local. Cette période a une durée de 86 164,1 s, à quelques millisecondes près.

Le jour solaire moyen (que l'on notera  $D_{sm}$ ) diffère du jour sidéral ; c'est la moyenne annuelle du jour solaire vrai, qui est variable au cours de l'année. Le jour solaire moyen vaut 86 400 s. La différence entre ces deux valeurs est due au mouvement apparent du Soleil par rapport aux étoiles fixes, qui effectue un parcours complet de l'écliptique en une année sidérale (période notée  $T^*$ ). La durée moyenne de l'année sidérale est de 365,256 363 jours ( $D_{sm}$  de 86 400 s).

La relation existant entre ces trois périodes peut être déduite de l'équation 1 (encadré page précédente), au prix d'une transposition astronomique du dispositif de la pendule à aiguilles. La figure 5 illustre le principe de cette « horloge astronomique », imaginée sur une Terre dépouillée de son atmosphère, avec l'aide du logiciel

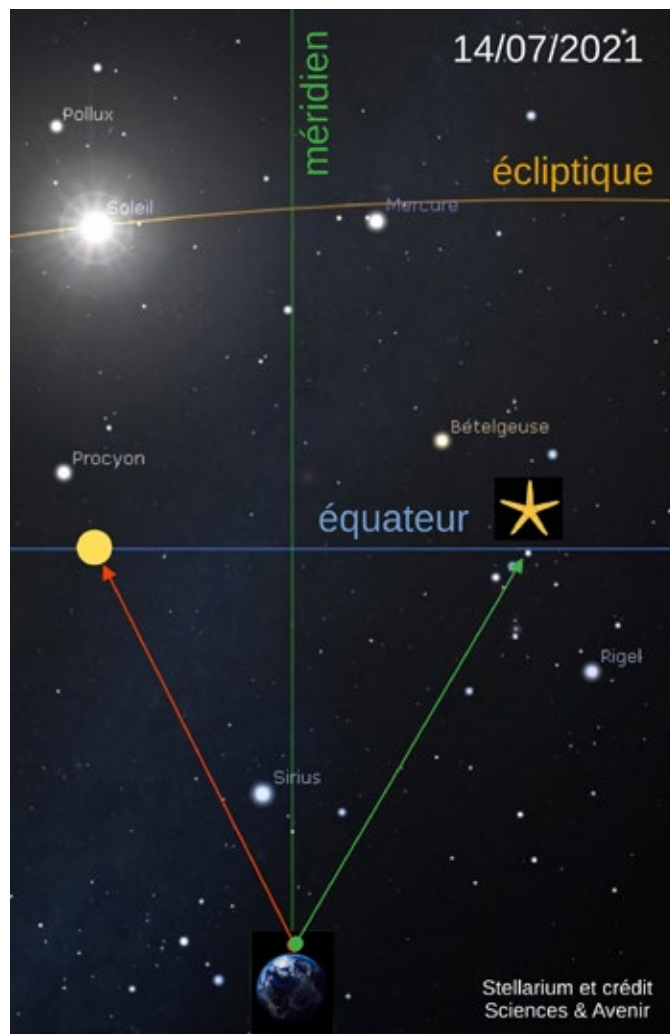


Fig.5. Une horloge astronomique. La Terre est considérée comme fixe, la grande aiguille est dirigée vers une étoile proche de l'équateur, la petite aiguille vers le Soleil moyen.

Stellarium. L'équateur est assimilé au cadran de la pendule, et son intersection avec le demi-plan méridien local définit l'axe qui sert d'origine pour la mesure des angles (dans le plan équatorial).

Une étoile qui se trouve proche de l'équateur (étoile de déclinaison quasi nulle, comme Mintaka,  $\delta$  Ori, de la constellation d'Orion) parcourt l'équateur, entraînée par le mouvement apparent céleste, et effectue exactement un tour pendant sa période  $D^*$ . Pour la repérer et la suivre, nous lui affectons la grande aiguille de la pendule (la plus rapide, verte), ainsi que le symbole et la période  $G$ .

Un Soleil fictif, parcourant l'équateur à vitesse angulaire constante, bouclera un tour en un jour solaire moyen. Il prendra, jour après jour et régulièrement, du retard par rapport à l'étoile que nous suivons. Nous lui affectons la petite aiguille de la pendule (la plus lente, rouge), ainsi que la période  $P$ . Sur la figure 5, les situations du Soleil vrai et de la constellation d'Orion sont représentées à la date du 14/07/2021. Le Soleil fictif est représenté par un disque jaune.

Le mouvement diurne entraîne les astres d'est en ouest (de gauche à droite sur la figure 5).



Si nous choisissons l'origine des temps ( $t = 0$ ) lorsque le Soleil fictif et l'étoile Mintaka sont superposés (même ascension droite ; en 2021, cet événement s'est produit le 14 juin), les deux aiguilles de repérage sont alors en coïncidence. La coïncidence suivante se produira quand le Soleil fictif retrouvera la même ascension droite que celle de Mintaka, soit au bout d'une année sidérale, analogue de la période C des coïncidences. L'équation 1 transposée d'écrit donc :

$$1/T^* = 1/D^* - 1/D_{sm} \text{ (équation 3)}$$

Pour l'application numérique, nous choisissons comme unité de temps le jour (de 86 400 s), donc  $D_{sm}$  est égal à l'unité, exactement. Avec  $T^* = 365,256$  j, et  $D^* = 0,997\,270$  j, nous vérifions la relation :  $1/D^* - 1/T^* = 1$  (aux erreurs d'arrondi près).

Le jour solaire moyen a servi, jusqu'en 1960, de support pour la définition de l'unité de temps du Système international, la seconde, avant l'avènement des horloges atomiques.

### Relation entre les périodes sidérale et synodique des planètes

La transposition astronomique du schéma de la figure 3 consiste à considérer que le cadran de la pendule est l'analogue du plan de l'écliptique. Les graduations (fixes) du cadran sont les analogues des étoiles fixes permettant de définir le référentiel héliocentrique. Le centre du cadran est la place du Soleil.

Nous faisons l'approximation selon laquelle les 8 planètes du Système solaire ont des orbites circulaires coplanaires centrées sur le Soleil, et décrites à vitesse constante (système simplifié de Copernic). Nous considérons le cas du couple [Terre - Vénus] (figure 6).

La direction [Soleil → Terre]

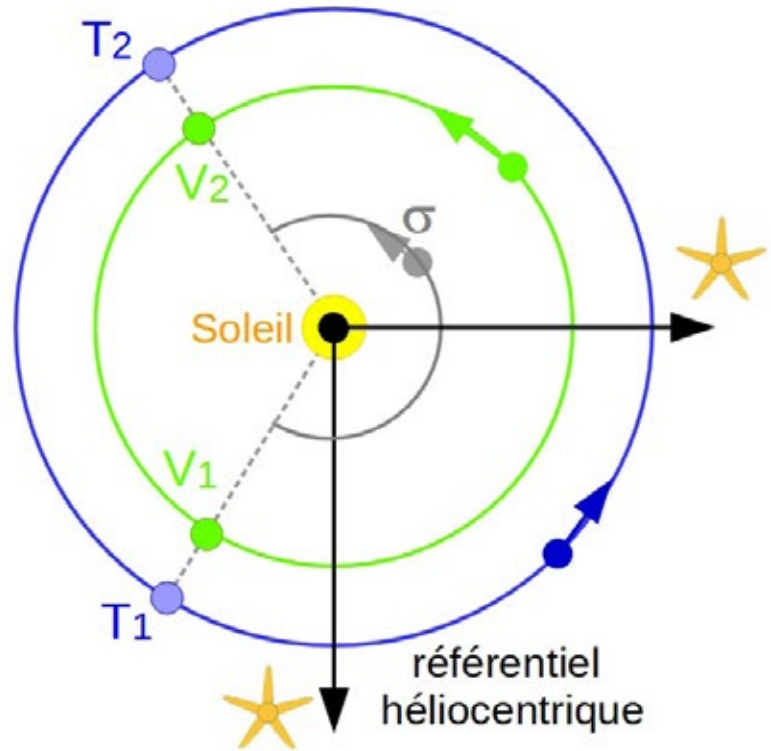


Fig.6. Deux conjonctions inférieures de Vénus (alignements Terre Vénus Soleil dans cet ordre).

est l'équivalent de la petite aiguille de la pendule (celle qui tourne le plus lentement). On remplacera P par la période orbitale  $T^*$ , année sidérale terrestre, dans l'équation 1.

La figure 6 représente deux conjonctions inférieures de la planète Vénus vue de la Terre. Une conjonction inférieure est l'équivalent d'une coïncidence d'aiguilles.

La durée qui sépare les alignements  $[T_1 \rightarrow V_1 \rightarrow \text{Soleil}]$  et  $[T_2 \rightarrow V_2 \rightarrow \text{Soleil}]$  est la période synodique de Vénus (notée  $V_s$ ) qui remplacera C dans l'équation 1.

Ce qui donne la relation :

$$1/V_s = 1/V^* - 1/T^* \text{ (équation 4)}$$

Numériquement :  $T^* = 365,256$  jours ;  $V^* = 224,701$  jours ; ce qui donne par l'équation 2 :  $V_s \approx 583,92$  jours.

Cela signifie que tous les 584 jours environ, nous voyons Vénus dans la même disposition par rapport à la Terre et au Soleil<sup>1</sup>.

La formule relative aux planètes extérieures à l'orbite terrestre est obtenue en inversant le rôle des aiguilles (la grande aiguille sera attribuée à la Terre). Ce qui donne par exemple avec la période sidérale  $J^*$  et la période synodique  $J_s$  de Jupiter :

$$1/J_s = 1/T^* - 1/J^* \text{ (équation 4 bis)}$$

Numériquement : avec  $J^* = 4\,332,59$  jours, on en déduit  $J_s \approx 398,88$  jours.

Jupiter était à l'opposition le 20 août 2021, elle repassera à l'opposition le 26 septembre 2022, 402 jours plus tard.

<sup>1</sup> Par exemple, Vénus était élongation maximale Est le 29 octobre dernier (visible le soir). La prochaine aura lieu le 4 juin 2023, 583 jours plus tard.

À l'époque de Copernic, les périodes connues étaient l'année sidérale  $T^*$  et les périodes synodiques des planètes ( $V_s$  et  $J_s$ ), toutes mesurables. Les équations (4) et (4bis) permirent alors de calculer les périodes sidérales des planètes,  $V^*$  et  $J^*$ , inconnues car non directement mesurables.

### Période moyenne de succession des éclipses : la saison d'éclipse

Si les plans orbitaux de la Lune et du Soleil vus de la Terre étaient confondus, il se produirait, au cours de chaque lunaison, une éclipse de Lune (par l'ombre de la Terre, à la Pleine Lune) et une occultation du Soleil (par la Lune formant écran, lors de la Nouvelle Lune). Comme le plan orbital de la Lune est incliné par rapport au plan de l'écliptique (figure 7), les éclipses de Lune et les occultations du Soleil (englobées sous le terme générique « éclipses ») ne surviennent que lorsque la Lune passe aux nœuds de son orbite, ou en est à proximité.

L'observation des dates des éclipses montre qu'elles sont groupées généralement par deux (une éclipse de Soleil et une de Lune, séparées par une demi-lunaison), rarement par trois (triplet formé d'une éclipse de Soleil encadrée par deux éclipses de Lune (LSL), ou l'inverse (SLS), réparties sur une durée d'une lunaison).

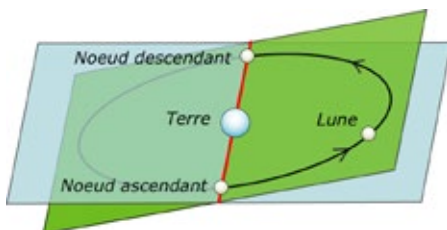


Fig.7. Le plan de l'orbite terrestre (en bleu) et le plan de l'orbite de la Lune (en vert) se coupent suivant la ligne des nœuds (en rouge).

Les groupes de 2 ou 3 éclipses sont séparés par des intervalles sans éclipses d'une durée proche de 5 lunaisons.

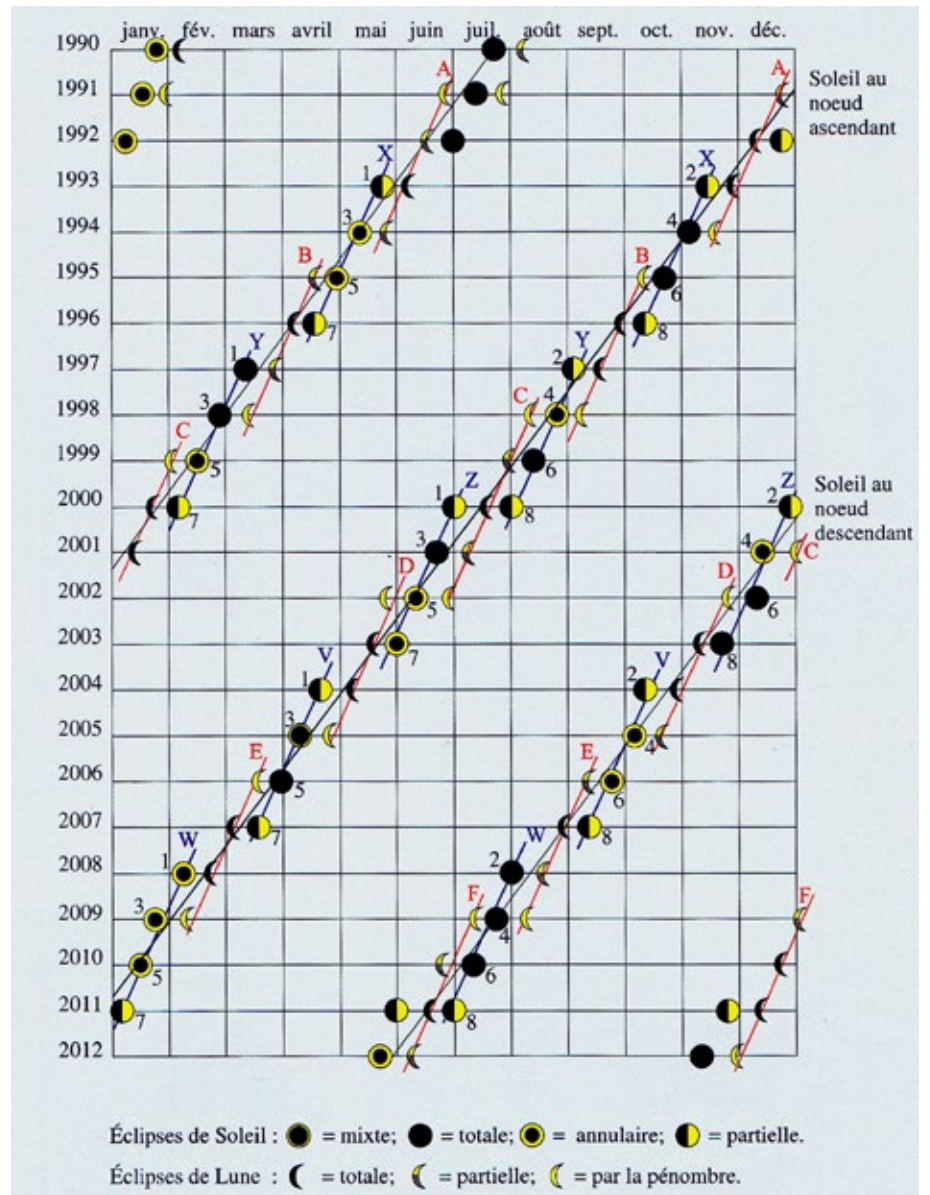


Fig.8. Tableau récapitulatif de toutes les éclipses de Soleil et de Lune de 1990 à 2012 (p 33 du livre de l'IMCCE *Les éclipses de Soleil* éditions EDP Sciences) crédit P.Rocher.

Les époques propices à ces éclipses groupées sont séparées par une durée moyenne nommée « saison d'éclipses » (notée E par la suite). *La saison d'éclipses correspond au temps mis par le Soleil, vu de la Terre, pour passer (en alignement) d'un nœud de l'orbite lunaire à l'autre*, soit un peu moins d'une demi-année.

La durée qui sépare deux passages consécutifs de la Lune au même nœud (ascendant ou descendant) est nommée *période draconitique* (notée  $L_d$ ). Sa valeur moyenne est  $L_d = 27,212\ 221$  jours. L'ordre de grandeur attendu pour la période moyenne E est donc celui de  $6 L_d$  ( $= 163$  j) ou de  $6 L_s$  ( $= 177$  j).

La droite qui joint les deux nœuds

de l'orbite lunaire (ou « *ligne des nœuds* ») possède un mouvement de rotation dans le sens rétrograde par rapport aux étoiles lointaines (on parle de précession nodale), de période moyenne  $18,600 T^*$  (période notée  $L_n$  par la suite).

### Le Soleil sur la ligne des nœuds

La transposition astronomique du schéma de la figure 3 s'appuie sur le schéma de la figure 9.

La Terre est au centre du cadran. Les nœuds ascendants sont notés  $N_1$  et  $N_2$ , les nœuds descendants  $N'_1$  et  $N'_2$ . Le schéma représente deux coïncidences de l'axe [Terre – Soleil] avec la ligne des nœuds :  $TS_1N_1$  et  $TS_2N_2$ . La grande aiguille



de la pendule, de période la plus courte, doit être associée à l'axe [Terre → Soleil] : on remplacera G par  $T^*$  dans l'équation 1.

La petite aiguille de la pendule, de période la plus longue, doit être associée à la ligne des nœuds : on devrait remplacer P par  $L_n$ . Mais le sens rétrograde de la précession impose de récrire l'équation 1 avec des aiguilles contrarotatives (tournant en sens inverse l'une par rapport à l'autre).

On démontre alors que :

$$1/C = 1/G + 1/P \text{ (équation 1 bis).}$$

Après remplacement de P par  $L_n$  dans l'équation 1 bis, la formule des coïncidences C devient :

$$1/C = 1/T^* + 1/L_n.$$

La période E est la durée qui sépare un alignement [Terre→Lune→Soleil] (analogue d'une coïncidence) et l'alignement suivant [Lune←Terre→Soleil] (analogue d'une anticoïncidence).

Il s'ensuit (voir encadré) que  $E = C/2$ .  
Finalement :

$$1/2E = 1/T^* + 1/L_n \text{ (équation 5)}$$

Numériquement, avec

$$L_n = 18,600 T^* :$$

$$E = (9,3/19,6)T^* = 173,31 \text{ jours.}$$

### La Lune sur la ligne des nœuds

En reprenant l'analyse précédente (et sa figure 9), et en remplaçant le Soleil par la Lune, dans l'équation 1 bis, la période  $T^*$  est remplacée par la période  $L^*$ , la période  $L_n$  est conservée, et la période des coïncidences devient la période draconitique  $L_d$ . Donc :

$$1/L_d = 1/L^* + 1/L_n \text{ (équation 6)}$$

### La saison d'éclipses en fonction des périodes lunaires

La combinaison des équations 2, 5 et 6 permet d'éliminer les périodes  $T^*$ ,  $L^*$  et  $L_n$ .

Finalement, on démontre que :

$$1/2E = 1/L_d - 1/L_s \text{ (équation 7)}$$

Numériquement : avec  $L_d = 27,212 2$

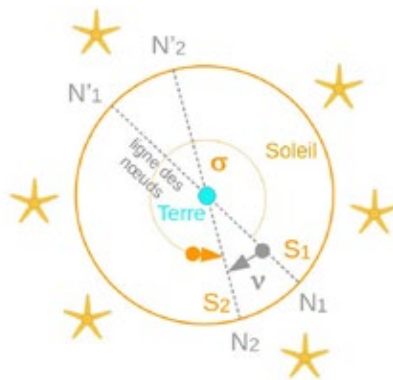


Fig.9. Le Soleil sur la ligne des nœuds.

jours et  $L_s = 29,530 6$  jours, on retrouve :  $E = 173,31$  jours.

### Périodicités multiples de E et saros

L'examen détaillé du tableau des éclipses (figure 8) permet d'identifier plusieurs périodes d'éclipses de durées proches d'un multiple de la saison d'éclipses E.

En particulier, en 1991 et en 2009 se sont produits des triplets d'éclipses de type [LSL], avec une éclipse totale de Soleil encadrée par deux éclipses de Lune. Les maximums des éclipses de Soleil ont eu lieu le 11 juillet 1991 à 19 h 06 min 04 s (UTC) et le 22 juillet 2009 à 02 h 35 min 21 s, soit un intervalle de 6 585,31 jours (environ 18,03  $T^*$ ). Cette durée est égale à 37,997 E, très proche de 38 E.

### Cette période est nommée « saros ».

Elle correspond à la durée commune de 223 périodes synodiques et de 242 périodes draconitiques lunaires (qui ne diffèrent entre elles que de 52 minutes).

L'étude du saros dépasse le cadre de cet article.

### Année sidérale, année tropique et précession des équinoxes

L'année tropique terrestre ( $T_t$ ), définie dans un référentiel géocentrique, est la durée qui sépare deux passages consécutifs du centre du Soleil au point vernal de l'écliptique. Sa valeur moyenne est :  $T_t = 365,242 190$  jours (de 86 400 s). Elle diffère de l'année sidérale ( $T^*$ ) à cause de la précession de la ligne des équinoxes. L'année tropique est plus courte que l'année sidérale d'environ

une vingtaine de minutes (20,4 minutes). La ligne des équinoxes (intersection du plan équatorial céleste avec le plan de l'écliptique) dérive dans le sens rétrograde dans le référentiel des étoiles fixes (en sens inverse du mouvement apparent annuel du Soleil sur l'écliptique).

Le schéma de la transposition astronomique de la pendule de l'encadré est de nouveau la figure 9, sur laquelle la ligne des nœuds lunaires est remplacée par la ligne des équinoxes. La grande aiguille pointe vers le Soleil ; la période G est remplacée par  $T^*$ . La petite aiguille pointe vers le point vernal ; la période P est remplacée par l'inconnue à déterminer, la période de précession ( $T_p$ ).

La période des coïncidences C est l'année tropique  $T_t$ . Par application de l'équation 1 bis :

$$1/C = 1/G + 1/P \text{ devient :}$$

$$1/T_t = 1/T^* + 1/T_p \text{ (équation 8)}$$

Numériquement :

$$T_p = 9 412 759 \text{ jours ;}$$

$$\text{ou } T_p \approx 25 770 T^*.$$

La précession des équinoxes, mesurée pour la première fois par l'astronome grec Hipparque (– II<sup>e</sup> siècle) est directement corrélée à la lente dérive du pôle nord céleste par rapport aux étoiles fixes, phénomène remarqué par les astronomes chinois au cours des III<sup>e</sup> et II<sup>e</sup> millénaires avant notre ère. Depuis ces premières observations et mesures, il ne s'est écoulé qu'environ 46 siècles, soit moins d'un cinquième de la période de précession  $T_p$ . Néanmoins, la mécanique céleste, développée à partir du XVII<sup>e</sup> siècle (I. Newton, P. S. de Laplace), permet de prévoir que la précession des équinoxes et la dérive des pôles célestes sont des mouvements quasi réguliers et périodiques à une échelle de temps de plusieurs fois  $T_p$ .

# RÉCONCILIER LES SEMAINES

Louis-Aimé de Fouquières

*Cet article propose de trouver le jour de la semaine pour n'importe quelle date, que ce soit dans le calendrier julien ou le calendrier grégorien. Il est basé sur des dates pivots, une par mois, et un jour clé par année, tous les calculs pouvant se faire de tête.*

Pour exprimer une date pour un rendez-vous ou un événement, nous utilisons un numéro de jour (« quantième ») et un nom de mois en référence au calendrier grégorien : le 14 février, le 1<sup>er</sup> novembre etc. Mais, pour l'homme du 21<sup>e</sup> siècle, c'est la semaine qui donne la cadence des relations sociales et économiques. Tout récemment, la numérotation des semaines a fait l'objet d'une norme ISO, utilisée dans le monde entier<sup>1</sup>. Sans le dire explicitement, cette norme définit un nouveau calendrier. L'année y comprend 52 ou parfois 53 semaines de 7 jours. Désormais, plutôt que le saint de chaque jour, ce sont les numéros de semaines qui apparaissent sur les calendriers muraux de nos entreprises.

Or nous sommes souvent le plus souvent gênés de ne pouvoir connaître le jour de semaine correspondant à une date traditionnelle. Bien plus, un numéro de semaine ne nous évoque aucune date dans l'année.

Les méthodes mentales que je propose ici permettent de réconcilier de tête la semaine et les dates traditionnelles. Elles sont dues en grande partie au mathématicien américain d'origine britannique John Conway [1], décédé en 2020. Elles s'appuient sur notre capacité naturelle à faire des calculs de congruence (voir note 2).

## Le calendrier grégorien moins irrégulier qu'il ne paraît

À la décharge des mathématiciens, le calendrier grégorien rebute par ses bizarreries, notamment son mois de février trop court. C'est Jules César qui fit démarrer le calendrier au 1<sup>er</sup> janvier alors que l'année traditionnelle romaine, avant l'instauration du calendrier julien, commençait en mars. L'on entend encore, dans les noms septembre à décembre, les numéros sept à dix des mois devenus neuvième à douzième. Dans notre calendrier actuel, en partant de mars, l'année comprend deux séries de cinq mois exactement semblables : mars à juillet, puis août à décembre (voir tableau 1).

Chaque série comprend 153 jours, répartis en cinq mois de 31 ou 30 jours régulièrement alternés. Janvier et février constituent le début d'une nouvelle série, qui s'interrompt le 28 février, les 365 jours de l'année étant atteints. Le jour intercalaire des années à 366 jours est très logiquement inséré à la fin du dernier cycle. Les programmes informatiques de conversion de calendriers utilisent ces propriétés. Ils décalent fictivement le début d'année au 1<sup>er</sup> mars pour faire les calculs.

Durée des mois	31	30	31	30	31
<b>Cycle 1</b>	mars	avril	mai	juin	juillet
<b>Cycle 2</b>	août	septembre	octobre	novembre	décembre
<b>Cycle 3 interrompu</b>	janvier	février (28 ou 29)			

Tableau 1. Les cycles de mois dans le calendrier julien.

Pour tirer le meilleur parti des régularités du calendrier grégorien, il faut se référer au 1<sup>er</sup> mars plutôt qu'au 1<sup>er</sup> janvier. On observe alors que presque tous les bimestres comptent 61 jours. En pratique, seule l'aspérité des mois de juillet et août doit être résolue.

Les calculs sur janvier et février peuvent être effectués à partir du mois de mars qui les suit. Or, si un bimestre comprend 61 jours, 9 semaines en comprennent 63, soit deux jours de plus. Nous allons y revenir.

1 Une semaine est définie du lundi au dimanche. La semaine n° 1 est celle qui contient le 4 janvier.



## Exploiter une compétence partagée

La plupart d'entre nous sommes capables de faire des opérations de base en congruence de 7, ce qui nous permet de maîtriser les jours de semaine dans un même mois<sup>2</sup>. L'exemple le plus simple est celui du mois de mai : si nous connaissons le jour de semaine du 1<sup>er</sup> mai, nous savons que le 8 mai tombe le même jour. Mais cela fonctionne aussi en novembre : si le 1<sup>er</sup> novembre est lundi, le 11 novembre est jeudi, comme le 4 novembre. Point besoin d'almanach ni de machine pour faire cela.

John Conway s'appuie sur cette compétence de base et propose de repérer au moins une **date pivot**<sup>3</sup> chaque mois, dont le jour de semaine soit connu. Neuf semaines correspondent à un bimestre plus deux jours, et donc les 4/4, 6/6, 8/8, 10/10 et 12/12, tombent chaque année un même jour de semaine.

John Conway nomme *doomsday* ce jour de semaine commun. Doomsday signifie le *jour du Jugement dernier*. Nous traduirons ce concept par *clavedi*, ou jour-clé. *Clavedi* doit être remplacé par lundi, ou mardi, etc., selon l'année.

En 2020, les 4/4, 6/6, 8/8, 10/10, 12/12 tombent un samedi. Le *clavedi* de 2020 est « samedi ».  
En 2021, les 4/4, 6/6, 8/8, 10/10, 12/12 tombent un dimanche. Le *clavedi* de 2021 est « dimanche ».  
En 2022, les 4/4, 6/6, 8/8, 10/10, 12/12 tombent un lundi. Le *clavedi* de 2022 est « lundi ».

Quid des autres mois ? En mars, *clavedi* tombe le 21 mars (4 avril moins 2 semaines), la date de référence pour le calcul de Pâques. Il tombe aussi le « 0 mars », la veille du 1<sup>er</sup> mars, c'est-à-dire le dernier jour de février, 28 ou 29. Et donc aussi 28 jours plus tôt, c'est-à-dire le 1<sup>er</sup> février des années bissextiles, et le « 0 février » c'est-à-dire le 31 janvier des années communes. On peut noter qu'en année bissextile, il tombe le 11/1 et le 22/2. Et un jour plus tôt en année commune, soit 10/1 et 21/2.

Il ne reste plus que quatre mois impairs, de numéros 5, 7, 9 et 11. Il faut se souvenir de cet ami qui travaillait « de 9 h à 5 h au Seven-Eleven » (Seven-Eleven est une chaîne de supérettes très populaire aux États-Unis). Les dernières dates pivots sont donc 9/5 et 5/9, et aussi 11/7 et 7/11. Ces dates pivots sont symétriques, on peut les employer dans toutes les cultures, aussi bien aux États-Unis où l'usage est d'énoncer le mois avant le quantième, qu'en Europe où même les Anglais placent le quantième avant le mois.

	jan	fév	mar	avr	mai	jun	jul	aoû	sep	oct	nov	déc
<b>Mars : « 0 mars »</b>			7 (21)									
<b>Mois pairs : 4/4, 6/6, 8/8, 10/10, 12/12</b>				4		6		8		10		12
<b>Mois impairs : « 9 h à 5 h au 7-11 »</b>					9 (2)		11 (4)		5		7	
<b>Année bissextile : 0/3, 22/2 et 11/1</b>	11 (4)	29 22										
<b>Année commune : 0/3, 21/2 et 10/1</b>	10 (3)	28 21										

Tableau 2. Les dates pivots.

En 2021, toutes les dates citées dans le tableau ci-dessus étaient un dimanche, le *clavedi* de 2021.  
En 2022, toutes les dates citées dans le tableau ci-dessus étaient un lundi, le *clavedi* de 2022.

### La semaine en chiffres

En somme, le jour de semaine du dernier jour de février (le 0/3) est le *clavedi* de l'année. Et au moyen des dates pivots, on connaît un jour de chaque mois qui tombe ce

jour-là. Reste à calculer le *clavedi* de l'année.

Le calcul implique des nombres, et il faut donc associer des nombres aux jours de semaine. On choisira 0 pour

<sup>2</sup> Voici quelques exemples pour ceux qui seraient peu familiers avec la notion de congruence : 1, 8, 15, 22... sont « congrus à 1 modulo 7 » car ils ont même reste (ici 1) dans la division par 7. De même, 2, 9, 16, 23... sont congrus à 2 modulo 7.

<sup>3</sup> On parle souvent de jour pivot à propos de cette méthode. L'expression date pivot me paraît plus appropriée.

dimanche, 1 pour lundi... 6 pour samedi<sup>4</sup>. Les nombres de 0 à 6 sont des restes d'une division par 7, ce qui permet d'utiliser la théorie des congruences.

En anglais, John Conway propose de rapprocher phonétiquement les noms de jours. Des rapprochements semblables peuvent être faits en français.

Numéro	0	1	2	3	4	5	6
Jour	Dimanche	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi
Anglais	Sans-day	One-day	Two's day		Four's day	F(ive)'s day	S(ix)' day
Français		l'un-di	m'a re-di		Semaine des 4 jeudis	V = 5 en romain	S(ix)

Tableau 3. Numérotation des jours de semaine.

Calculer le jour clé

Le clavedi de proche en proche

Avant de calculer le clavedi pour n'importe quelle année, apprenons à l'évaluer d'une année à l'autre. Le calcul est extrêmement simple :

- D'une année à l'année commune suivante, le clavedi augmente d'un jour.
- Si en revanche l'année suivante est bissextile, le clavedi augmente de deux jours.

Ainsi, le clavedi est jeudi (4) en 2019. Il passe à samedi (6) en 2020, année bissextile. Et s'établit à dimanche (7 donc 0) en 2021.

Même sans maîtriser le calcul du clavedi de chaque année, chacun peut désormais s'exercer à calculer les jours de semaine pour l'année en cours et des années voisines.

Soit à trouver le jour de semaine du 11 novembre 2021 : année de clavedi dimanche.

Le 7 novembre, date pivot, est un dimanche, et le 11, 4 jours plus tard, est un jeudi.

... puis de siècle en siècle

L'exercice devient intéressant quand il s'agit de trouver le clavedi de n'importe quelle année, et qui plus est dans le calendrier julien ou grégorien. Rappelons que le calendrier julien, initialement promulgué par Jules César, a commencé en 45 av. J.-C., soit en l'an -44 des astronomes. Les années bissextiles sont toutes les années multiples de 4. Le calendrier grégorien n'est qu'un réglage du calendrier julien, qui s'est imposé progressivement en Europe et dans le monde à partir de 1582. Certaines

années multiples de quatre ne sont pas bissextiles : les exceptions sont les années multiples de 100, qui ne sont pas multiples de 400. Ainsi, 1700, 1800 et 1900 ne furent pas bissextiles, mais 1600 et 2000 le furent.

C'est pourquoi, pour trouver le clavedi d'une année, il faut d'abord la décomposer en partie séculaire et partie infraséculaire. Cela ressemble à la décomposition d'un nombre en milliers, centaines, dizaines et unités. Par exemple 1935 a pour partie séculaire 19, et pour partie infraséculaire 35. Le clavedi de l'année recherchée sera celui de la partie séculaire, appelé balise de siècle, augmenté d'un écart qui ne dépend que de la partie infraséculaire. Pour 1935 par exemple, on calcule donc la *balise de siècle*, le clavedi de l'année de siècle, ici 1900, puis l'écart dû à la partie infraséculaire de 35 ans.

Calculer la balise d'un siècle

Dans le calendrier julien, le cycle des dates et jours de semaines se reproduit exactement à l'identique tous les 7 siècles. Un siècle compte 36 525 jours. Ce nombre est congru à 6 modulo 7. La balise de siècle régresse d'une unité chaque siècle. Elle vaut 0 pour l'année 0, ce qui est bien commode à mémoriser. **La balise d'un siècle du calendrier julien est l'opposé modulo 7 du rang de ce siècle.** Par exemple -1 (donc 6 ou samedi) pour l'année 100 comme pour l'année 800, -2 (donc 5 ou vendredi) pour l'année 200, -3 (donc 4 ou jeudi) pour l'année 300....

4 La norme ISO associe 1 à lundi, 2 à mardi... 7 à dimanche. C'est la même convention ici mais avec 0 pour dimanche au lieu de 7.



Année	0	100	200	300	400	500	600	700
Balise	0	-1 ou 6	-2 ou 5	-3 ou 4	-4 ou 3	-5 ou 2	-6 ou 1	-7 ou 0
Clavedi	Dimanche	Samedi	Vendredi	Jeudi	Mercredi	Mardi	Lundi	Dimanche

Année	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
Balise	-8 ou 6	-9 ou 5	-10 ou 4	-11 ou 3	-12 ou 2	-13 ou 1	-14 ou 0	-15 ou 6
Clavedi	Samedi	Vendredi	Jeudi	Mercredi	Mardi	Lundi	Dimanche	Samedi

Tableau 4. Balises de siècle dans le calendrier julien.

Dans le calendrier grégorien, le même cycle se reproduit tous les 400 ans. Cette remarquable propriété se démontre facilement en considérant un cycle commençant le 1<sup>er</sup> mars d'une année multiple de 400, par exemple le 1<sup>er</sup> mars 1600. Chacun des trois premiers siècles compte 36 524 jours, soit 5 modulo 7. Le quatrième en compte 36 525, puisque par exception l'an 2000 comprend un 29 février. Le nombre total de jours est congru à  $5 + 5 + 5 + 6 = 21$

soit 0 modulo 7. Il suffit donc de retenir les clavedis de 4 années de siècles successives, et c'est la formule **2 0 5 3**. Ainsi le clavedi de l'an 1600 comme de l'an 2000 est 2, celui de 1700 est 0, celui de 1800 est 5, celui de 1900 est 3. Pour les dates du 16<sup>e</sup> siècle, postérieures au passage au grégorien dans les pays européens catholiques (1582 à 1585 selon les pays), la balise est 3 comme pour 1900 et 2300.

Année	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300
Balise	2	0	5	3	2	0	5	3
Clavedi	Mardi	Dimanche	Vendredi	Mercredi	Mardi	Dimanche	Vendredi	Mercredi

Tableau 5. Balises de siècle dans le calendrier grégorien.

## Calculer rapidement la partie infraséculaire

Comme indiqué plus haut, le clavedi croît de 1 chaque année commune, et de 2 chaque année bissextile. Si l'on considère un nombre positif inférieur à 100, l'écart de clavedi est donc, modulo 7, ce nombre (écart de 1 jour par année) augmenté du quotient entier de la division par 4 (1 jour supplémentaire par année bissextile). Pour 1879 par exemple, on note que la balise de 1800 est 5 et on calcule l'écart dû à 79, la partie infraséculaire (les résultats de chaque étape sont en gras) :

1800 → **5**

$79 + E(79 / 4) \rightarrow 79 + 19 \rightarrow 98 = \mathbf{0} \text{ mod } 7$

Clavedi →  $5 + 0 = \mathbf{5} \text{ mod } 7$

Ce calcul apparemment simple est toutefois un peu périlleux pour des valeurs élevées de la part infraséculaire. John Conway propose de diviser la part infraséculaire par 12, car tous les 12 ans, le clavedi augmente de 1. On note mentalement le quotient sur son deuxième doigt (car on a noté la balise de siècle sur le premier), on note le reste sur le troisième, enfin on note le quotient par 4 de ce dernier reste sur le quatrième doigt. Puis on ajoute les contenus des doigts.

Ainsi, pour 1879 :

1800 → **5**

$79 = 12 * \mathbf{6} + 7$

$7 / 4 = \mathbf{1}$

Clavedi →  $5 + 6 + 7 + 1 = \mathbf{5} \text{ mod } 7$

Il y a une étape de plus que précédemment, mais les éléments sont plus simples à calculer. Toutefois, les ingénieurs Fong et Walters ont trouvé en 2011 une méthode radicalement plus simple, qui utilise très efficacement les propriétés de congruence [2]. Cette méthode, « 11 sur impair », s'applique toujours à la partie infraséculaire A, la voici :

À partir de la partie infraséculaire A :

si A est impair, ajouter 11, sinon garder A ;

diviser par 2 (notez que le résultat est toujours entier) ;

si le résultat est impair, ajouter 11 ;

l'opposé du résultat final modulo 7 est l'écart de clavedi qu'il faut ajouter à la balise de siècle.

Par exemple, toujours avec 1879 :

1800 a pour balise de siècle 5

79 est impair donc → **90**

$90 / 2 \rightarrow \mathbf{45}$

45 est impair donc → **56**

Résultat →  $(-56) \rightarrow 0 \text{ modulo } 7$

Clavedi =  $5 + 0 \rightarrow 5$

Cette méthode est très rapide et très fiable, car elle ne requiert pas de retenir des chiffres intermédiaires. Le seul danger est qu'il faut prendre l'opposé du résultat des deux calculs en cascade. À l'usage, c'est la méthode que nous recommandons.

Il peut être intéressant de démontrer cet algorithme. Cela se fait en décomposant de manière adéquate la partie infraseculaire  $x$ , et en calculant la somme du clavedi de  $x$  et du résultat du calcul « 11 sur impair ». Une démonstration est proposée sur le site.

## Quelques exercices

1. Trouvez le jour de semaine des jours fériés fixes de cette année et des années proches (solutions ci-dessous pour le 1/05/2022 et le 15/08/2022).
2. Trouvez le jour de semaine et le numéro de semaine d'événements récents : date de mariage, date de naissance de vos proches etc.
3. Trouvez le jour et le numéro de semaine de dates de l'histoire récente : 14 juillet 1789 (solution ci-dessous), 2 décembre 1804, 14 mars 1879, 11 novembre 1918, 1<sup>er</sup> septembre 1939, 25 août 1944, 8 mai 1945, 11 septembre 2001...
4. Le calendrier grégorien commence le 15 octobre 1582 à Rome et en Espagne, cette date faisant suite au 4 octobre 1582 du calendrier julien. Quels étaient les jours de semaine de ces deux dates ? (solution ci-dessous)
5. Comparez le jour de semaine du 23 avril 1616 (grégorien), jour du décès de Cervantes, à celui du 23 avril 1616 (julien), jour de décès de Shakespeare (solution ci-dessous).
6. Une lettre attribuée à Madame de Sévigné est datée de jeudi 30 avril 1687. Démontrez que la date est fausse.
7. Quel jour de semaine le couronnement de Charlemagne a-t-il eu lieu, ce jour étant le jour de Noël de l'an 800 ?
8. John Conway, né le 26 décembre 1937, est décédé le 11 avril 2020, veille de Pâques. Quel est le point commun de ces deux dates ?

### Avec une partie des solutions

1 Pour l'année 2022, le clavedi est lundi. Donc le 9 mai (date pivot de mai) est un lundi, comme le 2. Le 1<sup>er</sup> mai est alors un dimanche, pas de chance...

Si le clavedi est lundi, le 8/8 (date pivot d'août) est un lundi, donc le 15/08 aussi. Un beau week-end allongé...

3. Pour le 14 juillet 1789 :

Balise de 1700 : 0 (le 0 de 2-0-5-3)

Deux méthodes pour 89 :

$$89 \rightarrow 89 + E(89/4) = 89 + 22 = 111 \rightarrow 6$$

$$\text{ou } 89 \rightarrow 100 \rightarrow 50 \rightarrow -50 \rightarrow 6$$

Clavedi de 1789 :  $0 + 6 = 6$  donc samedi

Donc le 11/7 (date pivot de juillet) est un samedi, le 14/7/1789 est un mardi.

4. Pour le 4 octobre 1582

Balise de 1500 : -15 donc 6

$$\text{Pour } 82 : 82 + E(82/4) = 82 + 20 = 102 \rightarrow 4$$

$$\text{Clavedi de } 1582 : 6 + 4 = 10 \rightarrow 3 \text{ donc mercredi}$$

Donc le 10/10 (date pivot d'octobre) est un mercredi comme le 3/10.

Le 4/10/1582 du calendrier julien est un jeudi.

Le lendemain, le 15 octobre du calendrier grégorien est alors un vendredi.

5. En calendrier grégorien

$$\text{Clavedi de } 1616 : 2 \text{ (pour } 1600) + 16 + E(16/4) = 22 \text{ soit } 1 \text{ modulo } 7 \text{ (lundi).}$$

Le 4/4 (date pivot d'avril) est un lundi, comme le 25/4 donc le 23/04 est un samedi.

En calendrier julien

$$\text{Clavedi de } 1616 : -16 \text{ (pour } 1600) + 16 + E(16/4) = 4 \text{ (jeudi).}$$

Le 4/4 (date pivot d'avril) est un jeudi, comme le 25/4 donc le 23/04 est un mardi.

6. 30 avril 1687 en calendrier grégorien

$$\text{Clavedi de } 1687 : 2 \text{ (pour } 1600) + 87 + E(87/4) = 110 \text{ soit } 5 \text{ modulo } 7 \text{ (vendredi).}$$

Le 4/4 (date pivot d'avril) est un vendredi, comme le 25/4 donc le 30/04 est un mercredi (et non un jeudi).

7. 25/12/800 du calendrier julien

$$\text{Balise de } 800 : -8 \text{ soit } 6 \text{ (samedi).}$$

Le 12/12 (date pivot de décembre) est un samedi comme le 26/12.

Le 25/12/800 est un vendredi.

8. Clavedi de 1937 :  $3 + 37 + E(37/4) = 49$  soit 0 modulo 7 (dimanche).

Le 12/12 (date pivot de décembre) est un dimanche, comme le 26.

$$\text{Clavedi de } 2020 : 2 + 20 + E(20/4) = 27 \text{ soit } 6 \text{ modulo } 7 \text{ (samedi).}$$

Le 4/4 (date pivot d'avril) est un samedi comme le 11/04. « John Conway est né et mort un clavedi, jour qu'il avait lui-même défini. »

### Références

[1] John Horton Conway, Tomorrow is the Day After Doomsday, Eureka, vol. 36, octobre 1973, p. 28-31.

[2] Chamberlain Fong, Michael K. Walters, Methods for Accelerating Conway's Doomsday Algorithm (part 2), 7th International Congress of Industrial and Applied Mathematics (2011), 8 août 2011.



## Le temps dans les productions du Clea

### Dans les anciens numéros des Cahiers Clairaut (<http://clea-astro.eu/archives>).

(tous les numéros de plus de 3 ans sont en libre accès sur notre site clea-astro.eu, archives des CC).

Le monde de la science-fiction (se déplacer dans le temps), CC 157 (2017), BUSSIÈRE Marc.

Introduction à la géodésie chronométrique, CC 156 (2016), DELVA Pacôme, MORFOULI Méropi.

Promenons-nous dans l'espace-temps, CC 152 (2015), DELVA Pacôme, ANGONIN Marie-Christine.

Le temps, présentation (les unités de mesure du temps), CC 147 (2014), CAUSERET Pierre, RIPERT Jean.

La notion énigmatique du temps, CC 147 (2014), LARCHER Christian.

Se dispenser du temps, CC 147 (2014), LACHIÈZE-REY Marc.

Nombreux articles sur les calendriers dans le n° 136 (2011).

Nombreux articles sur les cadrans solaires dans le n° 134 (2011).

Activités en 2de. Un naufrage : le problème de la longitude, CC 98 (2002), LAHELLEC Marie-Agnès.

Le temps au XXe siècle, CC 82 et 83 (1998), SUAGHER Françoise.

La mesure du temps, CC 73, 74, 76 et 77 (1996-1997), SUAGHER Françoise.

### Sur le site du CLEA (<http://www.clea-astro.eu>), onglet lunap.

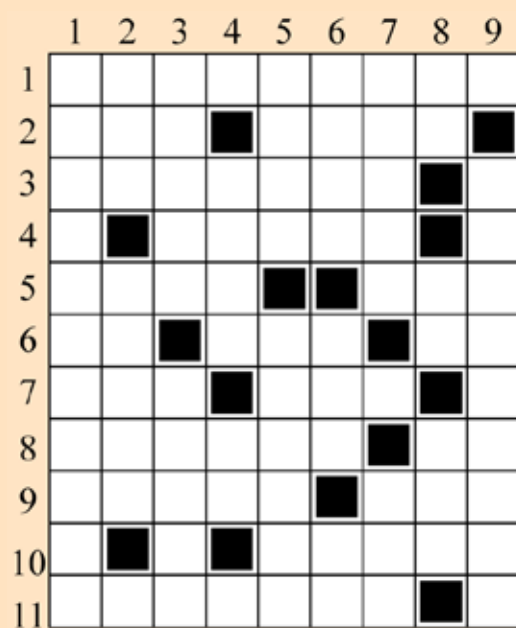
Vous trouverez des infos en cliquant sur les termes suivants de l'index :

cadrans solaires, calendriers, chronologie, relativité.

### Dans les hors-séries des Cahiers Clairaut

HS 10 : calendriers, cadrans solaires (calculs).

HS 11 : le nocturlabe. HS 12 : chapitre sur le temps (heures, cadrans solaires, calendriers, fuseaux horaires).



### Mots croisés : le temps

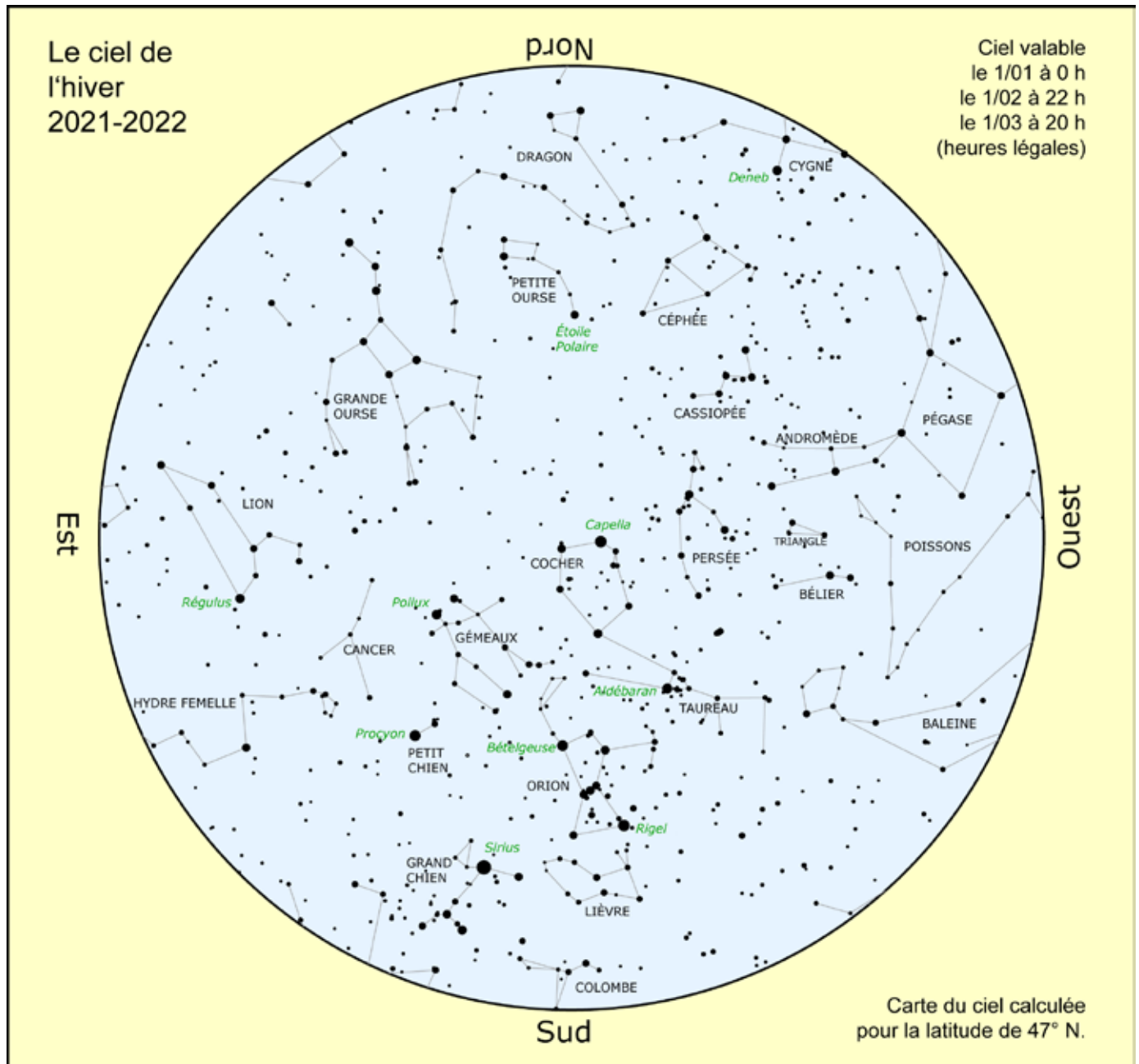
#### Horizontalement

1. Fabricant d'instruments de mesure du temps.
2. Pour battre le pavé. Sur un cadran solaire canonial, elle est notée quand l'ombre est à 45° vers l'est.
3. Comme le temps.
4. Son heure, c'est plutôt 19 h pour certains, il n'y a pas d'heure pour d'autres.
5. Le temps du repos. En haut du cadran d'une pendule mais en bas d'un cadran solaire vertical.
6. Source de ragots. Étoile de magnitude 1 proche de l'écliptique. III×XXX.
7. Unité de temps. C'est la base du temps international.
8. Celle du Berger n'en est pas une. Pour revenir à son point de départ.
9. Il peut être universel, atomique, moyen... Fait.
10. Unité de temps.
11. Haïs.

#### Verticalement

1. Instrument de mesure du temps.
2. Possède. Comme la seconde.
3. Intervalle de temps. Appelé.
4. Capable. Type d'adresse.
5. Le a de am. Le premier a été découvert dans le Petit Renard.
6. Celui de la nuit a été compris par Poe. Indique une inflammation. Ce peut être sous une bonne étoile.
7. Le HS13 en parle. Unités de temps.
8. En fin d'année. En bas à gauche sur un cadran solaire vertical. Il indique un temps passé.
9. Il profite du temps.

*Solution p. 48*



## Visibilité des planètes

**Mercure** sera observable début janvier le soir (élongation maximale le 7).

**Vénus** passe devant le Soleil le 9 janvier et est donc observable le soir avant cette date, le matin ensuite. Éclat maximum le 7 février, élongation maximale le 20 mars. Au moment de sa conjonction inférieure du 9/01, Vénus étant au nord du plan de l'écliptique, les bons observateurs pourront tenter de la voir à la fois le soir et le matin.

**Mars** commence à être visible le matin.

**Jupiter** passe derrière le Soleil le 5 mars (conjonction), elle est encore visible le soir au début de l'hiver.

**Saturne** est en conjonction avec le Soleil le 4 février. On la retrouve le matin ensuite.

## Quelques événements (heures légales)

21/12 : solstice d'hiver à 16 h 59 min.

22/12 : maximum des Ursides (étoiles filantes).

29/12 : rapprochement Mercure Vénus (4°).

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

4/01 : la Terre passe au périhélie, à 147 093 000 km du Soleil.

1/02 : nouvel an chinois.

2/03 (matin) : rapprochement Mercure Saturne (0,7°)

20/03 : équinoxe de printemps à 16 h 33.

## Lune

Nouvelle Lune : les 2/01, 1/02, 2/03.

Pleine Lune : les 18/01, 16/02, 18/03.



# LA FICTION POUR ASSOCIER ENSEIGNEMENT DE L'ASTRONOMIE ET CELUI DE LA RELATIVITÉ DU MOUVEMENT : RAHAN ET LE SECRET DU SOLEIL

**Estelle Blanquet**, maître de conférences en sciences de l'éducation à l'INSPE de l'académie de Bordeaux (université de Bordeaux) et agrégée de physique

*L'auteure initie les futurs professeurs à la démarche d'investigation. Ses recherches en didactique des sciences portent sur l'appropriation de critères de scientificité pour la science scolaire par les jeunes élèves de maternelle et leurs enseignants. Elle s'intéresse également aux usages pédagogiques de la science-fiction et de la bande dessinée. Cet article présente une séquence réalisée avec de jeunes élèves et des enseignants du primaire sous la forme d'un retour d'expérience. Basée sur la bande dessinée Le Secret du Soleil et mettant en scène Rahan, le fils des âges farouches, elle a pour objectif de les initier à l'astronomie (Terre/Soleil) et à la relativité du mouvement tout en les conduisant à réfléchir à ce que signifie modéliser en sciences.*

C'est à une écrasante majorité, de l'ordre de 95 %, que non seulement les enseignants du primaire mais également les bacheliers sortant des filières scientifiques apparaissent coperniciens (Blanquet & Picholle, 2021). Ils associent en effet généralement l'alternance du jour et de la nuit à la rotation de la Terre sur elle-même (même si la confusion existe parfois avec la révolution de la Terre autour du Soleil).

À une personne qui justifierait l'observation personnelle du déplacement de l'ombre d'un bâton planté dans le sol au cours d'une journée ensoleillée, « parce que le Soleil a bougé/s'est déplacé/a tourné », ils répondraient en masse que ce n'est pas le mouvement du Soleil, mais « évidemment » celui de la Terre qui est à l'origine du phénomène (Blanquet & Picholle, 2018). Certains manuels scolaires eux-mêmes n'hésitent d'ailleurs pas à qualifier « d'illusoire » ce mouvement « apparent » du Soleil.

Le paradigme copernicien est pourtant obsolète depuis près de quatre siècles. Accepter avec Galilée (et les physiciens actuels...) le principe de relativité du mouvement, c'est reconnaître l'égale légitimité de tous les points de vue (de tous les « référentiels ») : il n'est donc *a priori* ni plus, ni moins légitime de décrire le mouvement du Soleil du point de vue de l'enfant qui l'observe depuis la cour de récréation que de décrire le mouvement de la Terre du point de vue d'un observateur qui se placerait (à ses risques et périls) à la surface du Soleil pour l'observer d'un point de vue héliocentrique.

Plusieurs obstacles à l'acceptation du paradigme relativiste galiléen (et *a fortiori* einsteinien) ont été identifiés lors de précédentes études (Blanquet & Picholle, 2011 & 2018). Certains de ces obstacles sont classiques en mécanique — comme la nécessité de préciser un référentiel avant de décrire un mouvement (Saltiel, 1980) — ; d'autres sont d'ordre géométrique — on peut aussi bien rendre compte de l'alternance du jour et de la nuit en faisant tourner la Terre sur elle-même tout en gardant le Soleil fixe qu'en fixant la Terre et en faisant tourner le Soleil autour d'elle — ou encore de nature métaphysique, comme l'acceptation de l'égale légitimité de différents référentiels.

Comment dépasser les obstacles épistémologiques responsables de cette situation ?

Au plus fort de la querelle copernicienne, l'astronome Johannes Kepler avait entrepris d'exploiter l'effet de dépaysement induit par la fiction (tel qu'il sera bien plus tard analysé par les théoriciens de la science-fiction, comme Darko Suvin, 1977) : pour légitimer les points de vue non géocentriques, il évitait soigneusement celui, sans doute trop polémique, d'un référentiel héliocentrique, mais s'appuyait sur un récit fictionnel, le *Somnium*, pour entraîner ses contemporains sur la Lune et leur donner à voir la Terre fixe dans le ciel lunaire — c'est à dire, concrètement, à adopter un premier point de vue extra-terrestre.

C'est la même stratégie que j'ai adoptée, *mutatis mutandis*, pour convaincre élèves et enseignants de la légitimité du

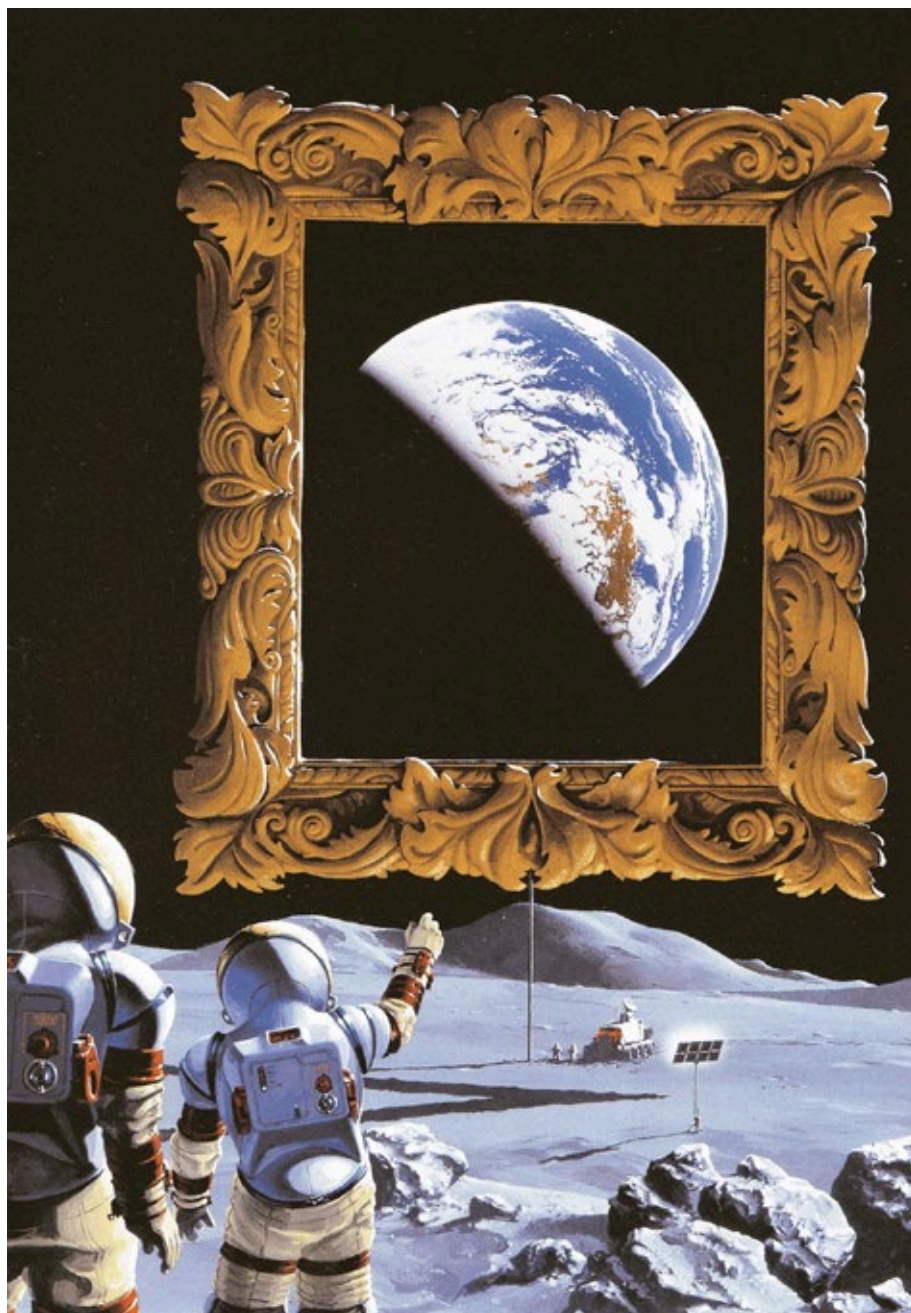


Fig.1. La Terre encadrée, Manchu, 1989.

point de vue terrestre. Pour cela, j'ai développé une première séquence basée sur une illustration de science-fiction (Blanquet, 2011b), *La Terre encadrée* de Manchu (Figure 1, 1989). Une fois acceptée l'égalité légitimité entre les points de vue terrestre et lunaire, il n'y a qu'un pas pour accepter l'égalité légitimité des points de vue terrestre et solaire.

Ce n'est évidemment pas si simple.

L'un des arguments fréquemment avancés par les participants est qu'une Terre fixe ne permet pas d'expliquer

certains phénomènes observables de la Terre, comme l'alternance jour/nuit ou le phénomène des saisons. S'il est en principe facile de les réfuter à l'aide d'un modèle analogique (typiquement une boule en polystyrène et une source de lumière), cette approche est parfois rebutante pour les élèves qui ont du mal à naviguer entre différents points de vue.

J'ai donc une nouvelle fois fait appel à la fiction, en l'occurrence une bande dessinée, *Le Secret du*

*Soleil*<sup>1</sup>, dans laquelle Rahan s'appuie sur l'observation du haut d'une île de la course poursuite de deux pirogues pour en déduire un modèle analogique du mouvement du Soleil autour d'une Terre fixe.

Cette approche en démarche d'investigation a d'ores et déjà été testée aussi bien avec des élèves de CE2-CM2 qu'avec des enseignants des premier et second degrés en formation à l'INSPE de l'académie de Bordeaux<sup>2</sup>. Tous ont apprécié de jouer avec la fiction et le défi consistant à « se mettre dans la tête de Rahan »<sup>3</sup>.

Après une présentation rapide de l'histoire, je ferai un retour d'expérience et décrirai plus en détail les difficultés rencontrées par les élèves et futurs enseignants pour parvenir à modéliser le phénomène et leurs réactions face à un modèle alternatif au pouvoir explicatif similaire à celui qu'ils connaissent (sans forcément l'avoir compris d'ailleurs).

## Rahan et la course du Soleil

*Le Secret du Soleil* est le premier épisode de ce qui deviendra une des séries marquantes des années 1970, mettant en scène Rahan, le « fils des âges farouches ». Traumatisé dans son adolescence par la destruction de sa tribu lors d'une éruption volcanique nocturne, Rahan cherche la tanière du Dieu-Soleil pour le convaincre de toujours briller, convaincu que cela aurait suffi à sauver les siens.

Une chose l'agace profondément : chaque soir, il voit le Soleil se coucher *devant* lui et chaque matin, il le voit se lever *derrière* lui. Rahan avance donc chaque matin dos au Soleil dans un environnement où alternent forêts et déserts.

1 Référence BD

2 Article E. Rollinde

3 Référence article Lecture d'images et estrangement cognitif



Il traverse finalement une grande étendue d'eau, ce qui lui permet d'observer complètement la course du Soleil au cours de la journée. Il atteint enfin une petite île circulaire dominée par une petite montagne. Il l'escalade, ce qui lui offre une vue à 360 degrés. Il observe alors la course de deux pirogues autour de l'île : la pirogue des « pourchassés » étant plus rapide que celle des « poursuivants », elle les rattrape et se retrouve paradoxalement derrière celle des poursuivants. Cela suscite chez Rahan « atterré » un éclair de compréhension : *« Le grand territoire des hommes et des bêtes serait donc semblable à cette terre ! Il serait rond comme un fruit et le Soleil tournerait autour sans jamais s'y poser ! »*.

## Exploitation de la BD et difficultés rencontrées

Si avec les jeunes élèves j'ai fait le choix de lire entièrement la BD, j'ai plutôt choisi de présenter quelques vignettes aux étudiants en racontant l'histoire (pour des raisons pratiques). Je me focaliserai ici sur l'approche utilisée avec les jeunes élèves. Une première étape consiste à s'assurer qu'ils ont compris l'histoire. Deux vignettes, dans lesquelles Rahan observe le Soleil se coucher devant lui et se lever derrière lui permettent

de poser les éléments du problème : *« Rahan ne tombera pas dans le piège »*.

Idéalement, les élèves ont pu observer préalablement le déplacement des ombres au cours de la journée et sont donc familiers avec le déplacement du Soleil dans le ciel.

Il m'est arrivé de travailler dans des classes en élémentaire où ce travail n'avait pas été réalisé (il a alors été fait *in situ*) et où certains élèves refusaient d'affirmer que le Soleil se déplace dans le ciel : le Soleil pour eux étant immobile et le mouvement de la Terre étant responsable du phénomène.

Il a alors été nécessaire d'insister pour leur faire admettre que ce qu'ils voyaient avec leurs yeux, tout comme Rahan, c'était bien le Soleil qui se déplaçait dans le ciel, la direction des ombres changeant au cours de la journée, les fenêtres de la classe éclairées étant les fenêtres opposées (coup de chance) entre le matin et l'après-midi.

Une fois ce constat accepté, il leur a fallu comprendre la nature du « piège » évoqué par Rahan. Choissant deux directions opposées dans la classe et leur attribuant la position des lever et coucher de Soleil, il a été demandé aux élèves d'indiquer au meneur de jeu de quel côté Rahan se dirigeait à son



Fig.3.

lever. Cela a soulevé des difficultés facilement été résolues par un dialogue entre les élèves.

Ceux-ci ont alors été invités à regarder de nouveau les vignettes décrivant la poursuite des pirogues. Des représentations de l'île, de la mer, des pirogues et de Rahan leur ont été fournies : charge à eux d'expliquer comment la pirogue des fuyards se retrouve derrière celle des pourchassants (figure 2). Là encore, le retour sur les images et le texte a permis d'éliminer les solutions consistant à passer sous l'île ou à faire doubler la pirogue des pourchassés par les pourchassants.

Les élèves étaient alors prêts à se « mettre dans la tête de Rahan » et à chercher à expliquer comment ce dernier en déduit que le Soleil tourne autour de la Terre. De nombreux groupes sont d'ailleurs spontanément passés à cette nouvelle exploration avec grand enthousiasme, sans que cela ne semble leur poser de difficulté particulière de faire tourner le Soleil autour de la Terre.

S'identifier à un personnage préhistorique semble leur avoir permis de suspendre leur jugement le temps de la modélisation, peut-être parce que ce Rahan était, lui, légitimement ignorant de ce que « tout le monde sait bien » aujourd'hui.

Avec des images représentant la Terre, le Soleil et Rahan, tous les groupes d'élèves sont parvenus à associer la pirogue pourchassée à Rahan, la pirogue des pourchassants au Soleil et l'île à la Terre (figure 3), quoique parfois au prix de quelques difficultés.



Fig.2.

Il est à noter que quelques élèves ont tenté de travailler non pas dans le plan de la table mais en faisant tourner le Soleil dans un plan perpendiculaire à celui de la table et en déplaçant Rahan non pas sur le bord de la Terre mais sur la Terre elle-même (ils ont convenu quand on le leur a suggéré que, dans le plan de la table, cela allait aussi bien).

Cette modélisation implique de commencer le récit par la fin de journée, quand Rahan voit le Soleil devant lui. La dernière étape

consistait pour les élèves à répéter l'alternance jour/nuit et donc à faire passer le Soleil « au-dessus » de Rahan pour reproduire à volonté le phénomène. Si cela n'a pas posé de problème particulier aux élèves du primaire (certains groupes ont néanmoins eu besoin d'un guidage par le meneur de jeu), cette situation a perturbé certains étudiants du supérieur, qui ont cherché à ce moment là à faire tourner la Terre sur elle-même (opération rapidement neutralisée par un rappel de ce que Rahan comprend du phénomène).

Une fois tous les participants d'accord sur la façon dont Rahan comprend le phénomène, un modèle 3D plus sophistiqué (figure 4) a été utilisé pour conforter le travail réalisé à plat.

Ce même modèle, manipulé par le meneur de jeu, a ensuite été utilisé en fixant cette fois le Soleil et en faisant tourner la Terre : dans les deux cas Rahan voit la même chose, certains élèves faisant remarquer que « c'est plus facile de comprendre quand on ne fait pas bouger la Terre ».



Fig.4.

## Que faire quand deux modèles expliquent le même phénomène ?

Une fois que les participants sont d'accord sur l'idée que les deux modèles expliquent aussi bien l'un que l'autre ce que voit Rahan, plusieurs options sont possibles. J'en ai testé deux.

Pour les élèves de primaire, j'ai utilisé la dernière vignette de la BD, où l'on voit Rahan quitter l'île dans une pirogue et demandé aux élèves ce que voyaient, respectivement, Rahan et les habitants de l'île.

Pour ces derniers, c'est Rahan qui s'éloigne et devient de plus en plus petit, alors que pour Rahan, c'est l'île qui rapetisse à l'horizon. Cela m'a permis d'introduire la notion de point de vue et la nécessité pour décrire un mouvement de préciser celui que l'on choisit, et donc qui est l'observateur.

De même ils sont parvenus à la conclusion que du point de vue de Rahan, la proue de la pirogue ne se déplaçait pas, mais qu'il n'en allait pas de même pour les habitants de l'île. Ils ont alors convenu avec le meneur de jeu qu'il n'y avait pas une formulation plus correcte que l'autre.

Je suis ensuite revenue sur les deux modèles astronomiques. Pour un observateur situé sur Terre, c'est le Soleil qui se déplace dans le ciel, alors que pour un observateur situé sur le Soleil, la Terre tourne sur elle-même : nous avons affaire à deux points de vue différents. Une introduction à l'histoire de l'idée de relativité du mouvement leur a été finalement présentée (Aristote, Aristarque, Ptolémée, Copernic, Tycho Brahé, Galilée, Newton, Mach, Einstein).

Aux étudiants futurs enseignants du primaire et du secondaire, une



fois acquis que le modèle de Rahan expliquait ce que l'on observe vu de la Terre, il a été demandé ce qu'ils répondraient à une personne qui justifierait l'observation personnelle du déplacement de l'ombre d'un bâton planté dans le sol au cours d'une journée ensoleillée, « parce que le Soleil a bougé/s'est déplacé/a tourné ».

Bien que certains restent tout de même perturbés par la modélisation qu'ils viennent de réaliser, la grande majorité persiste à affirmer que c'est la Terre qui tourne et non l'inverse.

Le meneur de jeu les met alors face à leurs contradictions : comment peut-on affirmer que ce n'est pas le Soleil qui se déplace alors même qu'ils le voient et qu'ils viennent de développer un modèle expliquant le phénomène de cette façon ?

Après avoir rappelé la primauté de l'expérience en sciences, et que lorsque deux modèles expliquent un même phénomène, on ne peut en éliminer un d'un simple geste de la main, l'introduction du principe de relativité du mouvement permet de lever les tensions accumulées et le cours s'achève comme précédemment par une introduction à l'histoire de idées.

## En guise de conclusion

Il reste délicat dans le cas des jeunes élèves d'évaluer dans quelle mesure le travail réalisé leur a permis effectivement d'intégrer le principe de relativité du mouvement. Ils ont à tout le moins réalisé plusieurs modélisations et découvert que plusieurs modèles pouvaient expliquer un même phénomène et qu'en science on donne la primauté à l'expérience, ce qui est en soi un apprentissage épistémologique important.

Une semaine après la mise en place de la séquence, un quart des élèves étaient capables d'utiliser la notion de point de vue dans leur réponse à une question où deux élèves leur demandaient de les départager, l'un affirmant après avoir vu l'ombre d'un bâton se déplacer au cours de la journée que c'est parce que le Soleil se déplaçait et l'autre que c'est parce que la Terre tournait sur elle-même.

En ce qui concerne les étudiants, immédiatement après la séquence et avec une introduction à l'histoire des idées faisant la part belle à la physique, ils acceptent très largement d'appliquer le principe de relativité dans le contexte Terre-Soleil. Quelques mois après, une proportion non négligeable des étudiants redevient en revanche copernicienne.

Changer de paradigme n'est jamais simple et c'est ce que l'on invite les participants à réaliser dans le cadre de cette séance. La résistance qu'ils y opposent est somme toute assez normale, même s'il est regrettable que près de 400 ans après que Galilée a formulé pour la première fois le principe de la relativité, il reste toujours aussi peu acceptable dans le contexte astronomique Terre-Soleil. Espérons que l'utilisation de la bande dessinée Rahan contribuera à faire évoluer la situation.

## Références

Blanquet, E. & Picholle, É. (2021, soumis). Emergence Of Conformist Thinking Under Strong Paradigmatic Pressure: The Case Of (Galilean) Relativity. <https://arxiv.org/abs/1912.04110>

Blanquet, E. (2021, sous presse). Des pirogues comme le Soleil ? Points de vue et *estranement* visuel dans « Le Secret du Soleil » de Roger Lécureux & André Chéret. In Ph. Baryga, E. Blanquet et É. Picholle (dir.), *Lecture d'images et estrangement visuel*. Nice : éditions du Somnium.

Blanquet, E., Saulnier, M.-L., Picholle, É. (2021). Bande dessinée et illustrations de science-fiction : des outils pour former les professeurs des écoles en astronomie et développer leur compréhension du principe de relativité. In E. Rollinde (dir.), *Astronomie pour l'éducation dans l'espace francophone 2021*. Paris : éditions Le Manuscrit.

Blanquet, E., Baryga, Ph. & Picholle, É. (2019). *Le Secret du Soleil* : un pas de côté précopernicien avec Rahan. Science en récit, science en image. Angoulême, 15-17 mai 2019.

Blanquet, E. & Picholle, É. (2018). Démarche d'investigation, pédagogie frontale et principe d'autorité : l'exemple du système héliocentrique. *Recherches en Éducation*, n° 34, pp. 62-74. Dossier Éducation scientifique et émancipation, dir. Denise Orange. Accessible en ligne : <https://doi.org/10.4000/rec.1866>

Blanquet, E. & Picholle, É. (2011). Challenging pre-Galilean misconceptions through alternative visualizations. Actes de la Conférence ESERA, 5-9 septembre 2011, Lyon, France. Accessible sur le site Hal : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01352767>

Blanquet E. (2011). Astronomie et mouvements relatifs : sortir du cadre. In E. Blanquet & É. Picholle (dir.), *Science et fictions à l'école : un outil transdisciplinaire pour l'investigation ?* Nice : Somnium. pp. 149-177.

Chéret, A. & Lécureux, R. (2011). *L'Enfance de Rahan - Le Secret du Soleil – La Horde Folle*. Paris : Ed. Cobra. (première parution dans *Pif gadget*, n°1, avril 1969).

Manchu (2002). *Science (Fiction)*. Paris : Delcourt.

Saltiel, E. & Malgrange, J.-L. (1980). Spontaneous ways of reasoning in elementary kinematics. *European Journal of Physics*, n°1, p.73-80.

Suvin, D. (1977). *Pour une poétique de la science-fiction*. Québec : Presses de l'univ. du Québec.



# UNE PLACE POUR L'ASTRONOMIE DÈS L'ENFANCE DANS LES PÉDAGOGIES LIBERTAIRES AU TOURNANT DU XX<sup>e</sup> SIÈCLE

Florian Mathieu

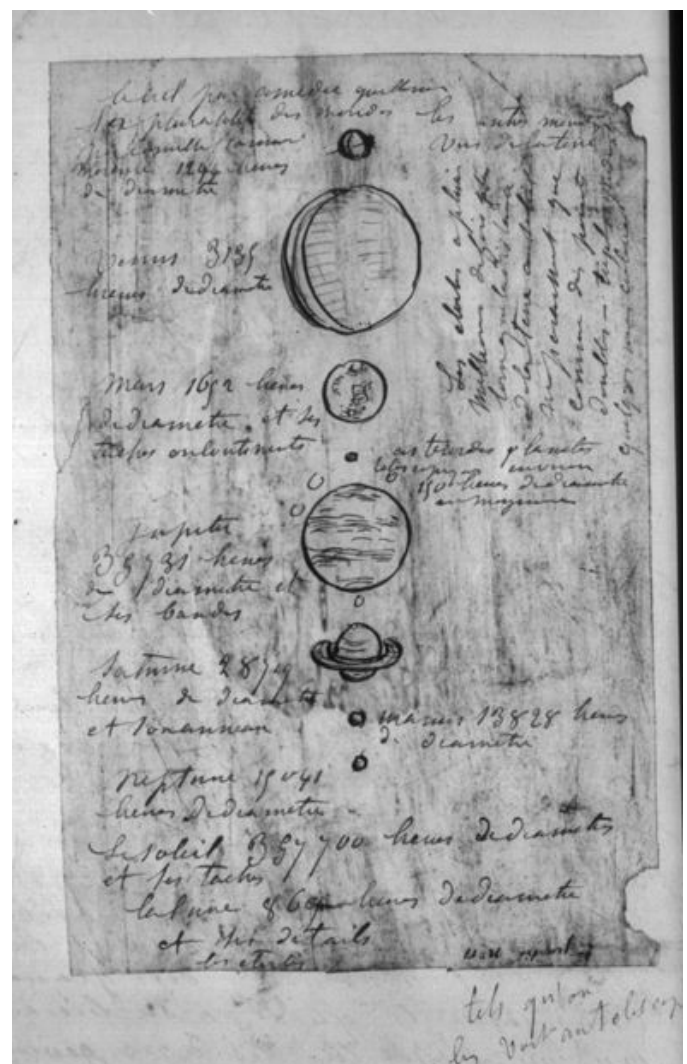
*Une page d'histoire à l'aube du XX<sup>e</sup> siècle décrivant l'importance de l'astronomie pour développer les capacités manuelles et intellectuelles des enfants, tout en leur donnant une explication rationnelle des phénomènes de l'Univers.*

*En arrière-plan de cette démarche on perçoit nettement l'influence du grand vulgarisateur Camille Flammarion.*

Lorsque les lois Ferry sont votées au début des années 1880, l'astronomie est complètement absente des programmes de l'enseignement primaire. Malgré une mobilisation et des demandes répétées de la part des astronomes, notamment du célèbre vulgarisateur Camille Flammarion, cette discipline ne fut jamais introduite à l'école dans les textes officiels sous la III<sup>e</sup> République. Certains pédagogues appartenant à la mouvance anarchiste s'attachent alors également à réaffirmer le rôle éducatif pouvant être attribué à cette science. La célèbre institutrice Louise Michel esquisse par exemple un projet d'encyclopédie enfantine, au sein de laquelle l'astronomie occupe une place significative. En effet, pour la militante révolutionnaire, « La même attraction qui fait graviter autour de leur soleil les planètes dans un ordre harmonique attire les êtres et les sociétés humaines vers le progrès idéal de justice et d'intelligence (...) »<sup>1</sup>.

Dès lors, l'enseignement de l'astronomie constitue un enjeu important, dans la mesure où la compréhension des phénomènes célestes est perçue comme une porte d'entrée vers une prise de conscience politique de la part des exploités.

Si la majeure partie du projet d'encyclopédie est demeurée à l'état de manuscrit inachevé<sup>2</sup>, les archives du mouvement ouvrier révèlent des initiatives portées par d'autres militants, qui permettent d'attester plus concrètement de l'importance théorique et de la mise en pratique de la transmission de ce savoir scientifique auprès des enfants dans le cadre d'une pédagogie libertaire.



Une page du manuscrit de l'*Encyclopédie enfantine* de Louise Michel, représentant la taille apparente des différentes planètes vues de la Terre au télescope et accompagnées de quelques données chiffrées.

1 Louise Michel, *Lectures encyclopédiques par cycles attractifs*, Librairie d'éducation laïque, Paris, 1888, p. 7.

2 Seules deux courtes brochures furent imprimées et publiées : les *Lectures encyclopédiques* sus-citées ainsi que les *Notions encyclopédiques par ordre attractif*, Buchillot printer, Camberwell, 1894. Des parties du manuscrit du projet d'encyclopédie enfantine sont conservées et numérisées à l'Institut international d'histoire sociale d'Amsterdam, consultables à cette adresse : <https://hdl.handle.net/10622/ARCH02550.568>.



## L'astronomie dans l'éducation intégrale de Paul Robin, de la théorie à la pratique

L'œuvre de Paul Robin en matière d'éducation libertaire est considérable. Membre de l'Association internationale des travailleurs et proche de Bakounine, ce professeur de mathématique/physique de formation s'est en effet essentiellement consacré à l'aspect éducatif du projet anarchiste<sup>3</sup>. Celui-ci peut être rapidement caractérisé par quelques grands principes : pour lutter contre les dogmes et religions, l'éducation des enfants doit leur permettre de développer un esprit rationnel ; afin de ne pas favoriser la reproduction de l'exploitation capitaliste, la séparation entre les activités manuelles et intellectuelles n'a pas lieu d'être ; enfin, une attention particulière est prêtée à l'épanouissement individuel et au bonheur de l'enfant.

Autour de 1870, Paul Robin reprend donc et prolonge certaines réflexions pédagogiques initiées par les premiers penseurs socialistes et anarchistes, en élaborant notamment une théorie de « l'éducation intégrale ». Comme son nom l'indique, l'éducation intégrale consiste à prendre en compte tous les aspects de la vie dans l'éducation des enfants : éducation physique, manuelle, intellectuelle, morale mais aussi principe de coéducation des sexes, une grande attention portée à l'hygiène et un encouragement à l'entraide entre les élèves des différentes classes d'âges.

Pour Robin, les sciences et l'astronomie trouvent alors pleinement leur place dans le projet d'éducation intégrale : si elle

permet de donner une explication rationnelle aux phénomènes de l'Univers, le premier apprentissage induit par l'astronomie est surtout l'observation, ce qui contribue de cette manière au développement des sens et de l'attention.

Elle est ensuite un moyen pour développer des activités plus manuelles par la construction et la manipulation d'instruments, puis elle devient plus tard un support pour la pratique du calcul. Ces différents aspects de la pratique astronomique permettent également le travail d'échange et d'entraide entre les enfants de classes d'âges différentes.

On peut noter qu'on retrouve un certain nombre de similitudes dans cette conception de l'enseignement

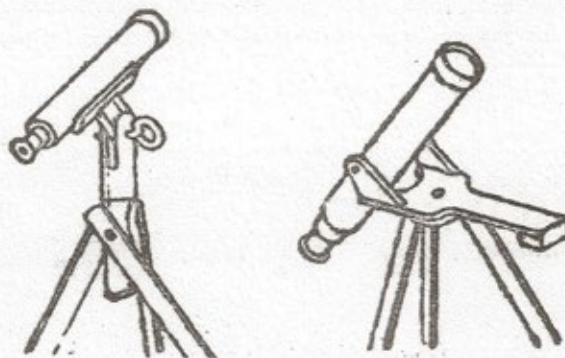
scientifique avec la méthode intuitive chère à Ferdinand Buisson et au rôle attribué à la leçon de choses aux débuts de l'école républicaine, à la différence que cette dernière était surtout centrée autour des sciences naturelles.

Il se trouve justement que ce même Ferdinand Buisson, directeur de l'enseignement primaire au ministère de Jules Ferry, connaissait Paul Robin et était sensible à ses travaux. Afin de lui donner l'opportunité d'expérimenter pratiquement ses théories pédagogiques innovantes, il confie à ce dernier la direction d'un orphelinat à Cempuis dans l'Oise, à partir de 1880.

C'est comme cela que se constitue de manière qu'on pourrait qualifier d'avant-gardiste un établissement

138 L'ORPHELINAT PRÉVOST 2<sup>e</sup> SÉRIE N° 10 — MAI-JUIN 1888.

sant de 15 à 20 fois, elle doit être soutenue autrement qu'à la main. On peut, faute de mieux, l'attacher à un tabouret placé sur une table, de préférence avec des caoutchoucs qui permettent des mouvements de bas en haut de quelque étendue, le déplacement du tabouret donnant tous les déplacements de côté ; mais pour peu qu'on ait un peu de bois, un peu de zinc, quelques uns de ces outils que toutes les écoles commencent à posséder, et de la bonne volonté, on pourra faire un pied fort passable en s'inspirant d'un des deux types suivants.<sup>(1)</sup>



Le bon écolier qui aura dépensé ses 15 sous pour ses lentilles et employé quelques loisirs et quelques vieux papiers d'emballage à faire sa lunette, aura déjà eu bien des jouissances. Plus grandes encore seront celles que lui réserve une pénétration plus profonde dans le monde de l'infini.

Mais tout cela n'est rien au près des petits moments de bonheur que le jeune astronome saura procurer à ceux qui l'entourent. Tout homme a besoin d'avoir quelques loisirs et de les employer gaiement. Malheureusement les seules joies qui se présentent un peu partout sont bien grossières. Bénis soient l'art et la science qui en donnent de si pures à leurs plus humbles adorateurs !

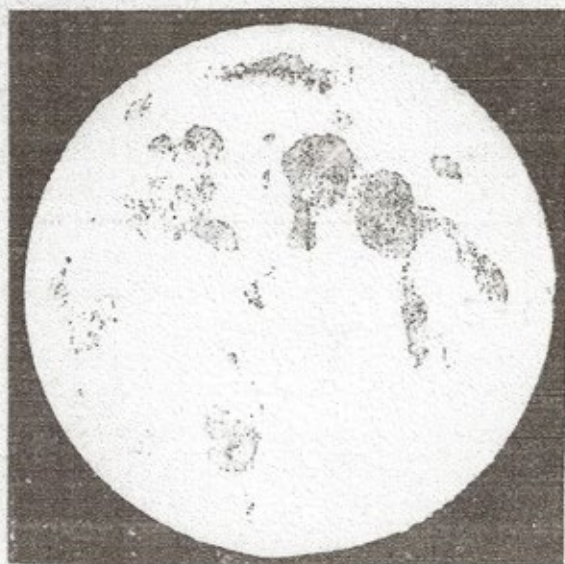
(1) Nos lecteurs seront indulgents pour ces figures plus claires que nettes quand ils sauront que c'est un premier essai, de gravure chimique fait par un élève sans autre guide que des indications écrites.

<sup>3</sup> Pour une étude approfondie de la vie et de l'œuvre de Paul Robin, nous renvoyons au travail de Christiane Demeulenaere-Douyère : *Paul Robin, 1837-1912 : un militant de la liberté et du bonheur*, Ed. Publisud, 1994.

## CAUSERIE ASTRONOMIQUE

12 février, 7 heures du soir ; soirée magnifique, ciel d'une pureté parfaite, clair de lune éblouissant. On raccourcit un peu la leçon de comptabilité, on compte si peu de soirées aussi belles, qu'il faut en profiter, les enfants quittent la chaude classe et se groupent autour du professeur, sans trop sentir le froid du dehors.

Voici bien haut, vers le sud-est, la lune presque pleine. Si la neige n'avait pas couvert le ciel de son voile à cette même heure, vous auriez vu hier la lune plus près du sud. Il y a 6 ou 8 jours je vous ai fait remarquer son fin croissant vers l'ouest, bien près de son coucher.



La lune tourne tous les jours autour de nous avec les étoiles, mais va moins vite qu'elles.

Elle fait le tour entier et revient aux mêmes étoiles au bout de 27 jours  $\frac{1}{3}$ . Et comme le soleil qui l'éclaire a reculé dans le même sens, à peu près 13 fois moins vite, elle ne revient à la même phase qu'après

En ce qui concerne l'articulation entre enseignement manuel et enseignement intellectuel, Paul Robin propose à ses élèves la construction d'une lunette « pour 15 sous », où il explique comment fabriquer une lunette astronomique avec des matériaux simples et bon marché. Les différentes étapes de la construction sont détaillées dans le *Bulletin*, à l'aide de schémas explicatifs, l'accent est mis sur le côté ludique et plaisant que peut constituer un tel exercice, tout en insistant sur la dimension scientifique de l'objet et son utilisation à des fins d'observation<sup>5</sup>.

En 1894, suite à une campagne du camp réactionnaire s'opposant notamment au principe de coéducation des sexes, Paul Robin est démis de ses fonctions à la tête de l'orphelinat et l'aventure prend brusquement fin. Néanmoins, le relatif succès de l'expérience encourage d'autres militants à poursuivre cette forme d'engagement.

### Forger l'esprit scientifique tout en amusant : l'astronomie dans les travaux pédagogiques du mathématicien anarchiste Charles-Ange Laisant

À l'échelle européenne, le renforcement et la diffusion des pédagogies libertaires durant les années 1900 sont fortement marqués par la figure de Francisco Ferrer. S'inspirant notamment des thèses de Paul Robin, ce dernier fonde l'*Escuela Moderna* à Barcelone en 1901 et devient le principal architecte d'un réseau international visant à promouvoir une éducation nouvelle. En 1908 est ainsi fondée la Ligue internationale pour l'éducation rationnelle de l'enfance.

scolaire laïque, mixte, fondé sur un principe de liberté avec pour objectif éducatif premier l'émancipation individuelle et collective des enfants. L'établissement étant sous la tutelle du ministère, il devait se conformer aux programmes officiels, ce qu'il fit tout en aménageant l'emploi du temps et certaines matières enseignées dans une perspective d'éducation intégrale.

Aux côtés d'une multitude d'activités, l'astronomie est ainsi bien présente dans les enseignements délivrés à Cempuis, notamment sous la forme de causeries sous les étoiles. Par beau temps, Paul Robin n'hésite

pas à faire sortir les enfants le soir, afin de les faire profiter des soirées favorables aux observations.

Une de ces sorties est décrite dans le *Bulletin de l'Orphelinat Prévoist*, le périodique de l'établissement : le professeur fait remarquer dans un premier temps le mouvement apparent des étoiles et de la Lune autour de la Terre, donne quelques chiffres, puis montre les principales étoiles et constellations avant un retour en classe, durant lequel est expliqué cette fois le mouvement réel des astres, ainsi que le rôle du calcul comme socle de la science astronomique<sup>4</sup>.

4 Bulletin de l'orphelinat Prévoist, janvier-février 1889, pp. 3-7.

5 Bulletin de l'orphelinat Prévoist, mai-juin 1888, pp.136-138.



Le mathématicien anarchiste Charles-Ange Laisant<sup>6</sup>, proche ami de Ferrer, y intègre immédiatement le comité de direction avec le titre de vice-président. Également proche de Camille Flammarion, ce dernier occupe aussi la fonction de vice-président de la Société astronomique de France entre 1907 et 1909.

Laisant se retrouve donc un temps à occuper des postes de direction à la fois dans la principale société astronomique du pays et la principale initiative internationale pour le développement des pédagogies libertaires ! Bien que les travaux les plus importants de Laisant en matière d'éducation concernent les mathématiques, ces derniers ne doivent pas éclipser son action en faveur des autres sciences et donc aussi de l'astronomie.

Laisant propose en effet d'initier les enfants dès le plus jeune âge à certaines bases de la méthode scientifique, en particulier à l'observation et à l'expérience. Dans un petit traité intitulé *L'éducation de demain*<sup>7</sup>, il précise notamment comment l'astronomie pourrait s'insérer dans ce programme :

« en astronomie, avec quelques promenades le jour et soir, quelques figures explicatives, quelques appareils improvisés donnant des images schématiques, on amuserait au plus haut point les enfants, on développerait en eux l'esprit d'observation et on meublerait sans effort leur mémoire de notions précieuses : les merveilleux livres de Flammarion nous montrent que donner une [Initiation astronomique] ne serait qu'un jeu pour lui »<sup>8</sup>

On remarque comment peut

s'articuler autour de cette science une vraie dimension ludique – amuser les enfants « au plus haut point » – et l'acquisition de connaissances et de compétences utiles. De fait, *l'Initiation astronomique* sera bien réalisée par Camille Flammarion, à la demande de Laisant, et publié en 1908<sup>9</sup>.

Après *l'Initiation mathématique*<sup>10</sup> écrit par Laisant lui-même et publié en 1906, ce volume sera le deuxième d'une collection de sept ouvrages traitant chacun d'une science particulière.

Les cercles anarchistes relaient avec bienveillance cette initiative éducative portée par l'un des leurs, mais *l'Initiation astronomique* reçoit également un accueil enthousiaste de la part des milieux socialistes. *L'Humanité* écrit ainsi que : « L'Initiation astronomique, par Camille Flammarion (collection des initiations scientifiques, fondée par M. Laisant), est un petit livre fort bien illustré et très intéressant [...]. C'est d'une lecture facile, très compréhensible, partant d'une utilité grande. »<sup>11</sup>. De même, *Le Parti ouvrier*, organe des socialistes allemanistes, explique que « l'astronomie est la première notion que chacun devrait acquérir, la base de toute instruction et de tout raisonnement. » et salue de cette façon un livre qui permettra aux éducateurs de la rendre « intéressante »<sup>12</sup>. S'il est difficile d'évaluer précisément l'usage de cet ouvrage en milieu scolaire, il est néanmoins probable



que de nombreux enseignants plus ou moins proches des réseaux de Laisant et/ou de Flammarion s'en soient emparés afin d'initier leurs élèves à l'astronomie.

À partir des années 1910, plusieurs initiatives syndicales vont ensuite quant à elles ouvertement pencher en faveur d'un renforcement de l'autonomie ouvrière en matière éducative, en se situant en dehors de l'institution scolaire. C'est dans ce contexte qu'est fondée la Ligue ouvrière de protection de l'enfance, celle-ci se donne une série d'objectifs éducatifs réalisables en dehors du temps scolaire, comme par exemple « créer des Cours de gymnastique rationnelle, des Promenades éducatives, Colonies de vacances etc. », mais aussi « un journal illustré amusant et intéressant pour les enfants »<sup>13</sup>.

Ce dernier verra le jour dès le début de l'année 1911 en paraissant sous le titre *Les Petits Bonshommes*, et de nouveau, l'astronomie s'y trouve bien présente.

6 Pour une biographie très complète de Charles-Ange Laisant, nous renvoyons au travail de Jérôme Auvinet: *Charles-Ange Laisant - itinéraires et engagements d'un mathématicien de la Troisième République*. Hermann, 2013.

7 Charles-Ange Laisant, *L'Éducation de demain*, publication de la colonie communiste d'Aiglemont n° 5, 1906.

8 Charles-Ange Laisant, *L'Éducation de demain*, éditions des Temps Nouveaux, Paris, 1913, p. 11.

9 Camille Flammarion, *Initiation astronomique*, Paris, Hachette, 1908.

10 Charles-Ange Laisant, *Initiation mathématique*, Paris, Hachette, 1906.

11 *L'Humanité*, 2 mars 1908.

12 *Le Parti ouvrier*, 25 janvier 1908.

13 *La Voix du Peuple*, 1910 n° 509, cité par Maxime Leroy, *La coutume ouvrière*, Paris 1913.

## Les Éclipses

— Dis-moi, grand-père : je viens de voir sur le calendrier que le 17 avril de cette année nous aurons une éclipse totale de soleil.

Qu'est-ce que c'est qu'une éclipse ?  
— Ah diable ! c'est assez long à expliquer ce que tu me demandes là ! Enfin, je vais essayer.

Il faut d'abord que tu saches qu'une chose est éclipsée quand elle disparaît derrière une autre ; il faut donc, pour un observateur, que deux objets se placent l'un devant l'autre pour qu'il y ait éclipse.

Les éclipses sont de deux sortes : celles de Soleil produites par la Lune

— Oui, grand-père ; c'est comme un chapeau pointu (fig. 2).

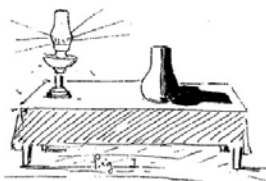
— C'est bien ça.

Puisque la Terre et la Lune ont une



Fig. 2

ombre à l'opposé du Soleil et que la Lune tourne autour de nous, il doit arriver que la Terre passe dans l'om-



et celles de Lune produites par la Terre.

Tu sais déjà que la Terre et la Lune reçoivent leur lumière du soleil ; tu es assez bon observateur pour avoir remarqué que lorsqu'un objet est éclairé par un autre, il forme une ombre à l'opposé de l'objet qui l'éclaire.

Par exemple, derrière ce vase qui est éclairé par la lampe il y a une ombre ; c'est parce que ce vase n'est pas transparent et qu'il empêche la lumière d'éclairer la partie qui est derrière lui (fig. 1).

La Lune et la Terre projettent aussi derrière elles un cône d'ombre.

Tu sais ce que c'est qu'un cône ?

bre de la Lune et qu'il se produise une éclipse de Soleil ; et que, d'autres fois, ce soit la Lune qui passe dans l'ombre de la Terre et qu'il se produise une éclipse de Lune (fig. 3).

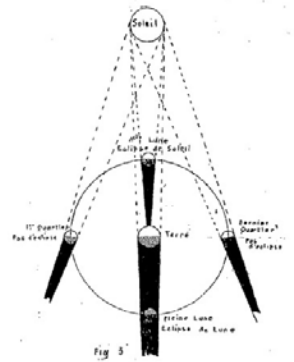


Fig. 3

## Une science pour comprendre le monde par soi-même dans les pages d'un journal anarchiste pour enfants

La plupart des articles traitant d'astronomie dans le journal sont signés d'un ouvrier métreur du nom de Jean Couture, militant anarchiste qui fut également un temps membre de la Société astronomique de France. Dès le deuxième numéro du journal, il initie une sorte de feuilleton : « Grand-père et petit Paul causent d'astronomie », mettant en scène un enfant posant plusieurs questions à son grand-père sur des thématiques concernant l'astronomie, auxquelles ce dernier s'efforce de répondre.

Par exemple, dans le premier épisode de cette série, intitulé « Le jour et la nuit », petit Paul demande pourquoi le Soleil se couche à l'Ouest et se

lève à l'Est. Au lieu de se contenter d'affirmer que c'est simplement en raison du mouvement de rotation de la Terre sur elle-même, le grand-père manie habilement la maïeutique avec un exemple plus parlant pour un enfant, afin de convaincre son petit-fils de la réalité de ses affirmations : « As-tu remarqué, que lorsque tu es monté en chemin de fer, et que tu regardes par la portière, toute la campagne à [sic] l'air de courir en sens inverse du train, et toi, tu as l'air de rester en place. Cependant, c'est toi et le chemin de fer qui marchez. »<sup>14</sup>. Suite à quoi petit Paul réussit à conclure par lui-même que c'est bien parce que la Terre tourne qu'il y a le jour et la nuit.

L'exercice proposé ici a une double fonction : il s'adresse à la fois aux enfants susceptibles de lire le journal, mais aussi et surtout aux adultes et éducateurs pour leur proposer

bine dans le grand tube, mais le petit doit rester libre.

Voici la lunette construite, mais en astronomie une lunette tenue à la main

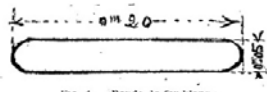


Fig. 4. — Bande de fer blanc.

ne sert à rien ; il faut donc construire un pied.

Voici un moyen économique.

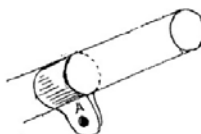


Fig. 5. Bande de fer blanc montée sur la lunette.



Fig. 6. Tête du manche à balai.

Découpez une bande de fer blanc d'environ 20 centimètres de long et de

les deux extrémités arrondies l'une sur l'autre, comme ceci (fig. 5) ; en A, percez un trou.

Prenez un manche à balai, fendez-le par un bout à l'aide d'une scie, sur environ 6 à 7 centimètres.

Percez un trou perpendiculairement à cette fente (fig. 6).

Introduisez la patte en fer blanc dans la fente et faites traverser le trou par une vis de serrage à ailettes (fig. 7).



Fig. 9. — Rondelle pour l'objectif. (Grandeur naturelle.)

Il ne reste plus que le pied à confectionner. Pour cela, une vieille bouteille (à champagne de préférence) va vous servir ; amincissez votre manche à balai (il faut qu'il soit plus large que le goulot de la bouteille), faites cet amincissement aussi cylindrique que possible (fig. 8).

Remplissez la bouteille de sable ou de plomb de chasse (n'importe quel corps lourd peut être utilisé).

La lunette est construite, il n'y a plus qu'à s'en servir.

J. COUTURE.



Fig. 7. Vis de serrage.



Fig. 8. Aminci du manche à balai.

5 de large, arrondissez les deux extrémités (fig. 4), collez-la avec de la secotine autour du gros tube en rabattant

Observation. — Pour donner plus de solidité à la fixation des verres, l'on peut découper des rondelles de cette forme (fig. 9) dont on colle les pointes sur le tube. Le trou doit être un peu

d'utiliser des procédés pédagogiques similaires à ceux employés par le grand-père.

Dans le cadre de l'éducation libertaire — au sein de laquelle les bases de ce qu'on appellera plus tard la « méthode active » étaient déjà largement posées — le rôle principal de l'éducateur consiste ainsi essentiellement à guider l'enfant, afin de transformer ses premières intuitions en raisonnement lui permettant d'appréhender le monde de manière rationnelle.

Dans cette perspective, une initiation à l'astronomie semble décidément tout adaptée : à partir de phénomènes observables à l'œil nu aussi banals que l'alternance jour/nuit ou le cycle des saisons, il s'agit d'amener l'enfant à s'interroger sur leurs causes et à rechercher « par lui-même » — bien que guidé par l'éducateur — l'explication la plus proche de la vérité.

14 Les Petits Bonshommes, n°2, 15 janvier 1911.



Dans un autre article consacré aux phases de la Lune<sup>15</sup>, les explications passent cette fois par une mise en situation expérimentale : le grand-père propose en effet à son petit-fils de se positionner devant une lampe en tenant dans sa main une orange plantée sur une aiguille. La lampe représente le Soleil, l'orange la Lune tandis que petit Paul prend la place de la Terre. En fonction des différentes positions où se trouve l'orange vis-à-vis de lui et de la lampe, petit Paul peut constater les différences d'éclairage correspondant elles-mêmes aux phases.

Ici, au-delà de l'efficacité didactique du procédé, l'explication d'un phénomène astronomique est donc également utilisée afin d'introduire implicitement certaines notions caractéristiques de la méthode scientifique et de la démarche expérimentale, dans une mise en application concrète des propositions théoriques de Laisant.

En 1912, Couture a une formidable opportunité de faire vérifier à ses lecteurs, par l'observation et l'expérience – grandeur nature cette fois – les causeries astronomiques de Grand-père et petit Paul, à l'occasion de l'éclipse totale de Soleil du 17 avril visible à Paris.

Le 15 avril 1912, un article est ainsi logiquement consacré à l'explication du phénomène, et se termine par une proposition du Grand-père d'emmener petit Paul observer l'éclipse sur la terrasse de Saint-Germain-en-Laye.

Ce point d'observation n'est pas suggéré au hasard : outre un horizon

dégagé, il se trouvait également bien placé sur la bande de totalité de l'éclipse. Ces conseils adressés indirectement aux lecteurs quant au lieu d'observation étaient également accompagnés de conseils techniques : alors que petit Paul demande à son grand-père par quel moyen il sera possible d'observer l'éclipse, ce dernier lui explique qu'il suffit de noircir des verres à l'aide d'une bougie<sup>16</sup>.

Sur le plan technique justement, outre les différentes explications de phénomènes, Jean Couture complète sa série d'articles par un tutoriel de fabrication d'une « Lunette à bon marché »<sup>17</sup>.

Avec quelques variations mais globalement selon les mêmes principes, Couture propose donc lui-aussi à des enfants, à l'instar de Paul Robin, de fabriquer leur propre lunette. Plusieurs schémas viennent de nouveau illustrer le processus de fabrication et le faible coût est également mis en avant.

Il est en effet précisé à la fin de l'article que « La lunette ainsi construite reviendra à moins de 5 francs ».

S'adressant directement aux ouvriers et à leurs enfants, Couture cherchait ainsi probablement à les inciter à fabriquer et à se servir d'un instrument d'observation – même rudimentaire – dans le but là encore de pouvoir vérifier *par eux-mêmes* certains phénomènes décrits dans les

pages du journal<sup>18</sup>.

Mis bout à bout, tous ces articles de Jean Couture forment un programme cohérent, dans lequel la pédagogie libertaire est non seulement mise au service de l'apprentissage de l'astronomie, mais où cette science apparaît surtout de nouveau comme un excellent moyen de mettre en application certains de ses principes.

Bien qu'absente des programmes de l'école républicaine au tournant du XX<sup>e</sup> siècle, l'astronomie a donc toutefois pu être enseignée auprès de certains enfants, comme en témoignent ces exemples en marge de l'institution scolaire, dans le cadre d'une pédagogie libertaire. Si elles ne furent assurément pas les seules, les initiatives exposées ici, portées par des militants révolutionnaires combattant pour la justice sociale, présentent la particularité de s'être surtout adressées aux franges les plus défavorisées de l'enfance : les orphelins et les enfants d'ouvriers. Au-delà de la nécessité du renversement du capitalisme par le prolétariat, ces militants affirment que la révolution ne pourra se faire sans une transformation profonde dans les esprits de chaque individu. Parmi d'autres sciences, l'astronomie s'impose pour eux comme étant incontournable au sein d'un projet portant l'ambition de former des êtres éclairés, appelés alors à devenir les futurs acteurs de la fondation d'une nouvelle société.



<sup>16</sup> Technique très largement diffusée à l'occasion de cet événement et recommandée dans tous les journaux du pays, on sait aujourd'hui qu'elle n'apporte pas du tout une protection suffisante et peut engendrer de graves dommages à la rétine en cas d'exposition prolongée.

<sup>17</sup> Les Petits Bonshommes, n°18, 15 septembre 1911.

<sup>18</sup> Couture indique qu'une telle lunette permet d'obtenir un grossissement de 25x. Bien que limité, ce grossissement permet néanmoins d'observer par exemple quelques reliefs sur la Lune ou de séparer les étoiles de la Voie lactée.

*Date à retenir*  
École d'été d'astronomie du CLEA  
Elle aura lieu du 18 au 25 août 2022  
À Col Bayard près de Gap.  
Les inscriptions se feront au mois de mars.  
*Une information paraîtra en temps voulu.*

# COMPTE-RENDU DE L'ÉCOLE D'ÉTÉ DU CLEA 2021

Grégory Manzanares et Serge Paupy



Quel merveilleux accueil que celui des habitués des écoles d'été d'astronomie du CLEA !

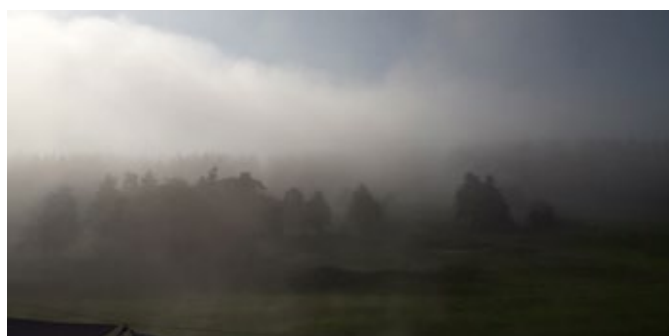
Pour sa première école post-Covid, le CLEA a entrepris de renouveler une formule éprouvée depuis de nombreuses années au centre d'oxygénation de Gap-Bayard du 18 au 25 août 2021.



Dès le pot de bienvenue, nous avons vite compris que cette EEA serait placée sous le signe de la convivialité et du goût de la transmission. Le choix même du centre, situé dans un cadre alpin magnifique et proposant des repas pantagruéliques agrémentés de spécialités montagnardes

délicieuses, permettait de prolonger très agréablement les ateliers et séances d'observations amorcés durant la journée.

Ravis de pouvoir se rencontrer et pour beaucoup de se retrouver, nombreux étaient ceux qui arboraient un magnifique T-shirt à l'effigie de leur passion. Car c'est bien la passion et le goût du partage qui a rassemblé autour de Frédéric Pitout et Sylvie Thiault des enseignants, des retraités, des astronomes et des chercheurs venus de tous horizons.







Le programme très dense et passionnant concocté par les membres du CLEA était placé cette année sous le signe du Temps. Pour les plus motivés, cela commence par une randonnée matinale, puis s'enchaînent cours théoriques, ateliers pratiques, conférences et bien sûr observations à l'œil nu ou aux instruments.

Nous avons ainsi pu enrichir notre bagage scientifique et découvrir des activités pédagogiques aptes à captiver nos élèves et surtout à les rendre acteurs de leurs propres apprentissages comme, par exemple, dans la réalisation de cadrans solaires, de calendriers ou d'observations astronomiques diurnes et nocturnes.

Les intervenants, membres «historiques» du CLEA ou extérieurs, chercheurs, professeurs et grands théoriciens ayant comme caractéristiques communes l'accessibilité et le goût de la transmission face à des nouveaux stagiaires parfois néophytes. Même si le niveau des cours pouvait parfois être très élevé, à aucun moment nous ne nous sommes sentis décrochés ou laissés pour compte.

Une belle illustration de l'esprit scientifique. Les animateurs avaient à cœur de nous faire découvrir des phénomènes complexes à l'aide d'expériences simples et étonnantes

comme la croix d'Einstein dans un verre de vin, la chambre à brouillard dans une bouteille d'eau tiède, ou la diffusion du pastis. Nous avons même appris à reconnaître des météorites en participant au passionnant projet Vigie-Ciel !

Et quel plaisir de voir, la nuit venue, la bande des passionnés débarquer devant le centre munis de toutes sortes d'appareils d'observation et de détection. Ce qui n'a pas manqué de surprendre les golfeurs et autres résidents du centre ! Lasers, jumelles, lunettes astronomiques, télescopes de toutes formes, longueurs et ouvertures et même spectromètres et détecteurs muoniques étaient au rendez-vous ! Depuis la mise en station et le pointage GOTO jusqu'à l'astrophotographie et la retouche d'image, les observations de planètes, d'objets de Messier comme le «trognon de pomme» ou d'étoiles doubles se poursuivaient souvent bien au-delà de minuit avec le bonnet et la lampe frontale rouge. Il faut alors savoir tempérer son enthousiasme et ses éclats de voix afin de ne pas réveiller les premiers couchés.

L'observation de delta Céphée a été le projet collaboratif mené au fil des nuits. En effet, l'éclat de cette étoile

varie de façon périodique au cours du temps ce qui permet de l'utiliser en tant que chandelle standard permettant ainsi de mesurer des distances. Certaines observations ont été rendues compliquées par la présence de la pleine Lune. Mais n'y a-t-il pas de meilleur exemple que notre satellite, dont la forme et l'éclat changent chaque jour pour illustrer l'écoulement du temps ? Nos ancêtres l'utilisaient d'ailleurs pour l'élaboration des calendriers, dont certains sont encore utilisés de nos jours.

Le dimanche est l'occasion de faire une petite pause. Certains en profitent pour partir en randonnée, d'autres pour aller au cinéma, ou encore se détendre au centre en profitant, pourquoi pas, de la bibliothèque richement fournie en ouvrages d'astronomie.

Cette école d'été a été ponctuée par une magnifique soirée bercée par la musique de Daniel, les quizz sur les croyances en astronomie de Pierre et les interventions d'un astrophysicien de renom international, Marc Lachièze-Rey, sur la relativité et le Big Bang. Sujets ô combien passionnants qui ont laissé des milliers d'étoiles dans les yeux de l'auditoire.





**Une seule envie : Revenir !**  
**Encore merci au CLEA pour cette superbe école d'été d'astronomie !**



### **Date à retenir pour les adhérents**

**L'assemblée générale 2021 du CLEA**  
**se déroulera le dimanche 30 janvier 2022**  
**à la FIAP Jean Monnet, 30 rue Cabanis 75014 PARIS**

*Les adhérents recevront une convocation en temps utile.*

Si vous souhaitez donner un avis sur la forme des Cahiers Clairaut ou sur le fond de certains articles,  
 n'hésitez pas à le faire via la liste de diffusion ([clea@listes.ens-lyon.fr](mailto:clea@listes.ens-lyon.fr))  
 ou en adressant vos remarques à Christian Larcher ([christianlarcher3@gmail.com](mailto:christianlarcher3@gmail.com)).  
 Nous pensons que ces échanges permettraient d'enrichir chacun de nous.

### **Solutions des mots croisés page 33**

#### **Horizontalement**

**1.** Cadranier. **2.** Hie. None (neuvième heure). **3.** Relatif. **4.** Apéro. **5.** Nuit. XII. **6.** On. Épi. XC. **7.** Min. UTC. **8.** Étoile. AR (aller-retour). **9.** Temps. Agi. **10.** Année. **11.** Exécres.

#### **Verticalement**

**1.** Chronomètre. **2.** Aie. Unité. **3.** Délai. Nommé. **4.** Apte. IP. **5.** Ante (ante meridiem). Pulsar. **6.** Noir. Ite. Né. **7.** Infox. Ans. **8.** ée. IX. Âge. **9.** Épicurien.





Vous souhaitez débiter ou vous perfectionner en astronomie ?

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

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



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

Renseignements et vidéo sur :

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

## Les productions du CLEA

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

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

### Fiches pédagogiques

Ce sont des hors-série des Cahiers Clairaut conçus par le Groupe de recherche pédagogique du CLEA : astronomie à l'école, mathématique et astronomie, le Soleil, ...

HS10 Mathématiques et astronomie (2012)

HS11 Les constellations (2014)

HS12 L'astronomie à l'école (2016)

HS13 Croyances et idées fausses en astronomie (2020)

HS14 Le Soleil (2018)

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

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

### Matériel

Filtres colorés et réseaux de diffraction.

### Maquettes

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

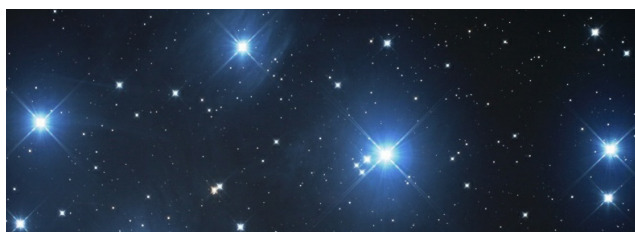
Vous pouvez retrouver ces productions sur le site de vente : <http://ventes.clea-astro.eu/>

Le formulaire de commande est sur le site.

## Le site web

**Une information toujours actualisée**

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



# LES CAHIERS CLAIRAUT

## LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 156 - Décembre 2016 9 €

Bulletin du Comité de Liaison Enseignants et Astronomes



Numéro 156 - hiver 2016-2017



ISSN 0758-234X

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

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

## COMMENT NOUS JOINDRE ?

### Informations générales :

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

### Siège social :

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

### École d'Été d'Astronomie :

[daniele-imbault@laposte.net](mailto:daniele-imbault@laposte.net)

### Cahiers Clairaut :

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

### Ventes des productions :

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

### Site web :

[contact@clea-astro.eu](mailto:contact@clea-astro.eu)

### Adhésion / Abonnement :

Adhésion CLEA pour 2022 :	<b>10 €</b>
Abonnement CC pour 2022 :	<b>30 €</b>
Adhésion + abonnement CC :	<b>35 €</b>
Adhésion + abonnement CC de soutien (papier et numérique) pour 2022 :	<b>40 €</b>

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

Directeur de la Publication : Frédéric Pitout  
Rédacteur de publication : Christian Larcher  
Imprimerie Grapho12, 12200 Villefranche de Rouergue



IMPRIM'VERT®



PEFC 10-31-2779 / Certifié PEFC / [pefc-france.org](http://pefc-france.org)

Revue trimestrielle: numéro 176 hiver 2021-2022  
Prix au numéro : 9 €

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