Le Ciel

Société astronomique de Liège

Mai 2020

Mensuel (ne paraît pas en juillet-août)

Éditeur responsable : Jean Manfroid, avenue de Cointe, 5 4000 Liège Numéro d'agrément P701237

Le Ciel ISSN 0771-3010

Bulletin de la **Société astronomique de Liège**

La **SAL** regroupe les amateurs d'astronomie de la région liégeoise, sans distinction de qualification ou de profession. Tél. : 0471/55.77.56

Envoyez votre courrier au ***président,*** M. Sojic, ou au ***rédacteur,*** J. Manfroid, à l'observatoire, avenue de Cointe 5, 4000 Liège, ou par mail : marko_sojic@yahoo.com ou marko.sojic@uliege.be

Communiquez tout **changement d'adresse** à : Raphaël Van Heers raphaelvanheers@gmail.com
Tél. : 0474/96.67.29

Autres adresses de contact :
Secrétaire : Gaëtan Greco, rue Charles Martel 20, 4040 Herstal.
Trésorier : J.M. Servais, rue Joseph Leclercq, 144, 4610 Beyne-Heusay astro.jm.servais@gmail.com
Tél. 04/358.21.91 ou 0467/62.46.81

Cotisation annuelle à verser au compte IBAN BE93 0011 5143 5567 (BIC GEBABEBB) de la SAL, avenue de Cointe 5, 4000 Liège. Cotisations 2020 : individuelle 29€ – familiale 34€ – protecteur 44€ – étudiant 19€. Supplément de 5€ pour les envois hors Belgique.

La **bibliothèque** est accessible aux membres avant les conférences. Le prêt est gratuit.
Contact : Gaëtan Greco, rue Charles Martel 20, 4040 Herstal (0496/53.28.99) g_gaetan@hotmail.com

La **boutique** est accessible à l'entrée des conférences, et auprès de J.M. Servais au 0467/62.46.81

Prêt d'instruments d'initiation (4 Dobson de 200 mm de diamètre) pour six mois.
Contacter Pierre Ponsard au 0468/09.25.11 ou pierre.ponsard@teledisnet.be

Observations : l'observatoire de la SAL est situé à Nandrin et celui de Pierre Ponsard à La Fosse. Veuillez vous référer à notre bulletin mensuel et/ou à notre compte Facebook pour connaître les dates des séances d'observation. Une liste de distribution **Cielobs** est disponible sur inscription auprès de Patrick Dumoulin : patrick.dumoulin@teledisnet.be
Voir pour les inscrits : https://groups.google.com/forum/#!forum/cielobs

Sites web : www.societeastronomique.uliege.be www.facebook.com/SocieteAstronomiqueLiege

Instagram : @astroliege **Courriel :** sal@societeastronomiquedeliege.be

Découvrez la Maison de la Science

Vous aimez les sciences, vous voulez les faire découvrir à vos enfants, vous voulez illustrer votre cours de sciences, alors, rendez-vous à la Maison de la Science. Animateurs scientifiques chevronnés, expériences interactives et insolites, ateliers pédagogiques, collections du patrimoine scientifique universitaire… et bien d'autres choses encore, vous y attendent !
Ouverture : lundi à vendredi de 9 à 12 h 30 et de 13 h 30 à 17 h, samedi et dimanche de 14 à 18 h ; en juillet et août tous les jours de 13 h 30 à 18 h.
Tarif : visite guidée d'une durée de 1 h à 1 h 30 pour tout public 4€ par personne.

D'autres possibilités pour les groupes scolaires ou non vous sont offertes, vous trouverez toutes les informations sur le site : www.maisondelascience.uliege.be/

Le Ciel

Volume 82 **mai 2020**

260 Vie de la société

262 L'héliochronomètre

272 Astronomie dans le monde : Constellations de satellites – HD101584 – Pallas en infraction – Bételgeuse (suite) – Étoiles à neutrons

288 Ciel du mois

289 Où chercher les planètes ?

290 Éphémérides du mois

291 Les observateurs : Comète Atlas : comète de l'année ou plus encore ? – Prêt d'instrument – Conjonction Vénus-Pléiades – Vénus illumine nos soirées

300 Astronomie sur l'île de La Palma-II

307 Galerie astro

Le groupe de galaxies NGC 5353/4 photographié depuis l'observatoire Lowell le 25 mai 2019 avec, en avant-plan, les traînées laissées par plus de 25 des 60 satellites Starlink. Voir L'astronomie dans le monde, p. 272.
(Victoria Girgis/Lowell Observatory, IAU)

ClimatePartner
impression climatiquement neutre

Nos annonceurs : p. 258 La Maison de la Science ; p. 320, AST Optics – Astromarket.org, Optique Buisseret.

Vie de la SAL

Au centre d'accueil à l'observatoire de Cointe. *Entrée par l'avenue des Platanes 17*

Planétarium : Il est accessible **au public** le deuxième samedi du mois à 16 h et **aux écoles primaires et secondaires** pendant la période scolaire. Autres visites de groupes possibles.
La réservation est indispensable :

- Pour les **séances publiques**, contact : Renaud Paquay 0471/55 77 56 ou renaud.sal@gmail.com
P.A.F. 4 € pour les membres et les étudiants, et 5 € pour les autres personnes.

- Pour les **écoles**, appeler la Maison de la Science au 04/366 50 04 pendant les heures de bureau.

Autres activités à Cointe :
- Radioastronomie le dernier mercredi du mois de 14 à 17 h.
- Autres réunions annoncées dans le bulletin.

Conférences et bibliothèque

À 19 h 30 *à l'**institut de physiologie**, 17 place Delcour, 4020 Liège.*
*P.A.F. **:** 0,5 € pour les membres, 1 € pour les étudiants, 3 € pour les non-membres.*
Bibliothèque ouverte avant les conférences de 18 h 30 à 19 h 30 ou sur rendez-vous à convenir avec le bibliothécaire Gaëtan Greco.

Observations à La Fosse

Pierre Ponsard invite nos membres aux dates ci-dessous. L'adresse de l'observatoire est : **route Napoléon à 6960 Manhay (La Fosse)**. Vous pouvez contacter Pierre au 0468/09.25.11 pour toute information ou en cas d'incertitude météo. Pensez aussi à consulter régulièrement notre page Facebook où les changements de dernière minute seront annoncés.

Lune	Date	Heure	Remarques
PQ le 30	Ven 29/05	23 h	
PQ le 30	Sam 30/05	23 h	

Covid-19

Suite à la décision des bourgmestres de l'arrondissement de Liège d'interdire la tenue de tout événement privé ou public en plein air ou à l'intérieur et ce jusqu'au 30 juin, nous ne publions pas de calendrier d'activités pour la période. Toutefois nous vous invitons à consulter nos sites internet au cas où des changements surviendraient.

À défaut de pouvoir maintenir la conférence mensuelle, nous vous proposons la rediffusion sur internet d'enregistrements d'exposés plus anciens à commencer par ceux-ci :
« *Communiquer avec les extraterrestres* » par Gaëtan Greco, exposé du 22 février 2019
« *Plus vite que la lumière*? » par Marko Sojic, exposé du 17 février 2012

À voir sur : http://societeastronomique.uliege.be/a-decouvrir/conferences/

In memoriam

Nous avons appris avec une grande tristesse le jeudi 9 avril dernier le décès à 89 ans d'un des plus anciens et plus éminents membres de notre société.

Docteur en Sciences Chimiques et Physique Moléculaire et Professeur Honoraire à la Faculté des Sciences de l'université de Liège, titulaire de nombreux prix et distinctions internationales, Joseph Depireux fut aussi un vice-président de notre société, un conférencier et un auteur d'articles très apprécié.

Les plus anciens d'entre nous se souviendront de ses exposés ou articles sur la mesure du temps, la spectroscopie ou encore le télescope électronique.

Les autres se rappelleront certainement l'avoir croisé lors de la plupart de nos conférences.

Le comité de la société astronomique de Liège présente à sa famille et à ses amis ses plus sincères condoléances.

Nouveau à la bibliothèque

Nous poursuivons le cycle cosmologique entamé dans les nouveautés disponibles, avec ce mois *L'Univers est une éponge*, une fresque historique signée par John Richard Gott. Cosmologiste blanchi sous le harnais, il a donné à ce livre une teneur biographique sans pour autant se mettre en avant. Avec de nombreuses références et mentions, on peut découvrir des aspects de la recherche qui ne se retrouvent pas nécessairement dans la littérature scientifique, grâce à quelqu'un qui a personnellement côtoyé certains des chercheurs cités, et porté un intérêt soutenu pour l'émergence d'une sous-discipline de l'astrophysique jusqu'à ses développements les plus récents. Gott résume l'élucidation de la structure à grande échelle du cosmos dès les premières applications théoriques de la relativité générale et le lancement de programmes d'observation utilisant des télescopes assez puissants pour pénétrer loin en distance (et largement en volume de cosmos exploré) pour tirer des conclusions solides sur l'Univers visible pris dans son ensemble, et plus seulement sur son contenu matériel. La détection de matière noire suit et débouche sur un déroulement des efforts de cartographie et de simulation informatique de l'architecture universelle aux plus vastes échelles. Des connaissances assez fermes en cosmologie sont nécessaires pour saisir l'entièreté des explications. Elles sont adressées aux amateurs déjà familiers avec les notions basiques, et qui ont plutôt envie de savoir comment le corpus de la cosmologie contemporaine s'est mis en place pendant le siècle écoulé.

Gaëtan Greco

L'héliochronomètre

John Gueulette

Généralités

L'un des griefs récurrents fait à l'endroit des cadrans solaires est qu'ils ne montrent – pour ainsi dire jamais – l'heure de la montre. Soit qu'ils sont mal positionnés, mal réglés ou hors d'état de fonctionner, soit encore qu'ils semblent à ce point compliqués qu'ils dissipent toutes velléités d'être lus.

Justement, l'héliochronomètre est un type de cadran solaire qui échappe à toutes ces critiques : il est robuste et facile à régler, et, surtout, il indique directement l'heure de la montre sans le besoin d'aucune correction préalable. À telle enseigne qu'on lui attribua le nom de « chronomètre solaire », évoquant le fait qu'il est capable d'une grande précision (meilleure que la minute), rarement atteinte avec les cadrans solaires classiques. Robuste et facile à régler. Cela parce qu'il est aussi simple que le cadran équatorial, avec ses lignes horaires équidistantes et le gnomon perpendiculaire à sa table ; aussi par le fait que son tracé est indépendant de la latitude, ce qui le rend utilisable partout, sans perte d'aucune précision.

Comme nous le verrons, l'étude de l'instrument fait appel à l'ensemble des notions vues dans nos articles précédents, tant en ce qui concerne les éléments de mécanique céleste que ceux graphiques de géométrie descriptive. Cet article constituera de la sorte une espèce de « révision » des méthodes de construction de l'ensemble des cadrans solaires plans, avec le bénéfice d'une intelligence approfondie de leur mode de fonctionnement.

Composition du cadran

Vue d'ensemble

L'héliochronomètre est essentiellement composé de deux parties, une « table » fixe et une partie mobile appelée « alidade » (**Figure 1**). La table est analogue à celle des cadrans équatoriaux et à l'instar de ceux-ci est inclinée sur le plan horizontal de l'angle correspondant à la colatitude locale. L'alidade est une sorte de règle (« réglette ») pivotant autour du centre de la table, aux extrémités de laquelle deux montants perpendiculaires – appelés « pinnules » – portent d'une part un « **sténopé** » (petit trou faisant office d'objectif comme dans les « *camera obscura* ») et d'autre part un écran sur lequel se projettent les images (du Soleil) formées par le sténopé.

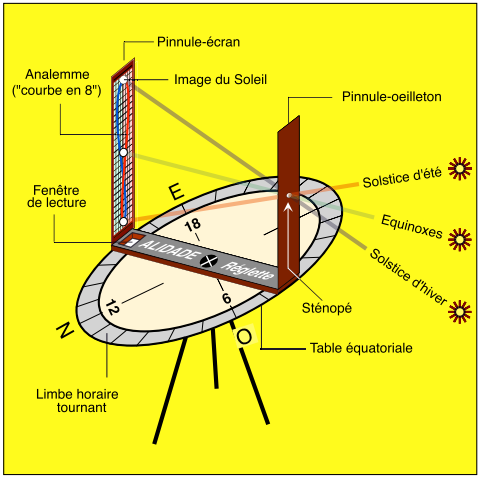


Figure 1. *Vue d'ensemble d'un héliochronomètre (voir texte). La table est située dans le plan équatorial ; la ligne horaire de 12 h est « normalement » orientée vers le nord ; le limbe horaire peut être tourné et défait de sa position normale pour être calé dans une direction particulière ; l'alidade pivote autour du centre de la table ; ses pinnules sont perpendiculaires à la table et donc parallèles à l'axe de la Terre. Les lignes obliques montrent la direction des rayons solaires contribuant à la formation de l'image des soleils de droite sur la pinnule-écran (voir texte).*

La table

La table porte les mêmes lignes horaires que le cadran équatorial, formant des secteurs circulaires de 15°, comptés de 0 à 23 dans le sens rétrograde. Toutefois, comme le montre la Figure, seules les extrémités des lignes

apparaissent sur la table, étant disposées sur un anneau – que nous appellerons désormais « limbe horaire » – pouvant être pivoté sur lui-même de manière que ses graduations puissent être défaites de leurs positions « normales » (12 heures pointant vers le nord) pour être calées dans une direction particulière. Ceci, comme nous le verrons, pour prendre en compte la différence de longitude entre le lieu et celle de référence de son fuseau horaire, et faire en sorte, 1) que la graduation 12 h soit avancée ou retardée de l'équivalent horaire de cette différence et, 2) que la graduation tournée vers le nord indique l'heure solaire « vraie » **au méridien de référence du lieu**. Cette fonctionnalité, doublée de la possibilité d'incliner la table à n'importe quelle colatitude rend l'héliochronomètre utilisable en tous lieux de la Terre.

L'alidade

L'alidade est le plus simple instrument de mesure des angles horizontaux. Dans sa forme de base, l'une des pinnules de sa réglette est percée d'un trou (sténopé) de petite dimension et la pinnule opposée d'une fenêtre relativement large barrée d'un fil d'araignée vertical. De la sorte, un objet vu à travers le trou (viseur) et aligné sur le fil d'araignée (pointeur), est situé dans la direction de la réglette, dont l'orientation, mesurée par un rapporteur centré sur son axe de rotation, est donnée dans sa « **fenêtre de lecture** ».

Dans l'héliochronomètre, le rôle de viseur est tenu par le sténopé de la « pinnule-œilleton », celui de pointeur par la « pinnule-écran » et celui d'objet par le Soleil : dès lors que l'image de ce dernier est placée sur l'axe de symétrie vertical de l'écran, son orientation est celle de la réglette, qui indique donc la direction du **Soleil vrai** (dans le plan équatorial de la table), exactement comme le fait l'ombre du gnomon des cadrans équatoriaux.

Toutefois, l'image du Soleil devra en pratique être placée en dehors de l'axe de symétrie de l'écran, précisément sur la « courbe en huit », ou « **analemme** » que nous allons y tracer (voir § constructions graphiques), et ce pour prendre en compte l'équation du temps et orienter l'alidade directement dans la direction du **Soleil moyen**. Nous verrons que cette seconde fonctionnalité combinée avec la précédente (limbe horaire pivotant) est celle qui confère à l'héliochronomètre toute sa magie de pouvoir fournir directement l'heure de la montre. À cet égard, et avant de poursuivre, nous recommandons vivement au lecteur de raviver ses connaissances sur la notion d'heure et ses différents types en consultant l'article qui y est consacré dans *Le Ciel* de janvier 2020.

Procédure d'utilisation et interprétation

Mise en station

La mise en station de l'héliochronomètre est analogue à celle des cadrans équatoriaux : la table est dans le plan équatorial ; la graduation de 12 h du limbe horaire est dans le plan méridien et « normalement » (c.-à-d. en absence de correction de longitude) tournée vers le *nord*. Le positionnement de l'instrument est considérablement facilité lorsque son embase est de forme carrée, comme décrit pour le cadran équatorial dans *Le Ciel* de septembre 2018.

Correction de longitude

Un seul préréglage – **spécifique du lieu, et de caractère pérenne** – est nécessaire pour que l'instrument soit en mesure d'indiquer l'heure civile locale. En effet, on sait que la première étape pour obtenir celle-ci consiste à déterminer l'heure solaire vraie **au méridien de référence du fuseau horaire du lieu considéré** (voir *Le Ciel*, janvier 2020). Il conviendra donc comme nous l'avons mentionné plus haut de prendre en compte la différence de longitude entre les deux méridiens (celui du lieu et celui de référence) et de défaire la graduation de 12 h de sa position « normale » pour la retarder ou l'avancer de l'équivalent horaire correspondant. C'est ce que l'on appelle « *la correction de longitude* ».

Prenons l'exemple d'un héliochronomètre placé à Cointe (latitude 50,62° N, longitude 5,56° E, UTC+1, méridien de référence 15°).

Situé 9,44 degrés (= 15° – 5,56°) à l'*ouest* de son méridien de référence, Cointe verra le Soleil passer à son propre méridien 37,8 minutes plus tard (4 minutes par degré). En conséquence, si l'on veut que l'instrument indique l'heure solaire (vraie) de son méridien de référence **alors qu'il est situé à Cointe**, il faudra tenir compte de ce retard en « reculant » le limbe horaire du temps ci-dessus, c.-à-d. en le faisant pivoter sur lui même de l'angle horaire correspondant dans le sens opposé à la progression de ses graduations d'heures (sens antihorlogique). Dans le cas où un héliochronomètre serait situé à l'*est* de son méridien de référence il faudrait au contraire **avancer** le limbe horaire. Nous verrons dans l'**Appendice** comment un limbe auxiliaire gradué en degrés, accolé au limbe horaire permet d'effectuer ce réglage aisément (voir la **Figure A.1**).

Prise en compte de l'équation du temps (ET)

L'équation du temps est le second élément à prendre en compte pour obtenir l'heure civile. **Lorsque le préréglage de longitude a été effectué** et que l'alidade est tournée de manière que l'image du Soleil se projette sur l'axe de symétrie vertical de la pinnule-écran, l'héliochronomètre indique l'heure **solaire vraie** au méridien de référence du lieu. Il suffira dès lors de dévier l'alidade de l'équivalent angulaire de ET, – **c.-à-d. de déporter l'image du Soleil sur l'analemme** – pour que le cadran indique l'heure solaire **moyenne** au méridien de référence, heure qui correspond précisément à **l'heure civile du lieu**.

Pratiquement (voir la **Figure 2**), quand ET est positive[1], c.-à-d. quand le Soleil vrai est en avance sur le Soleil moyen, son image est portée sur la demi-partie droite de l'écran, si bien que l'heure lue dans la fenêtre de lecture[2] de la réglette est **retardée** par rapport à l'heure solaire vraie. L'heure lue est au contraire **avancée** dans la situation inverse où ET est négative (le Soleil vrai est en retard sur le Soleil moyen) et que son image se forme sur la demi-partie gauche de l'écran.

Prise en compte alternative de ET

Au lieu de déporter l'image du Soleil sur l'analemme, on pourrait écarter latéralement le sténopé du centre de la pinnule-œilleton de l'angle correspondant à ET et porter l'image sur l'axe vertical de la pinnule-écran. Cette manière inverse de la précédente produit le même résultat, tout en présentant certes un avantage (celui de ne pas avoir à tracer la courbe d'analemme), mais aussi un inconvénient (celui d'avoir à déplacer le sténopé quotidiennement en fonction de la valeur ET du jour). Autres inconvénients : l'instrument ne se suffit plus à lui-même (une table de ET doit être disponible par ailleurs), et les dates correspondant aux déclinaisons du jour ne peuvent apparaître clairement sur la pinnule-écran (risque de confusion entre les dates correspondant à la même déclinaison). La méthode est présentée en Appendice (**Figure A3**).

Constructions graphiques

Toutes les constructions graphiques sont rassemblées dans la **Figure 2**, qui offre également une figuration rapide du principe de fonctionnement de l'instrument.

Construction du limbe horaire

Le limbe horaire est un anneau gradué comme le cadran des horloges 24 heures. Toutefois, à partir d'un diamètre d'une trentaine de cm, il pourrait porter des marques de subdivisions horaires aussi petites que la minute, permettant à l'utilisateur d'exploiter toute la précision dont l'héliochronomètre est théoriquement capable.

1 À noter que pour se conformer à la pratique des grands observatoires, la définition de ET que nous adoptons ici est inverse de celle utilisée dans notre article précédent sur la notion d'heure (*Le Ciel*, janvier 2020). ET est défini ici comme le temps qu'il **faut ajouter à l'heure solaire moyenne** (de la montre) pour obtenir l'heure **solaire vraie** : ET = heure vraie – heure solaire moyenne. La différence entre les deux définitions se traduit par le fait que ET change de signe.

2 Nous verrons dans l'Appendice que la fenêtre de lecture pourrait être située sur une demi-réglette auxiliaire (**Figure A2**).

Pouvant être pivoté sur lui même, sa position « normale » est de montrer sa graduation de 12 h calée sur le *nord* de l'axe *nord-sud* du cadran (tel que dans **Figure 2**). Dans cette position, l'instrument montre l'heure solaire vraie **locale**, identique à celle que montrerait un simple cadran équatorial.

Construction de l'alidade

La longueur de la réglette de l'alidade détermine la hauteur du sténopé sur la pinnule-œilleton et l'échelle du dessin de l'analemme. On voit (en haut à droite de la Figure) que la hauteur du sténopé doit, au minimum, être telle que l'image du Soleil au solstice d'été puisse se former sur le bas de la pinnule-écran. On a donc :

$$\mathbf{Ho = \sin 23{,}5° \,.\, Lr}$$

où **Ho** est la hauteur du sténopé et **Lr** la longueur de la réglette, plus précisément la distance séparant le centre du sténopé du plan de la pinnule-écran. Les images du Soleil des solstices d'hiver et d'été étant symétriques par rapport à celles des équinoxes (formées à hauteur du sténopé), la hauteur de la pinnule-écran doit quant à elle être au minimum double de **Ho**.

Construction de la courbe d'analemme

Les valeurs de l'équation du temps (ET) sont habituellement présentées sous forme de tableaux ou de graphiques, qui les expriment en fonction de la date ou de la déclinaison du Soleil qui lui est associée. De manière inverse, on peut exprimer la date ou la déclinaison en fonction de ET, ce qui graphiquement produit une courbe en forme de huit, également appelée **analemme**, ou encore courbe de Fouchy (voir *Le Ciel* janvier 2020). C'est cette courbe – dont l'ordonnée porte les dates et/ou les déclinaisons et l'abscisse les valeurs de ET – que doit faire voir la pinnule-écran. La courbe doit en effet être la figure tracée par les images successives du Soleil lorsque – l'héliochronomètre étant correctement positionné et l'alidade calée sur un chiffre d'heure donné – les images sont relevées jour après jour à l'heure **moyenne** correspondant à ce chiffre, tout le long d'une année calendaire.

La première étape du traçage de l'analemme consiste donc à déterminer l'échelle des abscisses et l'échelle des ordonnées de la grille sur laquelle seront portées les coordonnées de ses points.

• Détermination de l'échelle des abscisses

Dans l'exemple de la Figure, l'échelle des abscisses est obtenue en déviant – dans le **plan équatorial** – les rayons solaires passant à travers le sténopé par pas de 5 minutes (équivalant à 1,25°) autour de l'axe longitudinal de la réglette. Étant donné la petitesse des secteurs circulaires correspondant aux valeurs maximums de ET, les lignes (verticales) de rappel des abscisses sont quasiment équidistantes.

• Détermination de l'échelle des ordonnées

L'échelle des ordonnées est obtenue en déviant – dans le plan **perpendiculaire à la table passant par l'axe longitudinal de la réglette** – les rayons solaires passant à travers le sténopé par pas de 5° autour de la ligne des équinoxes (déclinaison 0°). Les secteurs circulaires correspondant aux valeurs maximums de déclinaisons ne pouvant plus être considérés comme « petits », les lignes (horizontales) de rappel des ordonnées ne sont plus équidistantes : leur écart par rapport à celle des équinoxes varient comme le sinus des déclinaisons.

De plus, en regardant la Figure de près, on verra que les lignes de rappel sont légèrement incurvées, en particulier celles des déclinaisons proches des solstices. En réalité ces lignes sont des arcs d'hyperboles, résultant du fait qu'elles sont la trace de l'intersection du plan de l'écran avec le manteau conique de lumière créé par la rotation du Soleil (dans le plan équatorial). Ce cas est analogue à celui des lignes de déclinaisons des cadrans polaires, qui sont symétriques par rapport à celle des équinoxes et dont l'incurvation est d'autant plus marquée que l'on s'en écarte (voir *Le Ciel*, mai 2019). Toutefois, dans le cas présent où les angles horaires à considérer pour le traçage de l'analemme sont relativement « petits », les arcs d'hyperboles pourraient être utilement remplacés par des droites.

• Traçage de la courbe

Alors que nous venons de définir la grille des coordonnées de la courbe, il reste à y placer les points correspondant aux différentes valeurs de l'équation du temps et de leur ajuster la « meilleure » ligne décrivant leur variation. On trouvera en Appendice (**Tableau A1**) les valeurs de ET et des déclinaisons δ correspondantes pour l'année 2000. À noter que les valeurs de ET ne changent que très faiblement d'une année à l'autre, si bien que celles de l'année 2000 (année de référence pour de nombreux phénomènes astronomiques) resteront valables pendant plusieurs décennies.

La courbe obtenue sera évidemment d'autant plus précise que le nombre de points est grand, et ce particulièrement dans la région des solstices où la déclinaison du Soleil varie lentement alors que ET évolue rapidement vers un changement de signe.

Par ailleurs, nous présentons en Appendice (**Figure A4**) le tracé d'une analemme dont la précision devrait être compatible avec celle de l'héliochronomètre. Offrant au lecteur la possibilité de la télécharger, elle pourra être reproduite à l'échelle de son choix. Rappelons que la distance entre les sommets supérieurs et inférieurs de la courbe doit être égale à 2 fois la longueur de la réglette multipliée par le sinus de 23,5° (il suffira donc d'imprimer la courbe une première fois puis de la réimprimer à l'échelle donnée par le rapport entre la mesure que l'on souhaite et celle du premier tirage).

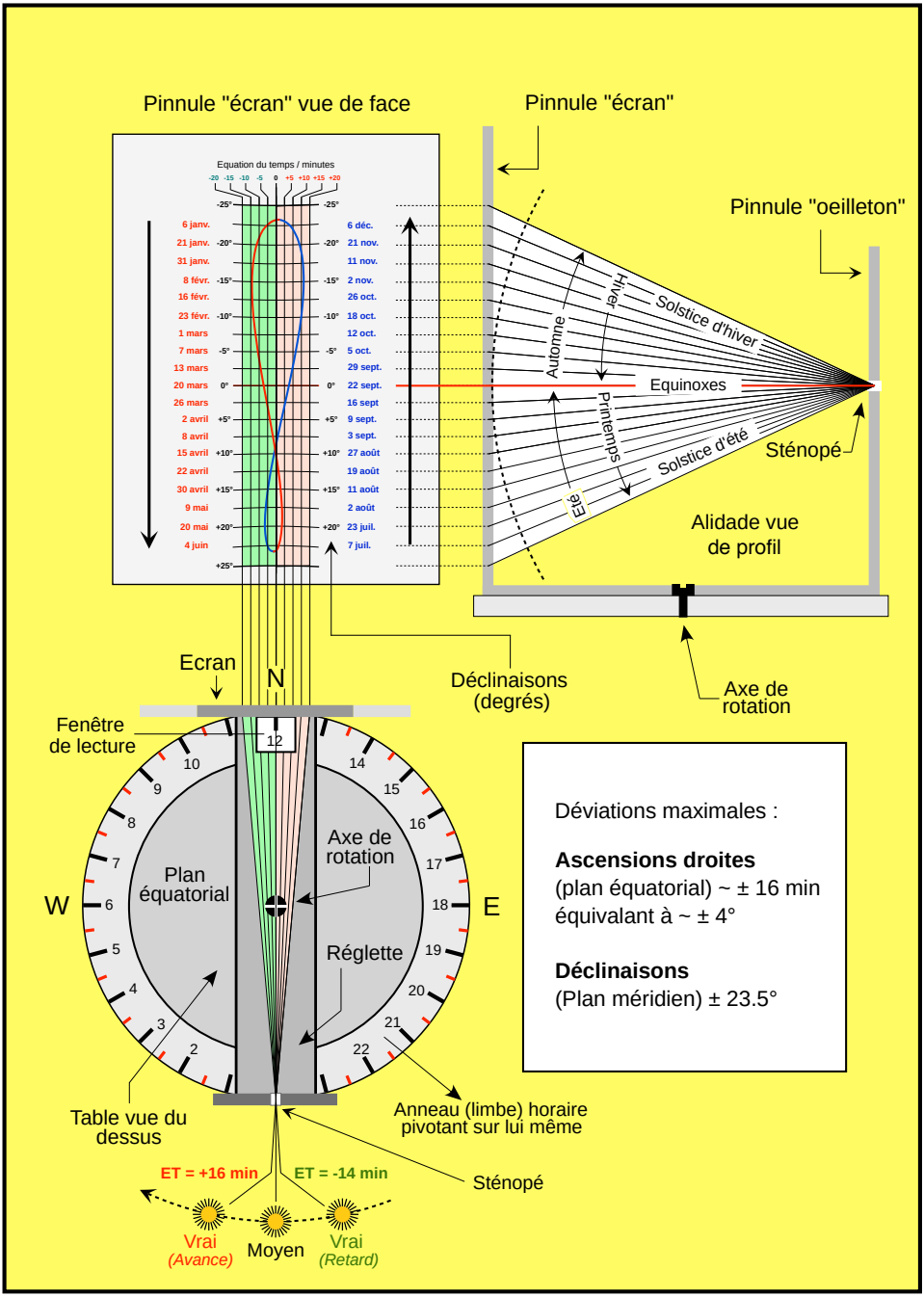
Aspects pratiques et techniques

La paire pinnule-œilleton / pinnule-écran a la même fonction qu'une « *camera obscura* » dont le sténopé est un trou de très petit diamètre (fraction de millimètre). Celui de l'héliochronomètre doit être sensiblement plus grand (de l'ordre de 2 mm) afin de récolter une quantité de lumière suffisante pour que l'image du Soleil soit brillante et se détache nettement du fond de l'écran. Le trou doit être rond et percé dans une feuille opaque aussi fine que possible afin d'éviter la création de pénombre qui nuit à la netteté des images.

La distance parcourue par les rayons lumineux entre le trou et l'écran varie très légèrement lorsque l'image du Soleil s'écarte du centre de l'écran. Certains auteurs s'appuient sur ce fait pour proposer de remplacer le sténopé par une lentille et d'incurver la pinnule-écran de manière que sa surface épouse celle d'une sphère ayant le même centre que le centre optique de la lentille.

Pour être une bonne idée, ceci n'est cependant pas sans créer de grandes complications de réalisation (et de dessin de la courbe), pour un gain de netteté discutable. D'autant qu'il ne s'agira pas d'ajuster l'image du Soleil sur la courbe par « encadrement » (placement de l'image entre 2 traits parallèles), mais par « symétrie », c.-à-d. en s'assurant que ce soit la même surface de l'image qui déborde de part et d'autre de la ligne de référence. À cet égard, une courbe d'analemme « épaisse » mais précise est un avantage (meilleure évaluation de l'égalité des débordements).

► ***Figure 2.*** *Vue frontale de la pinnule-écran portant l'analemme, profil de l'alidade et de ses pinnules, et vue du dessus de la table du cadran. L'axe de rotation de la réglette est situé au centre de la table. L'échelle de l'analemme, de même que la hauteur du sténopé, dépendent de la longueur de la réglette, c.-à-d. de la distance séparant la pinnule-œilleton de la pinnule-écran. Cette distance est indifférente* ***pourvu que la réglette soit en rotation autour du centre de la table****. L'alidade pourrait donc être construite de manière que ses pinnules débordent du limbe horaire (non nécessairement de manière symétrique), et ce afin d'augmenter la précision du placement de l'image du Soleil sur la courbe d'analemme. Encore faudra-t-il que le nombre de subdivisions du limbe horaire et que leur possibilité de lecture (vernier ?) soient proportionnés au gain de précision attendu. Le déportement de l'image du Soleil sur la partie de la courbe d'analemme correspondant à la valeur de ET du jour a pour effet d'orienter la réglette dans la direction du Soleil moyen : par exemple, lorsque ET est positive, et que le Soleil vrai est en avance sur le Soleil moyen (bas de la Figure), son image est portée sur la partie droite de l'écran. De la sorte, l'heure lue dans la fenêtre centrale de la réglette est retardée par rapport à l'heure solaire vraie et correspond donc à l'heure solaire moyenne (qui correspond elle-même à l'heure civile dans la mesure ou la correction de longitude a été effectuée).*


Pinnule "écran" vue de face
Pinnule "écran"
Pinnule "oeilleton"
Equation du temps / minutes
-20 -15 -10 -5 0 +5 +10 +15 +20
-25° 6 janv. 6 déc.
-20° 21 janv. 21 nov.
31 janv. 11 nov.
-15° 8 févr. 2 nov.
16 févr. 26 oct.
-10° 23 févr. 18 oct.
1 mars 12 oct.
-5° 7 mars 5 oct.
13 mars 29 sept.
0° 20 mars 22 sept.
26 mars 16 sept
+5° 2 avril 9 sept.
8 avril 3 sept.
+10° 15 avril 27 août
22 avril 19 août
+15° 30 avril 11 août
9 mai 2 août
+20° 20 mai 23 juil.
4 juin 7 juil.
+25°
Hiver
Solstice d'hiver
Automne
Equinoxes
Printemps
Solstice d'été
Eté
Sténopé
Alidade vue de profil
Ecran
N
Déclinaisons (degrés)
Axe de rotation
Fenêtre de lecture
12
10
14
9
15
8
16
7
17
W
6
18
E
5
19
4
20
3
21
2
22
Plan équatorial
Axe de rotation
Réglette
Table vue du dessus
Anneau (limbe) horaire pivotant sur lui même
Sténopé
ET = +16 min
ET = -14 min
Vrai (Avance)
Moyen
Vrai (Retard)
Déviations maximales :
Ascensions droites
(plan équatorial) ~ ± 16 min
équivalant à ~ ± 4°
Déclinaisons
(Plan méridien) ± 23.5°

Appendice

Limbe auxiliaire de correction des longitudes

Le limbe de correction de longitude (en haut, **Figure 1A**) est gradué en degrés (l'équivalent horaire peut être lu sur le limbe horaire). **Le limbe est fixe par rapport à la table**. Il pourrait avoir été placé dans n'importe quelle autre position que celle montrée sur la Figure, pourvu que – aucune correction de longitude n'ayant été effectuée – le repère de pivotement du limbe horaire (petit trait blanc au niveau de la graduation de 12 h) ait été placé de manière à coïncider avec la graduation horaire correspondant à la graduation zéro du limbe : dans la Figure, imaginant par exemple de positionner le limbe à l'*ouest* de la table, le repère de correction de longitude du limbe horaire serait confondu avec la graduation horaire de 6 heures (non montré).

Fenêtre de lecture

La « fenêtre de lecture » pourrait être déplacée de sa position habituelle (au pied de la pinnule-écran) pour être située sur une demi-réglette auxiliaire d'orientation quelconque, attachée au centre de la réglette principale et pivotant avec elle (**Figure A2**). Cette configuration, qui dégage la vue de la fenêtre, aurait l'avantage de faciliter la lecture des heures. Dans ce cas, la position « normale » du limbe horaire serait que la fenêtre de la réglette auxiliaire montre 12 h alors que la pinnule-écran est orientée vers le *nord*. De son côté, le limbe de correction de longitudes – toujours fixe par rapport à la table – pourrait toujours être situé à l'endroit de son choix selon la procédure vue plus haut.

Prise en compte alternative de ET

La **Figure A3** montre le schéma de principe du système de déplacement latéral du sténopé. Se rapportant à la **Figure 2**, on vérifiera aisément que les rayons lumineux de l'image du Soleil formée par le sténopé central de la pinnule-œilleton et déportée d'une certaine distance à droite de l'axe longitudinal de la pinnule-écran, ont la même direction que ceux de l'image formée par un sténopé déporté de la

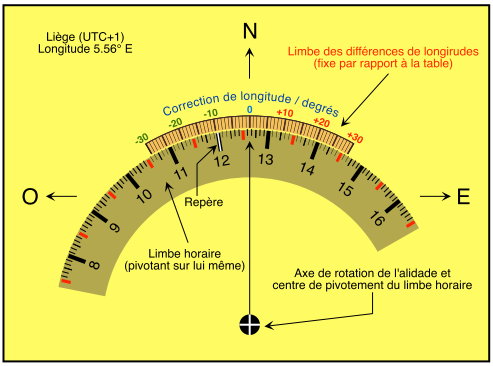


Figure A1. *Limbe horaire pour Liège, tourné (dans le sens anti-horlogique) de 9,44°, équivalant à 37,8 minutes (voir le texte). Le limbe de correction de longitude (en haut) est fixe par rapport à la table. Placé ici de manière que son zéro soit au nord, le repère de pivotement du limbe horaire (petit trait blanc) coïncide avec la graduation horaire de 12 h. Si – en l'absence de correction de longitude – le zéro avait été placé de manière à correspondre à n'importe quelle autre graduation horaire, le repère de pivotement du limbe aurait coïncidé avec cette graduation.*

même distance à gauche de la pinnule-œilleton et portée sur l'axe central de l'écran. La direction de la réglette étant pareille dans les deux cas, celle-ci indique donc la même heure.

Cette manière de l'héliochronomètre de prendre en compte l'équation du temps est « avantageuse » dans la mesure où elle épargne toutes les difficultés liées au traçage de la courbe d'analemme. Toutefois, quelque élégant que soit le procédé on ne saurait le recommander, non seulement pour les raisons déjà évoquées, mais aussi pour la perte du caractère « didactique » de l'instrument. Le fait de déporter l'image du Soleil sur la courbe d'analemme est en effet un acte concret reproduisant fidèlement notre représentation mentale des avances ou retards du Soleil vrai par rapport au Soleil moyen.

À la vérité, on pourrait cependant concevoir que le procédé de déportement du sténopé est plus précis que le procédé classique, d'une part par la possibilité qu'il offre d'ajuster le déplacement du sténopé à des valeurs de ET très précises, et d'autre part par la possibilité

qu'il offre de centrer l'image du Soleil par « encadrement », c.-à-d. de le placer entre deux lignes verticales très fines symétriques par rapport à l'axe longitudinal de la pinnule-écran (non illustré sur la **Figure 2**).

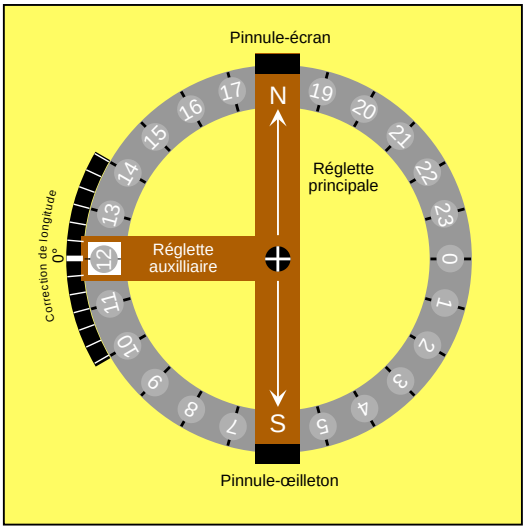


Figure A2. *Demi-réglette auxiliaire portant la fenêtre de lecture. Son orientation (ici, perpendiculaire à la réglette principale) est indifférente pourvu que le limbe horaire soit tourné de manière que la fenêtre indique 12 h lorsque la pinnule-écran est orientée vers le nord. La position du limbe de correction de longitude est également indifférente à condition que le repère de pivotement du limbe horaire soit placé à l'endroit adéquat (voir le texte). Pour les cadrans de grandes dimensions (à partir d'un diamètre de 50 cm) susceptibles d'une grande précision, on pourrait remplacer le fil d'araignée dont les fenêtres de lecture sont ordinairement nanties par un vernier. Celui-ci, imprimé sur un matériau transparent et mis en correspondance avec les graduations d'un limbe horaire subdivisé en rapport de sa taille, permettrait d'atteindre une précision de lecture meilleure que la demi-minute (non montré sur la Figure).*

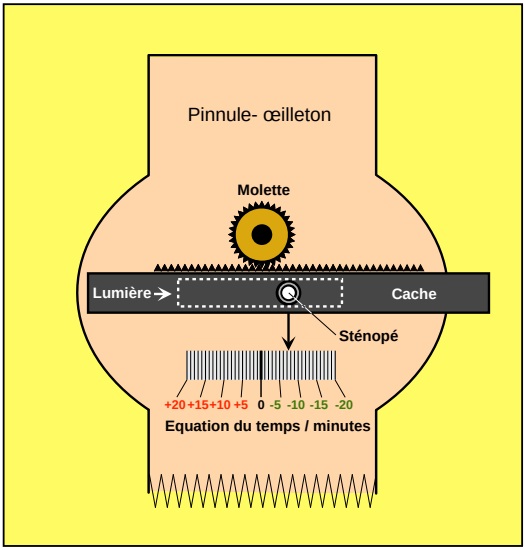


Figure A3. *Dispositif de réglage de la position du sténopé. Une « lumière » (rectangle en pointillés blancs) percée dans la pinnule et recouverte d'un cache mobile portant le sténopé, permet d'ajuster (voir la molette) la position de celui-ci en fonction des valeurs de ET montrées dans le limbe gradué du bas. La longueur du cache doit être suffisante pour recouvrir la lumière pour les valeurs de ET les plus élevées. Loin d'être un inconvénient, l'élargissement nécessaire de la pinnule-œilleton au niveau du dispositif augmente l'intensité apparente de l'ombre qu'elle porte sur la pinnule-écran (atténuation de l'éblouissement périphérique) et augmente le contraste de l'image du Soleil en même temps qu'elle en favorise le centrage. Un bouclier similaire, formé d'une feuille opaque légère, pourrait également équiper les héliochronomètres classiques.*

Le limbe des valeurs ET est construit de la même manière que celle présentée sur la Figure 2 pour l'héliochronomètre classique. On remarquera cependant que son échelle de valeurs est inversée : les valeurs positives sont à gauche du zéro alors que les valeurs négatives sont à droite. Par ailleurs, et de manière analogue à la « fenêtre de lecture », on pourrait superposer au limbe un vernier (attaché au cache) qui améliorerait la précision des réglages.

Tableau A1. ***Valeurs de l'équation du temps*** ET et déclinaisons du Soleil δ pour l'année 2000. Les valeurs encadrées en noir correspondent à ET ≈ 0 min (4 occurrences), celles encadrées en rouge à δ ≈ 0° ou ± 23,5° (2 × 2 occurrences). Voir la note [1] concernant la définition de ET.

Jour	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin	
	δ *	ET **	δ *	ET **	δ *	ET **	δ *	ET **	δ *	ET **	δ *	ET **
1	-23,0	-3,3	-17,2	-13,5	-7,4	-12,3	4,8	-3,8	15,3	3,0	22,1	2,2
2	-22,9	-3,8	-16,9	-13,6	-7,0	-12,1	5,2	-3,5	15,6	3,1	22,3	2,0
3	-22,9	-4,2	-16,6	-13,8	-6,6	-11,9	5,5	-3,2	15,8	3,2	22,4	1,8
4	-22,8	-4,7	-16,3	-13,9	-6,2	-11,6	5,9	-2,9	16,1	3,3	22,5	1,7
5	-22,7	-5,1	-16,0	-14,0	-5,8	-11,4	6,3	-2,6	16,4	3,4	22,6	1,5
6	-22,5	-5,6	-15,7	-14,0	-5,4	-11,2	6,7	-2,3	16,7	3,4	22,7	1,3
7	-22,4	-6,0	-15,4	-14,1	-5,0	-10,9	7,0	-2,0	17,0	3,5	22,8	1,1
8	-22,3	-6,5	-15,1	-14,2	-4,7	-10,7	7,4	-1,8	17,2	3,5	22,9	0,9
9	-22,2	-6,9	-14,8	-14,2	-4,3	-10,5	7,8	-1,5	17,5	3,6	23,0	0,7
10	-22,0	-7,3	-14,5	-14,2	-3,9	-10,2	8,2	-1,2	17,8	3,6	23,1	0,5
11	-21,9	-7,7	-14,2	-14,2	-3,5	-9,9	8,5	-1,0	18,0	3,7	23,1	0,3
12	-21,7	-8,1	-13,8	-14,2	-3,1	-9,7	8,9	-0,7	18,3	3,7	23,2	0,1
13	-21,5	-8,5	-13,5	-14,2	-2,7	-9,4	9,3	-0,4	18,5	3,7	23,2	-0,1
14	-21,4	-8,9	-13,2	-14,2	-2,3	-9,1	9,6	-0,2	18,8	3,7	23,3	-0,3
15	-21,2	-9,2	-12,8	-14,2	-1,9	-8,8	10,0	0,0	19,0	3,7	23,3	-0,5
16	-21,0	-9,6	-12,5	-14,1	-1,5	-8,6	10,3	0,3	19,2	3,7	23,4	-0,7
17	-20,8	-9,9	-12,1	-14,1	-1,1	-8,3	10,7	0,5	19,5	3,6	23,4	-1,0
18	-20,6	-10,2	-11,8	-14,0	-0,7	-8,0	11,0	0,7	19,7	3,6	23,4	-1,2
19	-20,4	-10,6	-11,4	-13,9	-0,3	-7,7	11,4	1,0	19,9	3,5	23,4	-1,4
20	-20,2	-10,9	-11,1	-13,8	0,1	-7,4	11,7	1,2	20,1	3,5	23,4	-1,6
21	-20,0	-11,2	-10,7	-13,7	0,5	-7,1	12,1	1,4	20,3	3,4	23,4	-1,8
22	-19,8	-11,4	-10,3	-13,6	0,9	-6,8	12,4	1,6	20,5	3,3	23,4	-2,0
23	-19,5	-11,7	-10,0	-13,4	1,3	-6,5	12,7	1,8	20,7	3,3	23,4	-2,2
24	-19,3	-12,0	-9,6	-13,3	1,6	-6,2	13,1	1,9	20,9	3,2	23,4	-2,5
25	-19,1	-12,2	-9,2	-13,2	2,0	-5,9	13,4	2,1	21,1	3,1	23,4	-2,7
26	-18,8	-12,4	-8,9	-13,0	2,4	-5,6	13,7	2,3	21,2	3,0	23,3	-2,9
27	-18,6	-12,6	-8,5	-12,8	2,8	-5,3	14,0	2,4	21,4	2,8	23,3	-3,1
28	-18,3	-12,8	-8,1	-12,6	3,2	-5,0	14,3	2,6	21,6	2,7	23,2	-3,3
29	-18,0	-13,0	-7,7	-12,5	3,6	-4,7	14,6	2,7	21,7	2,6	23,2	-3,5
30	-17,8	-13,2			4,0	-4,4	15,0	2,8	21,9	2,5	23,1	-3,7
31	-17,5	-13,4			4,4	-4,1			22,0	2,3		

Jour	Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	δ *	ET **	δ *	ET **	δ *	ET **	δ *	ET **	δ *	ET **	δ *	ET **
1	23,1	-3,9	17,9	-6,3	8,1	0,1	-3,4	10,5	-14,6	16,4	-21,9	10,8
2	23,0	-4,1	17,6	-6,2	7,7	0,5	-3,8	10,8	-14,9	16,4	-22,0	10,4
3	22,9	-4,3	17,3	-6,1	7,3	0,8	-4,2	11,1	-15,2	16,4	-22,2	10,1
4	22,8	-4,5	17,1	-6,0	7,0	1,1	-4,6	11,4	-15,6	16,4	-22,3	9,6
5	22,7	-4,6	16,8	-5,9	6,6	1,4	-5,0	11,7	-15,9	16,4	-22,4	9,2
6	22,6	-4,8	16,5	-5,8	6,2	1,8	-5,3	12,0	-16,2	16,3	-22,6	8,8
7	22,5	-5,0	16,3	-5,7	5,8	2,1	-5,7	12,3	-16,4	16,3	-22,7	8,4
8	22,4	-5,1	16,0	-5,6	5,5	2,5	-6,1	12,6	-16,7	16,2	-22,8	7,9
9	22,3	-5,3	15,7	-5,4	5,1	2,8	-6,5	12,8	-17,0	16,1	-22,9	7,5
10	22,2	-5,4	15,4	-5,3	4,7	3,2	-6,9	13,1	-17,3	16,0	-23,0	7,0
11	22,0	-5,5	15,1	-5,1	4,3	3,5	-7,2	13,4	-17,6	15,9	-23,0	6,6
12	21,9	-5,7	14,8	-5,0	4,0	3,9	-7,6	13,6	-17,8	15,8	-23,1	6,1
13	21,7	-5,8	14,5	-4,8	3,6	4,2	-8,0	13,9	-18,1	15,7	-23,2	5,7
14	21,6	-5,9	14,2	-4,6	3,2	4,6	-8,4	14,1	-18,4	15,5	-23,2	5,2
15	21,4	-6,0	13,9	-4,4	2,8	4,9	-8,7	14,3	-18,6	15,4	-23,3	4,7
16	21,3	-6,1	13,5	-4,2	2,4	5,3	-9,1	14,5	-18,9	15,2	-23,3	4,2
17	21,1	-6,2	13,2	-4,0	2,0	5,7	-9,5	14,7	-19,1	15,0	-23,4	3,7
18	20,9	-6,2	12,9	-3,7	1,6	6,0	-9,8	14,9	-19,4	14,8	-23,4	3,2
19	20,7	-6,3	12,6	-3,5	1,3	6,4	-10,2	15,1	-19,6	14,5	-23,4	2,7
20	20,5	-6,3	12,3	-3,3	0,9	6,7	-10,5	15,3	-19,8	14,3	-23,4	2,2
21	20,4	-6,4	11,9	-3,0	0,5	7,1	-10,9	15,4	-20,0	14,0	-23,4	1,7
22	20,2	-6,4	11,6	-2,8	0,1	7,4	-11,3	15,6	-20,3	13,8	-23,4	1,2
23	20,0	-6,5	11,2	-2,5	-0,3	7,8	-11,6	15,7	-20,5	13,5	-23,4	0,7
24	19,7	-6,5	10,9	-2,2	-0,7	8,1	-12,0	15,9	-20,7	13,2	-23,4	0,2
25	19,5	-6,5	10,6	-2,0	-1,1	8,5	-12,3	16,0	-20,9	12,9	-23,4	-0,3
26	19,3	-6,5	10,2	-1,7	-1,5	8,8	-12,6	16,1	-21,0	12,6	-23,3	-0,7
27	19,1	-6,5	9,9	-1,4	-1,9	9,1	-13,0	16,2	-21,2	12,3	-23,3	-1,2
28	18,8	-6,5	9,5	-1,1	-2,2	9,5	-13,3	16,2	-21,4	11,9	-23,2	-1,7
29	18,6	-6,4	9,1	-0,8	-2,6	9,8	-13,6	16,3	-21,6	11,6	-23,2	-2,2
30	18,4	-6,4	8,8	-0,5	-3,0	10,1	-14,0	16,4	-21,7	11,2	-23,1	-2,7
31	18,1	-6,3	8,4	-0,2			-14,3	16,4			-23,1	-3,2

* Les déclinaisons du Soleil sont en degrés décimaux.

** Les valeurs de l'équation du temps sont en minutes décimales.

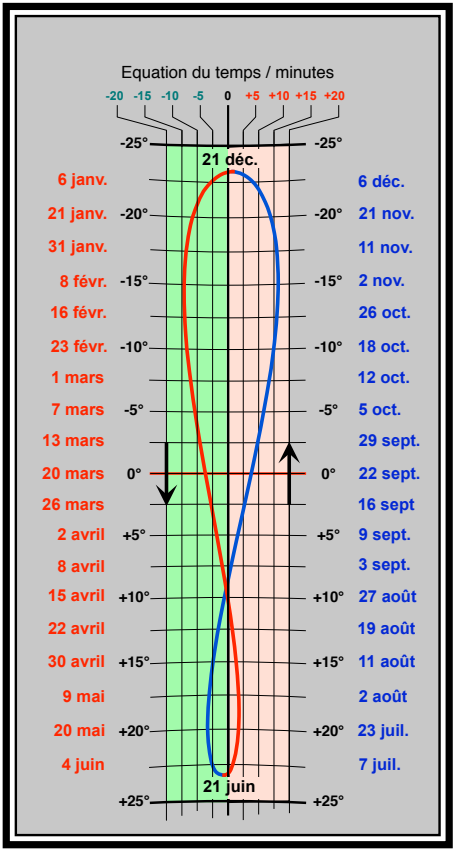


Figure A4. *Analemme telle qu'elle doit être représentée sur la pinnule-écran des héliochronomètres. Son orientation est inverse des analemmes photographiées (voir* Le Ciel, *janvier 2020) de la même manière que sont inversées les images d'une camera obscura. La courbe n'est symétrique ni par rapport à l'axe longitudinal de la pinnule (ET = 0 min), ni par rapport à son axe horizontal (δ = 0°). Elle se croise très largement en dehors de la période des équinoxes en montrant une valeur de ET légèrement négative. De manière similaire, la valeur de ET au solstice d'hiver (sommet supérieur de la courbe) est légèrement positive, tandis qu'elle est légèrement négative au solstice d'été (sommet inférieur de la courbe). La partie rouge de la courbe montre les valeurs de ET pour les dates en rouge ; la partie bleue pour les dates en bleu (les flèches montrent le sens de progression des dates).* ***Il conviendra donc lors de l'utilisation de l'instrument de placer l'image du Soleil sur la partie de la courbe dont la couleur correspond à celle de la date du jour****. À noter que les dates ne sont justes qu'à quelques jours près. Si des interpolations relativement fiables sont possibles à l'approche des équinoxes où la déclinaison du Soleil varie rapidement (gain de 1° en 2-3 jours), celles-ci sont beaucoup plus hasardeuses à l'approche des solstices où la déclinaison varie particulièrement lentement (gain et perte de 1° en 30 jours, approximativement du 6 décembre au 6 janvier et du 4 juin au 7 juillet).*

Glossaire

Alidade : instrument de mesure des angles.

Analemme : désigne la forme tracée par les positions successives du Soleil, relevées jour après jour pendant 365 jours à la même heure moyenne (heure de la montre).

Camera obscura : ancêtre de l'appareil photographique dans lequel l'objectif est constitué d'un simple petit trou (du latin, signifiant « chambre obscure »).

Limbe (horaire) : cercle portant les graduations d'heures et de ses subdivisions.

Pinnules : montants attachés aux extrémités de la réglette de l'alidade. L'une des pinnules porte le **viseur** (fente ou petit trou), l'autre le **pointeur** (lumière barrée d'un fil d'araignée ou d'un réseau de lignes permettant de centrer l'objet par « encadrement »).

Réglette (d'alidade) : sorte de règle servant de support aux pinnules. Elle peut être libre, ou en rotation autour d'un axe vertical (mesure des angles horizontaux) ou horizontal (mesure des angles verticaux).

Sténopé : petit trou constituant l'objectif d'une *camera obscura* (du grec, signifiant « ouverture étroite »). Par métonymie, le mot désigne également l'appareil photographique même, ainsi que la photographie qu'il produit.

Téléchargement

La Figure A4 peut être téléchargée à l'adresse : http://societeastronomique.uliege.be/astronomie-pratique/bricolage/heliochronometre-1/

Prochain article : Classification et méthodes d'identification des cadrans solaires plans

L’astronomie dans le monde

Constellations de satellites

Selon un communiqué ESO

Les astronomes ont récemment fait part de leurs inquiétudes concernant l’impact des méga-constellations de satellites sur la recherche scientifique. Afin de mieux comprendre l’effet potentiel de ces constellations sur les observations astronomiques, l’ESO a commandité une étude scientifique de leur impact, se concentrant sur les observations effectuées au moyen des télescopes de l’ESO opérant dans les domaines visible et infrarouge, tout en considérant d’autres observatoires. L’étude porte sur un total de 18 constellations de satellites actuellement

Ciel nocturne surplombant le site de l'Extremely Large Telescope de l'ESO qui devrait entrer en service fin 2025. Un guide laser en provenance du Very Large Telescope situé à proximité est visible à l'arrière-plan. Une étude de l'ESO consacrée à l'impact de constellations de satellites sur les observations astronomiques dans les domaines visible et infrarouge révèle que les grands télescopes tels le Very Large Telescope et l'Extremely Large Telescope de l'ESO ne seront que « modérément impactés » par les constellations actuellement en cours de développement. Selon la problématique scientifique étudiée, les impacts pourraient être réduits en apportant diverses modifications aux calendriers d'exploitation des télescopes de l'ESO. (ESO/M. Zamani)

30°
20°

développées par les sociétés SpaceX, Amazon, OneWeb et d'autres, ce qui représente plus de 26 000 satellites.

De nombreux paramètres caractérisant les constellations de satellites, y compris le nombre total de satellites, varient fréquemment et ce nombre pourrait être plus élevé.

L'étude révèle que les grands télescopes tels le Very Large Telescope (VLT) de l'ESO et le futur Extremely Large Telescope (ELT) de l'ESO seront « modérément impactés » par les constellations en cours de développement. L'effet sur les longues expositions (de quelque 1000 sec) sera plus prononcé en revanche : 3% de ces observations effectuées à l'aube ou durant le crépuscule pourraient être inexploitables. Les expositions de plus courte durée seraient moins affectées – moins de 0,5% d'entre elles. Les observations effectuées à d'autres moments de la nuit seraient également moins impactées, les satellites se trouvant alors dans l'ombre de la Terre et ne bénéficiant d'aucun éclairement. Selon le type d'observation l'impact pourraient être réduit en modifiant le planning d'exploitation des télescopes de l'ESO, ce qui représente un coût non négli-

Le ciel nocturne au-dessus de l'observatoire Paranal de l'ESO à l'aube, quelque 90 minutes avant le lever du Soleil. Les cercles de couleur bleue indiquent la hauteur au-dessus de l'horizon. Une étude de l'ESO révèle qu'une centaine de satellites seraient suffisamment brillants pour être visibles à l'œil nu lors des phases crépusculaires (magnitude 5-6 ou inférieure). La plupart d'entre eux, entourés de petits cercles de couleur verte sur l'image, se situeraient à moins de 30 degrés au-dessus de l'horizon et/ou seraient relativement peu lumineux. Quelques autres, entourés d'un cercle de couleur rouge, se situeraient à plus de 30 degrés au-dessus de l'horizon – dans cette zone du ciel faisant l'objet de la plupart des observations astronomiques – et seraient relativement brillants (magnitude 3-4). Le nombre de satellites visibles chute vers le milieu de la nuit, à mesure qu'ils entrent dans l'ombre de la Terre, cette zone sombre occupant la gauche de l'image. Les satellites situés dans l'ombre de la Terre sont invisibles.
(ESO/Y. Beletsky/L. Calçada)

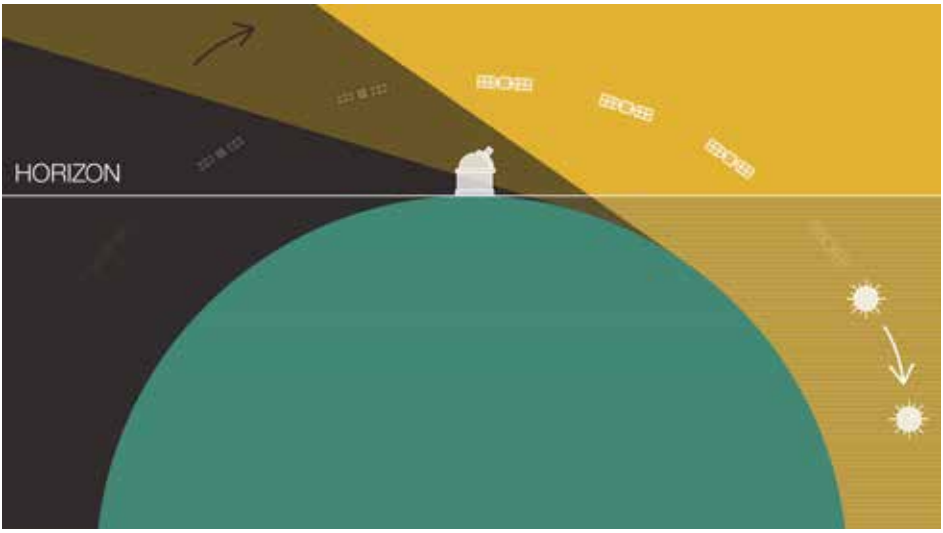
geable. Du côté industriel, une mesure efficace pour limiter ces impacts consisterait à assombrir les satellites.

Parmi les mesures d'atténuation figurent : le calcul de la position des satellites afin d'éviter d'observer à l'endroit précis où l'un d'entre eux va passer ; la fermeture de l'obturateur du télescope à l'instant précis où un satellite traverse le champ de vision ; la limitation des observations aux seules zones du ciel situées dans l'ombre de la Terre, dans lesquelles les satellites ne bénéficient pas de l'éclairement du Soleil. Toutefois, ces méthodes ne conviennent pas à l'ensemble des observations scientifiques.

L'étude révèle également que les sondages étendus, effectués au moyen des grands télescopes notamment, seraient les plus affectés. À titre d'exemple, 30 à 50% des expositions effectuées grâce à l'observatoire Vera C. Rubin de la National Science Foundation aux États-Unis seraient « sévèrement impactées » selon l'époque de l'année, l'heure de la nuit et les hypothèses simplificatrices utilisées dans le cadre de cette étude. Les techniques d'atténuation qui pourraient être appliquées aux télescopes de l'ESO ne seraient pas adaptées à cet observatoire.

D'autres stratégies sont donc activement examinées. Des études complémentaires sont requises pour bien cerner les conséquences scientifiques de cette perte de données d'observation ainsi que la complexité de leur analyse. Les télescopes dédiés aux sondages à grand champ comme l'observatoire Rubin sont capables de rapidement scanner de vastes portions du ciel, et donc de détecter des phénomènes de courte durée comme des explosions de supernovæ ou des astéroïdes potentiellement dangereux. Parce qu'ils disposent de cette faculté unique de générer de grandes quantités de données et de permettre le choix des cibles d'observation pour de nombreux

Diagramme illustrant ce qu'un observateur situé aux latitudes moyennes verrait : une fraction des constellations de satellites en orbite autour de la Terre. Pour être visibles, les satellites doivent se situer au-dessus de l'horizon de l'observateur et être éclairés par le Soleil. La plupart des satellites se trouveraient sous l'horizon et/ou dissimulés dans l'ombre de la Terre qui ne cesse de progresser dans la nuit.
(ESO/L. Calçada)



autres observatoires, les communautés astronomiques et les organismes de financement en Europe et ailleurs ont érigé les télescopes à grand champ au rang de priorité absolue pour les développements futurs de l'astronomie.

Les astronomes professionnels et amateurs ont également exprimé des inquiétudes concernant l'impact des méga-constellations de satellites sur les vues immaculées du ciel nocturne. L'étude révèle que quelque 1 600 satellites des constellations peupleront le ciel d'un observatoire situé aux latitudes moyennes. La plupart d'entre eux se situeront à moins de 30 degrés au-dessus de l'horizon local. Au-delà, soit dans cette portion du ciel faisant l'objet de la plupart des observations astronomiques, se trouveront environ 250 satellites des constellations à tout instant. Tous seront éclairés par le Soleil lors de son coucher ou de son lever. Un nombre toujours plus élevé d'entre eux se trouveront plongés dans l'ombre de la Terre vers le milieu de la nuit. Selon les paramètres adoptés par l'étude de l'ESO une centaine de satellites seront suffisamment brillants pour être aperçus à l'œil nu durant l'aube ou le crépuscule, et 10 d'entre eux se situeront à plus de 30 degrés au-dessus de l'horizon. Ces chiffres diminuent à mesure que la nuit s'assombrit et que les satellites plongent dans l'ombre de la Terre. Dans l'ensemble, ces nouvelles constellations de satellites devraient doubler le nombre de satellites visibles à l'œil nu dans le ciel nocturne à 30 degrés ou plus au-dessus de l'horizon.

À l'heure actuelle, quelque 34 000 objets de dimensions supérieures à 10 cm tournent autour de la Terre. Parmi ceux-ci figurent 5 500 satellites, dont 2 300 à l'état opérationnel. Le reste est constitué de débris spatiaux, notamment des étages supérieurs de fusées et d'adaptateurs de lancement des satellites. Environ 2 000 de ces objets se situent au-dessus de l'horizon local à tout instant. Durant les phases crépusculaires, 5 à 10 d'entre eux sont illuminés par le Soleil et suffisamment brillants pour être visibles à l'œil nu.

Ces chiffres ne tiennent pas compte des trains de satellites visibles immédiatement après le lancement. Bien que particulièrement spectaculaires et brillants, ils sont de courte durée et brièvement visibles seulement après le coucher de Soleil ou avant son lever, et – à tout instant – depuis une région terrestre peu étendue.

L'étude de l'ESO repose sur diverses simplifications et hypothèses censées délivrer de prudentes estimations des effets, qui pourraient se révéler moins graves dans la réalité que sur le papier. Une modélisation plus sophistiquée se révélera nécessaire pour quantifier plus précisément les impacts réels de ces constellations de satellites. Bien que l'accent soit mis sur les télescopes de l'ESO, les résultats s'appliquent à d'autres télescopes similaires qui opèrent également dans les domaines visible et infrarouge, sont dotés d'une instrumentation similaire et abordent de semblables problématiques scientifiques.

Les constellations de satellites gêneront également les observatoires opérant dans les domaines radio, millimétrique et submillimétrique tels qu'ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) et APEX (Atacama Pathfinder Experiment). Cet impact fera l'objet d'études ultérieures.

L'ESO et d'autres observatoires, l'International Astronomical Union (IAU), l'American Astronomical Society (AAS), la Royal Astronomical Society (RAS) au Royaume-Uni, et d'autres sociétés savantes, se sont engagés dans une campagne de sensibilisation à cette question auprès de l'United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS) et de l'European Committee on Radio Astronomy Frequencies (CRAF). Ces actions sont menées parallèlement à la recherche de solutions pratiques avec les sociétés spatiales permettant de sauvegarder les investissements à grande échelle réalisés dans des installations astronomiques terrestres de pointe. L'ESO soutient l'élaboration de cadres réglementaires qui permettront, à terme, la coexistence harmonieuse de technologies avancées en orbite basse terrestre d'une part, l'observation et la compréhension de l'Univers par l'humanité toute entière d'autre part.

HD101584

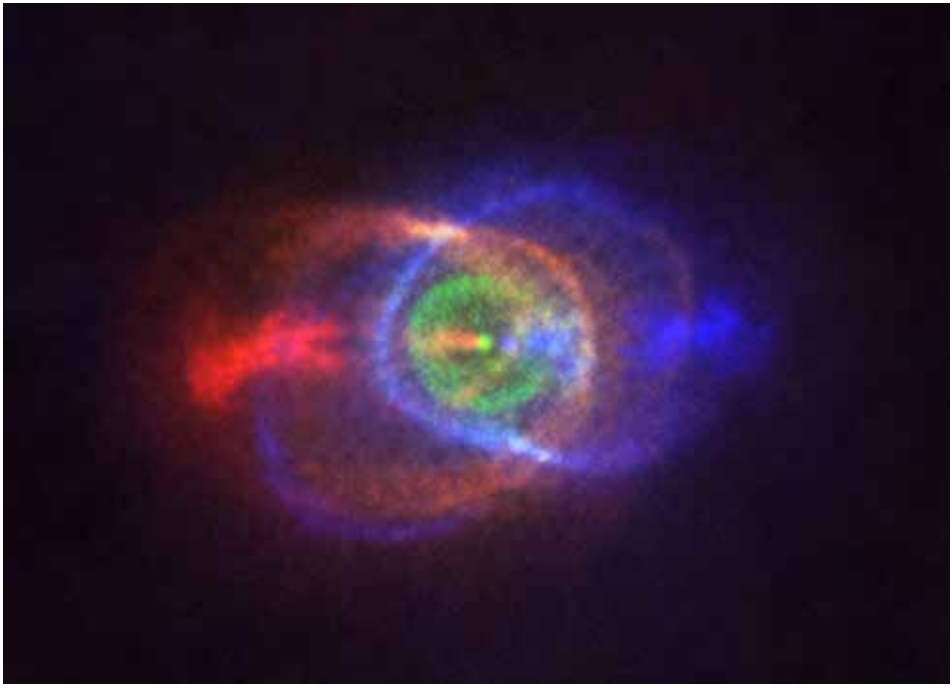
Basé sur un communiqué ESO

Grâce au Vaste Réseau (Sub-)Millimétrique de l'Atacama (ALMA), des astronomes ont repéré l'existence d'un étrange nuage de gaz, fruit de la rencontre entre deux étoiles. L'une des deux étoiles est devenue si volumineuse qu'elle a englouti l'autre qui a continué à se rapprocher en tournoyant, obligeant sa compagne géante à expulser ses enveloppes externes.

À l'instar des êtres humains, les étoiles évoluent au fil du temps et finalement s'éteignent. Ainsi, lorsque le Soleil et les étoiles de même type ont consumé l'hydrogène de leur noyau, leur volume augmente. Elles se transforment en brillantes géantes rouges puis perdent leurs enveloppes externes. Seul leur noyau subsiste : une naine blanche.

Le système stellaire HD101584 est particulier dans la mesure où ce processus final s'est achevé prématurément et de façon spectaculaire,

Cette image acquise par ALMA témoigne de l'issue d'un combat stellaire : une étonnante structure gazeuse entourant le système binaire HD101584.
Les couleurs représentent la vitesse, s'échelonnant du bleu – le gaz se déplaçant le plus rapidement dans notre direction – au rouge – le gaz s'éloignant le plus rapidement dans la direction opposée. Les deux étoiles forment un point brillant au centre de la structure annulaire colorée en vert, qui se déplace à la même vitesse que l'ensemble du système le long de la ligne de visée. Aux dires des astronomes, cet anneau trouve son origine dans la matière éjectée, alors que l'étoile la plus légère spiralait en direction de la géante rouge. (ALMA/ESO/NAOJ/NRAO, Olofsson et al., Robert Cumming)



le compagnon de faible masse ayant été englouti par la géante.

Grâce aux observations effectuées au moyen d'ALMA, complétées par des données acquises par le télescope APEX (Atacama Pathfinder EXperiment) de l'ESO, les astronomes sont en mesure d'assimiler l'histoire de HD101584 à un véritable combat stellaire. Alors que l'étoile principale se changeait en géante rouge, son volume augmenta suffisamment pour absorber sa compagne de masse inférieure. En réponse, l'étoile de plus faibles dimensions tournoya en direction du cœur de la géante, sans pour autant entrer en collision avec elle. Cette stratégie se solda par l'explosion de l'étoile géante, la dispersion de ses enveloppes gazeuses externes et la mise à nu de son noyau.

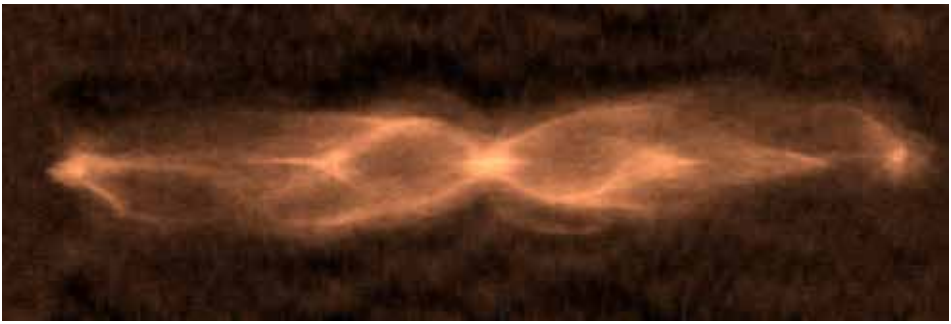
Le modèle envisagé par les astronomes indique qu'il y a au moins quatre étapes distinctes dans l'évolution de HD101584. Tout d'abord, une partie du matériel de l'étoile géante est capturée dans un disque qui tourne lentement autour des deux étoiles à une distance d'environ 150 fois la distance Terre-Soleil. Plus loin, un tore de matière s'éloigne encore des étoiles, peut-être éjecté pour la première fois lorsque l'enveloppe de l'étoile géante a englouti son compagnon.

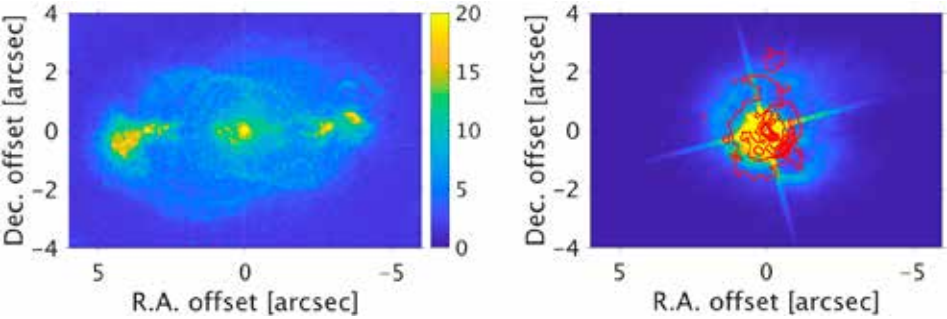
La preuve de cet engloutissement provient des deux structures secondaires détectées dans les données d'ALMA. L'une d'entre elles présente la forme d'un sablier et est composée de deux bulles s'étendant à partir des étoiles. On y trouve des jets de matière en mouvement rapide – trop rapide pour avoir été propulsé par un processus stellaire normal, ou même par les forces gravitationnelles générées par deux étoiles si proches l'une de l'autre.

Au lieu de cela, les scientifiques pensent que la matière a dû être éjectée alors qu'une étoile plus petite se déplaçait au travers de l'enveloppe de l'étoile géante. Ils estiment qu'il est difficile de concilier des énergies cinétiques aussi élevées avec autre chose qu'un scénario d'évolution à enveloppe commune où l'énergie de liaison gravitationnelle est libérée lorsque la compagne est capturée par la primaire et tombe vers elle.

En se basant sur les dimensions apparentes des structures et leur vitesse actuelle, on a pu estimer depuis combien de temps elles ont été formées. Bien que ces estimations varient en fonction de la structure envisagée, elles sont toutes inférieures à 2 000 ans et certaines sont plus proches de 200 ans.

Représentation du disque entourant HD 101584 vu de côté dans la lumière du monoxyde de carbone. L'image est obtenue en supposant une expansion radiale avec une vitesse augmentant linéairement avec la distance au centre. (H. Olofsson et al, 2019)





Vues de HD101584 dans la lumière du monoxyde de carbone (à gauche) et dans le « continu ». (H. Olofsson et al, 2019)

Il semble donc que la fusion des deux étoiles soit extrêmement récente, du moins en termes cosmologiques.

La structure complexe de gaz qui compose la nébuleuse HD101584 résulte du mouvement en spirale de la petite étoile autour de la géante rouge ainsi que des jets de gaz générés lors de ce processus. En se propageant au travers des enveloppes de gaz déjà expulsées, ces jets leur ont porté un coup fatal, les transformant en anneaux de gaz et les dispersant en nuages de couleurs bleue et rouge, au sein de la nébuleuse.

Un combat stellaire présente l'intérêt d'aider les astronomes à mieux comprendre l'évolution finale d'étoiles comme le Soleil. Bien que l'on soit en mesure de décrire les phases finales communes à de nombreuses étoiles de type solaire, on ne connaît pas encore le processus exact. Parce qu'elle se situe précisément dans cette brève phase de transition entre des stades d'évolution mieux étudiés, HD101584 nous offre d'importantes clés de compréhension de ces processus. Les images détaillées de l'environnement de HD101584 permettent d'établir un lien entre l'étoile géante qu'elle était auparavant et le vestige stellaire qu'elle sera prochainement.

ALMA et APEX, implantés dans le désert de l'Atacama, remplirent des rôles essentiels, permettant à l'équipe de sonder les mécanismes physiques et chimiques en action. La surprenante image de l'environnement circumstellaire de HD101584 n'aurait pu être acquise sans l'extrême sensibilité ni la formidable résolution angulaire d'ALMA.

Les télescopes actuels permettent aux astronomes d'étudier le gaz situé en périphérie de la binaire. Toutefois, les deux étoiles figurant au centre de la nébuleuse sont trop proches l'une de l'autre et trop distantes de la Terre pour pouvoir être résolues. L'ELT (Extremely Large Telescope) de l'ESO, actuellement en construction dans le désert de l'Atacama au Chili, fournira des informations sur le cœur de l'objet, permettant ainsi aux astronomes d'examiner de plus près les deux protagonistes de ce combat stellaire.

Pallas en infraction

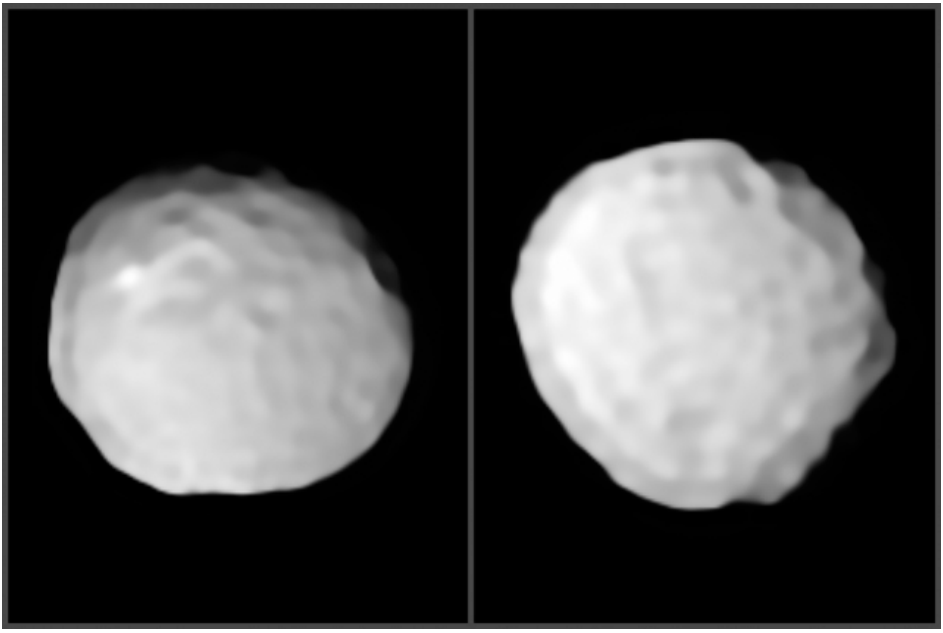
L'astéroïde Pallas, nommé d'après la déesse grecque de la sagesse, a été découvert en 1802. C'est le troisième plus grand objet de la ceinture d'astéroïdes avec environ un septième de la taille de la Lune. Pallas se distingue par sa trajectoire fortement inclinée par rapport à la plupart des objets de la ceinture d'astéroïdes, une inclinaison qui reste un mystère.

Les astronomes ont obtenu des images détaillées de Pallas lors de ses derniers passages au plus près de la Terre. Pour cela ils ont utilisé le VLT de l'ESO à l'observatoire de Paranal. Onze séries d'images en deux passages ont permis de capturer Pallas à diverses phases de sa rotation. Ces images sont à la base d'une reconstruction en trois dimensions de la forme de l'astéroïde, ainsi que d'une carte des cratères de ses pôles et des parties de sa région équatoriale.

Les astronomes ont identifié 36 cratères de plus de 30 kilomètres de diamètre. Les cratères semblent couvrir plus de 10 % de la surface de l'astéroïde, ce qui suggère une histoire parsemée de collisions violentes.

Les chercheurs soupçonnent que la surface bosselée de Pallas est le résultat de son orbite inclinée : alors que la plupart des objets de la ceinture d'astéroïdes suivent approximativement la même trajectoire autour du Soleil, un peu comme les voitures sur un circuit de course, l'orbite inclinée de Pallas est telle que l'astéroïde traverse constamment cette ceinture. Toute collision que Pallas subit sur son chemin est environ quatre fois plus dommageable que les collisions entre deux astéroïdes mieux respectueux du code de la route.

Vues de Pallas – l'astéroïde « balle de golf » –, la grosse petite planète la plus cratérisée de la ceinture principale des astéroïdes.
(Massachusetts Institute of Technology)

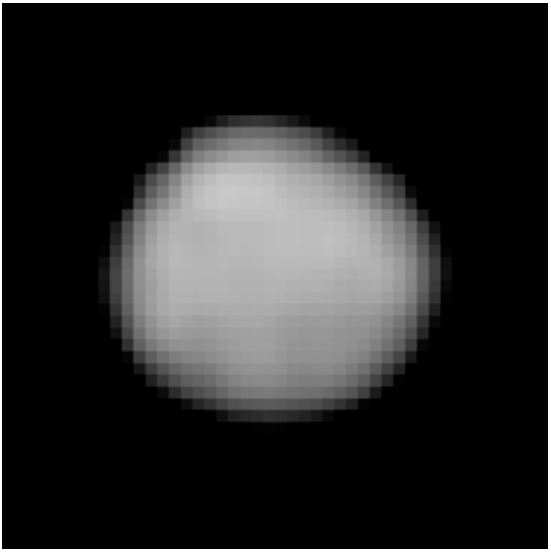


Pour voir à quel point cette histoire a été violente, les astronomes ont effectué des simulations de Pallas et de ses interactions avec les autres objets de la ceinture au cours des quatre derniers milliards d'années – soit pratiquement l'âge du Système solaire. Ils ont fait la même chose avec Cérès et Vesta, en tenant compte de la taille, de la masse et des propriétés orbitales de chaque astéroïde, ainsi que de la vitesse et de la distribution en taille des objets dans la ceinture d'astéroïdes. Sans surprise il est apparu qu'un cratère de 40 kilomètres sur Pallas est créé par une collision avec un objet beaucoup plus petit que pour un même cratère de Cérès ou Vesta. Comme les petits astéroïdes sont beaucoup plus nombreux que les gros, Pallas accumule plus rapidement des cratères de cette taille que les deux autres astéroïdes. Pallas subit deux à trois fois plus de collisions que Cérès ou Vesta, et son orbite inclinée est une explication directe de la surface très étrange que l'on compare parfois à une balle de golf.

Les chercheurs ont fait deux autres découvertes à partir de leurs images : un point lumineux dans l'hémisphère sud de l'astéroïde et un vaste bassin d'impact (400 kilomètres) à l'équateur de la petite planète.

Pour comprendre l'origine du bassin, ils ont simulé divers impacts le long de l'équateur et ont suivi la trajectoire des fragments qui ont pu être arrachés de la surface de Pallas et projetés dans l'espace. Les simulations montrent que le grand bassin d'impact a probablement été le résultat d'une collision il y a environ 1,7 milliard d'années avec un objet de 20 à 40 kilomètres. Des fragments de l'astéroïde ont été éjectés dans l'espace et pourraient bien constituer toute une famille d'objets que l'on observe aujourd'hui.

On ignore encore la nature du point lumineux découvert dans l'hémisphère sud. Il pourrait s'agir d'un très grand gisement de sel. À partir de leur reconstruction tridimensionnelle de l'astéroïde, les chercheurs ont estimé le volume de Pallas et calculé que sa densité est différente de celle de Cérès et Vesta, ce qui suggère une formation de l'astéroïde à partir d'un mélange de glace d'eau et de silicates. Avec le temps, la glace intérieure a fondu et a probablement hydraté les silicates, formant des dépôts de sel qui ont pu être exposés à la suite d'un impact. Une preuve à l'appui de cette hypothèse pourrait venir de plus près de la Terre. Chaque année en décembre, les astronomes peuvent admirer le spectacle des étoiles filantes Géminides – une pluie de météorites qui sont des fragments de l'astéroïde Phaethon, qui serait lui-même un débris éjecté de Pallas qui a fini par se frayer un chemin jusqu'à l'orbite terrestre. Les astronomes ont depuis longtemps noté une grande teneur en sodium des Géminides. Peut-être est-ce à mettre en relation avec les dépôts de sel de Pallas ?



Avec une résolution angulaire de 0,045 arcsec dans l'ultraviolet, cette vue de Pallas par le télescope spatial Hubble constituait la meilleure image de la planète en 2007. (Hubble Space Telescope/STScI)

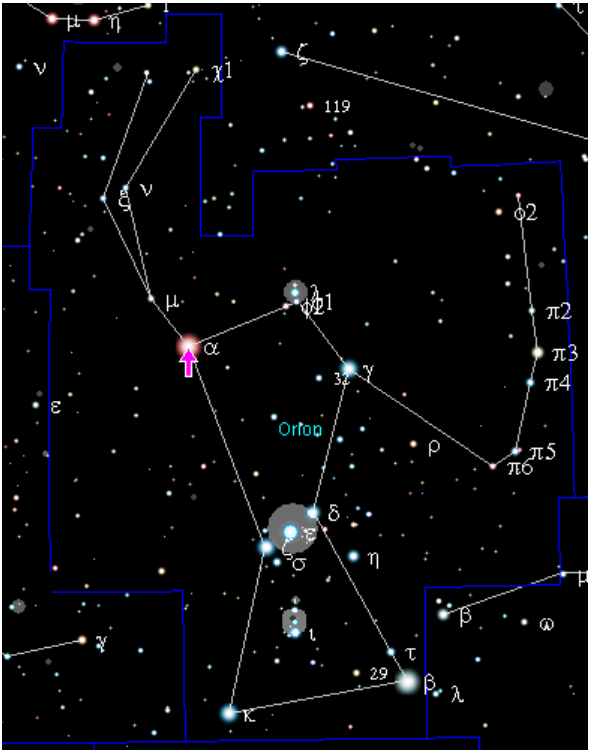
Bételgeuse (suite)

Bételgeuse, alpha d'Orion, a perdu pas mal de son éclat ces derniers temps, passant à la 20e place des étoiles les plus brillantes du ciel (cf. *Le Ciel*, avril 2020, 204) avec environ 40 % de sa luminosité habituelle. Cette activité a alimenté les rumeurs d'une explosion imminente en une supernova spectaculaire.

Les astronomes ont cependant des scénarios moins catastrophiques et l'un d'eux semble se valider : Bételgeuse ne s'assombrit pas parce qu'elle est sur le point d'exploser, elle est juste poussiéreuse.

Des observations effectuées le 14 février à l'observatoire de Flagstaff, en Arizona, ont permis de calculer la température moyenne de surface de l'étoile et il apparaît que l'assombrissement n'est pas dû à un refroidissement de la surface de l'étoile.

Les nouveaux calculs confirment la théorie selon laquelle Bételgeuse – comme beaucoup d'étoiles rouges supergéantes sont susceptibles de le faire – a probablement perdu de la matière de ses couches extérieures. Cela fait partie du comporte-



▲ ***Bételgeuse dans la constellation d'Orion. (Zwergelstern)***

▼ ***Magnitude V de Bételgeuse depuis août 2019 selon les données de l'AAVSO. (Wikipedia)***

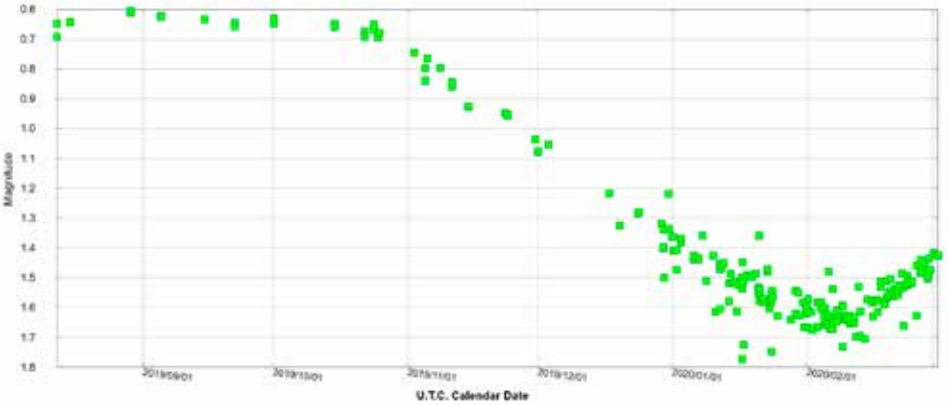
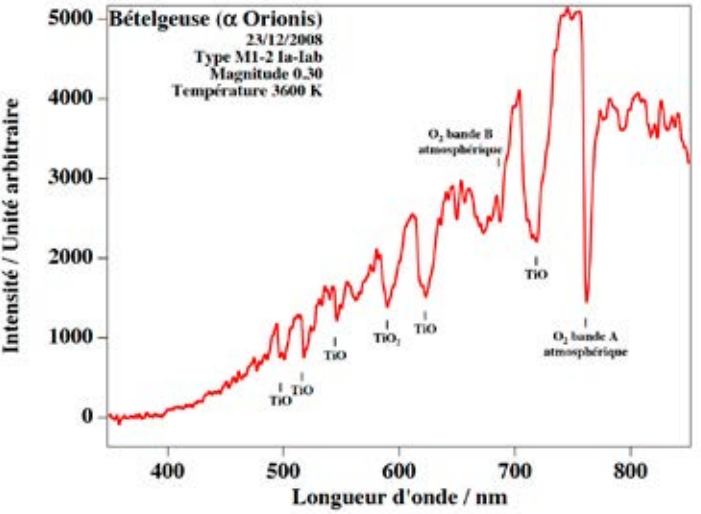


Image en lumière visible de VY Canis Majoris, une étoile supergéante rouge fortement obscurcie par la poussière. (NASA/ESA/R. Humphreys/université du Minnesota)



Spectre de Bételgeuse montrant les bandes de l'oxyde de titane TiO. (Groupe Astrophysique de la Société Astronomique de Bourgogne)

ment des supergéantes rouges. Elles perdent parfois de la matière qui se condense autour d'elles sous forme de poussière. En se refroidissant et en se dissipant, les grains absorbent une partie de la lumière.

Les astronomes s'attendent à ce que Bételgeuse explose en tant que supernova dans les 100 000 prochaines années lorsque son noyau s'effondrera. Mais l'assombrissement de l'étoile, qui a commencé en octobre, n'était pas nécessairement l'indice qu'elle allait exploser.

Outre l'atténuation de la lumière par des nuées de poussières, une autre théorie était que d'énormes cellules de convection à l'intérieur de Bételgeuse attiraient de la matière chaude vers sa surface, où elle aurait refroidi avant de retomber à l'intérieur.

Une façon simple de distinguer ces possibilités était de mesurer la température de Bételgeuse, ce que l'on peut faire à partir de spectres. Ceux-ci sont caractérisés par les bandes moléculaires de l'oxyde de titane qui se forme dans les couches des étoiles relativement froides comme Bételgeuse.

La température moyenne de la surface de Bételgeuse le 14 février était d'environ 3 325 degrés Celsius. C'est seulement 50 à 100 degrés de moins que la température qui avait été mesurée en 2004, bien avant le début de son assombrissement.

Ces résultats jettent le doute sur la diminution de la température de Bételgeuse qui aurait été la signature d'une cellule de convection massive provenant de l'intérieur et s'étant refroidie. De nombreuses étoiles possèdent ces cellules de convection, y compris le Soleil. Elles ressemblent à la surface d'un liquide en ébullition mais, alors que les cellules de convection du Soleil sont petites et nombreuses, celles des supergéantes sont gigantesques au point qu'une étoile comme Bételgeuse ne peut en montrer que trois ou quatre.

Si l'une de ces cellules massives était montée à la surface de Bételgeuse, on aurait enregistré une baisse de température nettement plus importante que celle constatée entre 2004 et 2020.

Un autre argument vient à l'appui de l'hypothèse des poussières. Des observations dans l'infrarouge moyen (jusqu'à quelques microns) montrent que la magnitude « bolométrique », c'est-à-dire le flux total sur tout le spectre électromagnétique, est restée relativement constante depuis des décennies. On n'a donc pas trace d'un comportement anormal de l'étoile qui pourrait indiquer une modification dans sa production d'énergie.

Des nuages de poussière entourent d'autres supergéantes rouges, et des observations spécifiques pourraient révéler un environnement similaire autour de Bételgeuse.

Une image de Bételgeuse prise en 2017 par ALMA et montrant de probables cellules de convection. (ALMA/ESO/NAOJ/NRAO/E. O'Gorman/P. Kervella)

Étoiles à neutrons

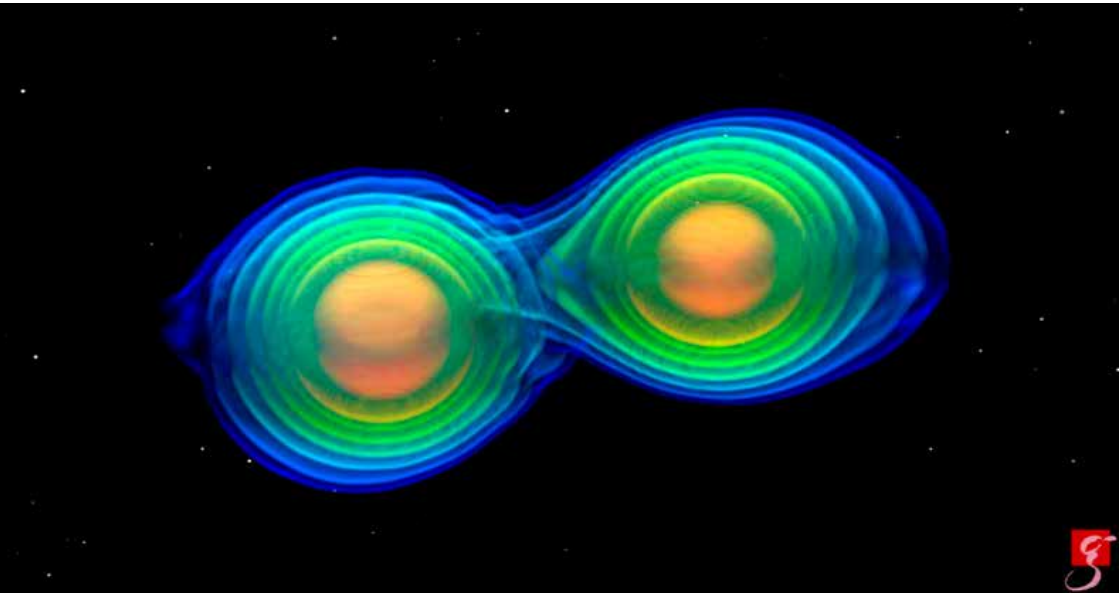
Basé sur un communiqué de l'Albert Einstein Institute

Des chercheurs ont adopté une nouvelle approche impliquant la physique nucléaire et des observations dans tous les domaines, y compris les ondes gravitationnelles, pour estimer la taille des étoiles à neutrons.

Ils ont combiné des principes généraux du comportement probable de la matière des étoiles à neutrons avec des observations « multi-messagers » de l'événement GW170817 qui a marqué la coalescence de deux de ces étoiles. Les résultats réduisent d'un facteur deux l'incertitude des déterminations précédentes et donnent pour une étoile à neutrons typique un rayon proche de 11 kilomètres. Les chercheurs ont constaté que les étoiles à neutrons qui fusionnent avec des trous noirs sont, dans la plupart des cas, susceptibles d'être avalées entières, à moins que le trou noir ne soit petit et/ou en rotation rapide. Cela signifie que ces fusions pourraient être observées comme des sources d'ondes gravitationnelles, mais qu'elles resteraient invisibles dans le spectre électromagnétique.

Les fusions d'étoiles à neutrons binaires révèlent un trésor d'informations. Les étoiles à neutrons contiennent la matière la plus dense de l'univers observable. Elles sont si denses et compactes qu'on peut considérer l'étoile entière comme un seul noyau atomique de la taille d'une ville. Mesurer les propriétés de ces objets nous aide à comprendre la physique fondamentale qui régit la matière au niveau subatomique.

Simulation en relativité générale de deux étoiles à neutrons se rapprochant pour fusionner. Les hautes densités sont en orange, les basses en bleu. (T. Dietrich/Max Planck Institute for Gravitational Physics ; BAM collaboration ; T. Dietrich et al./Max Planck Institute for Gravitational Physics)



Les nouveaux résultats indiquent qu'une étoile à neutrons typique, environ 1,4 fois plus massive que le Soleil, a un rayon compris entre 10,4 et 11,9 kilomètres.

Les chercheurs ont utilisé un modèle basé sur une description des premiers principes de l'interaction des particules subatomiques aux densités élevées que l'on trouve à l'intérieur des étoiles à neutrons.

Les modèles ont été choisis

- qui concordent avec les observations des ondes gravitationnelles de GW170817 provenant des données publiées de LIGO et de Virgo,
- qui produisent pendant un temps très court une étoile à neutrons hyper-massive à la suite de la fusion,
- et qui sont en accord avec les contraintes connues sur la masse maximale des étoiles à neutrons provenant des observations électromagnétiques de la contrepartie de GW170817.

Il est remarquable que des calculs théoriques à des échelles de longueur infinitésimales peuvent être confrontés aux observations d'un objet astrophysique situé à plus de cent millions d'années-lumière.

Les étoiles à neutrons sont les objets les plus denses que l'on puisse observer directement. Une masse un demi-million de fois plus grande que celle de la Terre est comprimée dans une sphère de seulement 22 kilomètres. Cette illustration compare la taille d'une telle étoile à la région d'Hanovre, siège de l'institut Albert Einstein du Max Planck Institute for Gravitational Physics où travaillent les auteurs de cette recherche. (NASA's Goddard Space Flight Center / AEI)

Le ciel de mai

Les heures sont indiquées en **Temps Universel**.

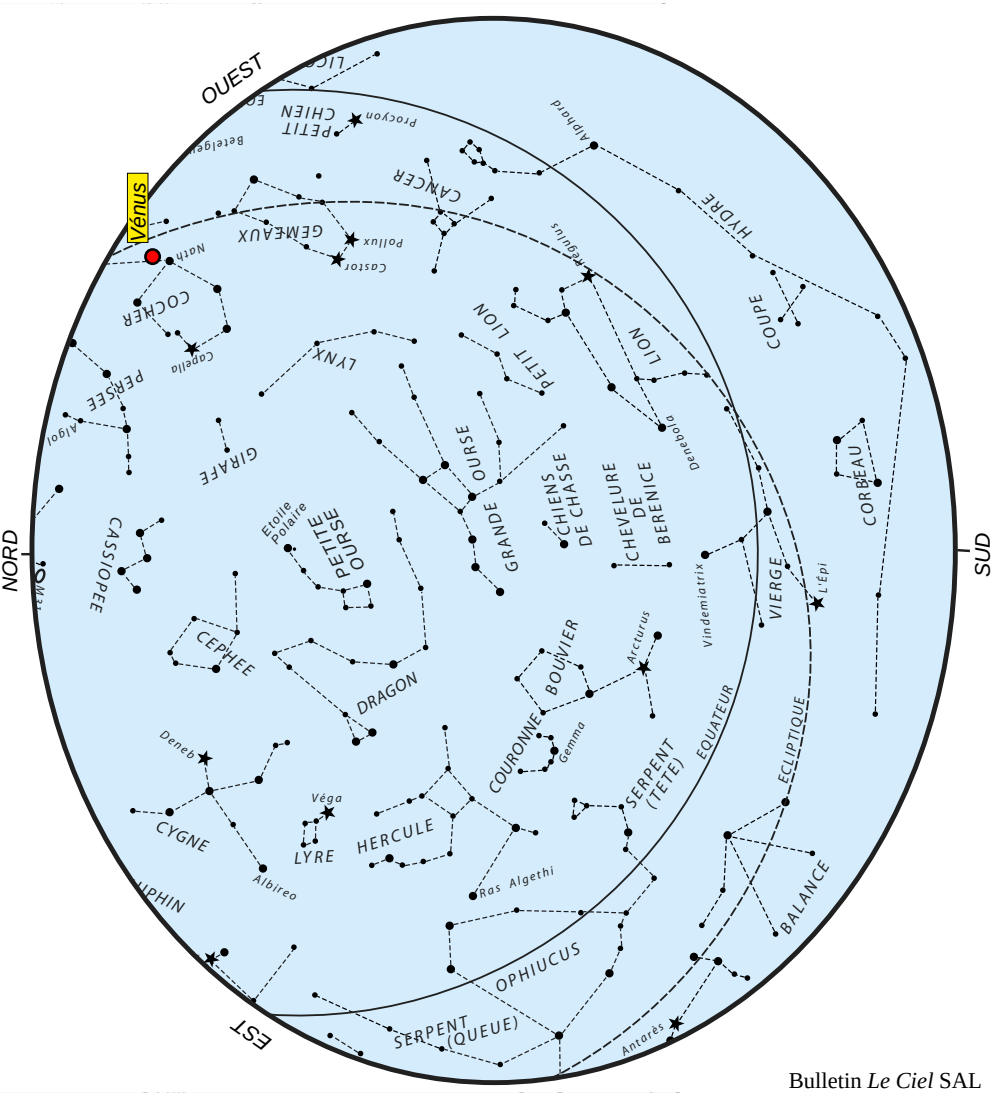
Pour obtenir l'**heure légale** en **2020** il faut ajouter :

1 heure pendant la période de l'heure d'hiver, soit du début de l'année jusqu'au dimanche 29 mars à 01 h TU et du dimanche 25 octobre à 01 h TU jusqu'à la fin de l'année.

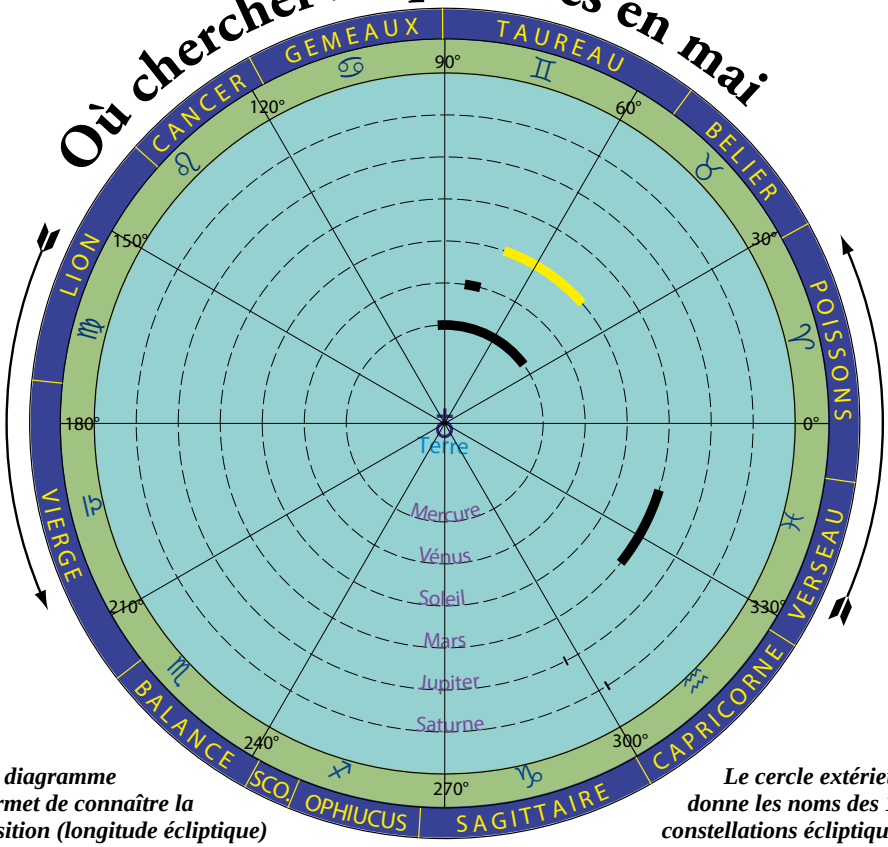
2 heures pendant la période de l'heure d'été.

La position des planètes est donnée pour le 10 du mois.

L'aspect du ciel le 10 mai à 21 h 30 ou le 25 à 20 h 30 (TU)



Où chercher les planètes en mai



Ce diagramme permet de connaître la position (longitude écliptique) du Soleil et des cinq planètes visibles à l'œil nu pour un observateur terrestre.

Le cercle extérieur donne les noms des 13 constellations écliptiques tandis que le cercle intérieur donne les symboles des 12 signes du zodiaque.

Le Soleil : quitte la constellation du Bélier pour celle du Taureau le 14. On regagne 1 heure et 25 minutes de clarté durant le mois.

Mercure : on la reverra au crépuscule à partir du 11 à l'aide de jumelles, et dès le 15 à l'œil nu. Belle conjonction à 1° de Vénus le 22.

Vénus : toujours visible le soir au WNW mais elle va rapidement plonger vers le Soleil pour disparaître à l'horizon en fin de mois (voir l'annuaire p. 43).

Mars : s'approche de la Terre et devient plus brillante. On la trouvera le matin au sud-est plus haut sur l'horizon que les deux mois qui précèdent.

Jupiter : on la verra de plus en plus tôt le matin. À l'aube elle se trouve entre le sud et le sud-est.

Saturne : à 5° de Jupiter, mais moins brillante, elle est visible dans les mêmes conditions. Le couple est presque immobile par rapport aux étoiles comme le suggère la figure ci-dessus.

Éphémérides de mai

LD

Les heures sont données en Temps Universel : on ajoutera 2 h pour l'heure de la montre.
Adapté du *Hemelkalender – Jean Meeus*

Principaux phénomènes du mois

Le 02 à 03 h	La Lune 4° au nord de Régulus. À observer plus tôt car la Lune se couche à 2 h 25.
Le 04 à 00 h	Vénus atteint sa plus grande déclinaison nord soit 27°49′01″. C'est 26″ de moins que la valeur record (27°49′27″) d'il y a 8 ans. Le prochain record (27°49′53″) aura lieu le 7 mai 2239. La déclinaison de Vénus continuera d'augmenter au cours des siècles dépassant même les 30° le 18/05/6279.
Le 04 à 21 h	Mercure en conjonction supérieure. Elle sera d'ailleurs occultée par le Soleil mais bien sûr ceci n'est pas observable.
Le 05 à 17 h	La Lune 7° au nord de Spica. À observer après 20 h.
Le 07 à 10 h 45	*Pleine Lune.*
Le 08 à 21 h	La Lune 6° au nord d'Antarès. À observer après 22 h.
Les 10 et 11	Vers 20 h Vénus se trouve 1,5° *sous* l'étoile Al-Nath. Vénus pourrait-elle occulter Al-Nath ? La réponse est oui, la dernière fois eut lieu le 03/04/-864. Mais c'est lié à la précession car la déclinaison de l'étoile était alors d'environ 21°. Il faudra attendre plusieurs milliers d'années pour la prochaine occultation.
Le 11 à 09 h	Saturne stationnaire entame un mouvement rétrograde.
Le 12 à 10 h	La Lune 2° au sud de Jupiter. À observer tôt vers 2 h.
Le 12 à 18 h	La Lune 3° au sud de Saturne. À observer le lendemain matin vers 2 h.
Le 14 à 14 h 03	*Dernier quartier de la Lune.*
Le 14 à 18 h	Jupiter, stationnaire à son tour, part en mouvement rétrograde.
Le 15 à 02 h	La Lune à l'horizon 3,5° au sud de Mars.
Le 22 à 17 h 39	*Nouvelle Lune.*
Le 22 à 08 h	Mercure 54′ au sud de Vénus.

La figure ci-contre représente le rapprochement entre les deux planètes du 20 au 24 mai aux environs de 20 h 15. Le 24 un petit croissant de Lune se joindra au duo.

La Lune sera en conjonction géocentrique avec Vénus le 24 à 3 h et avec Mercure à 11 h.

La hauteur de chaque figure représente environ 10°. (Hemelkalender)

Le 26 à 21 h	La Lune 5° au sud de Pollux.
Le 29 à 09 h	La Lune 4° au nord de Régulus. À observer vers 21 h.
Le 30 à 03 h 30	*Premier quartier de la Lune.*

Les observateurs

Comète Atlas : comète de l'année ou plus encore ?

En début d'année, je vous avais écrit que s'il n'y avait pas une nouvelle comète intéressante découverte en 2020, il n'y aurait rien d'intéressant à se mettre sous la dent point de vue cométaire.

J'étais loin, très loin, d'imaginer qu'une comète découverte le 28 décembre 2019 allait devenir une comète visible à l'œil nu dès le début du mois de mai 2020. Elle porte le nom de comète ATLAS (du nom du programme qui l'a détectée : Asteroid Terrestrial-Impact Last Alert System). Son nom scientifique est C/2019Y4.

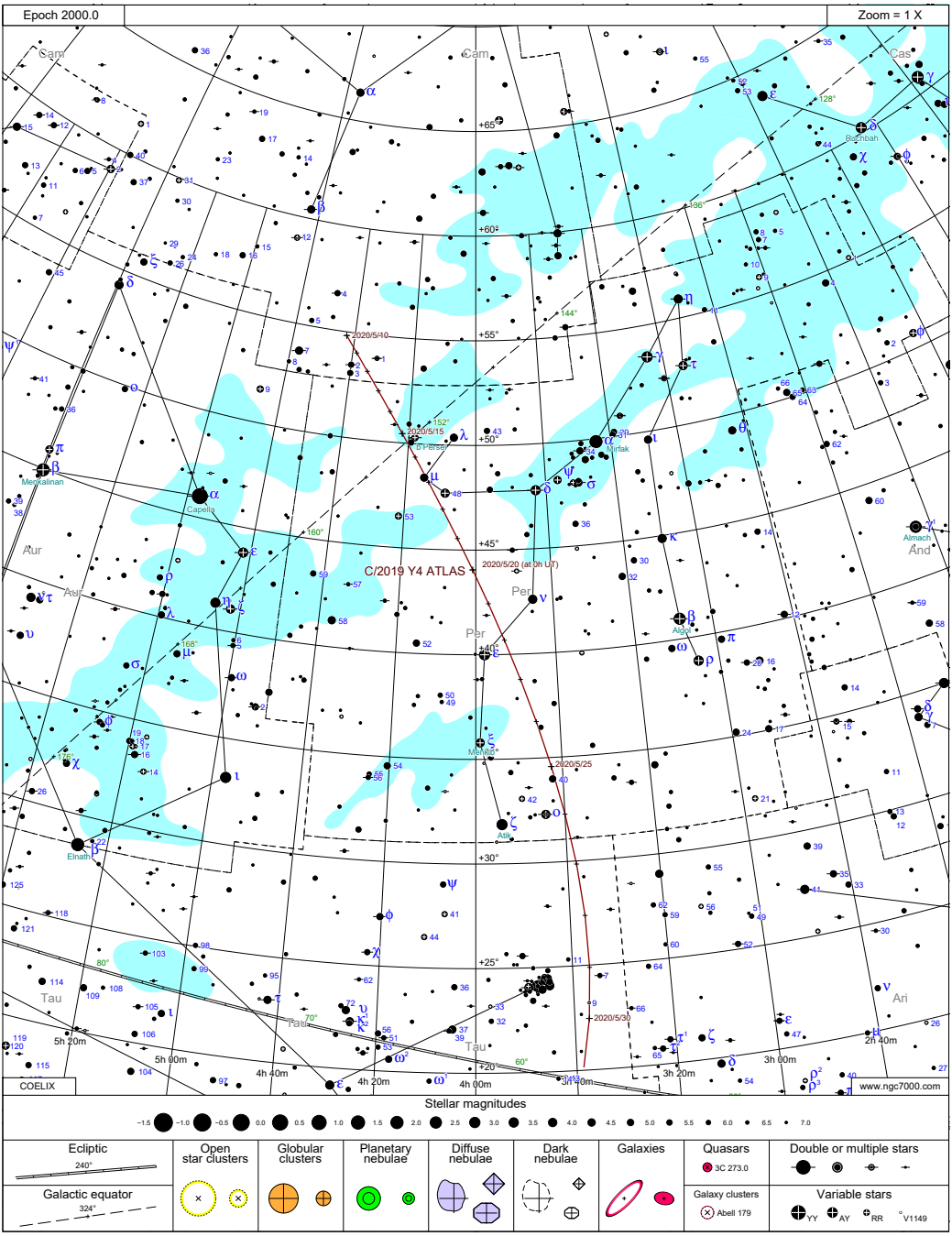
Cette comète aurait pu devenir la comète de l'année 2020 voire de la décennie… et pourquoi pas du XXIe siècle aux alentours du 31 mai lors de son périhélie (point de son orbite le plus proche du Soleil) !

La gravure en noir et blanc vous montre la Grande Comète de 1844. Si cette comète fut reprise en gravure à l'époque, c'était parce qu'elle fut impressionnante (elle fut visible en journée dans l'hémisphère sud de la Terre). Si je vous en parle, c'est parce que la comète ATLAS a une orbite qui est similaire à l'orbite de la Grande Comète de 1844. Les astronomes pensent qu'il pourrait s'agir soit d'un fragment d'un même corps céleste qui a créé la Grande Comète de 1844, soit d'un fragment de cette Grande Comète de 1844.

Quoiqu'il en soit, la comète ATLAS a pris beaucoup plus de luminosité que ce qui était prévu lorsqu'elle fut découverte. Jugez par vous-même : de début février à la mi-mars 2020, elle est devenue 4 000 fois plus brillante ! Au vu de l'évolution de cette luminosité, les astronomes pensaient qu'en fin mai, elle pourrait être aussi brillante que Vénus.

Malheureusement, comme beaucoup d'autres comètes par le passé, ATLAS nous a joué un mauvais tour en ne tenant pas ses promesses. Elle s'est fragmentée et a perdu en éclat.

N'hésitez pas à continuer à nous suivre sur Facebook (page et compte Facebook de la société astronomique de Liège) et sur Instagram (sur le compte @astroliege) pour avoir de ses nouvelles...


Epoch 2000.0
Zoom = 1 X
Cam
Cas
Rucbah
Aur
Capella
Menkalinan
Per
Mirfak
Algol
Almach
And
C/2019 Y4 ATLAS
2020/5/10
2020/5/15
2020/5/20 (at 0h UT)
2020/5/25
2020/5/30
Tau
Ari
Elnath
Alcyone
Atlas
Pleiades
Stellar magnitudes
Ecliptic
Galactic equator
Open star clusters
Globular clusters
Planetary nebulae
Diffuse nebulae
Dark nebulae
Galaxies
Quasars
3C 273.0
Galaxy clusters
Abell 179
Double or multiple stars
Variable stars
COELIX
www.ngc7000.com

Cadeau surprise de Gaëtan Lovinfosse

Prêt d'instrument

Comme vous le savez, la société astronomique de Liège prête gratuitement 4 télescopes Dobson d'un diamètre de 200 mm minimum pour une durée de 6 mois à ceux et celles d'entre vous qui en font la demande (pour pouvoir en réserver un, il vous suffit de me contacter au 0468/092511). Les seules conditions pour emprunter l'un d'entre eux sont d'être membre effectif de notre société et de déposer une caution de 50 euros le jour de la réception du télescope (caution que vous récupérerez au terme des 6 mois de prêt).

Parmi ceux qui disposent actuellement de l'un de ces télescopes, se trouve Monsieur Gaëtan Lovinfosse. Celui-ci m'a transmis un message très encourageant pour ceux qui souhaiteraient nous emprunter l'un de nos télescopes. Je le cite : « Je continue mes observations avec le Dobson et j'y prends beaucoup de plaisir. J'ai fait découvrir la Lune au travers de ce télescope à toute ma famille il y a quelques jours et ce fut un réel émerveillement. Je réussis à voir régulièrement les galaxies Messier 81 et Messier 82 qui sont faciles à trouver avec ce télescope ».

Monsieur Lovinfosse, heureux d'utiliser actuellement l'un de nos télescopes Dobson en prêt gratuit, s'est rendu compte qu'il manquait un bouchon pour le porte-oculaire 2 pouces du télescope. Il a décidé d'en réaliser un lui-même au moyen de son imprimante 3D. Non seulement Monsieur Lovinfosse a réalisé ce bouchon pour le bien des futurs utilisateurs de ce télescope, mais il y a mis une petite touche artistique en y imprimant le logo de la société astronomique.

Je ne peux que remercier vivement Monsieur Lovinfosse pour cette idée altruiste et surtout cette réalisation géniale.

Conjonction Vénus-Pléiades

La conjonction de la planète Vénus et de l'amas ouvert des Pléiades (Messier 45) était un événement astronomique très attendu par beaucoup d'entre nous.

Dès la fin février 2020, nous étions plusieurs astrophotographes à photographier régulièrement le rapprochement de ces deux entités célestes… jusqu'au 3 avril au soir où avait lieu la conjonction. Ce jour-là, les Pléiades se trouvaient à 444 années-lumière de nous, tandis que Vénus se trouvait à plus de 93 millions de kilomètres (soit à près de 5 minutes-lumière de nous).

Comme cela est trop souvent le cas en Belgique, nous avons dû composer avec les nuages le jour où Vénus était au plus près des Pléiades, mais cela ne nous a pas découragés car le spectacle en valait la peine lors du crépuscule, juste avant l'envahissement du ciel par les nuages.

Quelle ne fut pas notre surprise le lendemain de la conjonction de voir un plus beau spectacle : les Pléiades avaient l'aspect d'un collier au bout duquel Vénus était une pierre précieuse et étincelante.

Le prochain rapprochement intéressant à observer, ce sera une conjonction – et même une occultation – de Vénus et de la Lune le 19 juin prochain en matinée (les éphémérides de cet événement se trouvent en page 41 de l'annuaire 2020 de la société astronomique de Liège).

Pierre Ponsard

Vénus illumine nos soirées

Compte-rendu d'observations durant le confinement

Depuis un balcon ou mieux un jardin, le confinement n'a pas empêché d'assister vers l'ouest à un spectacle céleste dont Vénus haute dans le ciel était la vedette. L'écart de la planète par rapport au Soleil étant maximum en ce début de printemps, ce moment était propice pour une chouette observation à l'œil nu et aux jumelles.

Un appareil photo posé sur un pied a permis d'immortaliser les rencontres.

Du 26 au 31 mars, le jeune croissant lunaire, orné de sa lumière cendrée, a pris de soir en soir plus d'embonpoint en escaladant le ciel vers l'éclatante Vénus.

Du 3 au 5 avril, la planète Vénus a frôlé le superbe amas des Pléiades, une dizaine d'étoiles, délicates à voir à l'œil nu à cause de l'éclat de Vénus. La beauté de l'amas se révèle grâce à une paire de jumelles.

Le déplacement de Vénus dans le fond du ciel est manifeste, ce déplacement s'explique par son périple autour du Soleil.

Vénus, tout en filant plus tôt vers l'horizon, restera la vedette encore de nombreux soirs ; le 25 avril un beau trio crépusculaire formé de Vénus, d'un fin croissant lunaire et d' Aldébaran dans le Taureau fera la une de la soirée de confinement et puis le 24 mai, des jumelles permettront de voir la planète Mercure entre la jeune Lune et Vénus.

Christiane Defays

21 mars. L'endroit des retrouvailles se situe pas loin de l'amas des Pléiades et de la constellation du Taureau où l'étoile Aldébaran se reconnaît aisément grâce à son éclat orangé.

La jeune Lune et Vénus, dont l'éclat surpasse celui des étoiles dans le ciel du soir, jouent en duo le début du spectacle.

◄ 27 mars. La Lune et l'étoile du berger sont visitées par la station internationale où six astronautes vivent confinés durant plusieurs mois.

▼28 mars. Une sympathique rencontre à droite des Pléiades avec la Lune, Vénus et de nouveau l'ISS qui laisse une marque de son passage.

30 mars. Vénus et La Lune apparaissent très furtivement quand les nuages s'écartent ; le challenge est de capter le moment où les deux astres sont simultanément visibles avec les Pléiades en prime.

4 avril. Durant tout le mois, Vénus va progressivement se déplacer dans la région située entre les Pléiades et la constellation du Taureau repérable avec Aldébaran son étoile principale.

4 avril. Vénus côtoie les Pléiades.

5 avril. Vénus s'éloigne des Pléiades.

Astronomie sur l'île de La Palma-II

Christiane Defays

El Roque de los Muchachos

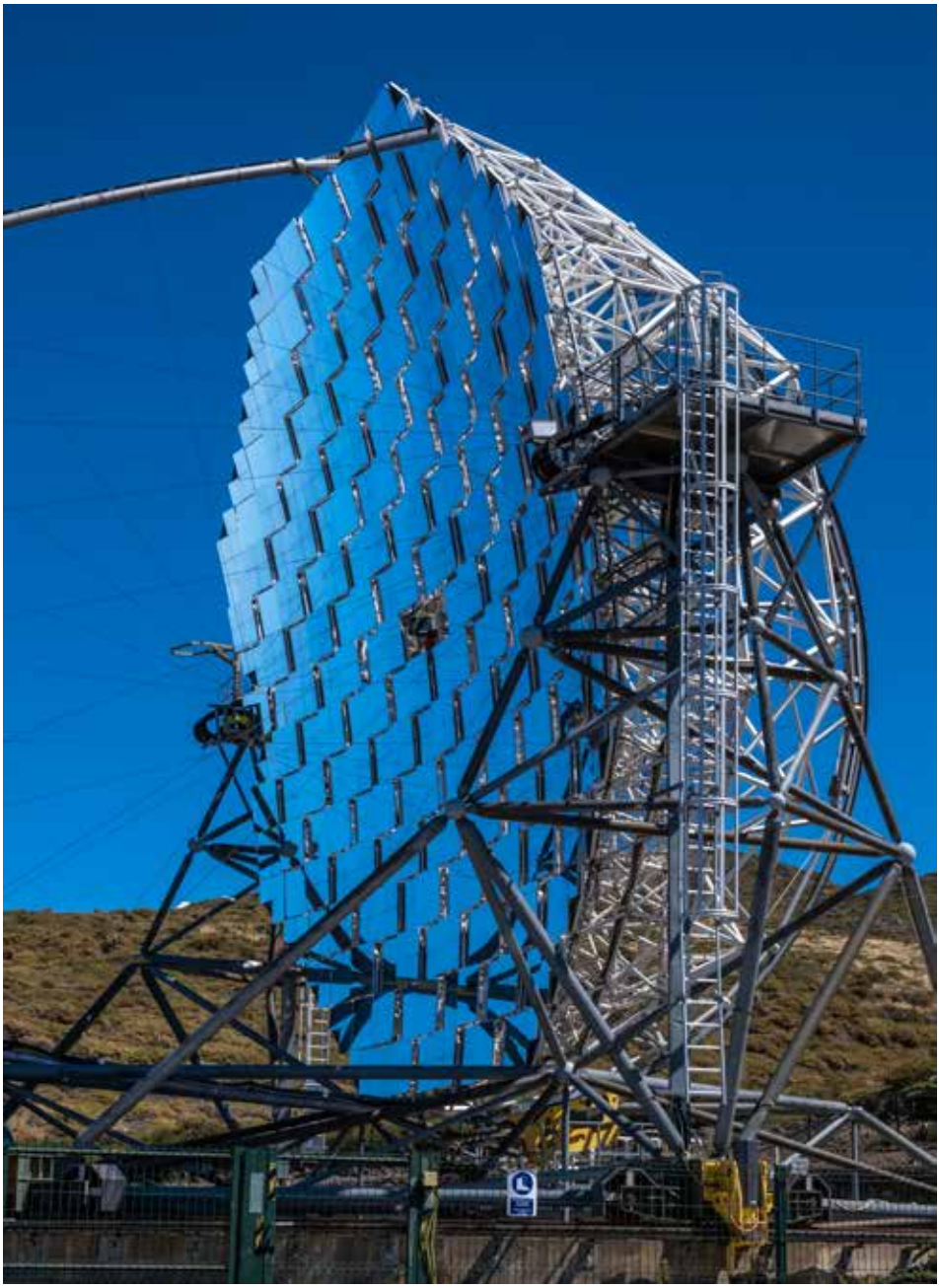
Depuis Las Tricias où se trouve notre hébergement, une magnifique route tout en lacets amène à 2 400 m d'altitude au sommet de l'île où un panorama fabuleux se déploie sur la caldeira de Taburiente. L'endroit, appelé *El Roque de los Muchachos*, affiche un ciel d'une pureté exemplaire grâce à sa situation particulière au-dessus des nuages et aussi grâce à la législation assez sévère qui vise à limiter toute pollution lumineuse et radioélectrique à cet endroit.

C'est sur ce balcon extraordinaire que s'est installé *l'observatoire El Roque de los Muchachos (ORM)*, qui nous apparaît comme une sorte de sanctuaire des temps modernes.

Une visite guidée durant la journée nous fait prendre conscience de l'importance de ce site astronomique, l'un des plus remarquables de l'hémisphère nord.

Parmi l' impressionnant ensemble de télescopes et d'instruments hébergés, nous en retenons quelques-uns :

- William Herschel WHT télescope optique avec un miroir de 4,2 m
- Télescope national Galileo TNG télescope italien avec un miroir de 3,50 m
- Mercator, télescope de la KUL
- Deux imposants télescopes constitués d'une mosaïque de petits miroirs, *les Magic Télescopes* (Major Atmospheric Gamma Imagid Cherenkov Telescopes). Ces 2 télescopes de diamètre 17 m, séparés de 85 m peuvent travailler ensemble en mode stéréoscopique et sont dédiés à la détection et à l'observation des rayons gamma issus des sources galactiques et extragalactiques dans le domaine des très hautes énergies.
- Tout près de ces deux géants se trouve le plus récent télescope, le Large Size Telescope



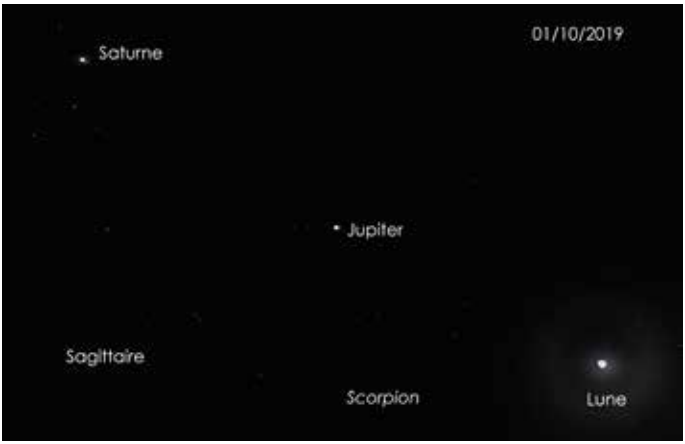
(LST) de diamètre 23 m. Optimisé pour la détection des rayons gamma basse énergie, il est le premier d'un ensemble de 4 LSTS.

• La visite guidée nous autorise à entrer à l'intérieur du fleuron du lieu, *le Gran Telescopio Canarias GTC,* un des plus grands télescopes du monde et le plus avancé en optique infra-rouge. Abrité sous une coupole de 32 m de diamètre, le miroir primaire est composé de 36 miroirs hexagonaux, l'équivalent d'un miroir sphérique de 10,4 m de diamètre. Le GTC dispose d'une optique adaptative pour corriger les effets de la turbulence atmosphérique : au dos de chaque miroir hexagonal des vérins sont actionnés plusieurs centaines de fois par seconde par des moteurs pour maintenir une forme optimale. Pour ne pas interrompre les observations, 6 miroirs hexagonaux « de secours » permettent de remplacer ceux qui doivent être revus.

• L'observatoire El Roque de los Muchachos (ORM) et l'observatoire del Teide (OT) sont gérés par *l'institut d'astrophysique des Canaries (IAC),* ce qui en fait un centre de pointe pour l'astrophysique dans l'hémisphère nord.

De grandes avancées dans l'étude de l'Univers ont été faites à partir de ces télescopes dans différents domaines, tant pour la détection de galaxies très éloignées, que la détection de trous noirs et de l'accélération de l'expansion de l'univers.

Un article dans la revue *Le Ciel* de novembre 2019 souligne la contribution des télescopes WHT et GTC pour les mesures photométriques concernant la récente comète C/2019Q4.


01/10/2019
Saturne
Jupiter
Sagittaire
Scorpion
Lune

02/10/2019
Saturne
Jupiter
Lune

03/10/2019
Saturne
Jupiter

Rappelons aussi que les chercheurs de l'équipe SPECULOOS, dont font partie des astronomes de chez nous, disposent depuis le mois de juin d'un télescope Artémis implanté au cœur de l'observatoire del Teide qui va permettre d'étendre les recherches vers les exoplanètes potentiellement habitables.

Puerto Naos

Nous passons quelques jours supplémentaires sur l'île de La Palma en logeant dans un hôtel situé sur la côte sud-ouest, d'où nous découvrons avec ravissement les multiples richesses touristiques de la pittoresque île volcanique.

Même si la législation locale oblige la limitation de l'éclairage urbain, il est préférable de s'écarter de quelques km de la station balnéaire afin d'éviter les gênantes lumières artificielles et pouvoir ainsi s'immerger totalement dans la beauté majestueuse du ciel étoilé.

Cependant depuis notre hôtel, confortablement installés sur le balcon de notre chambre, nous pouvons suivre, de soir en soir, le déplacement du jeune croissant de Lune, en route d'abord vers la resplendissante planète Jupiter, qu'elle côtoie le 3 octobre, puis vers la planète aux anneaux. Le sympathique trio aligné le long de l'écliptique est suffisamment haut sur l'horizon. La lumière lunaire réfléchie sur l'océan ajoute une note romantique à la réunion céleste, sur laquelle s'achève notre séjour astro.

Sites web

http://casa-astro-lapalma.com
https://www.iac.es/en
https://www.iac.es/en/observatorios-de-canarias?op1=2
https://www.iac.es/en/observatorios-de-canarias/roque-de-los-muchachos-observatory
https://youtu.be/hIqmYf63m6Q
https://www.iac.es/en/outreach/multimedia-gallery
https://www.speculoos.uliege.be

Bibliographie ou des aides pour le repérage des objets

Antonin Rükl,Constellation, ed Gründ 2002.
Roger W. Sinnott, Pocket Sky Atlas, ed Sky & Telescope's 2006.

La comète Atlas (C/2019Y4) photographiée le 21 mars par Pierre Ponsard. APN Canon 60Da au foyer du télescope de 305mm de diamètre de l'observatoire de La Fosse. Pose totale de 2 heures à 800 ISO. Sur les pas de la grande comète de 1844 (C/1844 Y1 = 1844III), et manifestant une surprenante activité, C/2019Y4 laissait alors espérer un show en mai.

La comète C/2019Y4 (Atlas) photographiée le 23 mars par Gaston Dessy. Pose de 3 minutes. Lunette 102ED, focale 714mm, caméra ZWO ASI 294MC pro.

La belle apparition de Vénus n'est pas passée inaperçue. Ces images ont été prises le soir du 18 mars par Vincent Marsault avec un simple GSM.

La Lune et Vénus au voisinage des Pléiades et des Hyades (avec Aldébaran en haut à gauche). Image réalisée par Gaston Dessy le 28 mars à 21 h 20 avec un Sony A7, objectif FE 24-70 F4, focale utilisée 53 mm, pose de 2 secondes à 1600 ISO.

Vénus traverse les Pléiades. Composite de 3 clichés obtenus les 2, 3 et 4 avril par Luc Désamoré.

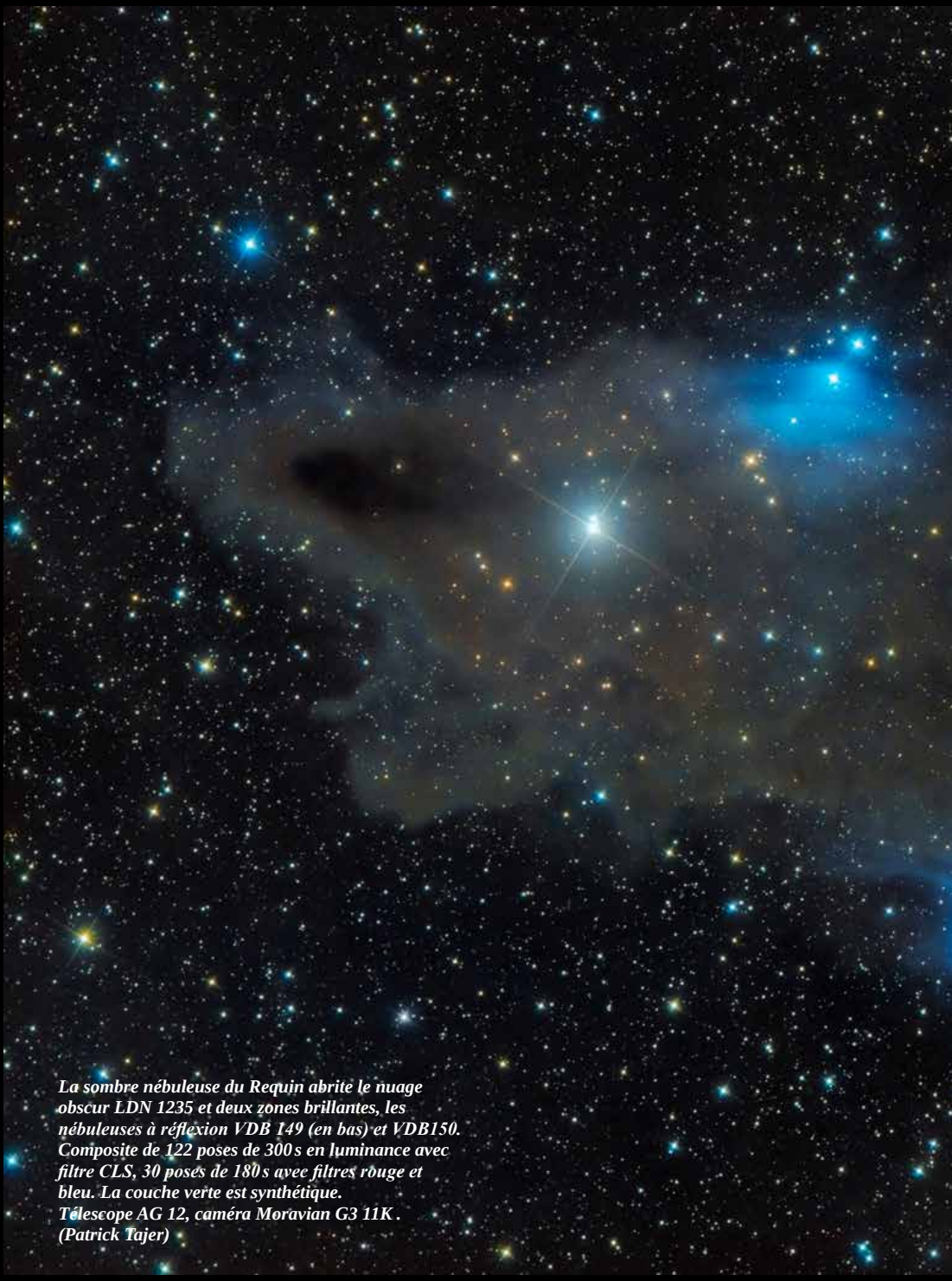
Vénus dans les Pléiades le 3 avril. Photo obtenue par Aurélie Désamoré et Benjamin Laenen depuis Castilléjar, en Andalousie.
APN Canon EOS 1D, objectif 500 mm.

La nébuleuse d'Orion, M42, photographiée par Philippe Demy. CANON EOS700D non défiltré. Correcteur/réducteur F6,3. Composite de 4 images de 10, 15, 25 et 30 s à 6400 ISO.

La comète C/2019 Y4 (Atlas) photographiée par Philippe Demy le 31 mars à minuit. APN CANON EOS 700D (non défiltré). Correcteur/réducteur F6,3. Composite de 20 images (35 s de pose) à 6400 ISO.

NGC 2174, la nébuleuse de la Tête de singe dans la constellation d'Orion. Un total de 3 heures de pose. Newton 130/650. Monture NEQ6-Pro Goto, Canon 60D défiltré avec filtre Astro Duo-Narrowband, iso800, correcteur de coma, guidage MGEN-Lacerta, traitement DSS et cadrage PS. (Michel Gerson)

La grande galaxie du Triangle, Messier 33, photographiée par Patrick Tajer. Composite de 122 poses de 300 s en luminance avec filtre CLS, 30 poses de 180 s avec filtres rouge et bleu, 18 poses de 600 s avec filtre H-alpha 5 nm et 18 poses de 600 s avec filtre OIII 5 nm. Télescope AG 12, caméra Moravian G3 11K.



La sombre nébuleuse du Requin abrite le nuage obscur LDN 1235 et deux zones brillantes, les nébuleuses à réflexion VDB 149 (en bas) et VDB150. Composite de 122 poses de 300 s en luminance avec filtre CLS, 30 poses de 180 s avec filtres rouge et bleu. La couche verte est synthétique. Télescope AG 12, caméra Moravian G3 11K . (Patrick Tajer)

Astromarket by Astroshop est un domaine de nimax GmbH. Sous réserve de modifications de prix ou erreurs.

ASTOPTICS ASTROMARKET
by Astroshop

Contact

E-Mail
service@astromarket.org

Bureau à Nieuwpoort
Jimmy Oostvogels • Astromarket by Astroshop • Pieter Braeckelaan 64
8620 Nieuwpoort • Belgique

Téléphone
+32 (0) 58 680205

Bureau à Hasselt
Hugo Ruland • Astromarket by Astroshop • Kuringersteenweg 44
3500 Hasselt • Belgique

Téléphone
+32 (0) 11 253052

Rendez-vous recommandé

ADC: pour que vos photos planétaires soient nettes à l'horizon

omegon®

Correcteur de dispersion atmosphérique

- *Corrige la dispersion atmosphérique : moins de franges colorées, photos planétaires plus nettes et plus de détails.*
- *Ultra plat : convient également pour l'observation visuelle et pour les jumelles*
- *Adaptateur 31,75 mm avec bague T et anneau de compression : pour appareils photo et oculaires*

> Plus d'infos et conseils sur : Astromarket.org

53049 €149,00
Correcteur de dispersion atmosphérique Omegon

Pour rechercher un article, tapez son numéro dans le champ « Chercher » en haut de page.