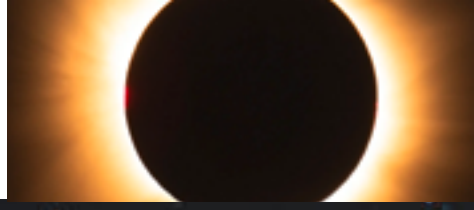
Éclipse du 12 août **L'ALBUM SOUVENIR**



Ciel&espace

octobre / novembre 2026 – N° 609

Ciel&espace

UNE AUTRE HISTOIRE DES GALAXIES

RACONTÉE PAR LES AMAS GLOBULAIRES

DOM 10,90€ - BEL 10,90€ - CH 15,90CHF - CAN 16,99CAD - ESP/GRC/ITA/PRT 10,90€ - LUX 11,50€ - MAR 112MAD - NCL 1340XPF - TUN 27,70TND

ENQUÊTE
DATACENTERS SPATIAUX, UNE FAUSSE BONNE IDÉE ?



OBSERVATION
SATURNE AU PLUS PRÈS DE LA TERRE !

TEST
UN MAKSUTOV DE 127 MM POLYVALENT

L 13490 - 609 - F: 9,90 € - RD

POUR DÉBUTER EN ASTRO

La **description simple** du Système solaire des mouvements des planètes ; tous les conseils pour suivre **les éclipses de Soleil** ; un guide d'**observation de la Lune** ; comment **reconnaître les planètes** à l'œil nu et bien les observer au télescope ; des suggestions de **matériel d'astronomie** afin de bien débuter !





CADEAU

Les lunettes pour observer le Soleil



Disponible sur
www.cieletespace.fr/le-magazine

COMMUNION SOLENNELLE

Alain Cirou,
directeur de la rédaction



Des millions de spectateurs ont assisté, le 12 août, au passage de la Lune devant le disque solaire. Une éclipse totale au Groenland, à l'ouest de l'Islande et sur une partie du territoire espagnol, qui donna un spectacle inoubliable pour ceux et celles qui virent, deux minutes environ, un Soleil noir éteindre la lumière du jour. L'évènement, fugace et rarissime, a été partagé par des foules de curieux, partout en France où l'éclipse était fortement partielle, à la faveur d'un ciel sans nuage, à la fin d'une journée caniculaire et estivale. Massée sur les plages, les dunes, dans les parcs, les villes ou les villages, les lieux de rassemblements dégagés vers l'ouest, toute la population présente dans le pays a pu admirer ce moment magique vécu le plus souvent comme une « communion » entre les hommes et le ciel. Comme le 11 août 1999, date de la dernière éclipse totale visible en France, des millions de personnes ont suivi, fascinées, les tic-tac de la mécanique céleste. Ou le spectacle mystique d'un « Grand Tout ».

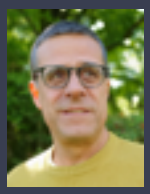
Comme au siècle dernier, l'organisation mise en place par l'Association française d'astronomie s'est révélée efficace. Le dispositif « Éclipse info » et ses partenaires ont préparé et accompagné la ferveur nationale autour de trois thématiques clés : l'information, la protection et l'animation. Et même si une grande part des astronomes amateurs qui ont participé aux Nuits des étoiles organisées quelques jours plus tôt ont privilégié le théâtre d'un spectacle ibérique total, les « montreurs d'éclipse » ont tenu bon sous la vague d'un tsunami de curiosité. Tels, ceux de Paris, dans le parc André Citroën, où se sont retrouvées plus de vingt mille personnes.

Et dans un schéma si prévisible, la ruée vers les lunettes de protection disponibles dans les pharmacies, chez les opticiens, dans les supermarchés ou en kiosques, a enflammé les derniers jours du compte à rebours. Contrairement à 1999, où l'État s'était engagé dans l'évènement en soutenant les acteurs associatifs, avec la volonté de protéger les populations les plus fragiles, il est resté sourd cette année aux sollicitations. Tout en réaffirmant sa croyance dans le système du « marché » autorégulateur, il s'est contenté d'une communication sur la prévention sous la forme de « foire aux questions » mise en ligne sur les sites ministériels et les réseaux sociaux. Une mobilisation tardive, insuffisante pour beaucoup, et un manque de coordination des acteurs qui a favorisé les affolements de dernière minute, mais surtout l'inflation des prix.

Ces constats réalisés, il est utile d'élargir la focale pour embrasser toute la scène de l'évènement exceptionnel que nous venons de vivre. Une nouvelle fois, la démonstration est faite que les spectacles célestes fascinent tout le monde. Et la survenue d'un crépuscule, voire d'une nuit improbable en plein jour, fait partie de ces moments dont chacun se souvient toute sa vie. Ensuite, et même si les circonstances des éclipses totales de Soleil ne font plus mystère — on connait avec une précision redoutable, et des années auparavant, les dates, les heures et les pays traversés par l'ombre de la Lune — c'est toujours au dernier moment que se cristallise l'attention collective. Force est de constater que, comme pour les grandes crises du climat et de la biodiversité, l'anticipation dans un monde multiconnecté est aujourd'hui… nulle. Sans doute faut-il se souvenir que notre savoir, et par conséquent notre pouvoir d'agir sur le monde, s'est construit sur du temps long. Comme celui consacré à l'observation des astres et à la compréhension de leur nature. Notre sidération devant la beauté et la puissance symbolique d'une éclipse n'est pas un hasard. Elle nous renvoie sans détour à notre condition essentielle : des Terriens. Avec un petit fil d'Ariane nous reliant intuitivement au ciel…

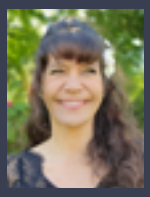
Photo PgP

Ils sont au générique de ce numéro



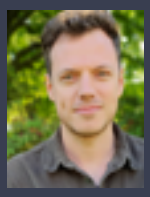
PHILIPPE HENAREJOS

Avant de devenir journaliste formé dans la presse quotidienne régionale, Philippe Henarejos, rédacteur en chef, a été astronome amateur depuis le plus jeune âge. Destination : la Lune. Il suit donc de près tous les programmes spatiaux lunaires. Et l'actualité de tout l'Univers…



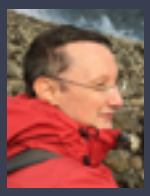
ÉMILIE MARTIN

Passionnée de journalisme de terrain, Émilie Martin est notre reporter. Observatoires, centres spatiaux, laboratoires et astronomes en mission sont ses sujets de prédilection, également pour des documentaires qu'elle coécrit pour la télévision.



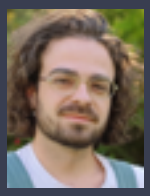
GUILLAUME LANGIN

Passé par un grand groupe aérospatial, puis un observatoire astronomique, Guillaume devient journaliste en 2018. Il intègre la rédaction de *Ciel & espace* l'année suivante. De l'orée des trous noirs aux cabrioles en orbite basse, il filtre l'info avec une méthode simple : douter de tout ce qu'il lit, voit et entend !



STÉPHANE FAY

Passionné par l'astronomie et plus particulièrement par la cosmologie, Stéphane l'étudie depuis 1995. Il est l'auteur d'une quarantaine d'articles de recherche et partage sa passion avec les lecteurs de *Ciel & espace* depuis 2004.



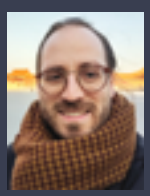
PIERRE GIRAUDEAU

Passionné de physique depuis toujours, Pierre s'est lancé dans le journalisme scientifique après une formation d'ingénieur nucléaire.



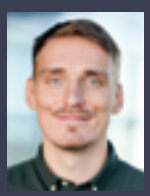
LAURENT SCHAFER

Journaliste-illustrateur, Laurent est l'auteur des bandes dessinées *Quantix* (2019), *Infinix* (2021) et *Cosmix* (2024), aux éditions Dunod. Ses BD explorent notre étrange réalité quantique et relative, tout en s'interrogeant sur notre place dans l'Univers.



PIERRE DRAPPIER

Professeur agrégé de philosophie, Pierre est passionné par la science-fiction, la préhistoire et les expériences de pensée en tout genre. Il écrit depuis plusieurs années un essai philosophique sur l'exploration spatiale.



FLORIAN KAPPELSBERGER

Journaliste à *National Geographic* et dans d'autres médias, Florian est passionné par l'ambition humaine de comprendre et d'explorer l'espace — et par les manières dont cet infini nous façonne.



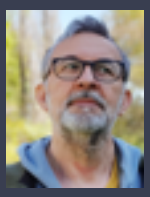
DAVID FOSSÉ

Docteur en astrophysique, notre rédacteur en chef adjoint a troqué un temps son télescope d'amateur contre les radiotélescopes géants. Aujourd'hui, il explore toutes les facettes de l'astronomie avec sa plume. Il est aussi la voix des podcasts de *Ciel & Espace*.



JEAN-LUC DAUVERGNE

Jean-Luc est astronome amateur aguerri et passionné de photographie. Il est notre expert ès télescopes. Mais avant tout, il est journaliste scientifique spécialisé en astronomie, auteur d'ouvrages, de documentaires et de contenus de vulgarisation sur YouTube.



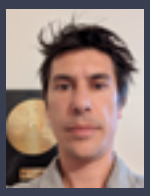
OLIVIER HODASAVA

Directeur artistique de *Ciel & espace*, il joue avec textes et photographies. Il aime à remonter le temps en découvrant archives et images anciennes. Il est l'un des membres fondateurs de l'Ouvroir de cartographie potentielle, et l'auteur de trois romans publiés aux éditions Inculte.



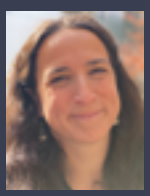
EMMANUEL BEAUDOIN

Enseignant-chercheur en physique à l'université Paris-Saclay, il contribue à l'étude des atmosphères planétaires. Il observe et photographie le ciel depuis plus de quarante ans. Auteur de plusieurs ouvrages de vulgarisation sur l'astronomie, il est également conférencier et anime des ateliers pédagogiques.



BRICE HAZIZA

Médiateur scientifique habitant Laniakea, Brice Haziza est passionné de cosmologie, de physique stellaire et d'histoire de l'astronomie.



MYRIAM DÉTRUY

Journaliste pigiste depuis vingt ans pour *Ciel & espace*, Myriam aime se pencher aussi bien sur l'horizon d'un trou noir que sur le mystère astronomique posé par de vieux morceaux de bronze trouvés au fond de la mer.



ADRIEN DENÈLE

Après des études de physique, Adrien Denèle rejoint *Ciel & Espace* en 2013 pour un stage. Depuis, il cultive une passion pour l'astrophysique, l'exploration du Système solaire ou encore le spatial japonais.

Revue de l'Association française d'astronomie

17, rue Émile-Deutsch-de-la-Meurthe 75014 Paris
Tél. : 01 45 89 81 44.
www.cieletespace.fr

Directeur de la publication : le président de l'AFA, Olivier Las Vergnas

Directeur de la rédaction : Alain Cirou, alain.cirou@cieletespace.fr

Rédacteur en chef : Philippe Henarejos, philippe.henarejos@cieletespace.fr

Rédacteur en chef adjoint : David Fossé, d.fosse@cieletespace.fr

Chef-fes de rubrique : Jean-Luc Dauvergne, jl.dauvergne@cieletespace.fr
Émilie Martin, e.martin@cieletespace.fr

Rédacteur : Guillaume Langin, guillaume.langin@cieletespace.fr

Ont collaboré à ce numéro : Pierre Drappier, Brice Haziza, Ulysse Renault, Pierre Giraudeau, Mathis De Géa et Emmanuel Beaudoin

Secrétaire de rédaction : Emmanuelle Lancel, e.lancel@cieletespace.fr

Direction artistique : Olivier Hodasava, o.hodasava@cieletespace.fr assisté de Florence Can

Publicité et développement commercial : Pauline Alcouffe, pauline.alcouffe@afastronomie.fr

Contact photo : Nicolas Franco, contact@galleryastro.fr

Comptabilité : Sandrine Dorbais, s.dorbais@cieletespace.fr. - 2

Contact diffuseurs de presse : Destination Média
Mail : reseau@destinationmedia.fr

Abonnement : Ciel & espace c/o Opper CS 60003, 31242 L'Union Cedex. **Tél. :** 05 34 56 35 60 (10 h-12 h/14 h-17 h). **Site :** www.cieletespace.fr/abonnement

Abonnement Canada : Express Mag, 3339 rue Griffith, Saint-Laurent QC H4T 1W5. **Tél. :** 1(800) 363 – 1310 ou (514) 355-3333. **Mail :** expsmag@expressmag.com.

Abonnement États-Unis : Express Magazine, PO Box 2769 Plattsburgh (New York) 12901 – 0239. **Tél. :** 1(800) 363 1310 ou (877) 363 1310. **Mail :** expsmag@expressmag.com.

ISSN n° 0373-9139.
CPPAP n° 1028 G 83672. Imprimé en France par Agir Graphic 53000 Laval. Distribué par les MLP. N° 608, 8/2026. Dépôt légal à parution.

© 2026 AFA

Papier certifié FEPC. Origine : Autriche et Finlande. Fibres recyclées : 0. P tot. : 0,01 kg/t (couverture) et 0,1 kg/t (intérieur).

sommaire

3
ÉDITORIAL

6
L'IMAGE À REMONTER LE TEMPS
Les transports amoureux des sondes Voyager

8
LIRE, VOIR
Nicolas Coltice, pour *Anatomie d'une planète*

12
REGARD
Les aveugles qui se croyaient trompés

16
AGENDA
L'actualité de la culture

18
BANDE DESSINÉE
Le club des lunes océans

20
ÉCHOS DU CIEL
Nébuleuse d'Orion : une bulle et des questions

DSA, le radiotélescope qui promet la révolution

Une troisième planète compatible avec l'histoire de l'étoile Bêta Pictoris

Deimos, frappé par un gros astéroïde ?

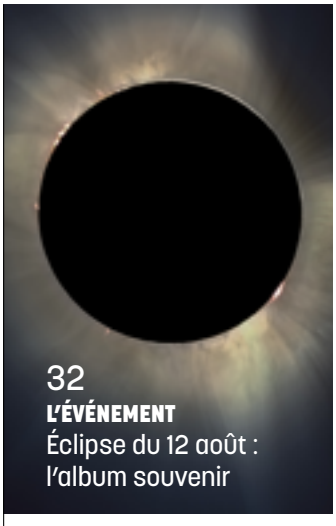
28
DRÔLES D'IDÉES
Intégrer du matériau radioactif dans sa combinaison spatiale

30
À LA VITESSE DE LA LUMIÈRE



42 **DOSSIER**
Une autre histoire des galaxies
racontée par les amas globulaires

44 La révolution tranquille des amas globulaires
50 Cent mille étoiles dans un mouchoir
52 Et au milieu pousse un trou noir
56 Des outils pour tracer la matière noire
60 Quels mondes dans les ruches stellaires ?
62 Comment les amas globulaires ont déplacé le Soleil



32
L'ÉVÉNEMENT
Éclipse du 12 août : l'album souvenir

64
ENQUÊTE
Voyage vers Mars : l'intendance suivra-t-elle ?

68
DÉCRYPTAGE
La galaxie M 82 mis à nu

74
ENQUÊTE
Datacenters spatiaux, une fausse bonne idée ?

78
REPORTAGE
Valberg, la station qui a mis le « plané » au milieu du village

84
ENQUÊTE
Desi contesté, et la cosmologie replonge dans le flou

88
HISTOIRE
Victor Coissac, l'instituteur qui rêvait de la Lune

92
VOUS ÊTES ICI
Sur Miranda, au pied de Verona Rupes

98
DU CÔTÉ DE L'AFA
L'AFA omniprésente pendant l'éclipse

102
PREMIER CONTACT
NGC 7009, la nébuleuse déguisée en Saturne



106
OBSERVATION
Saturne bien en vue !

Les merveilles du ciel d'automne

112
TEST
Télescope Svbony MK127 : très polyvalent

ML Astro SAL-33 : une monture à petit prix

118
OUVERT LA NUIT
Vos plus belles photos du ciel

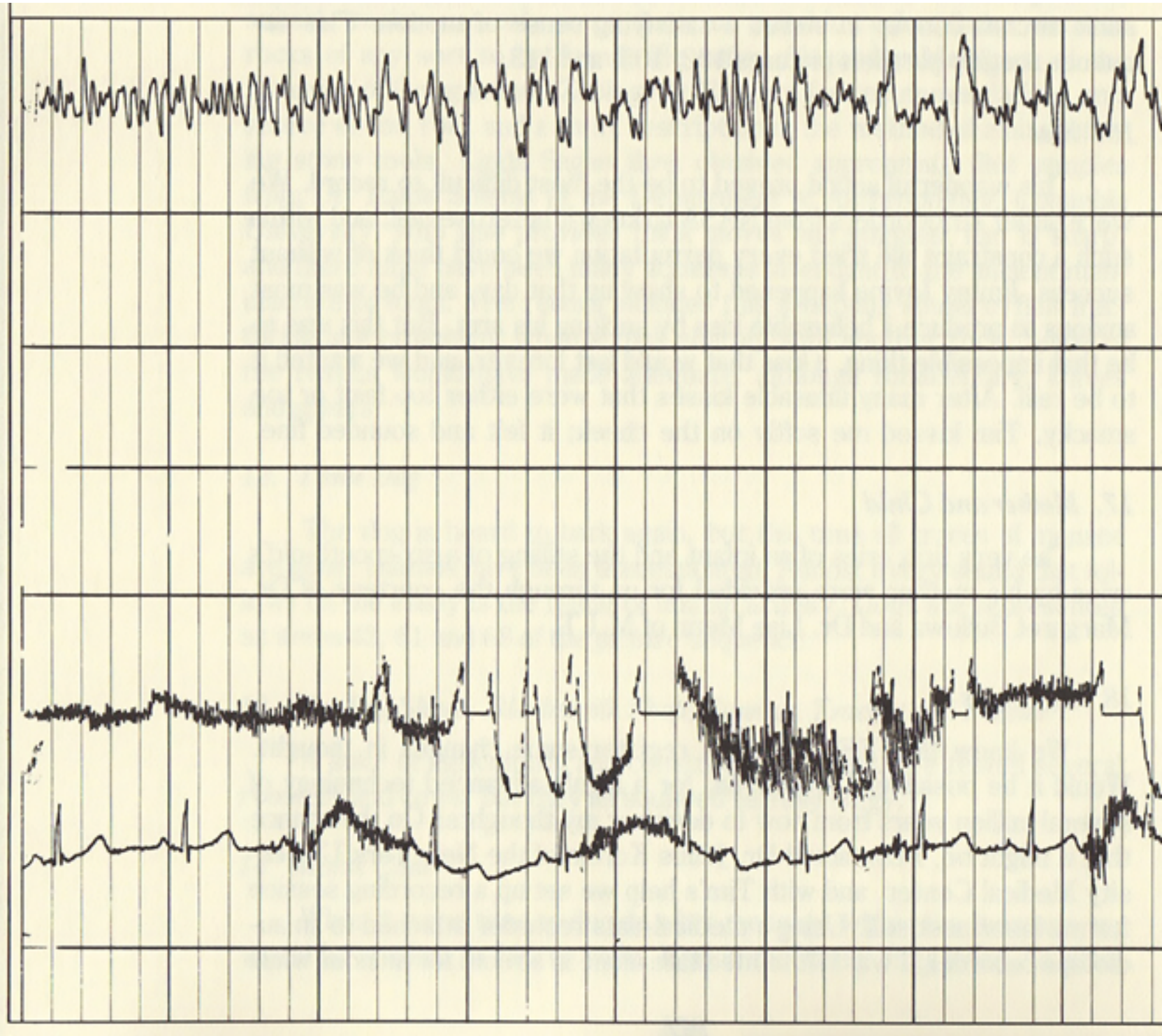
126
DANS LE CIEL
Les rendez-vous étoilés de ces deux mois

130
À L'ŒIL NU
Observez un système planétaire en formation

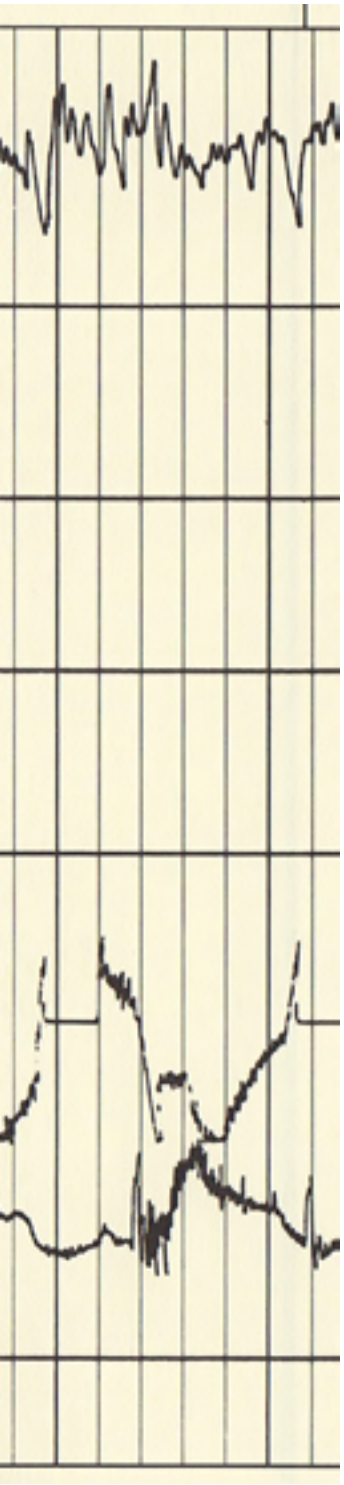


© Joan Josep Isach Cogollos

Prochaine parution le **13 novembre**



Si des extraterrestres découvrent un jour l'une des sondes Voyager et réussissent à déchiffrer le message à l'intérieur qui leur est adressé, ils exhumeront des dizaines de photos ou d'enregistrements sonores représentatifs de ce qu'était la vie sur Terre à la fin du XX^{e} siècle, mais aussi, réjouissante trace de l'humanité, cet enregistrement d'un électro-encéphalogramme : celui d'une jeune femme, Ann Druyan, alors qu'elle baignait dans l'euphorie d'un amour naissant avec celui qui deviendrait son mari, Carl Sagan. Page de droite, Ann Druyan et Carl Sagan photographiés peu après leur mariage, en 1981. DR



LES TRANSPORTS AMOUREUX DES SONDES VOYAGER

Les sondes Voyager, qui poursuivent aujourd'hui leur route au-delà du Système solaire, transportent avec elles divers témoignages de la vie sur Terre, dont le plus étonnant est peut-être un électro-encéphalogramme…

Olivier Hodasava

1977 La Nasa se prépare à lancer les sondes Voyager 1 et 2 qui doivent explorer les planètes géantes du Système solaire. C'est un évènement. Elles seront les premières, par exemple, à survoler Uranus et Neptune. Mais ce n'est pas tout. Elles poursuivront ensuite leur route à travers l'espace intersidéral et seront porteuses, sur leur flanc, d'un message de l'humanité adressé à une potentielle existence extraterrestre. C'est Carl Sagan, célèbre astronome, qui sera chargé d'en définir le contenu.

Comment transmettre un tel message ? Frank Drake, l'homme de l'équation de Drake [1], membre de l'équipe, suggère des disques phonographiques de métal couverts d'or [lire *C&E* n° 605]. Correctement protégés, ils pourront résister des centaines de millions d'années et contenir, ce n'est pas si mal, une centaine d'images et 90 minutes de sons divers : musiques, enregistrements d'animaux ou salutations dans 55 langues, ensemble auquel va s'ajouter, à la dernière minute, un témoignage plus intriguant peut-être : l'enregistrement des ondes cérébrales d'une jeune femme amoureuse.



« *J'ai eu cette idée*, se souvient Ann Druyan, directrice artistique du projet de messages interstellaires, *d'enregistrer l'électro-encéphalogramme de quelqu'un sur le disque.* […] *Je me demandais s'il serait possible qu'une technologie extrêmement avancée, dans plusieurs millions d'années, puisse déchiffrer des pensées humaines.* » Les membres de l'équipe adhèrent, enthousiastes, à l'idée. Carl Sagan propose à Ann Druyan d'enregistrer ses propres ondes cérébrales. Elle accepte : « *J'ai contacté le docteur Julius Korein du centre médical de l'université de New York et* […] *nous avons organisé une séance d'enregistrement d'une heure consacrée à mon moi le plus intime.* »

Ann Druyan a préparé tout un itinéraire mental destiné à guider ses pensées durant l'enregistrement, mais elle n'a pas prévu que peu avant que celui-ci commence, Carl Sagan, au téléphone, lui propose de se marier. C'est son euphorie finalement à l'idée de ce mariage qui est captée. « *Les sentiments que j'éprouvais à 27 ans, follement amoureuse, sont sur ce disque*, expliquera Ann Druyan plus tard. *C'est éternel. Ce sera encore vrai dans 100 millions d'années.* »

Carl Sagan est mort en 1996. Ann Druyan est toujours vivante, elle a 77 ans.

(1) L'équation de Drake est une formule mathématique permettant d'estimer le nombre potentiel de civilisations extraterrestres présentes dans notre galaxie et avec lesquelles nous pourrions entrer en contact.



© Amelie Reboul

NICOLAS COLTICE

« J'AI VOULU RACONTER CE LIEN INTIME ENTRE NOUS ET NOTRE PLANÈTE »

Les liens qui unissent l'évolution de la Terre et les êtres vivants qu'elle accueille sont souvent inattendus. Dans *Anatomie d'une planète*, le géophysicien Nicolas Coltice en livre un récit prenant, émaillé d'aventures de terrain, où la science est remarquablement bien vulgarisée. Une réussite !

Propos recueillis par Émilie Martin

L'air que nous respirons est un héritage des cyanobactéries qui, il y a 2,4 milliards d'années, ont chargé l'atmosphère en oxygène, sous-produit de leur métabolisme. L'eau que nous buvons est un legs du big bang et de plusieurs générations d'étoiles massives. Notre horloge biologique bat au rythme de la course de la Lune autour de nous. Et notre cortex pourrait bien s'être développé au moment où, durant l'Éocène, les plaques tectoniques ont changé de trajectoire… Nicolas Coltice, professeur de géodynamique au laboratoire Géoazur de l'université de la Côte d'Azur, a choisi un angle passionnant pour raconter la Terre. Un récit qui s'enracine dans ses recherches.

Vous êtes géophysicien. Or, en plus de géophysique, votre livre parle aussi d'anatomie, d'évolution, de microbiologie… Qu'est-ce qui vous a donné envie d'écrire un ouvrage transversal ?

Nicolas Coltice : Au cours de ma carrière, j'ai eu la chance de travailler sur de nombreux thèmes différents, ce qui a nourri ma curiosité. Quand je suis entré à l'ENS à Paris,

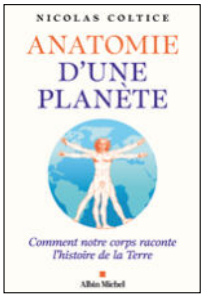
j'ai collaboré avec des scientifiques de diverses disciplines, ce qui était très stimulant. Je me suis alors rendu compte que, lorsque l'on parle de l'évolution du « système Terre » — sujet très important aujourd'hui à l'heure du changement climatique —, on se limite souvent à l'étude de l'atmosphère ou à sa géologie de surface. Or, l'analyse des mouvements du manteau, ma spécialité, offre un angle de vue indispensable pour bien comprendre l'histoire de notre planète. J'avais donc à cœur de raconter la Terre à travers l'évolution de ses entrailles. Par ailleurs, je dirige le projet Pandora, qui lie la dynamique interne d'une planète à son habitabilité. Quand Albin Michel m'a proposé d'écrire un livre, j'ai naturellement pensé à raconter l'histoire intérieure de notre planète et l'impact qu'elle a eu sur ses habitants, dont nous faisons partie. J'ai voulu explorer ce lien intime entre nous et la Terre, cet héritage que nous portons en chacun de nous.

En quoi consiste le projet Pandora ?

C'est un programme financé par le Conseil européen de la recherche, qui vise à étudier comment la dynamique interne d'une planète conditionne son habitabilité. Dans cette perspective, nous créons des planètes virtuelles numériques dont nous modifions les paramètres (mouvements tectoniques, volcanisme, climat…) afin de mesurer les conséquences que cela a sur les écosystèmes. Pandora comporte aussi une dimension expérimentale : nous recréons des environnements, par exemple en allant prélever dans le lac Pavin, en Auvergne, de l'eau très pauvre en dioxygène dissous, comme l'étaient probablement les océans de la Terre primitive.

Utilisez-vous Pandora pour évaluer l'habitabilité d'autres planètes ?

Bien sûr ! On étudie ainsi l'impact de la dynamique interne de Mars (qui, plus petite que la Terre, s'est refroidie rapidement) sur son environnement de surface, notamment afin d'identifier de potentielles zones refuges pour la vie. Sur Vénus, nous tâchons de comprendre si elle a d'abord été habitable avant de se changer en fournaise, ou bien si son effet de serre s'est emballé d'emblée. Et Pandora nous permet aussi d'étudier l'habitabilité des exoplanètes.



ANATOMIE D'UNE PLANÈTE

Nicolas Coltice / éditions Albin Michel / 290 p. / 21,90 €

POURQUOI IL FAUT REVOIR…



DR

SOLEIL VERT

En 2022, l'humanité a épuisé les océans et toutes ses ressources agricoles. En raison du réchauffement climatique induit par les émissions de gaz à effet de serre, la canicule s'installe durablement. Le manque de nourriture et la surpopulation sont « gérés » par la répression. Dans ce monde en pénurie globale, un nouveau type d'aliment fait son apparition : le soleil vert. À New York, l'inspecteur Thorn enquête sur un meurtre. Ses investigations le conduisent à découvrir le terrible secret : toute ressource naturelle ayant été anéantie, le seul moyen de nourrir les humains est le soleil vert, qui est constitué… de chair humaine.
Pourquoi faut-il revoir *Soleil vert* ? Parce que, même si cette dystopie n'est pas tournée vers les étoiles, elle nous parle d'une planète extraordinaire : la Terre. Et de la menace que représente pour son équilibre le comportement global de l'humanité. Il est frappant de constater à quel point ce film qui pousse très loin les curseurs de l'apocalypse résonne aujourd'hui à nos oreilles ! Et combien cette prophétie, qui semblait provocatrice en 1973, ne s'est pas éloignée de nous en 2026. *Soleil vert* nous rappelle que le vaisseau Terre possède des ressources limitées. Et que l'ignorer conduit à nous perdre dans un espace hostile et sans alternative.

Philippe Henarejos

SOLEIL VERT

Film de Richard Fleischer / Avec Charlton Heston, Leigh Taylor-Young, Chuck Connors, Edward G. Robinson / 1 h 33 / 1973

ESSAI

(RE)CONQUÊTE AMÉRICAINE

LE PUBLIC

Ce livre est destiné au grand public. Il ne traite pas ou peu de science et technique.

EN RÉSUMÉ

Voici près de quinze ans que les États-Unis insufflent une nouvelle dynamique pour conserver leur leadership dans l'espace. Il leur faut composer avec des acteurs qui, au siècle dernier, ne faisaient pas partie de l'équation politico-techno-sociétale : les entrepreneurs milliardaires, comme Elon Musk et Jeff Bezos, prêts à investir de leur fortune personnelle pour servir le pays, assouvir des rêves d'enfant et faire prospérer leurs entreprises.

NOTRE AVIS

Travailler plus de vingt ans au Washington Post ouvre des portes. L'auteur a pu recueillir les témoignages directs de Musk, de Bezos et de leur entourage pour nourrir son récit. Son livre nous met aux premières loges de l'aventure spatiale américaine. Certes, il nous invite auprès de Bezos piquant une colère dans son jet privé, de Musk répugné par la couleur orange des plots sur le chantier de la Starbase, ou de Donald Trump qui trépigne pour que l'on fasse décoller des astronautes sur le champ. Toutefois, il passe moins de temps auprès des milliardaires qu'avec un autre personnage clé de l'époque, Jim Bridenstine. L'ancien administrateur de la Nasa raconte les coulisses de son mandat à l'interface entre financeurs politiques et industriels financés, se livrant bataille entre eux pour battre la Chine, ensemble…

Guillaume Langin



LES PRÉDATEURS DE L'ESPACE

Christian Davenport / Éd. Buchet-Chastel / 480 p. / 26,50 € / ★★★★

VULGARISATION

GUIDE DU ROUTARD GALACTIQUE

LE PUBLIC

Ce livre est accessible à tous dès l'adolescence.

EN RÉSUMÉ

Docteur en astrophysique, auteur de la chaîne YouTube « The Sense of Wonder », Sébastien Carassou propose ici une sélection de 42 sites à ne pas manquer dans la Voie lactée. À la manière d'un Guide du routard ou d'un Lonely Planet, il décrit le paysage de chacun d'entre eux, raconte leur histoire, livre ses coups de cœur, liste les choses à faire et à voir à proximité ainsi que les galères à éviter. Il entame son ouvrage avec un très utile « avant de partir » sur les distances dans l'Univers et les différentes manières qui s'offrent au lecteur pour voyager dans la Voie lactée. Oubliez le train ou l'avion, il vous faudra plutôt miser sur la voile photonique ou le vaisseau à antimatière…

NOTRE AVIS

Trek sur les lunes galiléennes, escalade des falaises de Miranda, navigation sur les lacs huileux de Titan, survol en dirigeable des nuages acides de Vénus, patinage sur la glace d'azote de Pluton, éclipse entre deux soleils sur Kepler 16-b, croisière en voilier sur une planète océan… Chaque voyage est fascinant : joliment illustré par Chloé Ménager et raconté de façon ludique avec le bon niveau de vulgarisation. C'est une belle invitation à l'astronomie.

Émilie Martin



DESTINATION COSMOS

Sébastien Carassou, illustré par Chloé Ménager / Éditions Albin Michel / 220 p. / 19,90 € / ★★★★

JEUNESSE

LE CIEL D'ICI ET D'AILLEURS

LE PUBLIC

Il est possible pour des enfants de 6 à 7 ans d'aborder ce livre avec un adulte. À partir de 8 ans, ils peuvent se plonger dedans en autonomie.

EN RÉSUMÉ

Cet *Atlas de l'espace* est un livre documentaire très classique dans son contenu. Il donne accès aux connaissances de base sur l'astronomie et l'espace. Il aurait été plus juste de l'appeler « Atlas de l'astronomie », car le domaine spatial est abordé seulement à la fin et de manière très succincte.

NOTRE AVIS

À la rédaction de *Ciel & espace*, nous voyons passer de nombreux livres semblables à celui-ci sur le fond. Et pourtant, *L'atlas de l'espace* se démarque très nettement. Au lieu de simplement traiter des constellations occidentales héritées de la culture gréco-romaine, il aborde aussi les cultures navajos, africaines et chinoises. Mais la plus grande qualité du livre, ce sont ses illustrations dans un style très moderne avec des teintes pastel et des graphismes épurés. De plus, l'autrice du contenu, astrophysicienne, aborde les différents sujets dans un contenu clair, simple et précis, tout à fait adapté à la cible. Toutes ces qualités apportent un gros plus à l'ouvrage, et le distinguent très nettement des livres semblables.

Jean-Luc Dauvergne



L'ATLAS DE L'ESPACE

Lara Albanese, Tommaso Vidus Rosin / La Martinière Jeunesse / 112 p. / 24,90 € / ★★★★

BIOGRAPHIE

TAILLÉE POUR LE MÉTIER

LE PUBLIC

Tout public adulte.

EN RÉSUMÉ

Ce livre est une biographie de Sophie Adenot, depuis son enfance à son arrivée dans la station spatiale internationale, en février 2026 à l'âge de 44 ans. Quelques coulisses de ce long chemin vers l'espace sont révélées par l'entremise d'entretiens que l'auteur a conduits avec l'astronaute française, et des membres de son entourage, essentiellement professionnel.

NOTRE AVIS

L'ouvrage dresse un bon panorama du parcours de Sophie Adenot, duquel on retient qu'elle était, sans l'ombre d'un doute, faite pour le métier d'astronaute. Mais à franchir tous les obstacles avec brio, il en résulte un récit un poil monotone que seul le dévoilement des petites failles qui font la complexité de l'être aurait su épicer. Sophie Adenot est-elle la femme parfaite ? Ou l'auteur a-t-il échoué à dénicher ces anicroches, illustrant combien il est délicat de glaner certaines informations dans le monde policé de l'aérospatial et de l'armée ? L'ouvrage saura en tous cas inspirer les jeunes, de la même façon que les Marie Curie, Claudie Haigneré et autres Jacqueline Auriol ont su inspirer Sophie.

Guillaume Langin



SOPHIE ADENOT, DE LA TERRE AUX ÉTOILES

Marc Dana / Éditions du Rocher / 310 p. / 19,90 € / ★★☆☆

ET AUSSI…



DR

VULGARISATION

LIRE LES ÉTOILES
Boris Laurent et Guillaume Duprat / éditions Ulmer / 140 p. / 11,90 €

Découpage original, illustrations nombreuses et à la main… Tout en assumant un choix éditorial fort qui nous a séduit, ce petit livre consacré à l'astronomie offre toutes les bases pour comprendre le ciel, tout en injectant quelques rudiments d'astrophysique et d'archéoastronomie.

DF

JEUNESSE

L'UNIVERS EXPLIQUÉ AUX ENFANTS
Sabine Boccador / Larousse / 96 p. / 14,99 €

Ce petit ouvrage aborde les bases de l'astronomie à partir de 7-8 ans. Il est très classique dans son fond et sa forme, sans réelle originalité.

JLD

VULGARISATION

PETITES HISTOIRES ET GRANDS DÉBOIRES DE L'EXPLORATION DE LA LUNE
Nicolas Beck et Flore Avram / Delachaux et Nestlé / 130 p. / 16,90 €

Un petit recueil d'anecdotes bien choisies, racontées avec lucidité, et joliment illustrées au sujet de notre satellite naturel. À picorer sans gravité.

GL

LES AVEUGLES QUI SE CROYAIENT TROMPÉS

Les extraterrestres nous échappent parce qu'on nous les cache ? Cette thèse complotiste semble finalement bien paresseuse.

Pierre Drappier

Il est aujourd'hui de bon ton de soupçonner qu'on nous ment sur tout. Comme des enfants frustrés d'avoir été mystifiés par cette histoire de père Noël, nous nous jurons de ne plus nous faire avoir et nous cherchons partout des mensonges et des dissimulations. Les théories du complot concernant les ovnis et les extraterrestres sont paradigmatiques de cette tendance et, malheureusement, le cinéma hollywoodien (qui devrait pourtant être le premier à être contrôlé par les États si on nous cachait vraiment quelque chose) ne cesse d'afficher sa complaisance à l'égard de ces vieilles lunes. Dernier exemple en date : *Disclosure Day* de Steven Spielberg qui, tout en reprenant l'esthétique des classiques des années 1980 du réalisateur, verse allégrement dans le complotisme le plus primaire en réactualisant le mythe des aliens de Roswell et du grand secret caché par le gouvernement américain et les groupes privés qui le contrôlent.

Cette fascination pour l'hypothèse du complot concernant l'existence des extraterrestres ne témoigne pas uniquement du mécanisme de l'illusion si bien décrit par Freud en son temps, et qui consiste à faire fi du silence qu'oppose le réel à nos questions les plus pressantes en prenant les objets de nos désirs pour des réalités. Elle témoigne aussi d'une volonté malhabile de montrer sa différence, et son intelligence supposée, en exhibant des marques d'incrédulité à l'égard de ce qui est considéré par la foule comme étant une vérité indiscutable. Or, non seulement cette stratégie de différenciation s'avère totalement inefficace dès lors que le cinéma grand public la reprend à son compte et que c'est la masse qui devient complotiste, mais en outre elle constitue peut-être même un obstacle à la recherche effective de la vie extraterrestre.

En effet, celui qui est convaincu qu'il ne voit rien parce qu'on lui cache quelque chose cesse de s'interroger sur sa propre manière de regarder. Ainsi, pour ceux qui



Avec *Disclosure Day*, Spielberg réactualise le mythe du grand secret caché. Mais dire que le gouvernement américain nous cache les extraterrestres court-circuite toute recherche effective de vie ailleurs. © Universal Studios

croient au complot de Roswell, si les extraterrestres ne nous apparaissent pas, ce n'est pas parce que nous voyons mal, ou que nous ne savons pas quoi observer, ou que nous ne savons pas où tourner notre regard, ou encore que nous ne possédons pas encore les instruments adéquats pour identifier la présence de ces extraterrestres, mais simplement parce que quelqu'un nous empêche d'apercevoir ce qui devrait pourtant normalement nous apparaître dans toute son évidence. Cette thèse complotiste est ainsi une thèse paresseuse, qui neutralise a priori toute velléité de travailler sur soi-même pour parvenir à apercevoir quelque chose qu'on ne réussit pour l'instant pas à appréhender. En remettant la faute sur le gouvernement ou les puissants qui agissent dans l'ombre, les idées que Spielberg reprend à son compte dans son dernier film nous dispensent de nous interroger, en tant qu'individus, mais aussi que société, sur le rapport que nous entretenons au monde qui nous entoure et sur notre incapacité profonde à lui porter vraiment attention.

Le point de vue du perroquet

Dans une nouvelle d'un recueil intitulé *Expiration*, Ted Chiang propose une approche bien différente pour aborder le problème du « grand silence » des extraterrestres. Adoptant le point de vue d'un perroquet appartenant à une espèce, en voie de disparition, endémique de l'île de Porto Rico, il décrit l'admiration ressentie par ce perroquet pour l'espèce humaine capable de construire, par pure curiosité, un artefact aussi sublime que le radiotélescope d'Arecibo afin de détecter des signes de vie extraterrestre. Mais il raconte aussi l'étonnement et la tristesse de ce perroquet, dont l'espèce est capable de communiquer des idées complexes à partir de cris extrêmement élaborés, face à l'indifférence de l'humanité à l'égard des siens. Obsédés par le « grand silence » du ciel, les êtres humains en oublient de considérer et de prêter assistance aux autres espèces intelligentes qui sont pourtant juste devant leurs yeux. Et le perroquet de conclure : *« L'activité humaine a poussé mon espèce à l'extinction, mais je ne leur en veux pas. Ils ne l'ont pas fait méchamment. Ils ne faisaient simplement pas attention. »*

Essayons plutôt d'imaginer ce qui nous aurait empêchés jusqu'à présent d'apercevoir les extraterrestres



On aurait tort de croire que la morale de cette histoire est que nous devrions recentrer toute notre attention sur notre planète au lieu de tendre l'oreille vers l'extérieur. Le perroquet de Ted Chiang lui-même reconnaît qu'Arecibo est une des plus grandes réalisations de l'homme. Mais cette nouvelle constitue un plaidoyer en faveur d'un autre type de rapport au monde consistant à s'efforcer d'être plus à l'écoute à la fois de notre environnement et des conséquences de nos actions. Or, ce plaidoyer pourrait être étendu à la façon dont le grand public se rapporte au ciel.

Dès lors, quelques remarques de bon sens s'imposeraient. Personne ne vous trompe sur les extraterrestres. Vous n'êtes pas assez important pour qu'on perde du temps à vous cacher la vérité. Le voile qui se trouve sur vos yeux n'y a été mis par nul autre que vous-même et résulte de votre indifférence au monde qui vous entoure. Pour le retirer et prendre à bras le corps le problème du « grand silence », faites de l'éthologie, de la veille astronomique, ou encore efforcez-vous d'imaginer ce qui pourrait radicalement nous différencier des extraterrestres et nous aurait empêchés jusqu'à présent de les apercevoir. Mais par pitié, cessez de crier à la mystification. Vous êtes (comme nous tous) responsable de votre cécité.

ABONNEZ-VOUS

et réalisez jusqu'à **60 %** d'économie

Vos privilèges en offre premium

- Les avantages de l'offre papier
- Vous retrouvez l'ensemble de nos articles et nos podcasts sur cieletespace.fr
- Vous avez accès aux parutions des trois dernières années en version numérique*

* Contenus lisibles sur PC et smartphone

OFFRE PREMIUM
le magazine + les contenus sur cieletespace.fr



Le nouveau site de *Ciel & espace.fr*

- Une navigation simplifiée
- L'ensemble des contenus accessibles en ligne
- Une esthétique soignée pour magnifier les photos

OFFRE PAPIER
le magazine + 2 hors-séries +1 almanach



Vos avantages abonné papier

- Vous réalisez une économie sur l'achat en kiosque
- Vous recevez votre magazine et ses hors-série directement chez vous
- Vous êtes certain de ne manquer aucun numéro

EN CADEAU DE BIENVENUE

LE HORS-SÉRIE DÉBUTER EN ASTRONOMIE



+ sa carte du ciel universelle pour partir à la découverte des constellations, avec au dos une carte de la Lune, avec ses principales formations

Envoyez le coupon ci-contre ou abonnez-vous en ligne avec le **CODE DEBUTER** sur www.cieletespace.fr

Service abonnés : serviceabonnes@cieletespace.fr
ou 05 34 56 35 60 (10 h-12 h / 14 h-17 h)

Bon à retourner, avec son règlement, à

Ciel & espace c/o Opper Services, CS 60003, 31242 L'Union Cedex

1. Oui, je m'abonne, j'inscris mes coordonnées

Nom .....

Prénom .....

Adresse .....

Code postal |_|_|_|_|_| Ville .....

Tél .....

Mail* .....

* Indispensable pour accéder aux podcasts, versions numériques, articles et profiter du Club abonnés après création de votre compte sur www.cieletespace.fr

Je règle par chèque à l'ordre de Ciel & espace

Règlement par carte bancaire et autres offres d'abonnement en scannant ce QR code

2. Je choisis mon offre

OFFRE PAPIER

❑ **1 an**

73 € au lieu de 112,50 €*

❑ **2 ans**

137 € au lieu de 224,40 €*

6 magazines + 2 hors-séries
+ 1 Almanach / an **version papier**

OFFRE PREMIUM**

❑ **1 an**

95 € au lieu de 226,40 €*

❑ **2 ans**

177 € au lieu de 448,80 €*

6 magazines + 2 hors-séries
+ 1 Almanach / an **en versions papier et numérique**

Accès à **tous nos articles et tous nos podcasts sur cieletespace.fr**

Club abonnés
Lisible sur pc et smartphone

Offres valables pour la France métropolitaine. Dom-Tom et autres pays, consultez nos offres sur www.cieletespace.fr/abonnement. Pour le Canada et les USA, contacter : Express Mag (Québec), au 1.800.363.1310 - mail : expsmag@expressmag.com - web : www.expressmag.com

* Valeur prix kiosque, podcasts et web selon l'abonnement.

** En cas d'interruption de l'abonnement, l'accès au magazine numérique ainsi qu'aux archives sera automatiquement suspendu.

C&E609

En application de l'article 27 de la loi du 06/01/1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et sont communiquées aux destinataires la traitant. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de nos services. Vous pouvez vous opposer à ce que vos nom et adresse soient cédés ultérieurement. Siège social : Ciel & espace 17, rue Émile-Deutsch-de-la-Meurthe 75014 Paris.



Les fans d'astronomie ont rendez-vous mi-novembre à la Cité des sciences, à Paris. © AFA

GRAND-MESSE DE L'ASTRO



Un rendez-vous à ne pas manquer. Tous les deux ans, les Rencontres du ciel et de l'espace réunissent à la Cité des sciences et de l'industrie des milliers d'astronomes amateurs, et autres visiteurs friands de conférences scientifiques. Une trentaine d'astronomes présenteront, de façon vulgarisée, les récentes avancées des plus grands programmes de recherche spatiale. Près de cent forums techniques se tiennent, pour celles et ceux qui aiment à bidouiller lunettes et télescopes. Sans oublier l'un des plus grands salons de l'astronomie en France, à la découverte du matériel dernier cri, et la traditionnelle braderie pour revendre ou dénicher l'accessoire qu'il vous manque. En parallèle, la Cité des sciences étoffe son offre culturelle sur la thématique de l'astronomie. Projections, spectacles et ateliers sont à retrouver dans les étages de ce haut lieu de culture scientifique.

15es RENCONTRES DU CIEL ET DE L'ESPACE

Les 13, 14 et 15 novembre, Paris (75)
Infos et billetterie
afastronomie.fr/rencontres-ciel-espace



JOURNÉE DÉCOUVERTE

Épreville-en-Lieuvin (27) – 10 octobre de 14 h à minuit
Exposition, animations et observations du Soleil et des astres nocturnes organisées par le Groupe astro du Lieuvin.
groupeastrodulieuvin@gmx.fr

OBSERVATIONS PUBLIQUES

Saint-Saturnin-sur-Loire (49) – 9 octobre et 13 novembre à 20 h 45
L'Association astronomique d'Anjou accueille le public gratuitement auprès de son observatoire pour montrer le ciel.
https://aaanjou.fr

Épreuville-en-Lieuvin

Saint-Saturnin-sur-Loire

FESTIVAL D'ASTRONOMIE

Bègles (33) – 17 octobre à 14 h-18 octobre à 17h30
Festival astro de Bègles organisé par l'association Abera pour les 50 ans de sa coupole. Programme varié et gratuit, à l'espace ChapitÔ.
www.aberastronomie.fr



Bègles

Toulouse

OBSERVATIONS AU PARC

Toulouse (31) – 10 octobre de 21 h à minuit
Observations gratuites aux jumelles et au télescope proposées par PlanèteFL, dans le parc de la Maroune.
06 34 47 94 11 ; https://planetefl.fr

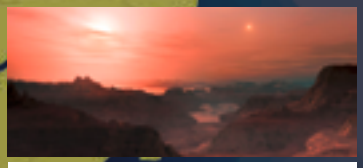
DU BIG BANG À L'HOMME

Montigny-lès-Metz (57) – jusqu'au 30 octobre

Dernières semaines pour visiter cette exposition sur l'Univers et la vie, dans les serres du jardin botanique de Metz.

Gratuit ; https://metz.fr/agenda

Montigny-les-Metz



À L'ÉCOUTE DU CIEL

Grenoble (33) – 8 octobre

Conférence concert sur le thème des étoiles et exoplanètes, par l'astrophysicien Xavier Delfosse, accompagné de musiciens.

6 à 13 € ; https://le-ciel.fr/event

Grenoble

Cannes

CINEMA FOR SPACE

Cannes (06) – 19 au 22 novembre

2e édition du Festival international du cinéma de l'espace au Palais des festivals de Cannes.

https://cinemaforspace.com





ÇA VA ÊTRE TOUT NOIR

Vous aimeriez savoir reconnaître le chant nocturne des grillons, ou encore repérer la galaxie d'Andromède à l'œil nu ? Voilà une belle occasion à saisir. Profitant de l'extinction lumineuse de centaines de communes prenant part au Jour de la nuit, de nombreuses excursions et autres activités astronomiques sont organisées partout en France, et au Québec. Trouvez la plus proche de chez vous sur la carte des évènements.

LE JOUR DE LA NUIT, 18e ÉDITION

Le 10 octobre, partout en France et au Québec

https://jourdelanuit.fr

SAVOUREUSE SCIENCE

Des centaines d'animations en lien avec l'astronomie sont organisées dans le cadre de la Fête de la science, intitulée cette année « Saveurs savantes : la cerise sur le gâteau ». Recherchez une activité par région et par thématique scientifique grâce au moteur de recherche de l'évènement.

FÊTE DE LA SCIENCE

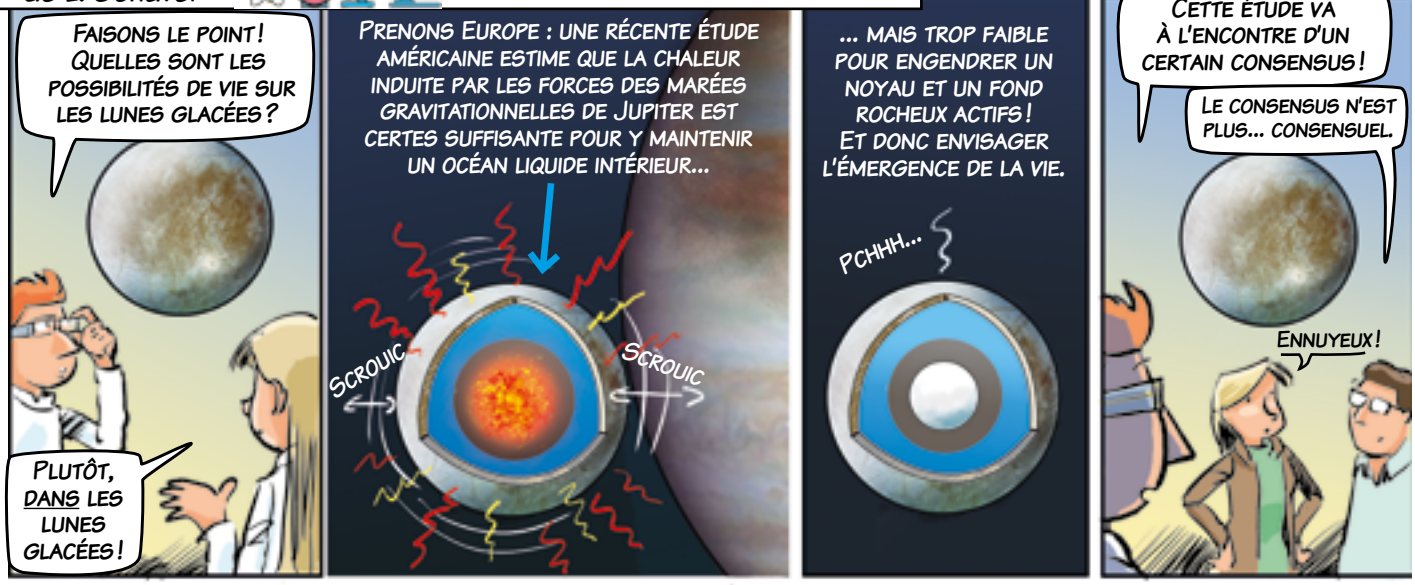
Du 2 au 12 octobre 2026, partout en France

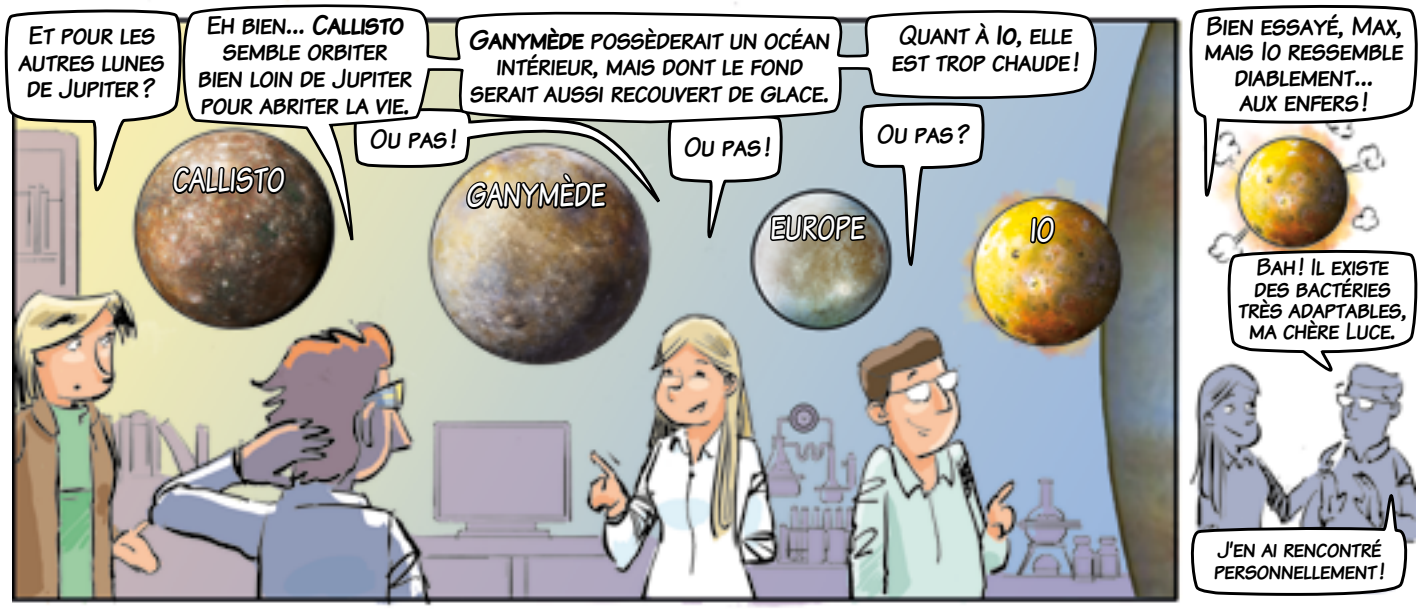
www.fetedelascience.fr/programme

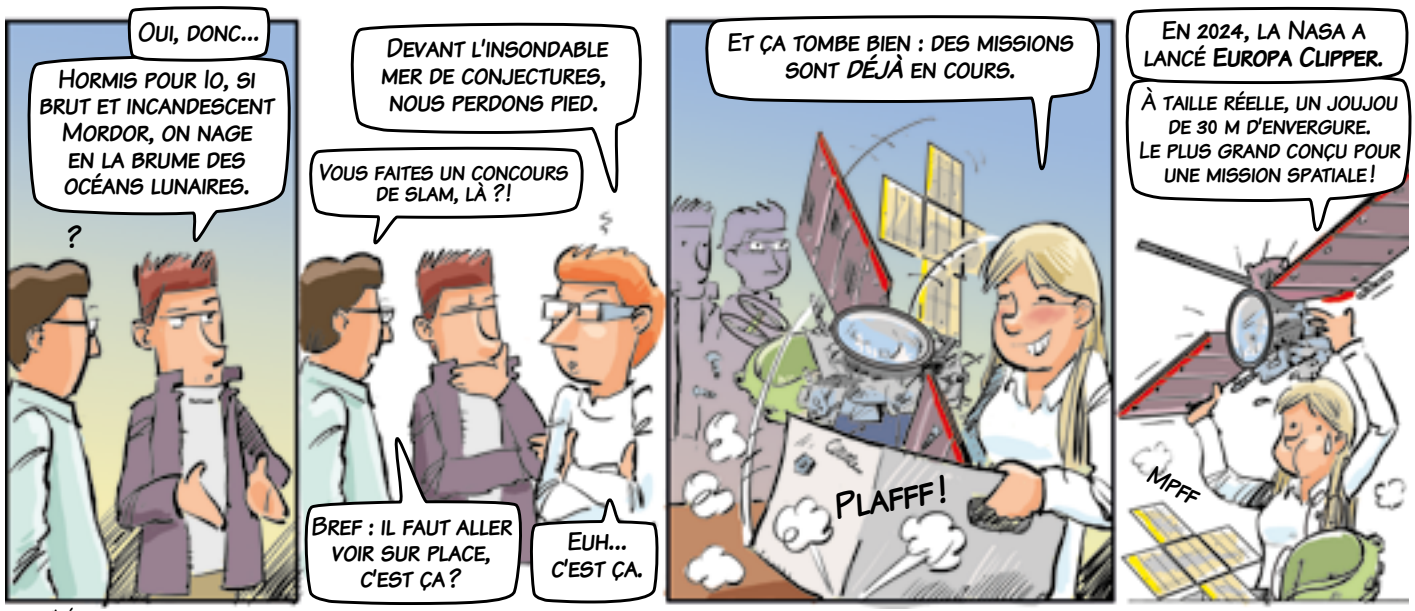


LE COSMIC LAB de L. Schafer

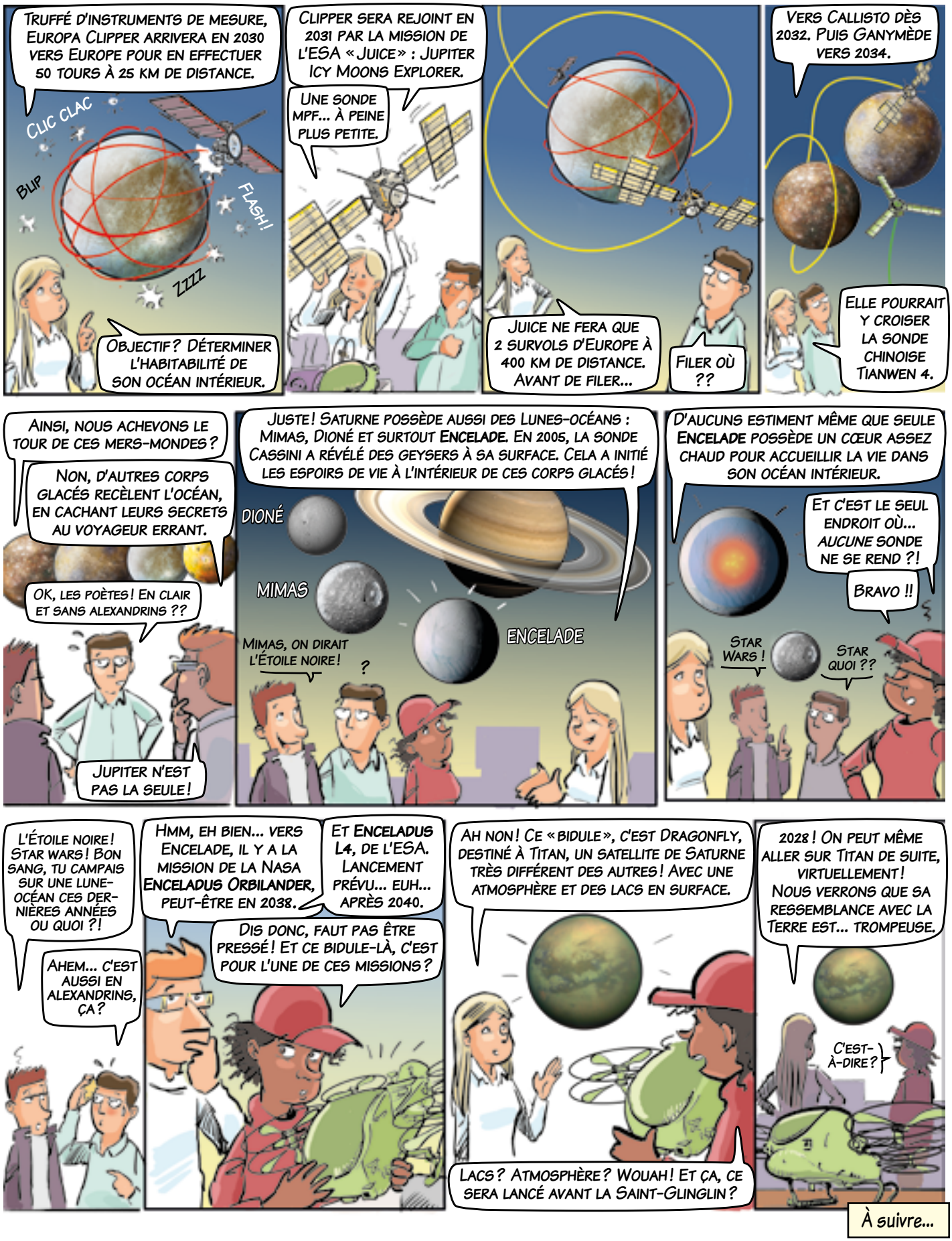
Le club des lunes océans







* Étude menée par l'équipe du planétologue Paul Byrne, Washington University à St-Louis. Pour Europe, lire aussi *Ciel & espace* n° 608.


Truffé d'instruments de mesure, Europa Clipper arrivera en 2030 vers Europe pour en effectuer 50 tours à 25 km de distance.
Clic clac
Blip
Flash!
Zzzz
Objectif ? Déterminer l'habitabilité de son océan intérieur.
Clipper sera rejoint en 2031 par la mission de l'ESA « Juice » : Jupiter Icy Moons Explorer.
Une sonde mpf... à peine plus petite.
Juice ne fera que 2 survols d'Europe à 400 km de distance. Avant de filer...
Filer où ??
Vers Callisto dès 2032. Puis Ganymède vers 2034.
Elle pourrait y croiser la sonde chinoise Tianwen 4.
Ainsi, nous achevons le tour de ces mers-mondes ?
Non, d'autres corps glacés recèlent l'océan, en cachant leurs secrets au voyageur errant.
Ok, les poètes ! En clair et sans alexandrins ??
Jupiter n'est pas la seule !
Juste ! Saturne possède aussi des lunes-océans : Mimas, Dioné et surtout **Encelade**. En 2005, la sonde Cassini a révélé des geysers à sa surface. Cela a initié les espoirs de vie à l'intérieur de ces corps glacés !
Dioné
Mimas
Encelade
Mimas, on dirait l'Étoile noire !
?
D'aucuns estiment même que seule **Encelade** possède un cœur assez chaud pour accueillir la vie dans son océan intérieur.
Et c'est le seul endroit où... aucune sonde ne se rend ?!
Bravo !!
Star Wars !
Star quoi ??
L'Étoile noire ! Star Wars ! Bon sang, tu campais sur une lune-océan ces dernières années ou quoi ?!
Ahem... c'est aussi en alexandrins, ça ?
Hmm, eh bien... vers Encelade, il y a la mission de la Nasa **Enceladus Orbilander**, peut-être en 2038.
Et **Enceladus L4**, de l'ESA. Lancement prévu... euh... après 2040.
Dis donc, faut pas être pressé ! Et ce bidule-là, c'est pour l'une de ces missions ?
Ah non ! Ce « bidule », c'est Dragonfly, destiné à Titan, un satellite de Saturne très différent des autres ! Avec une atmosphère et des lacs en surface.
Lacs ? Atmosphère ? Wouah ! Et ça, ce sera lancé avant la Saint-Glinglin ?
2028 ! On peut même aller sur Titan de suite, virtuellement ! Nous verrons que sa ressemblance avec la Terre est... trompeuse.
C'est-à-dire ?
À suivre...

NÉBULEUSE D'ORION : UNE BULLE ET DES QUESTIONS

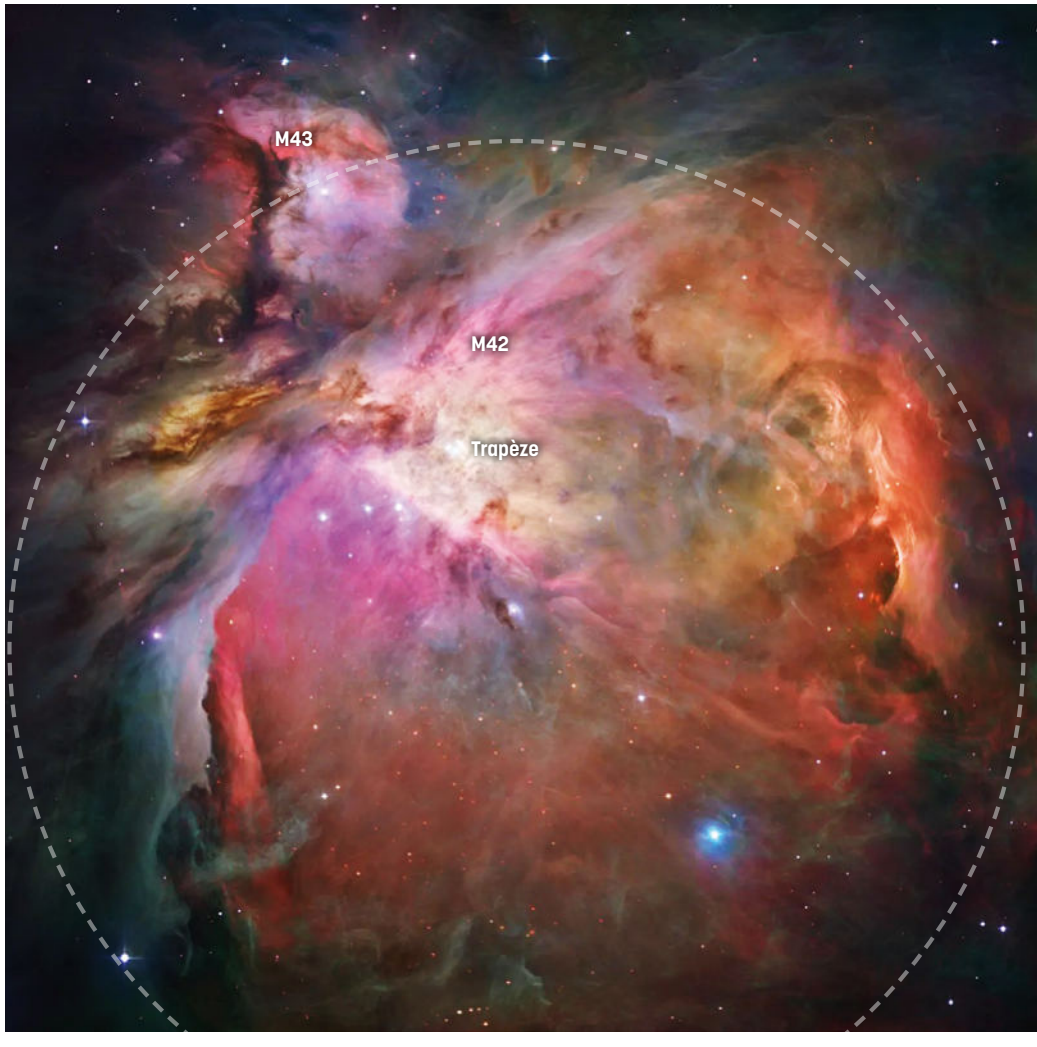
Des observations radio de la nébuleuse M 42 révèlent une cavité jusque-là inconnue. Et la masse gazeuse de sa région centrale semble bien moins importante qu'on ne le pensait. Deux découvertes qu'il faut désormais expliquer.

Brice Haziza

La nébuleuse d'Orion M42 est sans doute l'une des cibles les plus étudiées par les astronomes. Y découvrir à la fois une nouvelle structure et un mystère semblait peu probable. Pourtant, en observant non plus les gaz brillants, mais l'hydrogène atomique, invisible, qui les entoure, une équipe internationale vient de mettre au jour une vaste structure inédite : une seconde bulle nichée dans l'enveloppe de la célèbre région de formation d'étoiles (EON, pour Extended Orion Nebula). Sa cartographie montre également beaucoup moins de matière que les mesures précédentes.

Cette pouponnière stellaire située à 1 300 années-lumière est le laboratoire idéal pour étudier la naissance des étoiles massives, comme celles du fameux Trapèze. Depuis des décennies, les astronomes y surveillent comment les vents stellaires et le rayonnement des jeunes étoiles sculptent le gaz dont elles sont issues. Ces interactions creusent d'immenses cavités, appelées bulles, qui influencent à leur tour la formation des générations suivantes d'étoiles. Comprendre leur géométrie et leur masse est donc essentiel pour reconstituer l'histoire de la nébuleuse.

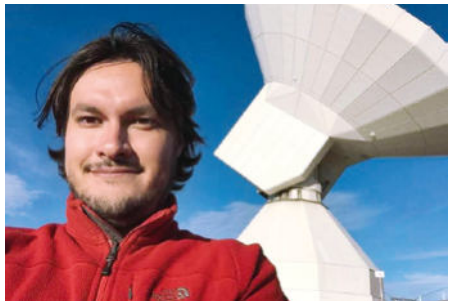
Mais il manquait une pièce essentielle au puzzle : son hydrogène atomique n'avait jamais été observé à une résolution intermédiaire. *« Seules de petites portions de la région avaient été étudiées à très haute résolution, comme disséquées au scalpel, ou cartographiées entièrement à faible résolution, comme découpées au cou-*



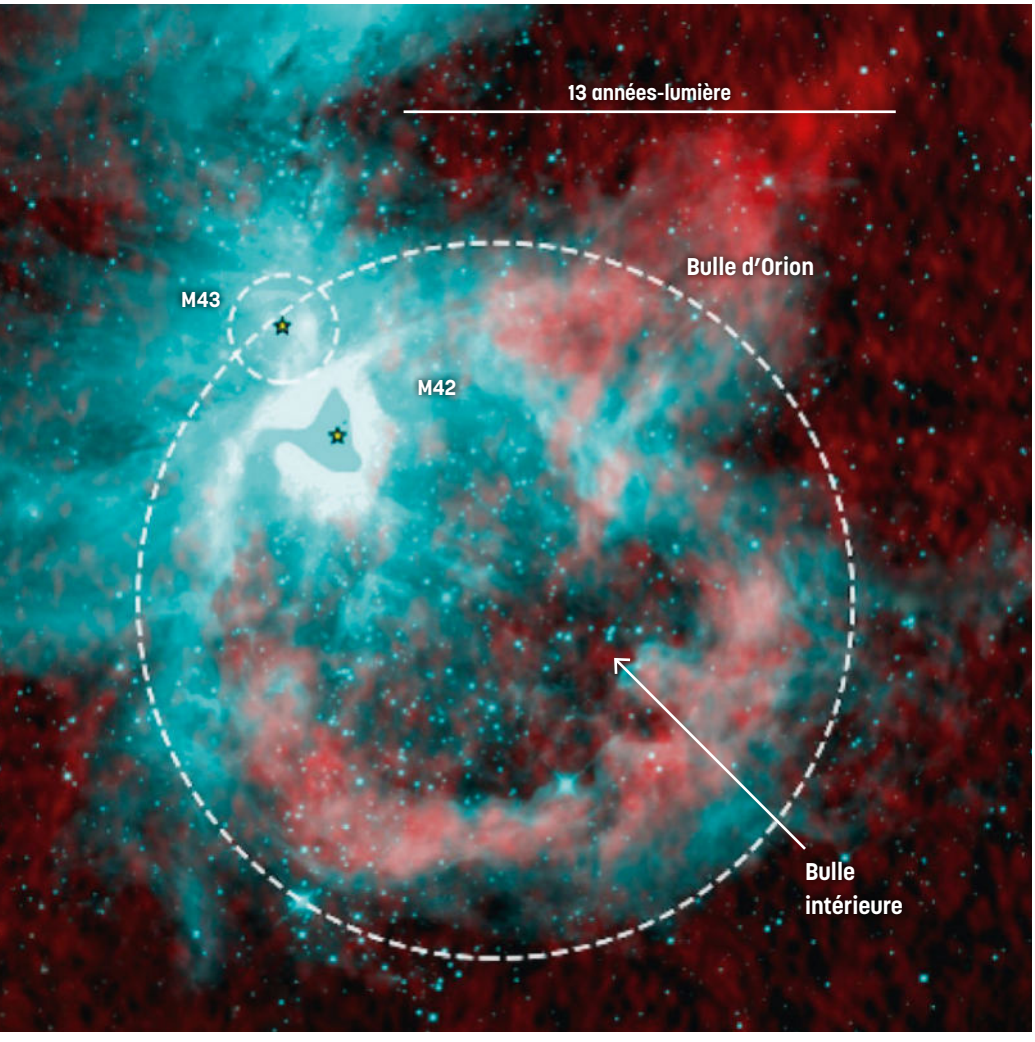
La nébuleuse d'Orion (ci-contre en lumière visible par Hubble) a été observée en radio pour cartographier l'hydrogène atomique (en rouge à droite). Surprise : cette bulle de gaz soufflée en grande partie par une étoile du Trapèze est dix fois moins massive qu'on le pensait. © Nasa/ESA/HST et J. D. Soler/NRAO/VLA/Nasa/Wise

teau de boucher », explique Juan Diego Soler, premier auteur de la découverte. Les radiotélescopes capables de distinguer les détails perdent souvent les structures les plus étendues. À l'inverse, les grands instruments sensibles aux faibles émissions manquent de finesse. Pour combler ce fossé, les astronomes ont combiné les observations du réseau américain VLA avec celles du radiotélescope chinois de 500 m de diamètre Fast. Ils obtiennent ainsi la carte la plus précise jamais réalisée de l'hydrogène atomique d'Orion. Leur résolution atteint 1', soit 0,3 année-lumière à l'échelle de la nébuleuse.

Ces résultats révèlent une double surprise. D'abord, l'enveloppe principale apparaît bien moins massive que ce que laissaient penser les précédentes estimations réalisées à partir du carbone ionisé. Les données indiquent une masse d'environ une centaine de masses solaires, soit près du dixième des évaluations antérieures. Une partie de cette « masse manquante » pourrait être cachée sous forme d'hydrogène moléculaire, invisible avec les traceurs utilisés jusqu'ici. L'autre découverte est plus surprenante encore. Les nouvelles cartes révèlent une cavité secondaire, plus petite, creusée à l'intérieur même de la grande bulle. Son origine demeure mystérieuse : aucun objet connu n'occupe son centre. On ignore encore quel phénomène a pu souffler cette structure, preuve que même M 42 conserve des secrets malgré des décennies d'observations. La bulle principale est façonnée en grande partie par les vents de Thêta [1] Ori C, l'étoile la plus massive de l'amas du Trapèze. *« Nous nous étions trompés d'un facteur 10 sur la masse de l'enveloppe de la bulle !* s'étonne Juan Soler. *Soit Thêta 1 Ori C impulse dix fois plus de mouvement dans son environnement, soit la bulle n'est pas aussi simple que nous le pensions. »*



Juan Diego Soler et ses collègues ont combiné les mesures de deux radiotélescopes pour analyser une structure aussi étendue dans M 42 : le VLA aux États-Unis et Fast en Chine. DR



Cartographier les nuages

Ces travaux s'inscrivent dans le projet NeAtHood, qui ambitionne de dresser une cartographie de référence de l'hydrogène atomique des nuages proches. Mais Juan Soler n'en a pas fini avec la plus célèbre des pouponnières : *« Nous poursuivons l'analyse des cartes de M 42, car elles recèlent encore de nombreuses informations. Nous pouvons y observer l'hydrogène froid associé au nuage moléculaire, les mouvements de gaz influencés par les champs magnétiques, ainsi que d'autres détails du cycle de la matière de la galaxie qui ne sont visibles que dans les nuages proches de nous. »* Derrière l'image familière de la belle nébuleuse se cache donc un paysage plus complexe que prévu. Même un astre aussi célèbre peut encore réserver des surprises, à condition de le voir sous une nouvelle longueur d'onde.

Association française d'Astronomie



© J.-L. Dauvergne/C&E

PARTEZ À LA DÉCOUVERTE DES TÉLESCOPES NUMÉRIQUES AVEC L'AFA

Comprendre la révolution des télescopes numériques, tester les différents modèles et en tirer le meilleur parti : une après-midi et une soirée pour découvrir une nouvelle façon de faire de l'astronomie avec l'AFA au Parc Montsouris

Prochaines sessions et informations :
https://www.afastronomie.fr/stage-decouverte-numeriques

BIENTÔT DANS LE NEVADA, LE RADIOTÉLESCOPE QUI PROMET LA RÉVOLUTION

Un radiotélescope d'un genre entièrement nouveau devrait entrer en service aux États-Unis dès 2029. Avec pour ambition de percer les mystères de l'Univers pour un coût relativement modeste.

Émilie Martin

Un nouvel instrument prodige promet de révolutionner la radioastronomie, voire l'astronomie tout court. Le DSA (Deep Synoptic Survey) sera le radiotélescope le plus sensible jamais construit, annoncent ses concepteurs du Caltech. Il produira les images radio de la meilleure qualité qui soit et sondera le ciel au moins 10 fois plus vite que n'importe quel radiotélescope à la surface du globe, y compris l'immense champion de la radioastronomie actuellement en construction : le Square Kilometre Array (SKA). Ce nouveau surdoué comportera à terme 1650 antennes de 6,15 m de diamètre chacune, réparties dans une zone de 20 km sur 16 située dans le Nevada. *« Dès la première année de mise en service, il devrait détecter 20 millions de sources radio, soit 20 fois plus que n'en ont collecté jusqu'à présent tous les radiotélescopes de la planète réunis, puis près d'un milliard après cinq ans de fonctionnement »*, indique Vikram Ravi, coresponsable scientifique du DSA.



Le futur observatoire radio comportera à terme 1650 antennes installées dans le désert du Nevada (vue d'artiste). © DSA

Grâce à ce relevé des sources radio d'une ampleur inédite, la moisson du DSA s'annonce considérable. *« Nous allons, par exemple, mesurer la rotation de dizaines de milliers de galaxies afin de reconstituer avec une précision inédite la répartition de la matière noire dans l'Univers* [plus les galaxies contiennent de matière noire, plus elles tournent vite, NDLR] », révèle l'astrophysicien. Le DSA sera également capable de réaliser des images du ciel radio en temps réel. Il pourra repérer immédiatement des phénomènes transitoires, tels que des supernovas, des trous noirs dévorant une étoile, les mystérieux sursauts radio rapides dont on connaît mal l'origine (100 000 d'entre eux sont attendus). *« Nous serons aussi en mesure de voir la contrepartie radio des fusions de trous noirs et d'étoiles à neutrons que détectent les observatoires Ligo et Virgo via leurs ondes gravitationnelles*, poursuit le chercheur. *Et nous pourrons même détecter celles-ci ! En mettant la main sur quelque 20 000 pulsars, véritables horloges cosmiques, nous déduirons les infimes déformations de l'espace-temps provoquées par ces vagues cosmiques. Cela devrait notamment nous permettre d'observer le fond d'ondes gravitationnelles causées par la fusion de trous noirs supermassifs dans le jeune Univers. »*

Le secret du DSA pour accomplir tant de prouesses ? Plusieurs percées techniques. Ses récepteurs, à l'inverse de ceux des télescopes classiques, n'ont pas besoin d'être refroidis à moins de 150 °C, mais fonctionnent à température ambiante. Grâce à des fibres optiques et des algorithmes innovants, l'instrument est capable de produire des images de façon automatique dès réception des données sur le capteur, ce qui simplifie grandement le traitement des 100 milliards de gigaoctets que le DSA va collecter au total. *« Et puis, nous avons optimisé le coût de nos antennes, entre autres en faisant appel à un fabricant de moules à gâteaux (Fat Daddio's) pour construire nos paraboles ! »* ajoute Vikram Ravi. D'un budget de 250 M$, en grande partie financé par la Fondation Eric Schmidt, le disruptif DSA doit voir ses premières antennes érigées fin 2027 après les permis fonciers acceptés. Début de l'extraordinaire moisson prévue en 2029.

Ben Sutlieff



Astronome à l'université d'Édimbourg

« UNE 3e PLANÈTE PARFAITEMENT COMPATIBLE AVEC L'HISTOIRE DE L'ÉTOILE BÊTA PICTORIS »

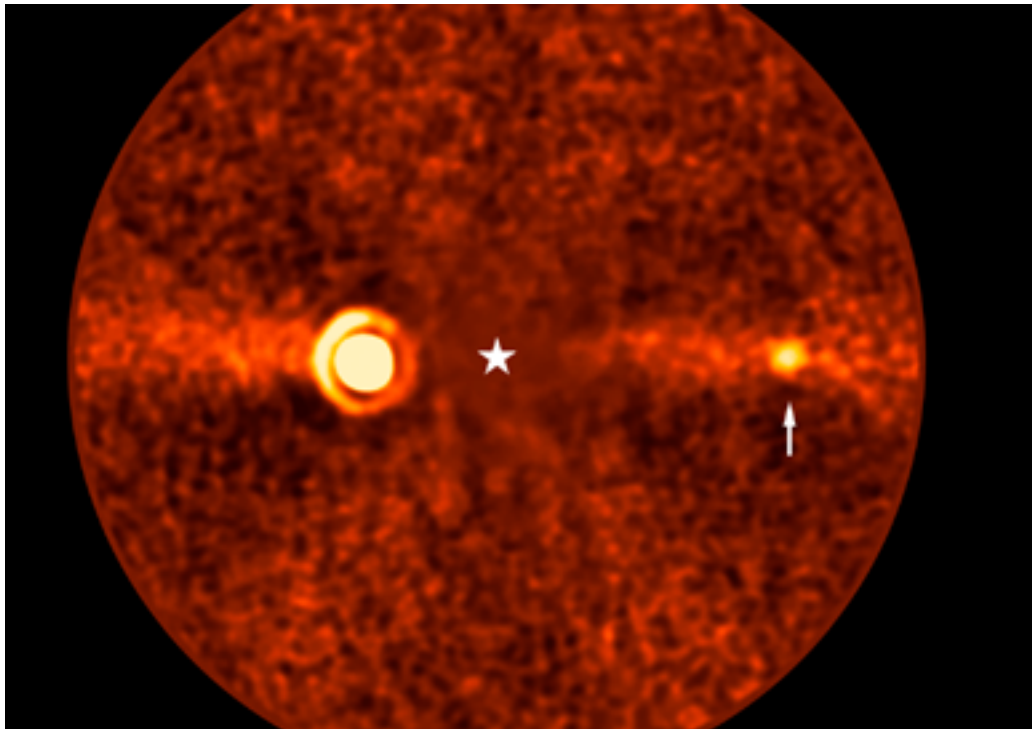
Une troisième planète géante a été découverte autour Bêta Pic. Un astre qui jouerait un rôle similaire à notre Neptune en repoussant les petits corps au-delà de son orbite.

Propos recueillis par Guillaume Langin

Jamais deux sans trois. Le 15 juillet 2026, deux études ont annoncé de façon indépendante l'existence d'une troisième planète autour de l'étoile Bêta Pictoris, après Bêta Pic b en 2009 et Bêta Pic c en 2019 (1). Pour l'une d'elles, Ben Sutlieff et son collègue Markus Bonse ont décortiqué des images prises par le Very Large Telescope (VLT), au Chili. L'astronome britannique nous raconte cette découverte fortuite autour d'une étoile rendue célèbre par le jeune et tumultueux système planétaire qui s'y trouve.

Quand avez-vous su que vous veniez de débusquer une troisième planète autour de Bêta Pictoris ?

Nous avons visé l'étoile le 2 décembre 2025 avec le VLT. Dès cette nuit-là, nous distinguions sur nos images une tache discrète à l'endroit de l'exoplanète. Mais nous n'avons pas pensé que c'en était une. Ce type de tache résulte presque toujours du bruit dans l'image. Bêta Pictoris est une étoile célèbre qui a été observée des milliers de fois ! Nous n'y cherchions pas une planète. Nous avions pour objectif de repérer des nuages dans l'atmosphère de la première planète du système. À mesure que nous avons amélioré l'image, la tache est devenue de plus en plus brillante, au lieu de disparaître ! Les techniques de traitement d'image



Sur cette image du VLT, la nouvelle planète Bêta Pictoris d est visible à droite (flèche). Au centre, l'étoile (indiquée par une étoile stylisée) a été artificiellement occultée. À gauche, la planète Bêta Pictoris b, nettement plus brillante. La barre lumineuse horizontale est une partie du disque de poussière qui entoure l'étoile et dans lequel tournent les planètes. © ESO/B. Sutlieff, M. Bonse et al.

par intelligence artificielle de mon collègue Markus Bonse ont fait définitivement apparaître la planète. Dans les jours qui ont suivi, nous l'avons également identifiée sur des images d'archives en retraitant celles-ci.

Selon vous, pourquoi cette exoplanète, Bêta Pictoris d, est-elle passée inaperçue jusque-là ?

J'y vois deux raisons. D'abord la technologie et l'analyse de données se sont améliorées. Le fait de retrouver la planète en exploitant d'anciennes mesures l'illustre. Le soir de notre découverte, l'instrument Eris installé sur le VLT n'utilisait pas de masque pour bloquer la lumière de Bêta Pictoris et voir ce qu'il y a autour. C'est novateur. L'intelligence artificielle a permis de trouver la planète baignant dans la lumière de l'étoile, pourtant 70 000 fois plus brillante qu'elle. La seconde raison à cette découverte tardive est que la plupart des observations avaient jusque-là été menées lorsque la planète était visuellement trop proche de son étoile. Et donc il était plus difficile de les séparer l'une de l'autre.

Quel type de monde est Bêta Pic d ?

C'est une planète géante gazeuse. Imaginez une grosse Jupiter [sa masse vaut 2,5 fois celle de Jupiter, NDLR]. On sait que son atmosphère est riche en dioxyde de carbone. Certaines analyses y voient aussi de l'eau, du méthane et du monoxyde de carbone. Si l'on ramène le système Bêta Pictoris au Système solaire, cette troisième exoplanète tournerait quelque part entre Uranus et Neptune, quand les deux précédentes seraient Jupiter et Saturne.

Comment interagit-elle avec le reste de son système planétaire ?

Elle empêche que le disque de débris qui tourne en périphérie du système planétaire ne s'étale vers l'intérieur, en direction de l'étoile. Un peu comme c'est le cas chez nous pour la ceinture de Kuiper, confinée au-delà de Neptune. Si Bêta Pictoris d était seule, elle empêcherait également qu'une ceinture d'astéroïdes interne ne s'étale vers l'extérieur. Mais Bêta Pictoris b et c ont déjà fait le ménage. Bêta Pictoris d dévie aussi des comètes en direction de l'étoile. Cela donne lieu à des comètes aux orbites très excentriques [ellipses très aplaties] qu'on a observées par ailleurs. Cette troisième planète est pleinement compatible avec l'histoire de Bêta Pictoris !

Peut-elle avoir causé la mystérieuse baisse de luminosité de l'étoile détectée en 1981 ? Ce qui précèderait de 14 ans la première découverte officielle d'une exoplanète…

On s'est posé la question. En passant devant l'étoile dont elle bloquerait une portion de lumière, Bêta Pictoris d pourrait atténuer l'éclat autant que ce qui a été mesuré en 1981. Mais l'orbite qu'on lui trouve n'est pas compatible avec ce scénario. Ça n'est pas elle la coupable. Le mystérieux signal reste très intrigant. Peut-être a-t-il été provoqué par les débris issus d'une énorme collision entre deux embryons de planètes ? Il ne s'est en tout cas jamais répété. Et bien que cette question soit fascinante, elle ne nous occupe pas trop, car il n'y a pas grand-chose que nous puissions faire pour y répondre.

Quel mystère concernant Bêta Pictoris aimeriez-vous élucider ?

Bêta Pictoris est un système passionnant. C'est là qu'on a découvert la première exoplanète par l'image. C'est maintenant la seconde étoile, après HR 8799, où l'on a photographié plus de deux planètes. Les deux planètes internes déjà connues sont très massives : plus de 10 masses joviennes. En termes de proportion de taille, la troisième planète serait donc un équivalent d'Uranus ou de Neptune par rapport à Jupiter ou Saturne. Vient alors la question : y a-t-il aussi des petites planètes plus proches de leur étoile ? Voire des planètes rocheuses ? Cela ferait de Bêta Pictoris un jumeau, à plus grande échelle, du Système solaire. C'est vraiment un extraordinaire laboratoire de recherche.

Peut-il y avoir une quatrième planète géante, comme chez nous ?

Ça n'est pas impossible si elle n'est moins massive que les trois autres. Pas plus lourde que Saturne. Mais c'est peu probable : aucune observation ne le suggère pour l'instant. Par ailleurs, les planètes b, c et d occupent des orbites très stables gravitationnellement. Il n'y a plus d'orbite stable pour une quatrième planète [dans le système externe, NDLR]. Cela n'empêche que Bêta Pic est et restera un endroit à inspecter de près avec l'arrivée de l'ELT (Extremely Large Telescope, en construction au Chili).

Quel sentiment vous procure cette découverte ?

Pendant que le VLT l'observait au Chili, je sortais de temps en temps la voir par moi-même. Elle était difficile à reconnaître dans un ciel surchargé d'étoiles ! Je ne m'imaginais pas alors que nous allions y découvrir un nouveau monde… Pour moi, c'est une première. Le faire autour d'une étoile si importante scientifiquement est fabuleux !

(1) Les exoplanètes sont désignées par le nom de leur étoile, suivi des lettres b, c, etc., dans l'ordre de leur découverte.

DEIMOS, FRAPPÉ PAR UN GROS ASTÉROÏDE ?

Le survol de Deimos par la sonde européenne Hera, en 2025, a permis à une équipe de scientifique d'élaborer un scénario robuste sur ce qui est arrivé au petit satellite de Mars dans son passé lointain

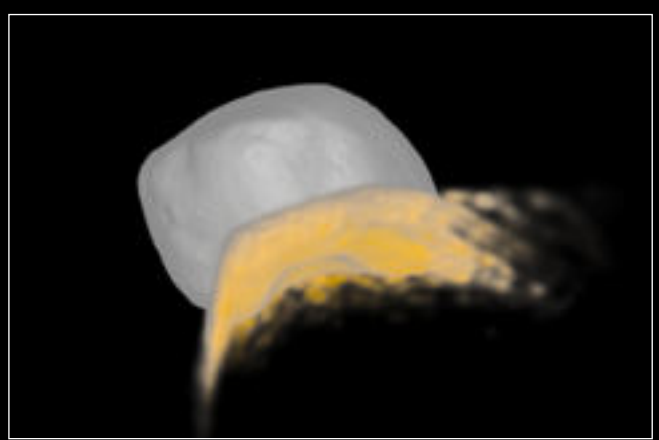
Philippe Henarejos

Le second satellite naturel de Mars, Deimos, a vraisemblablement été percuté par un corps céleste. Situé plus loin de Mars que Phobos, Deimos, petit objet patatoïde de 15 km de long, est aussi peu observé. En mars 2025, la sonde européenne Hera, en route vers l'astéroïde Didymos, l'a survolé. A cette occasion, les scientifiques ont fait des mesures et les ont confrontées à divers scénarios. Celui d'un gros impact subi au pôle sud, tient aujourd'hui la corde.



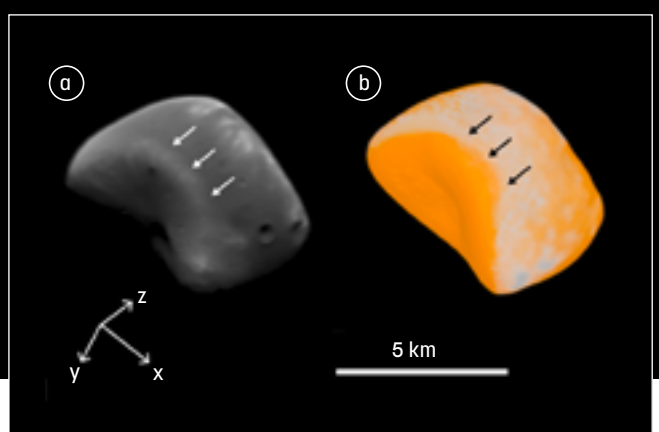
UN CORPS RECOUVERT DE RÉGOLITE

Pourquoi Deimos, vu ici de près par la sonde Mars Reconnaissance Orbiter en 2009, est-il si peu cratérisé et présente-t-il une surface aussi lisse, en apparence très sablonneuse ? Pour Sabina Raducan d'Université de Berne, de l'International Space Science Institute (ISSI) et de VUB Brussels University, c'est parce que le satellite de Mars a été percuté par un gros objet en son pôle sud et que les débris de l'impact sont retombés pour le recouvrir entièrement, effaçant les anciens cratères. © Nasa/JPL-Caltech



UNE SIMULATION D'IMPACT GAGNANTE

L'équipe de Sabina Raducan a effectué diverses simulations pour recréer le cratère de 10 km occupe le pôle sud de Deimos. L'une d'elles s'est révélée « gagnante » : un astéroïde de 320 m de diamètre, arrivant à grande vitesse avec un angle de 45° produit exactement la dépression observée. Mieux encore, les débris éjectés retombent majoritairement à la surface pour former une épaisse couche poussiéreuse, similaire à celle qui existe. © ESA



DES ÉJECTAS FIDÈLES

En prenant une image des sondes Viking, obtenue en 1977, les scientifiques, observent des variations d'albédo (la brillance de la surface) qui sont parfaitement fidèles aux retombées d'éjectas simulées par ordinateur. Une étude attentive de la surface de Deimos révèle que des cratères d'impact, parfois importants, sont enfouis sous le régolite du gros choc survenu au pôle sud. A l'avenir, la sonde MMX pourrait permettre de confirmer – ou non – cette théorie qui semble solide. © ESA/S.D. Raducan



CLIN D'ŒIL

L'ÉCLIPSE DE MATISSE

À l'automne 1948, Henri Matisse fait paraître cette œuvre réalisée en gouache découpée. Une technique à laquelle il a eu recours dans les dernières années de sa vie. On y voit un disque noir occultant un disque jaune, sur fond rouge… Une éclipse partielle au Soleil couchant ? En effet ! Le calculateur d'éclipses de l'observatoire de Paris [1] indique que, depuis la commune de Vence, dans les Alpes-Maritimes, où le peintre s'était retiré pour échapper aux bombardements nazis, la Lune a bien croqué le Soleil en 1944. C'était le 25 janvier, à partir de 17 h 12 à moins de 3° au-dessus de l'horizon. Autrement dit, dans les lueurs d'un soir d'hiver sur la Côte d'Azur… Le chef de file du fauvisme (mouvement pictural axé sur la couleur) n'allait pas laisser passer pareille scène.

[1] https://ssp.imcce.fr/forms/solar-eclipses



SUR LA TOILE

CHAUD DEVANT !

La société chinoise Landscape a eu l'idée de filmer le retour du premier étage de sa fusée Zhuque-3 à l'aide d'un drone équipé d'une caméra thermique. Résultat : une vidéo saisissante, où les dunes surchauffées du désert de Gobi cèdent la place aux fumées incandescentes du booster qui atterrit. Landscape devient ainsi la troisième entreprise spatiale à réussir à poser au sol un étage de fusée réutilisable, après SpaceX et Blue Origin. Elle compte réemployer celui-ci avant le printemps 2027.

Vidéo sur :
www.bilibili.com/video/BV1Lv8j6EE22/

4

C'est le nombre de naines blanches découvertes dans un rayon de 65 années-lumière (ou 20 parsecs) autour du Système solaire par une équipe des universités de Warwick (Royaume-Uni) et de Boulder (États-Unis). Ces cadavres stellaires étaient cachés en orbite autour de naines rouges. Il a fallu le télescope spatial Hubble pour les débusquer.


© ESA

SOPHIE ADENOT

Le 18 août 2026, elle est devenue la première Française à sortir dans l'espace. Elle est aussi la cinquième astronaute tricolore, tous sexes confondus, à réaliser une telle performance. Elle a effectué une deuxième sortie hors de la station spatiale internationale le 25 août, là aussi de plus de 6 heures ! Une troisième sortie était programmée pour début septembre, à l'heure où nous bouclons ces pages.
https://tinyurl.com/2z2ymn2n

À L'APOGÉE

AU PÉRIGÉE

DR

KATALYST SPACE

Cette société privée avait annoncé envoyer en un temps record (quelques mois) une mission pour sauver l'observatoire Swift, dont l'orbite baissait dangereusement. Mais son satellite, Link, qui devait le saisir et le propulser plus haut, n'a même pas tenté de le capturer en raison de problèmes de stabilisation. Dans le spatial, vite est rarement synonyme de bien.

INTÉGRER DU MATÉRIAU RADIOACTIF DANS SA COMBINAISON SPATIALE

Une entreprise américaine propose d'intégrer du matériau radioactif directement dans le scaphandre des astronautes. Mais pourquoi donc ?

David Fossé

Dans l'espace, personne ne vous entendra grelotter. Et pourtant, il peut y faire très froid ! Si les humains établissent un jour une base pérenne sur la Lune, elle connaîtra des nuits de deux semaines. Au fond des cratères du pôle Sud lunaire, une zone où les Américains comme les Chinois projettent de s'installer, cette nuit sera même éternelle. Les astronautes sur place devront donc évoluer dans le froid absolu d'un corps céleste privé d'atmosphère. C'est-à-dire autour de – 200 °C. Les combinaisons spatiales ont beau être isolantes, il sera impossible de travailler longtemps dans ces conditions sans un système pour les réchauffer. D'où l'idée proposée par la compagnie américaine Zeno Power Systems à la Nasa…



Vue d'artiste : © A. C. Charania

Depuis 2018, ses ingénieurs développent pour l'exploration sous-marine et spatiale des batteries nucléaires, ou RTG (Radioisotope Thermoelectric Generator). Le principe est connu : une source radioactive confinée produit de la chaleur qui est convertie en courant électrique sans qu'aucune pièce mobile ne soit nécessaire, et pour des durées souvent longues (plusieurs années, voire décennies). Des RTG alimentent toujours les sondes Voyager, lancées en 1977. Ils équipent aussi les rovers martiens Curiosity et Perseverance. Dans *Seul sur Mars*, le naufragé Mark Watney, joué par Matt Damon, détourne un générateur nucléaire de son utilisation normale pour en faire un simple chauffage, qu'il installe dans son rover. La réalité pourrait rejoindre la fiction : Zeno Power Systems propose de développer une version miniature de ses RTG qui pourrait s'intégrer directement à un scaphandre. Une chaufferette individuelle, en quelque sorte, mais une chaufferette nucléaire !

Et c'est là que se pose évidemment la question : est-il bien raisonnable de porter sur soi un matériau radioactif, émetteur de rayonnements et de particules de haute énergie, quand toutes les missions spatiales habitées sont justement pensées avec le souci de s'en protéger ? Bien sûr, les dispositifs tels que ceux que conçoit Zeno Power Systems ne sont pas censés émettre de rayonnements nocifs à l'extérieur de leur enceinte confinée. Le financement de 175 000 $ que ses équipes viennent d'obtenir consiste d'ailleurs à tester la faisabilité du concept. Car si Zeno Power Systems ambitionne depuis ses débuts d'industrialiser la fabrication de générateurs électriques nucléaires, c'est d'abord pour faire fonctionner des machines (1). Peut-on vraiment utiliser sans risque un matériau radioactif au plus près du corps ? En réalité, il y a des précédents. Des dispositifs radioactifs ont non seulement déjà été portés, mais même implantés dans des humains : dans les années 1970-1980, des milliers de personnes ont reçu des pacemakers alimentés au plutonium 238. Et certains vivent toujours avec ! Pour la petite histoire, on peut aussi noter que l'élément radioactif choisi par Zeno Power Systems pour ses chaufferettes est l'américanium 241. Évidemment. Comment un élément atomique ainsi baptisé pourrait-il s'avérer nocif pour un astronaute américain ?

(1) Pour ses batteries nucléaires, l'entreprise a décroché un contrat de 15 M$ avec la Nasa dans le cadre du programme Artemis.

DÉCOUVREZ NOTRE
OFFRE PREMIUM

Papier+ Numérique





NOTRE HORS-SÉRIE
DÉBUTER EN ASTRONOMIE

Envoyez le coupon ci-contre ou abonnez-vous en ligne avec le **CODE DEBUTER** sur www.cieletespace.fr

VOS AVANTAGES AVEC L'OFFRE PREMIUM**

- ✔ 6 magazines + 2 hors-séries + 1 Almanach en version papier / an
- ✔ 6 magazines + 2 hors-séries + 1 Almanach numérique / an *disponibles sur pc et smartphone*
- ✔ Accès à tous les anciens numéros et hors-séries *sur pc et smartphone (hors numéros spéciaux)*
- ✔ Accès à l'intégralité de nos articles web *sur cieletespace.fr*
- ✔ Accès aux podcasts exclusifs *+ toutes nos archives podcasts*

** En cas d'interruption de l'abonnement, l'accès au magazine numérique ainsi qu'aux archives sera automatiquement suspendu.

Bon à retourner, avec son règlement, à Ciel & espace c/o Opper Services, CS 60003, 31242 L'Union Cedex.
Service abonnés : serviceabonnes@cieletespace.fr ou 05 34 56 35 60 (10 h-12 h / 14 h-17 h)

1. Oui, je m'abonne, j'inscris mes coordonnées

Nom .....

Prénom .....

Adresse .....

Code postal |_|_|_|_|_| Ville .....

Tél .....

Mail*.....

* Indispensable pour accéder aux podcasts, versions numériques, articles et profiter du Club abonnés après création de votre compte sur www.cieletespace.fr

En application de l'article 27 de la loi du 06/01/1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et sont communiquées aux destinataires la traitant. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de nos services. Vous pouvez vous opposer à ce que vos nom et adresse soient cédés ultérieurement. Siège social : Ciel & Espace 17, rue Émile-Deutsch-de-la-Meurthe 75014 Paris.

2. Je choisis mon offre

❑ **1 an**
95 € au lieu de 226,40 €*

❑ **2 ans**
177 € au lieu de 448,80 €*

6 magazines + 2 hors-séries
+ 1 Almanach / an **en versions papier et numérique**

Accès à **tous nos articles et tous nos podcasts sur cieletespace.fr**

Club abonnés

Lisible sur pc et smartphone

Tarifs valables jusqu'au 31/01/2027

3. Je règle par chèque à l'ordre de Ciel & espace

Règlement par carte bancaire et autres offres d'abonnement en scannant ce QR code

Offres valables pour la France métropolitaine. Dom-Tom et autres pays, consultez nos offres sur www.cieletespace.fr/abonnement. Pour le Canada et les USA, contacter : Express Mag (Québec), au 1.800.363.1310 - mail : expsmag@expressmag.com - web : www.expressmag.com

* Valeur prix kiosque, podcasts et web selon l'abonnement.

C8E609

À LA VITESSE DE LA LUMIÈRE

Entre deux numéros de *Ciel & espace*, les planètes ne s'arrêtent pas de tourner. Voici une sélection des actualités publiées en direct sur le site cieletespace.fr, complément naturel de votre magazine papier.

19 juin

PLUS D'ÉTOILES SOUS L'AZUR

La Réserve internationale de ciel étoilé Alpes Azur Mercantour annonce doubler sa surface. Elle inclut désormais tout le parc naturel du Mercantour, jusqu'à la frontière italienne. Lire aussi p. 78.
https://tinyurl.com/y2hwtuf9

22 juin

ARIANE 6 LANCE DU LOURD

Le 17 juin, grâce à quatre propulseurs latéraux de nouvelle génération, la fusée Ariane 6 a battu un record européen de masse envoyée dans l'espace. La poussée accrue des boosters P160 a permis de lancer 36 satellites d'un coup.
https://tinyurl.com/ycy8cmfv

26 juin

LA CANICULE VUE DE L'ESPACE

L'été 2026 n'a, hélas, pas été avare en vagues de chaleur… Dès le 23 juin, le satellite européen Copernicus enregistrait en France des températures comparables à celles de l'Afrique du Nord.
https://tinyurl.com/pzmanyrk

1er juillet

DES OVNIS À L'ASSEMBLÉE

Un congrès consacré aux ovnis à l'Assemblée nationale ? Une première ! Nous y étions, le 29 juin, et nous en sommes revenus perplexes.
https://tinyurl.com/mr29webz

3 juillet

LA VOIE LACTÉE ÉTEND SES BRAS

Les bras spiraux de notre galaxie s'étendent plus loin qu'on ne le pensait. C'est le résultat d'une étude menée avec les télescopes spatiaux XMM-Newton et Chandra, en rayons X.
https://tinyurl.com/3ker78e9

6 juillet

KAMO'OALEWA PHOTOGRAPHIÉ

C'est peut-être un fragment de Lune ! Kamo'oalewa, petit astéroïde de 32 m de long, a été photographié cet été à une distance de 20 km par la sonde chinoise Tianwen 2.
https://tinyurl.com/37x52u5j

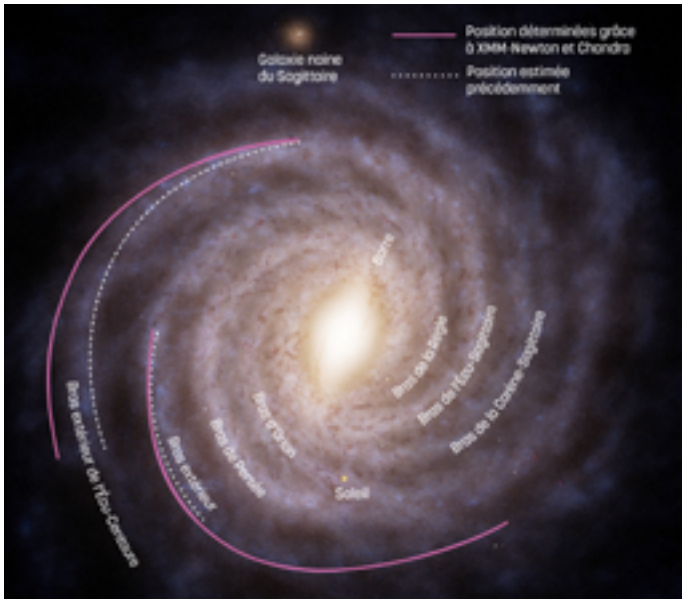
10 juillet

ADIEU WALLY FUNK

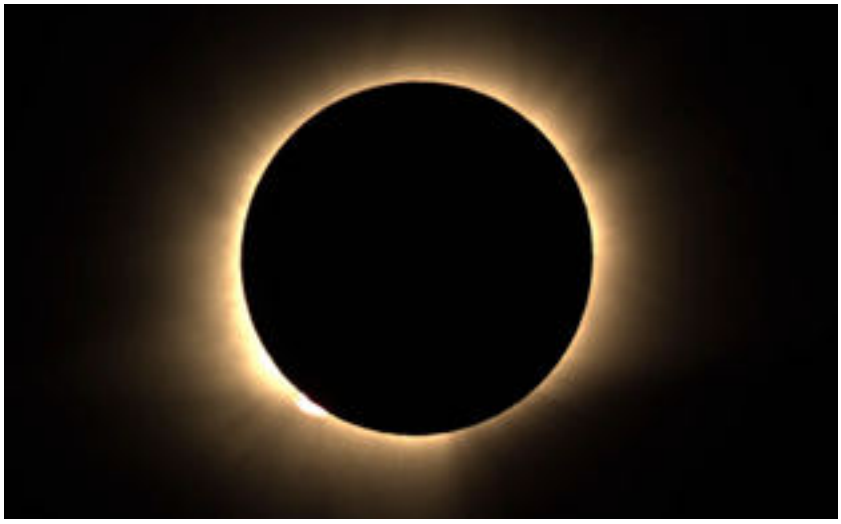
Dans les années 1960, elle avait réussi tous les tests



Le 17 juin, Ariane 6 employait pour la première fois quatre boosters de nouvelle génération. Un gain de 15 % en poussée au décollage. © ArianeGroup



Certaines portions des bras externes de la Voie lactée se révèlent plus éloignées que prévu (vue d'artiste). © ESA/Gaia/DPAC/Nasa



Ciel & espace a retransmis les images de l'éclipse en direct depuis l'Espagne. Des images qui ont permis au plus grand nombre d'admirer ce spectacle rare.
© J.-L. Dauvergne/C&E

d'aptitude mis en place par la Nasa pour évaluer la capacité des femmes à voyager dans l'espace, mais n'avait jamais été sélectionnée pour voler. Wally Funk, finalement devenue astronaute à 82 ans à l'occasion du premier vol suborbital de Blue Origin, s'est éteinte le 8 juillet 2026.
https://tinyurl.com/4m9skxe9

15 juillet

ET DE TROIS !

La découverte est fortuite, mais n'en a que plus de saveur. Grâce au Very Large Telescope, au Chili, une troisième planète a été découverte, par imagerie, autour de la célèbre étoile Bêta Pictoris. Elle est 2,4 fois plus massive que Jupiter et tourne à peu près à la distance d'Uranus du Soleil. Lire aussi p. 24.
https://tinyurl.com/yzn4pett

16 juillet

APOCALYPSE EN ORBITE

Combien de temps faut-il attendre avant que deux satellites se percutent autour de la Terre ? Pour y répondre, des astronomes ont créé une « horloge du crash ». Avec un constat très inquiétant : les collisions sont imminentes.
https://tinyurl.com/3hbbj88m

23 juillet

ENFIN UNE PREMIÈRE EXOLUNE ?

Ce n'est pas la première fois que la découverte d'une exolune est annoncée, mais cette fois, cela paraît solide : une équipe menée par Kevin Hoy (Universidad Diego Portales, Chili) aurait mis au jour un exosatellite dans le système stellaire de CD-35 2722, étoile naine rouge à 73 années-lumière de la Terre.
https://tinyurl.com/59zfdf6s

28 juillet

UN SOLEIL AUTOUR DE BÉTELGEUSE

C'est confirmé : la plus brillante étoile d'Orion possède bien une étoile compagne. Elle ferait 2,6 à 3,1 masses solaires et serait en orbite à seulement 8 fois la distance Soleil-Terre.
https://tinyurl.com/46thje2a

6 août

ÇA GLISSE SUR PLUTON

La lointaine Pluton connait aussi des glissements de terrain. Une analyse des images réalisées par la sonde New Horizons lors de son survol le 14 juillet 2015 vient d'en mettre plusieurs en évidence.
https://tinyurl.com/3xknrx2u

12 août

SPECTACLE TOTAL !

L'éclipse du 12 août a émerveillé des millions de personnes en Europe. *Ciel & espace* était en Espagne pour suivre l'évènement, là où le Soleil était entièrement masqué par la Lune. Un direct à revivre en vidéo !
https://tinyurl.com/3net2thm

18 août

UN CRATÈRE SIGNÉ SPACE X

Le 5 août 2026, un étage de fusée Falcon 9 de Space X s'est crashé sur la Lune. Quelques jours plus tard, la sonde Lunar Reconnaissance Orbiter a fait l'image du cratère produit. Il fait 18 m de diamètre et 3 m de profondeur.
https://tinyurl.com/6hzh5d3y

19 août

S301, ÉTOILE VÉLOCE

C'est l'étoile la plus proche et la plus rapide jamais découverte en orbite autour du trou noir supermassif au centre de notre galaxie ! S301, révélé par une équipe européenne, va permettre un nouveau test de la théorie d'Einstein.
https://tinyurl.com/5ahntmwa

20 août

FRAPPE SUR SOYOUZ

Jusqu'ici épargnée par la guerre, une usine de production de fusées Soyouz-2 a été partiellement détruite par deux missiles ukrainiens le 15 août. Soyouz-2 lance les cargos Progress vers l'ISS, mais aussi des satellites militaires.
https://tinyurl.com/5dmj25vk

25 août

L'ÉNIGME DU POINT CHAUD

L'une des vues les plus détaillées de Bételgeuse, réalisée par l'interféromètre Alma, montre un étrange point brillant, bien plus chaud que le reste de l'étoile. Cette structure étonne par sa persistance : elle existait déjà en 2016.
https://tinyurl.com/4w5p6r7m

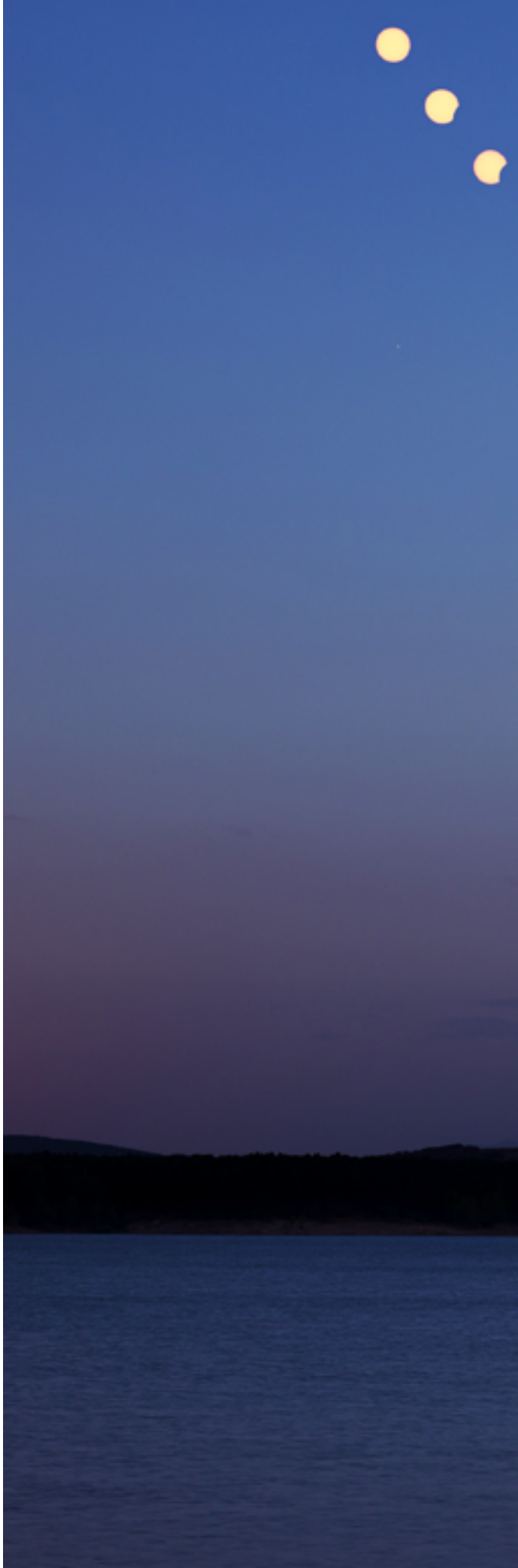
ÉCLIPSE DU 12 AOÛT
L'ALBUM SOUVENIR

Depuis 1999, l'Europe n'avait pas connu d'aussi belle éclipse. Le 12 août 2026, il fallait se trouver dans le nord de l'Espagne pour voir le Soleil disparaitre totalement derrière la Lune. Mais les phases partielles étaient également spectaculaires en France. Souvenirs en images.

Philippe Henarejos

Une éclipse totale est un moment éphémère qui semble être hors du temps. Celles et ceux et qui y ont goûté n'ont qu'une envie : y goûter à nouveau. Pour cette raison, l'éclipse du 12 août 2026 a attiré au moins un demi-million de personnes dans le nord de l'Espagne, le long du trajet de l'ombre de la Lune. Dans les heures qui ont précédé l'événement, la campagne et les montagnes, habituellement désertes, surtout au mois d'août, ont été le théâtre d'un étonnant et incessant manège : des voitures qui vont et qui viennent sur les petites routes, qui s'engagent dans des chemins à peine carrossables, qui font demi-tour ; des groupes qui escaladent des buttes en pleine chaleur, trépied sur l'épaule ; des bivouacs entre les arbres… Dans les villes et les villages, les places et les esplanades se sont remplies d'une foule bon enfant.

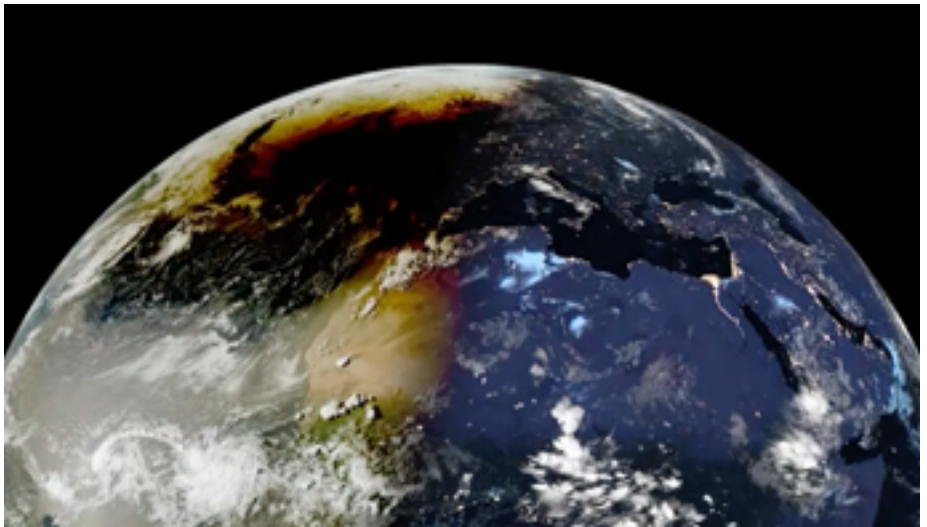
Tout cela pour moins de 2 minutes irréelles d'un alignement céleste parfait procurant au paysage une lumière sans nulle autre pareille. L'apparition de cet anneau de feu qu'est la couronne solaire autour de la Lune s'est accompagnée partout d'une clameur et de cris. Même dans les campagnes, en apparence désertes. L'éclipse du 12 août a tenu ses promesses : sous un ciel sans nuage, elle a réuni des inconnus venus pour un moment éphémère d'émerveillement et de communion, vraiment hors du temps.



À Aguilar de Campoo, entre Santander et Valladolid, Emmanuel Beaudoin, astronome amateur et collaborateur de *Ciel & espace*, a assisté à l'éclipse d'une durée de moins de 2 minutes. L'occasion de composer ce chapelet au-dessus du lac d'Aguilar, vaste réserve d'eau créée par un barrage. Le spectacle se termine par un coucher de Soleil, filtré par les brumes basses, et encore très partiellement éclipsé. © Emmanuel Beaudoin



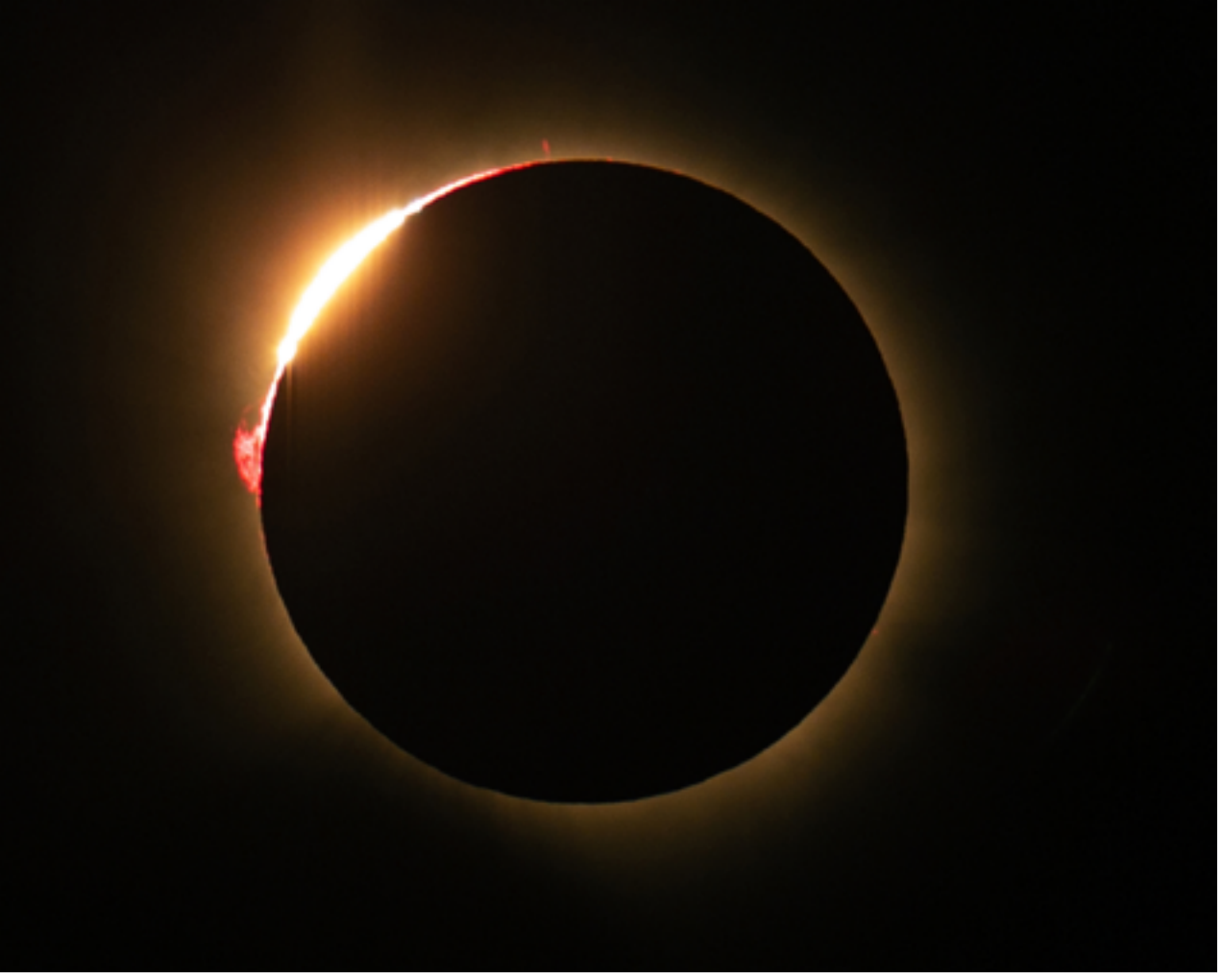
Depuis les environs de Soria, en Espagne, Jean-Luc Dauvergne et Guillaume Langin assurent une retransmission en direct de l'événement cosmique sur YouTube. Ils photographient la phase partielle à l'aide d'une lunette Heliostar 76, dont le filtre permet de révéler les protubérances. Outre sa belle définition, leur image prédit qu'une belle protubérance sera visible sur le bord du Soleil lors de la totalité. Ce sera en effet le cas : très spectaculaire ! © J.-L. Dauvergne et G. Langin/C&E



Depuis l'espace, à 36 000 km d'altitude, le satellite Météosat de 3e génération a saisi le passage de l'ombre de la Lune sur l'Atlantique et sur l'Espagne. On voit bien que l'éclipse avait lieu le soir : toute la partie droite de la Terre est dans la nuit. La conséquence, c'est une durée raccourcie (l'ombre lunaire se déplace plus vite), mais des avant-plans intéressants, puisque l'astre du jour est bas sur l'horizon. © ESA/Eumetsat

À une vingtaine de kilomètres au sud de Leon, à San Millán de los Caballeros, le photographe de la Nasa Bill Ingalls a posé son trépied en bordure des champs de tournesol pour un chapelet des plus artistiques. © Nasa/B. Ingalls





La belle protubérance observée durant les phases partielles était toujours là au début de la totalité. Emmanuel Beaudoin l'a photographiée alors que quelques infimes fractions du disque solaire sont encore visibles. À cet instant, la couronne solaire était déjà discernable à l'œil nu, tandis que le ciel restait encore crépusculaire.

© Emmanuel Beaudoin



Cyril Birnbaum avait choisi le réservoir de Porma, dans le nord de la province de Castille et Leon, pour une image étonnante dans un décor de crêtes montagneuses.

© Cyril Birnbaum

La couronne était particulièrement étendue lors de cette éclipse. Bill Ingalls la révèle ici dans toute sa splendeur. On remarque qu'elle est nettement plus affaiblie vers le bas, qui correspond au pôle Sud. C'est dans cette région que des lignes de champ magnétique émergent en bouquet (elles sont d'ailleurs visibles sur cette photo). © Nasa/B. Ingalls

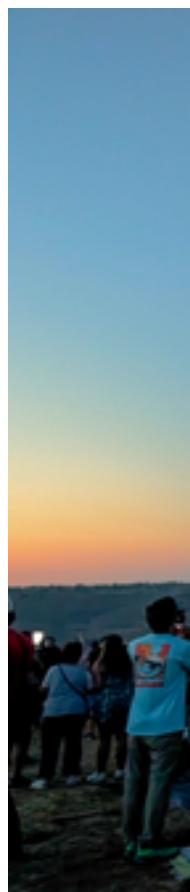


Non loin de Saragosse, le Castillo de la Raya a offert un avant-plan de toute beauté à Michael Coulon qui a pris cette série au reflex, avec un objectif de 35 mm. À mesure que le Soleil se rapproche de l'horizon, il est de plus en plus éclipsé par la Lune, jusqu'au moment de la totalité, quasiment au ras de la colline sur laquelle le château dresse encore ses ruines. © Michael Coulon



L'Espagne n'avait pas connu d'éclipse totale depuis 1912. Pour l'occasion, l'Agence spatiale européenne avait organisé un rassemblement dans la ville de Leon où des milliers de personnes, équipées de lunettes « éclipse » pour les phases partielles, ont suivi le spectacle céleste. © ESA













En France, l'éclipse n'était que partielle. Mais d'une belle partialité ! Plus de 90 % du Soleil étaient cachés sur la majeure partie du territoire. Le spectacle a été suivi d'un peu partout, du pré de la Lisette à Bagneux (en haut), à Pratclaux, hameau du sud de la Haute-Loire (en bas), en passant par Bonneuil-sur-Marne (au centre). DR et O. Hodasava/CSE



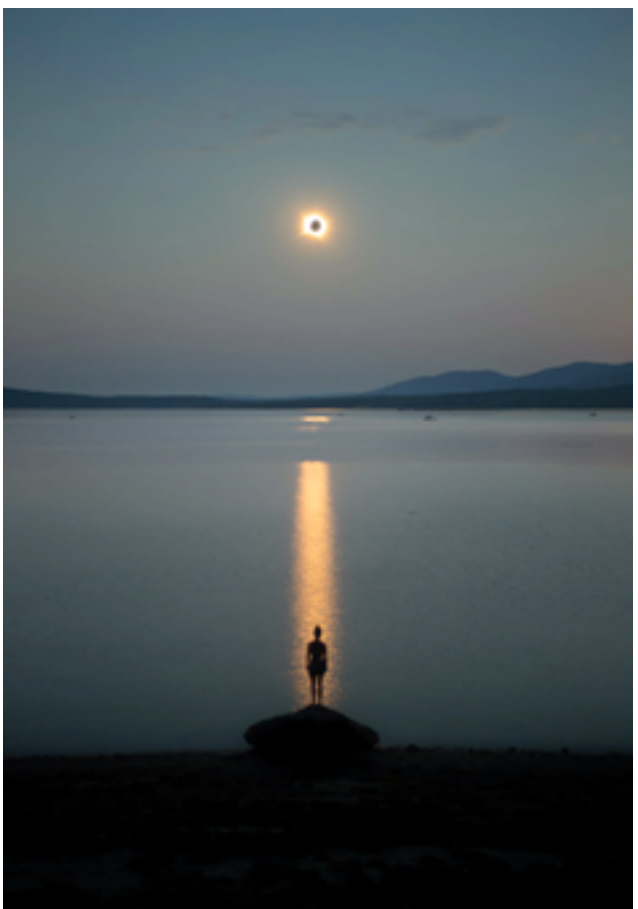
Totales ou partielles, les éclipses restent un grand spectacle populaire

Émilie Martin était à Siguenza, où, depuis les abords de château qui domine la ville, des centaines de personnes, chasseurs d'éclipses et population locale, ont admiré environ 1 min 45 s de Soleil noir. © É. Martin/CSE

Des environs de Soria, à partir d'images obtenues pour le direct de *Ciel & Espace* sur YouTube (près de 500 000 vues !), Jean-Luc Dauvergne a composé cette photo qui montre à la fois la couronne solaire en détail et les protubérances qui étaient visibles sur les côté est et ouest du Soleil. À l'œil nu, ces protubérances étaient d'un rouge rosé plus profond que lors des éclipses observées haut dans le ciel, en raison de l'absorption atmosphérique plus forte près de l'horizon. © J.-L. Dauvergne/C&E

Les photographes ont saisi la magie du Soleil noir et de sa couronne

La photo qui immortalise probablement le mieux l'éclipse du 12 août 2026 est celle réalisée par Rémi Leblanc-Messager, administrateur de l'AFA, en bordure de l'immense réservoir de la Cuerda del Pozo, à quelques kilomètres à l'ouest de Soria. Un remarquable alignement des astres et… de l'humain (voir aussi : https://tinyurl.com/38dsssth). © Rémi Leblanc-Messager





À 540 km à l'ouest de l'Irlande, un avion a embarqué des instruments pour mesurer le champ magnétique de la couronne solaire. Ces observations, menées bien au-dessus des nuages, seront comparées aux données des satellites de l'ESA Proba 3 et Solar Orbiter. © ESA



Après l'éclipse, les phases partielles présentaient encore un intérêt, car le Soleil se couchait en partie caché par la Lune. Depuis les hauteurs de Santa Maria de las Hoyas (à l'ouest de Soria), Jean-Luc Dauvergne a saisi au téléobjectif ce croissant posé sur un arbre, et qui ressemble à un radiotélescope. Un groupe d'observateurs (à gauche, sur l'horizon) profite également de la fin du spectacle.
© J.-L. Dauvergne/C&E

UNE AUTRE HISTOIRE DES GALAXIES

RACONTÉE PAR LES AMAS GLOBULAIRES



Et si les témoins de l'histoire des galaxies étaient toujours là, prêts à nous livrer ce qu'ils savent ? C'est ce que les astronomes sont en train de réaliser : les amas globulaires, véritables ruches d'étoiles qu'ils connaissent depuis longtemps, pourraient être ces témoins. Âgés d'au moins 8 milliards d'années, ils étaient présents quand les galaxies se sont formées et quand elles sont entrées en collision entre elles. Leurs mouvements, leurs générations d'étoiles et leur répartition permettent de remonter le fil des évènements. Que ce soit pour notre galaxie, la Voie lactée, ou pour ses voisines. Les amas globulaires détiennent peut-être aussi la réponse à une énigme : l'origine des trous noirs supermassifs. Car ils pourraient abriter des trous noirs de masse intermédiaire, possibles chainons manquants entre les trous noirs stellaires et les monstres qui occupent le centre des galaxies. Les récentes études sur ces grappes stellaires portent donc les germes d'une révolution lente de l'astronomie, susceptible de préciser l'évolution des galaxies.

L'amas d'Hercule M13 est la star des amas globulaires. Cette grappe stellaire compte des centaines de milliers d'astres réunis dans un diamètre de 150 années-lumière. Une densité extrême, si l'on songe que la première voisine du Soleil se trouve à 4 années-lumière !

© Joan Josep Isach Cogollos

LA RÉVOLUTION TRANQUILLE DES AMAS GLOBULAIRES

Longtemps relégués au second plan, les amas globulaires sont aujourd'hui de retour au cœur de l'astronomie moderne. Ces groupements denses d'étoiles, presque aussi vieux que l'Univers, racontent à travers leur histoire celle des galaxies.

Pierre Giraudeau





« *Quand j'étais en thèse, étudier les amas globulaires était considéré comme de la vieille astronomie*, se souvient Pierre-Alain Duc, directeur de recherche à l'observatoire de Strasbourg. *Je ne me serais jamais imaginé que cela deviendrait un sujet aussi foisonnant trente ans plus tard.* » Ces amas sont des groupes de centaines de milliers d'étoiles, nées ensemble il y a des milliards d'années et qui ont traversé les époques en restant les unes près des autres. Laboratoires pour comprendre l'évolution des étoiles, vestiges des premiers temps de l'Univers : ils ont toujours été précieux pour les astronomes. Mais depuis une vingtaine d'années, l'intérêt pour ces objets a changé de dimension. Par une succession de petites révolutions, les télescopes spatiaux Hubble, Gaia, James Webb et Euclid ont peu à peu ramené les amas globulaires au centre du jeu. Loin d'être aussi simples que ce que l'on imaginait, ils transportent avec eux une partie de l'histoire des galaxies.



L'amas M 92 se trouve dans la constellation d'Hercule, comme M 13. Sa composition chimique trahit son grand âge : il serait presque aussi vieux que l'Univers. À gauche, une vue générale obtenue par le télescope Hubble. À droite : un zoom réalisé par le JWST.
© Nasa/ESA/Hubble et Nasa/ESA/CSA/A. Pagan

Les doyens de la Voie lactée

Certains amas globulaires sont connus depuis le XVII[e] siècle. On les décrit alors comme des nébuleuses. Ce sont William et Caroline Herschel qui comprennent dans les années 1780 leur nature d'amas d'étoiles, qu'ils nomment « globulaires » car de forme ronde. On en connaît aujourd'hui environ deux cents dans la Voie lactée, notre galaxie. Certains sont même observables à l'œil nu, à l'instar d'Oméga du Centaure dans l'hémisphère Sud, ou à l'aide de simples jumelles, comme l'amas d'Hercule dans l'hémisphère Nord. La majorité des amas globulaires de la Voie lactée sont situés dans son halo, cette région sphérique qui enveloppe le disque galactique.

Ils contiennent beaucoup plus d'étoiles que leurs petits cousins les amas ouverts, dont les célèbres Pléiades font partie. Ces derniers sont en général détruits en quelques centaines de millions d'années par les contraintes gravitationnelles de la Galaxie. Mais les amas globulaires, avec leurs centaines de milliers d'étoiles, sont aussi beaucoup plus denses. Dans leur cœur, on trouve en moyenne une centaine d'étoiles par année-lumière cube. C'est 10 000 fois plus dense que le voisinage du Soleil. Fortement liés par la gravité, ils résistent mieux aux contraintes extérieures et au temps. Tous les amas globulaires connus dans la Voie lactée ont ainsi entre 8 et 13 milliards d'années. De véritables fossiles cosmiques.

Populations multiples

On a longtemps pensé que les amas globulaires étaient des populations d'étoiles simples, nées toutes en même temps. À cause de leur densité, *« la moindre supernova est susceptible d'y souffler tous les gaz et de mettre fin à la formation d'étoiles »*, explique Piercarlo Bonifacio, de l'observatoire de Paris. Les étoiles les plus massives, celles qui finissent leur vie dans ces gigantesques explosions appelées supernovas, ont une espérance de vie particulièrement courte, quelques dizaines de millions d'années tout au plus. Les amas globulaires étaient donc considérés comme des ensembles d'étoiles d'une seule génération, nées en



Le courant d'étoiles C19 a été repéré dans le halo de notre galaxie, la Voie lactée (vue d'artiste). Est-il le vestige d'une population d'amas globulaires aujourd'hui disparue ? © Gemini Obs./NOIRLab/NSF/Aura

L'analyse de certaines étoiles suggère une évolution plus complexe que prévu

quelques millions d'années seulement, avant la mort de la plus massive d'entre elles. Ils ont servi ainsi de laboratoires d'évolution stellaire pour comparer le destin d'étoiles de même âge, dont seule la masse diffère.

Mais dans les années 2000, les observations du télescope spatial Hubble bouleversent cette vision. La cartographie de la température et de la masse des étoiles au sein des amas montre qu'il y existe en réalité plusieurs schémas d'évolution. Des mesures de composition chimique établissent également qu'une partie des étoiles des amas globulaires ont des concentrations anormales de certains éléments, notamment d'hélium ou d'azote. Ce nouvel état de fait implique que ces astres sont nés dans un environnement déjà transformé par des étoiles préexistantes.

Deuxième génération

« C'est un changement de perspective radical, estime Piercarlo Bonifacio. *Les amas globulaires se sont révélés beaucoup plus complexes que ce que l'on imaginait. »* L'explication précise de ces populations multiples n'est pas connue. *« Comme les âges des étoiles de composition différente sont souvent semblables, il faut un mécanisme pour enrichir très rapidement les populations de seconde génération*, éclaire Ariane Lançon, astrophysicienne à l'observatoire de Strasbourg. *C'est très difficile et les scénarios que nous concevons sont tous a priori un peu tirés par les cheveux. »* La plupart de ces scénarios impliquent des étoiles très massives qui auraient enrichi le gaz des amas de leur propre matière via de puissants vents stellaires. *« Certaines étoiles de seconde génération sont très riches en hélium*, détaille Piercarlo Bonifacio. *On passe de 24 % à 38 % de leur masse. Cette deuxième génération est donc en grande partie formée à partir d'éjectas. »*

Plus étrange encore, une poignée d'amas très massifs semblent avoir des générations d'étoiles qui s'étalent sur plusieurs milliards d'années. C'est par exemple le cas d'Oméga du Centaure, ou de Terzan 5, dans la constellation du Sagittaire. Leur histoire semble bien différente des amas globulaires classiques. Ils pourraient même ne pas être des amas globulaires du tout, mais plutôt l'ancien cœur de galaxies naines absorbées par la Voie lactée.

Notre galaxie est accompagnée d'une cinquantaine de petites galaxies satellites et a fusionné avec un certain nombre au cours de son évolution. La galaxie naine du Sagittaire est d'ailleurs, en ce moment même, en train d'être absorbée par la Voie lactée. Découverte dans les années 1990, elle laisse le long de son orbite une longue traînée d'étoiles arrachées. Le Sagittaire abrite quatre amas globulaires, mais les astronomes en ont découvert dix autres le long de son courant stellaire, à jamais séparés de leur lieu de formation. *« C'est une des*

façons dont on a compris que les amas globulaires étaient un moyen de tracer l'histoire des fusions de la Voie lactée », précise Paola Di Matteo, de l'observatoire de Paris.

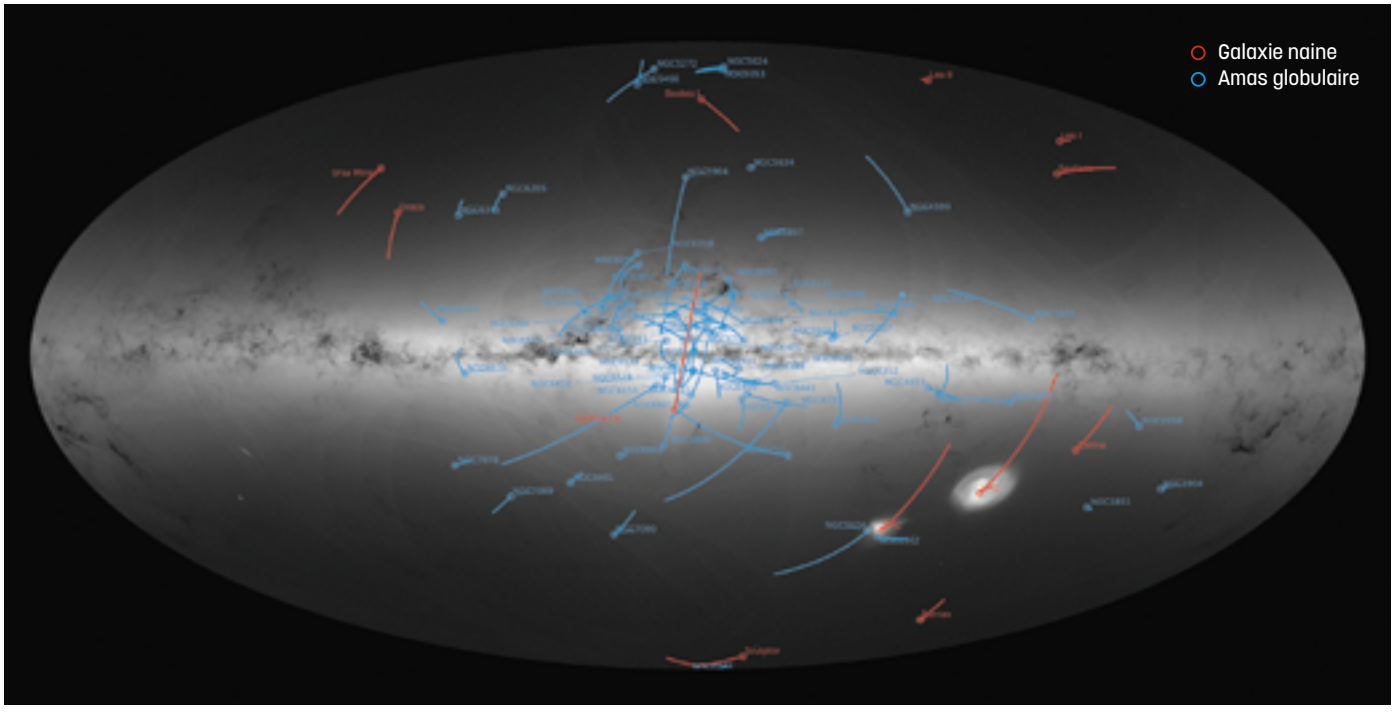
Traceurs de fusions galactiques

Quelle part des amas globulaires de la Voie lactée a été apportée par d'autres galaxies, aujourd'hui disparues ? La réponse se trouve peut-être dans les très riches relevés de la mission Gaia, qui a dévoilé en 2018 la position et la vitesse de plus d'un milliard d'étoiles dans notre galaxie. Ces données aident à reconstruire les orbites des amas globulaires, qui sont toujours en partie liés à leur lieu de naissance.

En 2019, une équipe de l'université de Groningue (Pays-Bas) a estimé que deux tiers des amas globulaires de notre galaxie s'étaient formés ailleurs, et a associé ceux-ci à des évènements de fusion galactique déjà connus. Cette classification a permis, un an plus tard, à l'équipe de Diederik Kruijssen (université d'Heidelberg) de fournir une estimation des âges de cinq fusions majeures de la Voie lactée, dont la plus ancienne remonterait à 13 milliards d'années. *« Ce sont des outils qui sont encore en train de naître*, tempère Paola Di Matteo. *Il nous reste à comprendre à quel point ils sont robustes. »* L'astrophysicienne dresse, elle aussi, des sous-populations d'amas globulaires formés en dehors de notre galaxie, mais en se basant sur des signatures chimiques.

« Gaia est une véritable révolution, comme on n'en vit qu'une fois dans sa carrière », se réjouit pour sa part Nicolas Martin, de l'observatoire de Strasbourg. Avec ses collègues, il a découvert une centaine de nouveaux courants stellaires autour de la Voie lactée, alors qu'on en connaissait jusqu'ici une dizaine seulement. *« On pense qu'ils sont d'anciens amas globulaires*, explique-t-il. *Ils auraient été détruits lors d'épisodes de fusion, en passant trop près de la Voie lactée. »* Parmi ces fossiles, le courant nommé C19 a particulièrement attiré l'attention. Plus pauvre en métaux [éléments chimiques autres que l'hydrogène et l'hélium, NDLR] que n'importe quel autre amas globulaire de la Voie lactée, il constitue une énigme et une fenêtre potentielle sur d'anciennes populations d'amas globulaires aujourd'hui disparus.

L'archéologie galactique ne s'arrête pas aux portes de la Voie lactée. On trouve aujourd'hui des courants stellaires et des amas partout dans l'Univers proche. On connaît par exemple 300 amas globulaires dans notre voisine, la galaxie d'Andromède M 31, et plus de 10 000 habiteraient M 87, une galaxie supergéante au centre de l'amas de galaxies de la Vierge. *« Les populations d'amas globulaires de ces galaxies éclairent leur évolution et leurs conditions de formation*, souligne Ariane Lançon. *Leur nombre varie beaucoup, en particulier parmi les galaxies naines pour lesquelles on ne comprend pas bien les mécanismes*



Le satellite Gaia a permis de recenser les amas globulaires et les galaxies naines proches. Ses données aideront à déceler une parenté entre ces structures stellaires.
© ESA/Gaia/DPAC



Le « Sparkler », débusqué grâce à un effet de lentille gravitationnelle (carrés jaunes), intrigue les astronomes. Cette galaxie lointaine semble connaître une seconde vague de formation d'étoiles au sein de ses amas globulaires.
© Nasa/ESA/CSA/STScI

sous-jacents. » Le télescope spatial européen Euclid, encore au début de sa campagne d'observation, devrait transformer ce domaine de recherche dans les années à venir. D'ici à 2031, il recensera les amas globulaires de l'Univers proche sur un tiers du ciel.

Des conditions disparues ?

Malgré ces découvertes, la question de la naissance des amas globulaires reste nimbée de mystères. La majorité d'entre eux s'est formée il y a plus de 10 milliards d'années, et aucun n'est plus jeune que 8 milliards d'années. *« On ne sait pas précisément quels environnements auraient pu les produire*, avoue Pierre-Alain Duc. *Nous n'avons certainement plus dans l'Univers proche les conditions pour les former en masse. »* Il faut concentrer énormément de matière au même endroit pour obtenir des groupes d'étoiles aussi denses. *« Les galaxies les plus anciennes étaient constituées de 50 à 70 % de gaz contre 10 à 20 % aujourd'hui »*, indique le chercheur.

Il pourrait cependant persister dans l'Univers local certains mécanismes pour les former. *« Quand deux galaxies sont en train de fusionner, comme dans les galaxies des Antennes par exemple, on voit des superamas stellaires en formation »*, explique Pierre-Alain Duc. Ces amas très massifs sont encore plus denses que les amas globulaires. *« Dans l'Univers proche, ils sont ce qui ressemble le plus à des progéniteurs d'amas globulaires. Mais rien ne dit s'ils vont en effet évoluer en ce sens »*, précise-t-il. Car les astronomes suspectent une très forte mortalité infantile. Contrairement aux galaxies naines, qui leur sont parfois comparables en termes de nombre d'étoiles, les amas globulaires sont dépourvus de matière noire, cette masse invisible qui cimente la structure des galaxies (lire p. 56). *« Leur cohésion ne tient qu'à la gravité de leurs étoiles »*, détaille le chercheur. Beaucoup ne survivraient pas à la perte précoce de leur contenu en gaz.

Le télescope spatial James Webb (JWST) pourrait être la clé. Comme la lumière met un certain temps pour nous parvenir, plus on regarde loin dans l'Univers, et plus les structures que l'on observe apparaissent telles qu'elles étaient dans le passé. Une de ses toutes premières images dévoilées en

La question de la naissance des amas globulaires reste nimbée de mystères

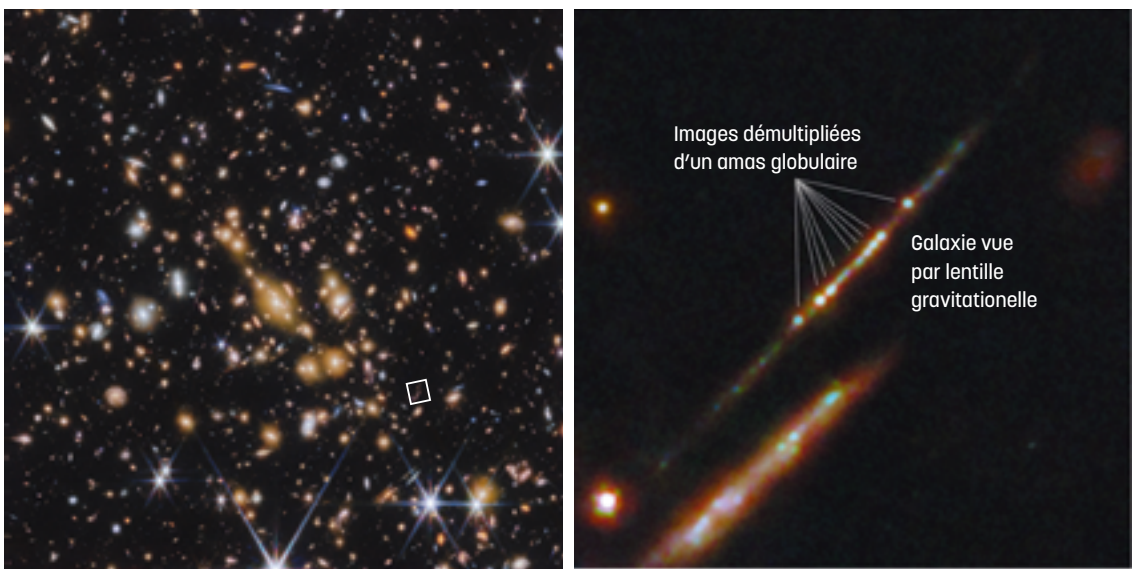


juillet 2022 comportait une galaxie, le « Sparkler » (cierge magique en français), affublée d'un cortège d'amas globulaires. Et cette galaxie nous apparaît telle qu'elle était il y a 9 milliards d'années. *« Dès la première semaine, on a compris que le JWST allait nous montrer les tout premiers amas stellaires de l'Univers »*, se souvient Adélaïde Claessens, du centre de recherche astrophysique de Lyon.

Révolutions discrètes

Et ça n'a pas manqué. En 2024, elle et ses collègues ont débusqué un chapelet d'amas stellaires en formation dans une galaxie très lointaine, l'Arc des joyaux cosmiques, qui nous apparaît tel qu'elle était à peine 500 millions d'années après le big bang. *« Ce sont des amas très jeunes*, décrit Adélaïde Claessens. *À cette distance, on ne connaît que leur masse et leur taille, mais leur densité est comparable à celle des superamas stellaires de l'Univers local. »* En d'autres mots, ce sont de bons candidats pour être les ancêtres des amas globulaires que l'on connaît à présent. On a recensé aujourd'hui 218 spécimens d'amas stellaires dans l'Univers lointain, ce qui *« est encore très peu »* : l'heure est encore à la collecte statistique.

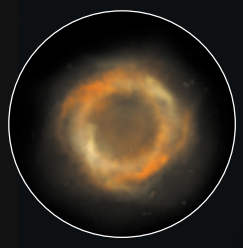
« Ce sont des révolutions discrètes, résume Nicolas Martin. *La compréhension de la formation des galaxies et des étoiles est en train d'être révolutionnée par petites touches. »* On commence maintenant à utiliser les amas globulaires pour étudier la matière noire ou pour trouver des trous noirs de masse intermédiaire. Les champs de recherche pullulent actuellement sur ces objets qui apportent autant de réponses qu'ils posent de questions. Les amas globulaires commencent tout juste à nous révéler leurs secrets.



Cet arc très allongé est une galaxie lointaine dont l'image est déformée par l'effet de lentille gravitationnelle qui nous permet de l'observer malgré sa distance. Elle se situe dans un Univers âgé de seulement 460 millions d'années, au lieu de 13,8 aujourd'hui. Et l'on y voit un amas globulaire très actif. Un cliché obtenu par le JWST. © Nasa/ESA/CSA

CENT MILLE ÉTOILES DANS UN MOUCHOIR

M15 est l'un des plus beaux spécimens d'amas globulaire connus, avec une accumulation d'étoiles agglutinées dans une sphère de 175 années-lumière et, peut-être, un trou noir en son centre.



NÉBULEUSE PLANÉTAIRE PEASE 1
Aussi appelée Kutsner 648, elle est formée par une étoile de 0,8 à 8 masses solaires qui s'est effondrée en naine blanche. Une structure rare dans un amas globulaire (seulement trois autres cas connus) en raison d'une très courte durée de dilution dans l'espace (quelques milliers d'années) devant l'âge des amas globulaires.



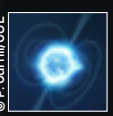
© F. Alves/CSE

ÉTOILES DE LA SÉQUENCE PRINCIPALE
Étoiles de moins de 0,8 masse solaire. Plutôt rouges et vieilles, et de faible métallicité (peu d'éléments autres que l'hydrogène ou l'hélium).



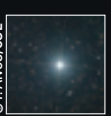
© E. Beaudoin/CSE

GÉANTES ROUGES
Étoiles en fin de vie qui ont entamé la fusion de l'hélium situé en leur centre et dont l'enveloppe d'hydrogène a gonflé démesurément.



© P. Carrill/CSE

ÉTOILES À NEUTRONS
Très difficiles à détecter, présentes surtout vers le centre à cause de leur masse. Parmi elles, quelques pulsars (dont le rayonnement radio pointe vers la Terre).



© F. Alves/CSE

ÉTOILES VARIABLES RR LYRAE
Elles sont une centaine. La période de leur luminosité apparente est corrélée à leur luminosité absolue. Elles peuvent ainsi servir à mesurer la distance de l'amas.

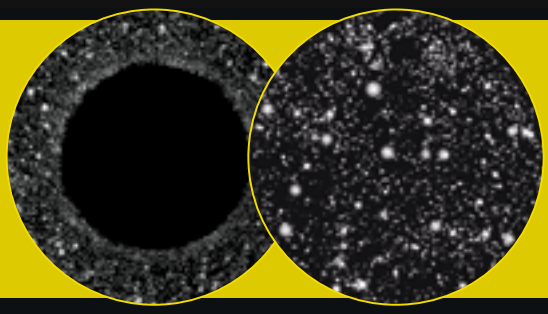


© Nasa

NAINES BLANCHES
Résidus de cœurs d'étoiles mortes qui ont dépassé le stade de géante rouge et de nébuleuse planétaire.

UN TROU NOIR AU CENTRE ?

Les scientifiques avancent que le centre de M 15 est occupé par un trou noir de plusieurs milliers de masses solaires. L'extrême concentration d'étoiles à cet endroit le laisse penser. Mais aucune observation ne permet de confirmer l'existence de ce trou noir.



OU UNE FORTE DENSITÉ ?

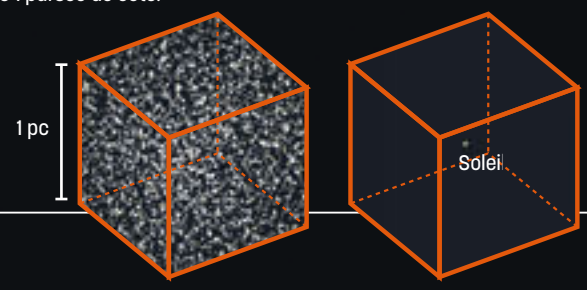
L'autre manière de décrire le centre de M 15 est de le considérer comme une concentration très forte d'étoiles. Ces dernières seraient très proches les unes des autres et seraient liées par la gravitation. Cette idée est également compatible avec les observations.

DENSITÉS COMPARÉES

Pour visualiser la densité d'étoiles au cœur de l'amas M 15, il est amusant de la comparer à celle autour du Soleil.

Densité d'étoiles au cœur de M 15 : plus de 10 000 masses solaires dans un cube de 1 parsec de côté.

Densité d'étoiles au voisinage du Soleil : aucune étoile à moins de 1 pc.



1 parsec (pc) = 3,26 années-lumière

UNE BULLE D'AMAS AUTOUR DE LA VOIE LACTÉE

Notre galaxie possède 160 amas globulaires. Quelques-uns sont dans son disque, le reste évoluant dans le halo qui englobe la Voie lactée. La moitié de ceux-ci se trouvent à moins de 15 000 années-lumière du centre galactique





© J. Schedler/CDE

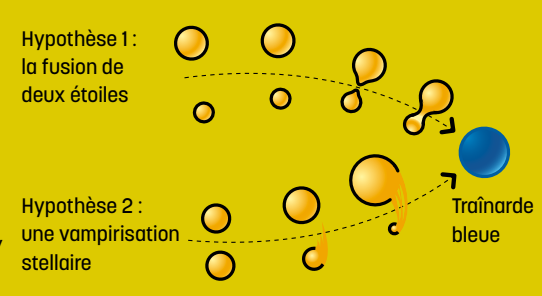
ÉTOILES DOUBLES

Nombreuses à cause de la forte densité stellaire au sein de l'amas. Parmi elles, quelques étoiles binaires X, où une étoile à neutrons vampirise une étoile de la séquence principale, attirant sa matière qui chauffe et rayonne dans les rayons X.



TRAÎNARDES BLEUES

M 15 possède quelques dizaines de traînardes bleues, surtout vers le centre. Il s'agit d'étoiles âgées (géantes rouges) qui ont pu relancer leur fusion de l'hydrogène en récupérant du combustible neuf (voir hypothèses ci-contre). Du coup, elles semblent jeunes (bleues).



Illustrations d'Antoine Dagan pour Ciel & Espace

ET AU MILIEU POUSSE UN TROU NOIR

Les amas globulaires détiendraient-ils une pièce du puzzle de la formation des premiers trous noirs supermassifs ? Une recherche qui s'effectue à tâtons.

Myriam Détruy

Fouiller le passé de l'Univers comme on sonderait les couches d'un sol ancien, c'est possible grâce aux amas globulaires. Derrière leurs rideaux d'étoiles multimilliardaires en années se dissimule peut-être une clé essentielle des mystères astrophysiques : celle de la naissance des premiers trous noirs supermassifs. Ceux-là mêmes qui occupent le centre de la plupart des galaxies. L'idée a été émise il y a une trentaine d'années et, depuis, observations, calculs et simulations semblent indiquer que des trous noirs de masse intermédiaire [de quelque milliers de masses solaires, NDLR], précurseurs de puits gravitationnels géants, pourraient exister au cœur de ces objets.

Le scénario est simple, selon Dominik Schleicher, professeur à l'université La Sapienza de Rome : *« Les amas globulaires sont des environnements très denses et très massifs, donc le réservoir de matière est suffisant et les collisions sont favorisées par la densité d'étoiles. Cette combinaison engendre une évolution sur*



Les amas globulaires sont une piste pour expliquer la formation des trous noirs (ici, une vue d'artiste). © Nasa

une échelle de temps relativement courte, renforcée par le fait que les amas globulaires évoluent eux aussi. Ils subissent un effondrement gravitationnel de leur cœur, au cours duquel la région centrale devient beaucoup plus dense. Le temps de collision y est encore plus bref et peut se réduire à quelques millions d'années, peut-être jusqu'à une dizaine de millions d'années. »

Le chercheur tient pour nouvelles preuves des observations d'amas réalisées par le télescope spatial James Webb (JWST). Il s'est intéressé non pas aux vieux amas globulaires, qui ont perdu une grande partie de leur matière initiale, mais à de jeunes amas d'étoiles très lointains et très massifs. Avec son équipe, il a démontré que les amas les plus compacts pouvaient, dans certaines conditions, produire des trous noirs allant de 1000 à 10 millions de masses solaires, donc de type intermédiaire à supermassif. Dans certains amas très riches en gaz, l'étape de collisions stellaires n'aurait même pas lieu, car l'influence gravitationnelle serait telle qu'elle provoquerait la formation directe d'un trou noir supermassif.

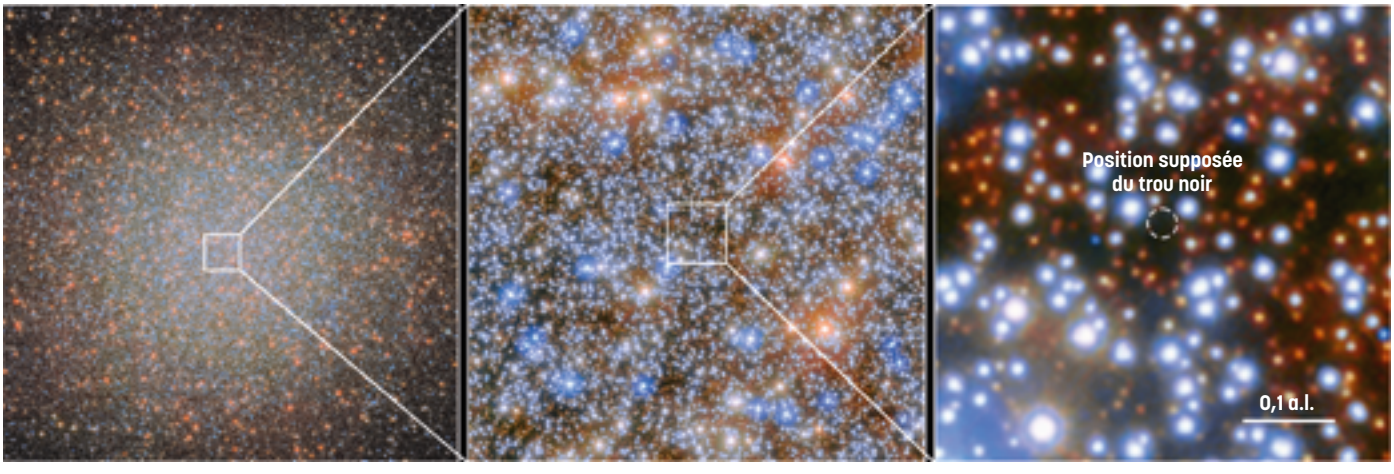
Mystérieux petits points rouges

De lointains cousins des amas globulaires, très jeunes, très compacts, très brillants et très massifs feraient également arriver directement à un trou noir supermassif sans passer par la case intermédiaire. Découverts dans les données infrarouges du JWST, les Little Red Dots sont de nouveaux venus dans le zoo cosmique qui pourraient apporter des éléments à l'enquête. *« On ne connaît pas leur nature exacte,* commente Dominik Schleicher. *Il pourrait s'agir de galaxies poussiéreuses en pleine formation stellaire, et donc d'environnements où des collisions peuvent favoriser la naissance de trous noirs. D'autres interprétations suggèrent que ce sont des noyaux galactiques actifs, donc des objets abritant un trou noir massif en train d'accréter de la matière. D'autres modèles encore évoquent des étoiles supermassives appelées "étoiles trous noirs", qui font penser à des trous noirs enveloppés de gaz. Le débat n'est pas encore tranché, mais il est clair qu'une grande partie des scénarios proposés pour ces objets sont liés d'une manière ou d'une autre à la formation des trous noirs massifs. »* Cette recherche relègue-t-elle les trous noirs intermédiaires des amas globulaires au rang de grandes raretés ?

L'affaire n'est pas entendue. Pour créer des trous noirs intermédiaires, il faut deux ingrédients principaux : des étoiles très massives ou des trous noirs stellaires issus de leur explosion en supernova, et une proximité suffisante capable de provoquer un emballement gravitationnel. Le centre des amas globulaires semble donc un endroit idéal. *« Si des trous noirs de masse stellaire y fusionnent de façon hiérarchique, le trou noir de masse intermédiaire se construit par étapes*, précise

OMÉGA DU CENTAURE, AMAS DE DÉCOUVERTES

Avec ses 10 millions d'étoiles, l'amas Oméga Centauri devait forcément abriter des trous noirs de masse stellaire, vestiges d'étoiles massives. Le premier d'entre eux a été détecté grâce aux télescopes Hubble et James Webb. Sa masse est 4,5 fois celle du Soleil et il orbite en 94 ans autour d'une étoile. On estime que l'amas globulaire pourrait en contenir plus de dix mille.



Oméga du Centaure se trouve à 17 000 années-lumière de nous. La course très rapide de sept de ses étoiles suggère la présence en son sein d'un trou noir de 8 200 masses solaires. © ESA/Hubble & Nasa, M. Häberle

Certaines étoiles très massives au centre des amas pourraient s'effondrer en trou noir

Maximilian Häberle, astrophysicien à l'Observatoire européen austral (ESO). *Si des étoiles très massives s'y dirigent, cette formation se passe sur une échelle de temps plus courte, car ces étoiles vivent relativement peu longtemps. Elles peuvent alors former une étoile encore plus massive, pouvant atteindre plusieurs milliers, voire plusieurs dizaines de milliers de masses solaires. Des simulations récentes suivent l'évolution de tels objets au centre des amas et montrent qu'ils pourraient ensuite s'effondrer en trou noir.* » Un paramètre supplémentaire joue un rôle crucial : la proportion d'éléments lourds contenus dans les étoiles. Si cette *métallicité* est élevée, les étoiles massives sont déplumées par des vents stellaires très puissants qui réduisent alors les chances de former un trou noir de masse intermédiaire.

Un catalogue de 1,4 million d'étoiles

Pour vérifier cette théorie, Maximilian Häberle s'est attelé à une tâche monumentale : analyser le mouvement de 1,4 million d'étoiles parmi les quelque 10 millions que contient Omega Centauri, l'amas le plus massif de la Voie lactée. L'histoire de cet objet, situé à 17 700 années-lumière de la Terre, est complexe : ses populations stellaires ne sont pas homogènes et leur composition chimique est très variée. En raison de ces particularités, des astronomes pensent qu'il s'agit en réalité du noyau dépouillé d'une galaxie naine avalée par la Voie lactée. *« C'est une idée qui rend encore plus plausible la présence d'un trou noir de masse intermédiaire »*, défend Maximilian Häberle. Présentée pour la première fois en 2008, cette hypothèse a suscité des controverses, certains travaux proposant des explications alternatives, jusqu'à ce que le chercheur et son équipe tranchent le débat.

Omega Centauri a servi de champ de calibration pour l'une des caméras du télescope Hubble. Grâce à ces images, les scientifiques ont constitué un catalogue très précis des mouvements stellaires dans l'amas globulaire. Sept étoiles au cœur de l'amas ont tout de suite attiré leur attention ; elles se déplacent plus vite que prévu. Cela ne peut être une coïncidence, selon Maximilian Häberle : *« Il doit exister une masse suffisamment importante pour augmenter localement la vitesse et maintenir ces étoiles liées à l'amas. Nous avons calculé la masse minimale nécessaire pour les retenir, et nous avons obtenu une valeur de 8 200 masses solaires. Le seul astre capable de concentrer autant de masse dans un volume aussi réduit serait donc un trou noir de masse intermédiaire. »*

Selon lui, ce trou noir serait né avant que la Voie lactée n'absorbe la galaxie naine il y a 10 milliards d'années. La formation d'étoiles massives aurait alors cessé, empêchant le trou noir de continuer à croître en l'absence de nouveau « carburant ». Mais s'agit-il de l'unique scénario possible pour les amas globulaires ? *« La question reste ouverte,* répond Maximilian Häberle. *Nous aimerions savoir si les amas globulaires "classiques", avec une seule métallicité et non issus d'un noyau galactique, abritent eux aussi un trou noir central massif. Nous essayons d'appliquer aux autres amas globulaires les mêmes techniques que celles utilisées pour Oméga Centauri. Le défi, c'est que ces amas sont moins massifs, donc leurs trous noirs potentiels le seraient également. Les signatures observationnelles sont par conséquent plus faibles et plus difficiles à détecter. »*



Un trou noir ne peut grandir que s'il trouve du gaz à accréter, explique Dominik Schleicher. C'est le point faible des régions périphériques de la Voie lactée, où résident en général les amas globulaires. DR

Une question d'environnement

Parmi les cibles figure M 54, qui pourrait être lui aussi l'ancien cœur d'une galaxie naine aujourd'hui absorbée par le Sagittaire. Une histoire qui rappellerait celle d'Oméga Centauri. Autre objet très surveillé : 47 Tucanae, au centre duquel la présence d'un trou noir de masse intermédiaire alimente depuis longtemps le débat. Des études suggèrent qu'il n'y en aurait probablement pas, ou seulement un objet de très faible masse. Mais la détection récente d'un rayonnement radio assez intense venant du cœur même de l'amas maintient le doute. Ce qui en fait, plus que jamais, une cible passionnante.

Et si, de nouveau, cette rareté et cette difficulté à les observer étaient un signe que la formation des trous noirs se passe d'intermédiaire ? *« Le véritable*



47 du Toucan est l'un des amas suspectés d'accueillir un trou noir en son centre. Il est éloigné de 17 000 années-lumière et est photographié ici par le télescope Vista, au Chili. © ESO/M.-R. Cioni/ Vista Magellanic Cloud survey

enjeu, c'est surtout l'environnement des amas, explique Dominik Schleicher. *Un trou noir ne peut grandir que s'il trouve du gaz à accréter, et dans les amas globulaires typiques de la Voie lactée, situés souvent dans les régions périphériques de la galaxie, cette réserve de matière est faible. Leur croissance peut donc s'interrompre très tôt, non parce qu'ils n'existent pas, mais parce qu'ils n'ont tout simplement pas eu l'occasion de grossir.* »

En revanche, la situation change complètement quand un trou noir de ce type se forme plus près du centre d'une galaxie. Il y a alors davantage de gaz disponible, et donc de meilleures chances de le voir évoluer vers une masse beaucoup plus élevée. Autrement dit, la formation initiale compte, mais l'après-formation compte tout autant : tout dépend de l'endroit où se trouve le trou noir et de l'alimentation en gaz dont il bénéficie. Dans certaines galaxies, cette croissance peut se poursuivre, mais rien n'est automatique. On peut donc voir certains trous noirs intermédiaires dans les amas globulaires comme des « supermassifs ratés » : des objets qui auraient pu devenir beaucoup plus grands, mais dont l'évolution a été stoppée par manque de matière alentour. Les étudier aujourd'hui revient à observer des vestiges de trajectoires inachevées, et peut-être à mieux comprendre comment sont apparus les premiers trous noirs géants de l'Univers.

DES OUTILS POUR TRACER LA MATIÈRE NOIRE

En parcourant les galaxies, les amas globulaires interagissent avec la matière noire. L'observation de ces perturbations permet aux astronomes de traquer cette masse invisible pour mieux la connaître.

Stéphane Fay

La matière noire reste un grand mystère, on n'est même pas sûr qu'elle existe. Aussi, tout indice est bon à prendre pour repérer et comprendre la nature de cette masse invisible, détectable uniquement par ses effets gravitationnels. Dans cette quête, les amas globulaires, ces ensembles de quelques dizaines de milliers à quelques millions d'étoiles, sont littéralement des cadeaux du ciel. Dans leur voyage à travers les halos galactiques, ils ne manquent jamais d'interagir gravitationnellement avec la matière noire pour nous en apprendre toujours plus sur elle.

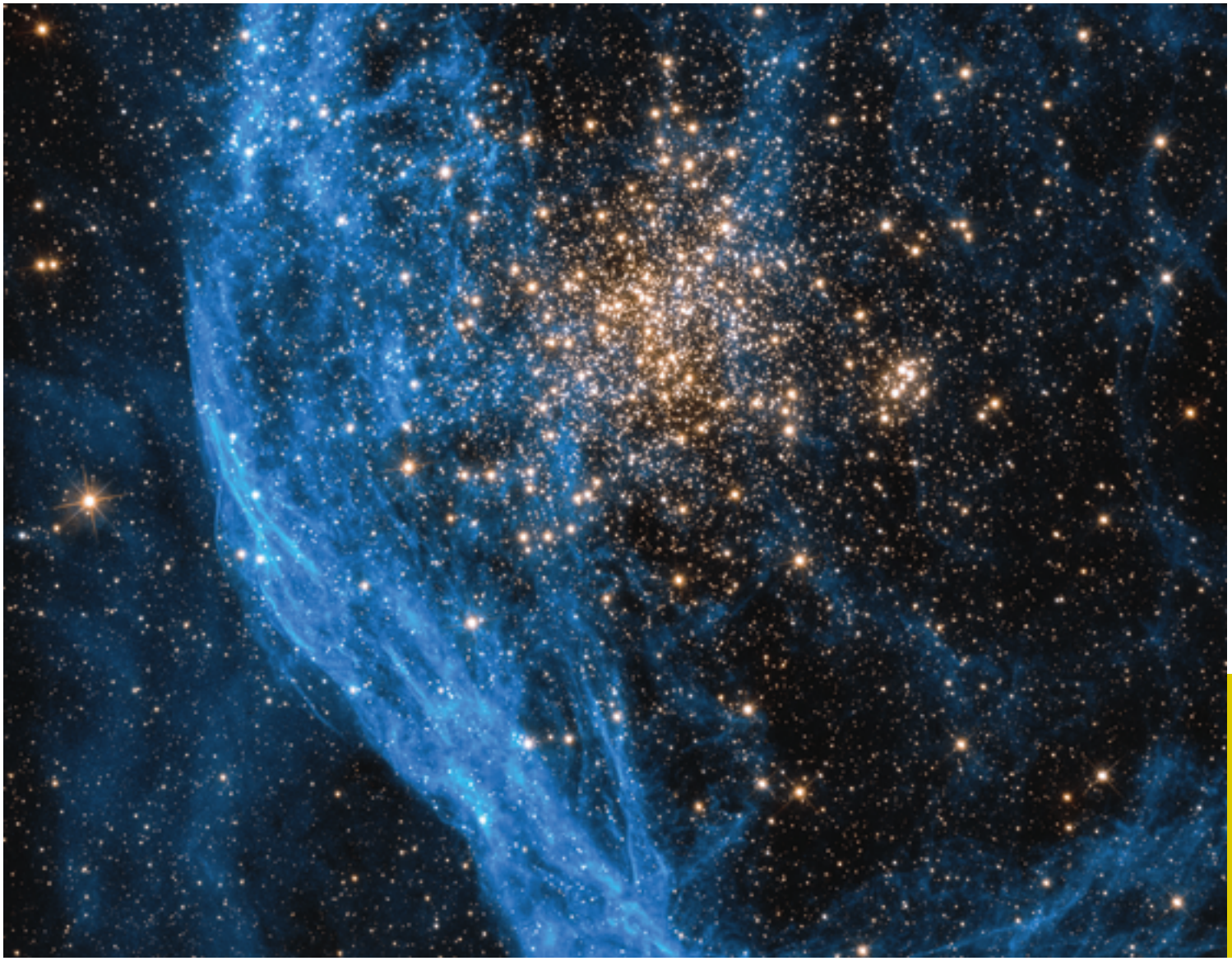
Paradoxalement, les amas globulaires en sont eux-mêmes dépourvus. Cela découle du fait qu'ils se sont formés à partir de gaz, et non de matière noire. *« Il y a environ 10 à 11 milliards d'années, au moment où la création des étoiles dans l'Univers atteignait son apogée, les disques galactiques riches en gaz étaient bien plus denses et soumis à des pressions bien plus élevées qu'aujourd'hui »*, décrit Diederik Kruijssen, du Cosmic Origins Of Life Research DAO. Sous de telles pressions, une part importante des étoiles se sont formées au sein d'amas massifs liés par la gravité, certains dépassant le million de masses solaires. *« La plupart de ces amas ont ensuite été rapidement détruits*, poursuit le chercheur. *Ceux ayant survécu — principalement les plus massifs en raison de leur attraction gravitationnelle plus forte — ont fini par quitter cet environnement destructeur, sous l'effet de fusions de galaxies ou d'arrachements par effet de marée subi au sein de leur galaxie hôte, pour rejoindre des halos galactiques plus calmes, où ils perdent lentement leurs étoiles depuis lors. »* Et nous servir désormais de sondes pour étudier de multiples manières la matière noire qui s'y trouve.



Les amas globulaires présents dans le halo de notre galaxie nous permettent d'étudier la matière noire qui s'y trouve, estime Diederik Kruijssen. DR

Premier indice : leur nombre

La première de ces manières est tout simplement leur nombre. *« Il existe une relation bien établie entre la quantité d'amas globulaires dans une galaxie et la masse de son halo de matière noire »*, indique Diederik Kruijssen. En général, la masse du halo est environ 10 000 fois supérieure à la masse totale des amas globulaires qu'il abrite. Elle découle de l'histoire de la formation des étoiles et de la croissance des galaxies par fusion. Ainsi, il y a d'autant plus de gaz dans une galaxie, et donc d'autant plus de formations d'amas globulaires qu'il y a de matière noire dans le halo. Une autre raison est que lors-



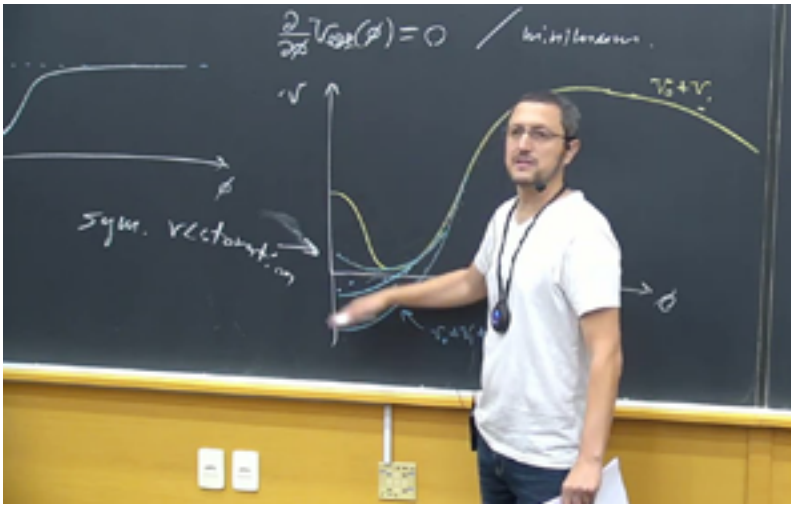
NGC 1850, dans le Grand Nuage de Magellan, est âgé de 100 millions d'années. Il est donc plutôt jeune pour un amas globulaire. Mais il possède aussi quelque 200 étoiles géantes rouges, des astres arrivés en fin de vie. Et ces voiles bleus peut-être la trace de surpernovas passées.
© Nasa/ESA/STSCI

qu'une galaxie gagne en masse en fusionnant avec une autre, elle possède alors à la fois davantage de matière noire et davantage d'amas globulaires. *« Ainsi, les amas globulaires nous aident à étudier la matière noire, non pas parce qu'ils en contiennent, mais parce qu'ils conservent l'histoire de l'assemblage des galaxies, dont les halos sont constitués de matière noire »*, note Diederik Kruijssen.

Leur distribution

Leur répartition dans une galaxie peut aussi constituer une preuve de l'existence de matière noire. À cause de cette dernière, les amas globulaires les plus massifs seraient plutôt au centre ! *« L'attraction gravitationnelle d'un amas modifie la répartition des étoiles et de la matière noire sur son chemin : ils forment une légère surdensité dans le sillage de l'amas »*, raconte Kfir Blum, de l'Institut des sciences Weizmann (Israël). En retour, cette surdensité exerce un effet gravitationnel sur l'amas en le tirant légèrement en arrière. *« Plus l'amas est massif, plus l'effet est grand, ce qui amène les amas massifs à ralentir plus que les autres et à plonger vers le centre de la galaxie hôte plus vite que les amas de faible masse »*, décrit Kfir Blum.

Ainsi, en présence d'un halo de matière noire, on assiste à une ségrégation de masse : les amas massifs et brillants ont tendance à se concentrer vers le centre de la galaxie, tandis que les amas moins massifs et moins lumineux continuent de peupler les régions périphériques. *« Nous pensons observer ce phénomène très clairement dans UDG1, une galaxie naine ultra-diffuse dominée par la matière noire et nous étendons à présent cette analyse à de nombreux autres systèmes »*, raconte le chercheur. Au contraire, on ne retrouve pas cet effet de ségrégation dans une galaxie très diffuse comme UDG-DF44, où la friction est faible.



L'attraction gravitationnelle d'un amas modifie la répartition des étoiles et de la matière noire sur son chemin. Un mécanisme étudié par Kfir Blum. DR

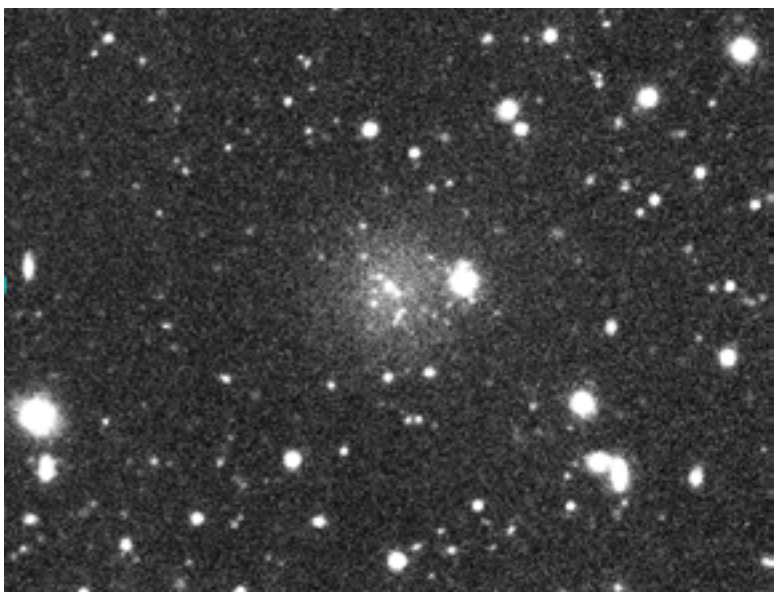
L'éclat de leurs géantes rouges

Une autre idée est d'utiliser les amas globulaires pour tester des propriétés de la matière noire, à savoir si elle pourrait être constituée de particules massives se désintégrant (les fameux wimps). Quand un amas globulaire traverse le halo de matière noire de notre galaxie, des particules de matière noire seraient attirées gravitationnellement par ses étoiles et finiraient par s'accumuler dans leur cœur. À tel point que le noyau de matière noire ainsi constitué en arrive à s'effondrer sous son poids et à déclencher la fusion de l'hélium. L'étoile devient alors une géante rouge. *« C'est très spéculatif »*, prévient Diederik Kruijssen. Conséquence : la luminosité maximale de la géante ainsi venue au monde sera inférieure à d'habitude, car le cœur de l'astre aura moins eu le temps d'accumuler de l'hélium. Ainsi, l'étude de la luminosité des géantes rouges des amas globulaires aide à placer des contraintes sur la capture et la désintégration de la matière noire. Et elles indiquent que si ces phénomènes se produisent, ce n'est que très rarement ! Une constatation déjà faite, entre autres, en observant le centre galactique où devrait se concentrer le plus de matière noire. Mais l'avantage des amas globulaires, c'est qu'ils permettent de contraindre la matière noire dans toute la galaxie, puisqu'ils y sont partout et pas seulement en un endroit précis.

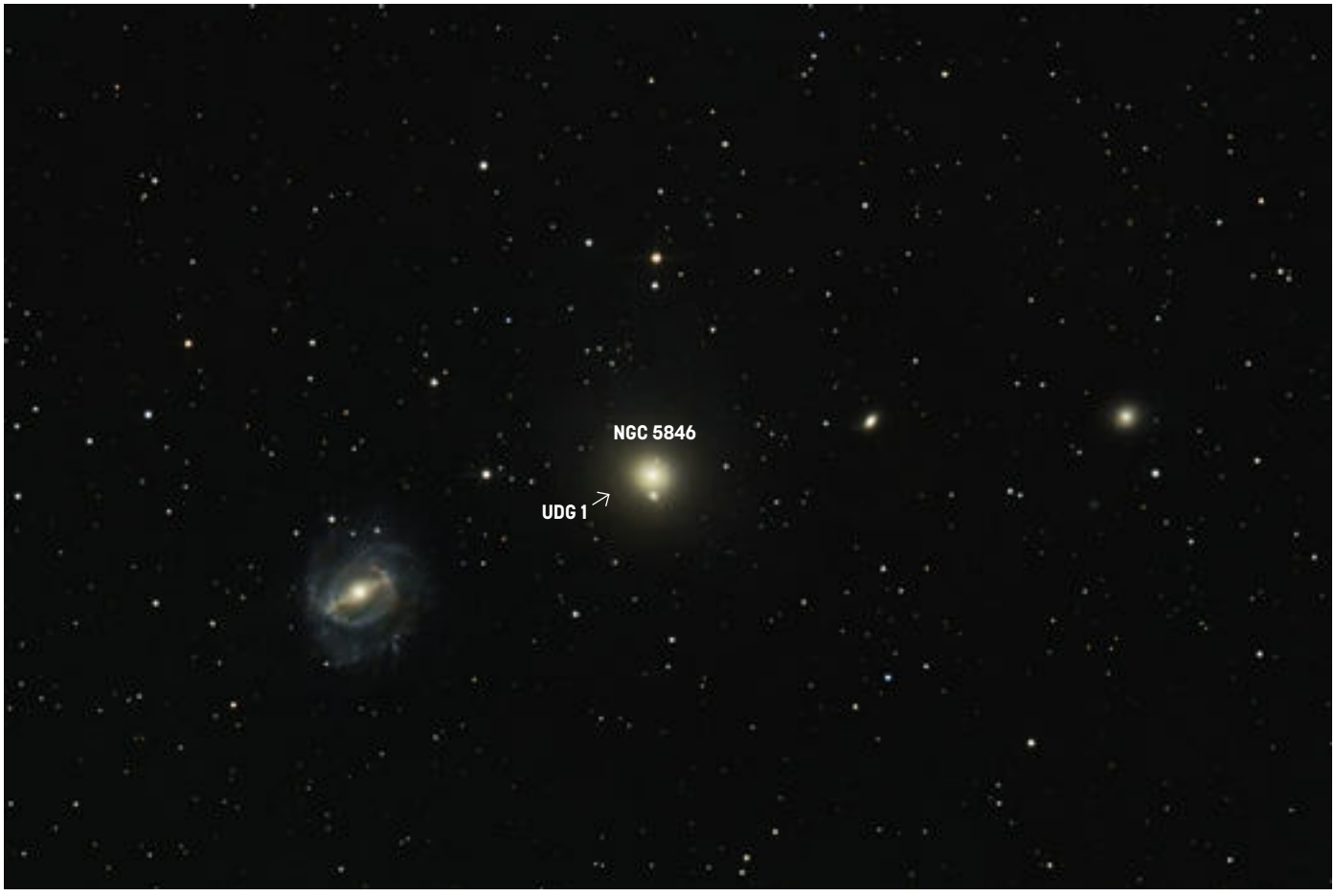
La dispersion de leurs étoiles

Les amas globulaires nous renseignent aussi sur la matière noire par la dispersion de leurs étoiles. En effet, lorsqu'ils voyagent à travers la galaxie, ils sont peu à peu détruits par ses effets de marée : d'objets compacts, ils deviennent de fins courants d'étoiles. Ces derniers sont alors très sensibles à la moindre perturbation gravitationnelle, comme celle d'une surdensité de matière noire qui les déformerait et permettrait ainsi de la détecter. Mais attention ! les amas globulaires peuvent aussi nous tromper, et ces déformations, ne rien avoir à faire avec ces surdensités, comme l'a découvert Arpit Arora, de l'université de Washington. *« Même sans ses surdensités, la galaxie elle-même peut laisser son empreinte sur ces courants d'étoiles*, avertit le chercheur. *Le champ gravitationnel d'une galaxie n'est pas parfaitement régulier ou sphérique. Il évolue au cours du temps avec la croissance de la galaxie et peut produire des formes complexes pour les courants stellaires des amas globulaires, comme l'ont montré nos simulations. »* C'est en particulier vrai pour les courants d'étoiles proches du centre galactique qui en font le tour plus vite que dans les régions externes et sont ainsi plus souvent soumis aux perturbations gravitationnelles des structures stellaires complexes qui s'y trouvent.

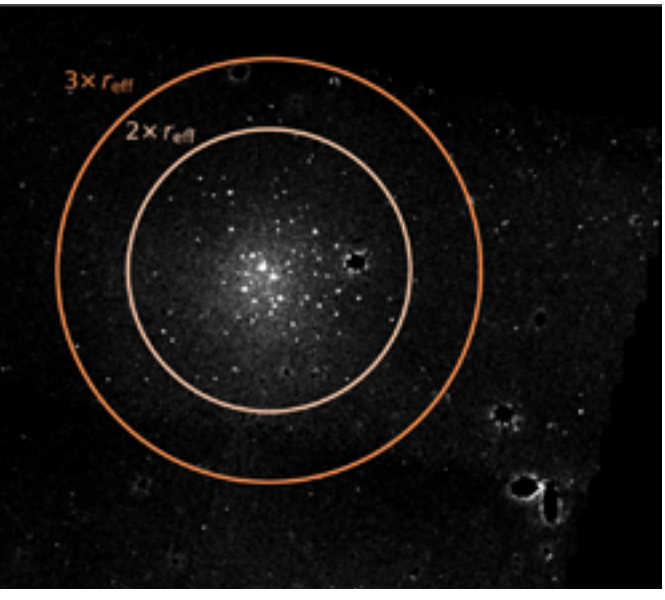
Si les amas globulaires peuvent nous renseigner sur la présence, la répartition ou la nature de la matière noire ou de ses surdensités, il faut donc aussi s'en méfier. Car leur interaction avec cette masse invisible est essentiellement gravitationnelle et bien d'autres choses que celle-ci peuvent interagir gravitationnellement avec les amas globulaires et nous faire prendre des vessies pour de la matière noire !

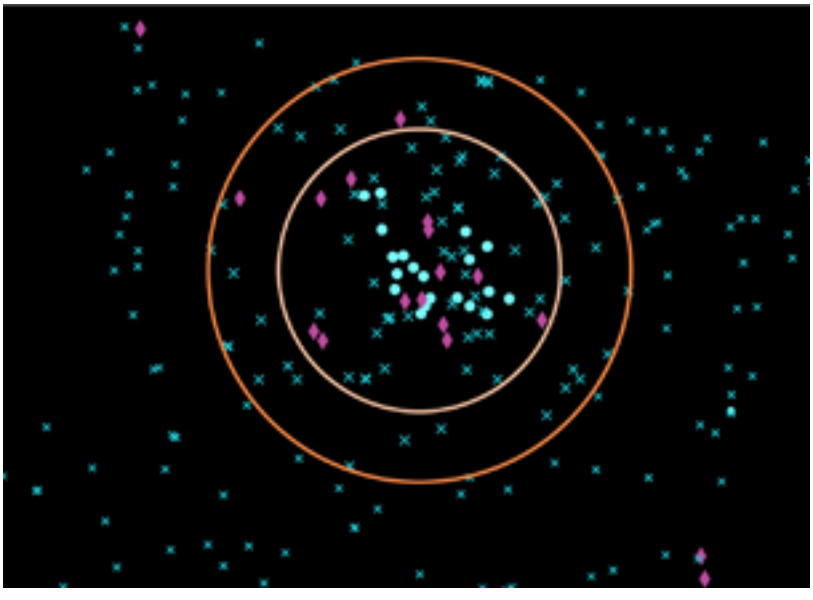






En présence d'un halo de matière noire, les amas massifs et brillants ont tendance à migrer vers le centre de leur galaxie, tandis que les autres demeurent dans les régions périphériques. Un phénomène observé chez UDG1, une galaxie naine ultradiffuse dominée par la matière noire. Ci-dessous, à gauche : UDG1 vue par le télescope Hubble. À droite, après analyse de l'image, les points turquoise indiquent les astres les plus brillants. © K. Quin et Nasa/HST/A&A/AAS





QUELS MONDES DANS LES RUCHES STELLAIRES ?

Les mini-galaxies que sont les amas globulaires contiennent-elles des planètes ? Malgré quelques obstacles théoriques, cela n'est pas totalement à exclure… Auquel cas le spectacle céleste depuis ces mondes serait sans commune mesure avec celui de la Terre.

Émilie Martin

Pas de planètes rocheuses comme la nôtre dans les amas globulaires, mais peut-être des géantes telle notre Jupiter. Le ciel vu depuis la surface d'une de ces planètes gazeuses doit être extraordinaire, vu la densité d'étoiles alentour (vue d'artiste). © O.Hodasava/CEE



16 novembre 1974 : avec l'immense antenne du radiotélescope d'Arecibo, un message conçu par Frank Drake et Carl Sagan, alors chantres de la traque des civilisations extraterrestres, est envoyé vers l'amas d'Hercule M 13. La cible n'est pas choisie au hasard. Les amas globulaires sont des regroupements très serrés d'étoiles dont le cœur contient environ 10 000 fois plus d'étoiles, à volume égal, que le voisinage solaire. Autant de soleils, et donc de planètes par année-lumière carrée ! Voilà qui, statistiquement, devrait augmenter les chances que la bouteille à la mer cosmique soit un jour ramassée. Bon calcul ? Pas sûr…

Les étoiles qui peuplent les amas globulaires sont probablement « stériles ». Car ceux-ci se sont formés il y a 10 à 12 milliards d'années. Soit bien avant que de multiples générations d'étoiles massives n'aient eu le temps de se succéder et, en explosant en supernovas au terme de leur existence fugace, de saupoudrer l'Univers d'éléments plus lourds que l'hydrogène et l'hélium : des « métaux ». Or, ces pépites, forgées au cœur de ces monstres stellaires, ne sont rien d'autre que les briques élémentaires des planètes. Dépourvues de ces précieuses semences, les étoiles des amas globulaires ont-elles été en mesure d'enfanter des mondes ? *« Quelques-unes des 6462 exoplanètes connues naviguent autour d'étoiles de faible métallicité*, répond Piercarlo Bonifacio, de l'observatoire de Paris. *Certes, il ne s'agit pas de planètes rocheuses, mais de grosses Jupiter. S'il semble donc difficile, voire impossible de façonner des planètes telluriques dans les amas globulaires, il est en théorie possible de former des planètes géantes gazeuses, surtout dans les moins pauvres d'entre eux en éléments lourds. »*

Ce n'est malheureusement pas le cas de M13 qui possède seulement 3 % de l'abondance en fer de notre Soleil. Il y a donc fort à parier qu'il ne regorge pas de planètes. Parmi les quelque 160 amas globulaires que compte la Voie lactée, 47 du Toucan est plus prometteur. Vingt fois plus peuplé en son cœur que ne l'est M13, il est également six fois plus riche en fer. Admettons qu'il abrite quelques planètes joviennes. Qu'adviendrait-il d'elles au milieu d'une telle foule stellaire ? Le centre de l'amas est si dense que seuls quelques milliers d'unités astronomiques [1UA égale la distance Terre-Soleil] séparent deux étoiles. Un écart mille fois moindre qu'entre le Soleil et Proxima du Centaure, notre première voisine. Difficile d'imaginer que des planètes puissent croître dans pareille cohue. Le disque de gaz et de poussière à partir duquel elles naissent serait érodé à chaque passage d'une étoile voisine.

Une multitude rouge orangé

La périphérie de l'amas est plus calme : comptez une bonne année-lumière entre deux étoiles. Des planètes géantes pourraient y voir le jour et y demeurer stables, à condition bien sûr de ne pas naviguer sur une orbite elliptique, qui les plongerait à intervalle régulier au milieu de la foule stellaire et finirait par les expulser de leur trajectoire. Campons donc un hypothétique Jupiter, sur une orbite circulaire dans les faubourgs de 47 du Toucan. À quoi ressemblerait le ciel de cette étrange planète ? *« Depuis cette position périphérique, on aurait suffisamment de recul pour contempler l'entièreté de 47 du Toucan »*, imagine Piercarlo Bonifacio. Composé d'un million d'étoiles dans une sphère de 120 années-lumière de diamètre, l'amas serait *« lumineux comme 30 fois la Pleine Lune*, estime-t-il. *Et d'une saisissante couleur rouge orangé. Les amas globulaires sont si anciens que les seules étoiles qui y subsistent encore aujourd'hui sont les plus durables. Celles qui, relativement petites et froides, brûlent si lentement leur carburant qu'elles peuvent vivre plusieurs dizaines de milliards d'années : les naines rouges. On y trouve aussi des astres de la trempe du Soleil, mais qui, arrivés au terme de leur existence, se sont changés en géantes rouges, de monstrueuses sphères rougeoyantes 30 à 200 fois plus volumineuses que le Soleil. »*

Toutes les étoiles géantes qui consument leurs réserves en à peine quelques millions d'années se sont éteintes depuis bien longtemps, transformées en étoiles à neutrons ou trous noirs, invisibles cadavres. Ce qui frapperait aussi, *« c'est la pureté de l'amas. Quand on observe la Voie lactée, on voit un mélange d'étoiles, de gaz et de poussière. Mais aujourd'hui, gaz et poussière ont depuis longtemps disparu dans les amas globulaires, engouffrés par les étoiles. Ces dernières apparaissent donc bien piquées. »* Autre joyau de ce ciel exotique : la Voie lactée, justement. *« Les amas globulaires sont situés en périphérie de notre galaxie*, rappelle Piercarlo Bonifacio. *Depuis cette planète, nous pourrions donc, en plus du feu d'artifice rouge d'un côté, admirer de l'autre la Voie lactée presque entière, avec ses bras spiraux. »* Même si les amas globulaires ne sont pas peuplés d'êtres pensants, leur visite doit valoir le détour.

Les amas globulaires sont si anciens que seules les étoiles naines rouges doivent y subsister encore

COMMENT LES AMAS GLOBULAIRES ONT DÉPLACÉ LE SOLEIL

En utilisant les amas globulaires comme autant de balises cosmiques, Harlow Shapley est le premier à montrer que notre étoile est loin du centre de la Galaxie.

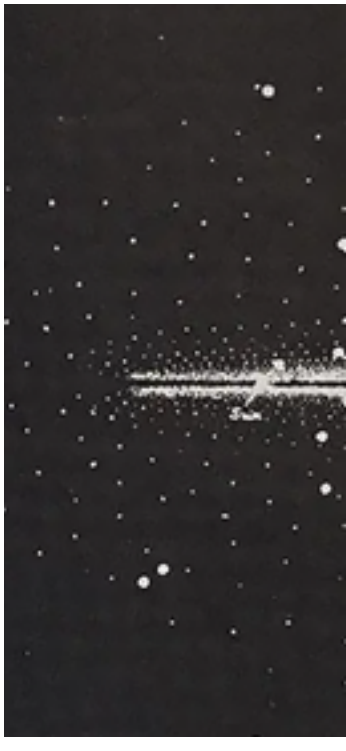
Adrien Denèle

Après la révolution copernicienne, une nouvelle question s'impose aux astronomes : si la Terre n'est plus au centre du Système solaire, où se trouve le Soleil dans l'immense Voie lactée ? En 1785, William Herschel tente d'y répondre en comptant les étoiles dans toutes les directions. Le savant britannique conclut que le Soleil se situe près du centre de notre galaxie, sans savoir qu'il lui manquait un élément crucial. *« Il ignorait complètement la poussière interstellaire*, explique Françoise Combes, astrophysicienne à l'observatoire de Paris et présidente de l'Académie des sciences. *Il pensait que les étoiles les plus faibles étaient simplement les plus éloignées. En réalité, la poussière nous masque une grande partie de la Voie lactée. »* Les astronomes du XIX[e] siècle ne voient donc pas les limites de la Galaxie, mais seulement jusqu'où leur regard peut porter à travers ce brouillard cosmique.

Contourner le brouillard

En 1918, le jeune astronome américain Harlow Shapley comprend qu'il faut contourner cet obstacle. Son intuition est de délaisser les étoiles du disque galactique pour étudier les amas globulaires, ces immenses sphères d'étoiles anciennes qui gravitent dans le halo de la Voie lactée, là où la pous-





sière est beaucoup moins présente. *« L'idée géniale de Shapley lui permet d'aller au-delà du plan galactique, là où il n'y a pratiquement plus de poussière »*, résume Françoise Combes. Pour mesurer la distance des amas, Shapley s'appuie sur la découverte d'une compatriote. Henrietta Swan Leavitt a montré en 1912 que la période de pulsation des étoiles variables dites céphéides est directement liée à leur luminosité. Ces étoiles deviennent des « chandelles standard ». *« C'était une révolution »*, souligne François Hammer, astrophysicien au CEA Paris-Saclay. *« Toute l'originalité de Shapley est d'avoir construit une véritable échelle de distances »*, selon Robert W. Smith, historien des sciences à l'université d'Alberta.

La carte qui en résulte révèle que les amas globulaires convergent vers la constellation du Sagittaire : le Soleil est donc décalé du centre de notre galaxie. Shapley surestime fortement les dimensions de la Galaxie (300 000 années-lumière, contre 105 000), notamment parce que la poussière atténue encore la lumière des étoiles. Mais, comme le rappelle François Hammer, *« ce qui compte, ce n'est pas tant la précision absolue des distances que la géométrie de leur répartition »*. Les chiffres sont imparfaits, mais la conclusion est juste. *« Les deux grands résultats de Shapley sont d'avoir montré que la Voie lactée était beaucoup plus vaste qu'on ne l'imaginait et que le Soleil était très éloigné de son centre »*, résume Robert W. Smith.



Shapley mesure la distance des amas globulaires dans le halo de la Voie lactée et note qu'ils englobent une région assez éloignée du Soleil. Notre étoile n'est donc pas au centre de la Galaxie (graphique ci-contre) et celle-ci est bien plus grande qu'on le pensait ! © Smithsonian Univ. et Linda Hall Library



La poussière nous masque le centre de notre galaxie. Difficile de déterminer la taille de cette dernière. Pour le faire, Harlow Shapley a alors une idée géniale, raconte l'astrophysicienne Françoise Combes. DR

Le « Great Debate » : Curtis *vs* Shapley

Mais en science, une question en amène une autre en général. Sommes-nous dans une seule et même gigantesque galaxie, comme l'affirme Harlow Shapley, ou y en a-t-il plusieurs, mais minuscules, comme le pense Heber Curtis ? C'est l'objet du célèbre « Grand Débat » de 1920 qui oppose les deux astronomes sur la question des dimensions de l'Univers. *« On l'appelle le* Great Debate, *mais ce n'était ni vraiment un grand débat… ni même un débat »*, sourit Robert W. Smith. Car les deux avaient en fait à la fois tort et raison, à une époque où les concepts de relativité, big bang et expansion de l'Univers naissaient à peine. Quelques années plus tard, Edwin Hubble montrera, grâce à la même méthode des céphéides, que la « nébuleuse » d'Andromède est bien une autre galaxie extérieure à la nôtre.

En moins d'une décennie, le Soleil quitte le centre de la Galaxie… puis la Galaxie cesse d'être l'Univers. Les amas globulaires n'ont pourtant pas fini de livrer leurs secrets. Aujourd'hui, ils ne servent plus à localiser le centre de la Voie lactée, mais à reconstituer son passé. *« Ce sont de véritables fossiles*, explique Françoise Combes. *Leur orbite, leur composition chimique et les courants d'étoiles qui s'en échappent permettent de retracer les anciennes collisions et fusions qui ont façonné notre galaxie. »* Les mêmes amas globulaires de Shapley continuent de nous aider à comprendre notre place dans le cosmos : non plus en dessinant la carte de la Voie lactée, mais en racontant son histoire.

VOYAGE VERS MARS : L'INTENDANCE SUIVRA-T-ELLE ?

Une mission habitée vers Mars nécessitera de surmonter d'énormes défis d'ingénierie. Elle imposera aux astronautes un isolement et un éloignement jamais vécus par quiconque. Mais le succès se jouera aussi en cuisine…

Florian Kappelsberger

Imaginez une serre futuriste équipée d'un bras manipulateur où les légumes seraient cultivés hors-sol par une intelligence artificielle. D'ici la fin de l'année, cet équipement sera installé dans Luna, le simulateur de surface lunaire géré par les agences spatiales allemande et européenne à Cologne. L'expérience Eden-Luna est dans le droit fil d'Eden-ISS qui s'est tenue en Antarctique de 2018 à 2022. Elle permettra de tester le traitement de l'urine pour en faire une solution nutritive. De semailles en récoltes, elle s'intégrera dans le quotidien des



Les agences spatiales testent des serres futuristes afin de nourrir un jour les astronautes dans une base lunaire ou même sur Mars.
© ESA/DLR/Eden-Luna

astronautes pendant les missions lunaires simulées. Un premier pas pour nourrir un équipage installé sur notre satellite naturel, qui pourrait préfigurer la façon dont s'alimenteront les premiers humains embarqués dans une mission autrement plus ambitieuse : le grand voyage vers Mars.

Quand on évoque une mission habitée vers la planète rouge, on parle souvent des problèmes posés par la fabrication sur place de carburant [1], les effets de l'isolement pendant une mission de deux à trois ans, la microgravité sur la condition physique… mais rarement de ce que les astronautes trouveront dans leur assiette. Pourtant, s'agissant de l'alimentation aussi, *« les missions de longue durée sont un défi »*, rappelle Sonja Brungs, l'ingénieure allemande responsable pour l'ESA de la nourriture spatiale des astronautes.

Cauchemar en cuisine

Pour la nourriture en route vers Mars, la Nasa a édicté des critères exigeants : les aliments devront être sûrs pour minimiser les risques d'intoxication alimentaire ; stables pendant au moins cinq ans ; ils devront être appétissants afin d'être consommés en quantité suffisante ; nutritifs afin de garantir la santé des astronautes ; économes en ressources pour les produire ; en même temps, ils devront être très variés ; et bien sûr ils devront pouvoir être préparés (on n'ose dire « cuisinés ») dans un environnement spatial. Un véritable casse-tête !

Par exemple, s'il existe plusieurs façons de rendre des aliments durables dans l'espace (lyophilisation, thermostabilisation…), toutes ne font pas des plats appétissants. *« Les conserves d'aujourd'hui sont durables pendant plusieurs années, mais elles perdent en goût et en valeur nutritionnelle avec le temps »*, souligne Sonja Brungs. Trouver le meilleur moyen de conserver les propriétés gustatives et nutritionnelles des aliments sur le long terme fait l'objet d'intenses recherches. À l'université A&M du Texas, Suresh Pillai expérimente ainsi la technologie des faisceaux d'électrons : plutôt que de chauffer les plats pour les stériliser, ce qui peut altérer leur texture, leur apparence et leur goût, il les bombarde de particules. Une technique qui semble garantir une conservation de quatre ans sans altération. Il vise désormais sept ans.



Faire pousser sur place des légumes frais est une alternative idéale à l'envoi couteux de nourriture sur une autre planète.
© ESA/DLR/Eden-Luna

L'ESA a expérimenté le pain d'épice comme emballage des aliments et amortir les vibrations au décollage

La durabilité des plats est d'autant plus importante que la Nasa envisage de prépositionner sur Mars la nourriture nécessaire aux humains, avant leur arrivée, par cargo automatique. Un scénario déjà envisagé pour le carburant de la fusée du retour, mais qui, s'agissant de la nourriture, pose un autre défi. Les préférences gustatives des astronautes sont variables d'un individu à l'autre, comme le montre une étude publiée à l'automne 2025 par une équipe américaine. Si bien que cette stratégie comporte un risque : vous avez expédié sur Mars 100 kg de bœuf bourguignon pour Pierre, mais c'est Paul qui part finalement et lui ne jure que par l'escalope normande. C'est le drame ! Cela pourrait prêter à sourire, mais c'est très sérieux : l'alimentation joue autant sur la santé physique des astronautes que sur leur bien-être mental, crucial pour le succès d'une telle mission. Et sur ce dernier point, l'équation est subtile. Dans l'expérience russe Mars 500, qui a simulé un vol aller-retour vers la planète rouge pendant 520 jours en 2010-2011, certains participants ont manifesté une certaine fatigue vis-à-vis du menu. Ils en sont même venus à se lasser de leur plat préféré…

Quand la faim justifie les moyens

Logistique compliquée, risque de monotonie… Ces inconvénients pourraient être minimisés par une production de nourriture *in situ*. Pendant les hivernages d'Eden-ISS en Antarctique, une équipe de l'ESA a réussi à faire pousser sous lumière artificielle des tomates, des concombres et les laitues sans substrat terrestre. Ces études vont être approfondies avec l'intégration d'Eden dans la simulation lunaire à Cologne. D'autres scientifiques proposent la culture d'algues spirulines, de champignons ou d'insectes comme source de protéines. De fait, à bord du vaisseau spatial vers



« La nourriture peut être un soutien psychologique pour l'équipage. Et plus une mission est longue, plus le plaisir de manger prend de l'importance », souligne Sonja Brungs, responsable de l'alimentation des astronautes européens.
© ESA/DLR

Mars comme sur la planète rouge, la production « biorégénérative » (par recyclage par le vivant) d'aliments sera indispensable. Elle pourra offrir *« des nutriments supplémentaires ciblés, ainsi que de la variété, du goût et de la fraîcheur »*, écrivent en 2021 Grace Douglas, Raymond Wheeler et Ralph Fritsche dans une étude de la Nasa. En cas de besoin, les astronautes sur la Lune, atteignable en quelques dizaines d'heures, pourront toujours se faire expédier des oranges juteuses ou des salades croquantes. L'équipage martien, lui, ne pourra pas compter sur une telle livraison.

Du pain d'épices au décollage

Reste *la* question centrale de l'exploration spatiale habitée : que faire des poubelles ? Le premier geste de Neil Armstrong le 21 juillet 1969, avant même de poser le pied sur la Lune, a été d'y jeter un sac de détritus. Il y a fort à parier qu'en arrivant sur Mars après six mois de voyage, les astronautes du futur seront, eux aussi, encombrés par leurs déchets. Alors, autant les réduire au maximum ! À cela, les ingénieurs réfléchissent également. Pour le départ de Thomas Pesquet vers l'ISS en 2021, l'ESA a expérimenté l'utilisation du pain d'épice comme emballage pour protéger les aliments et amortir les vibrations au décollage. Plus récemment, des scientifiques de l'université de Rome ont réussi le recyclage d'emballages de boissons spatiales en filament pour impression 3D…

Le chemin reste long, mais une chose est claire : la question alimentaire est essentielle pour le succès de toute mission. *« La nourriture fait partie de l'identité. Elle peut être un soutien psychologique et renforcer la cohésion au sein de l'équipe*, souligne Sonja Brungs, de l'ESA. *Et plus une mission est longue, plus le plaisir de manger prend de l'importance. »* Comme on s'en rendra certainement compte une fois de plus avec Eden-Luna, car cela a été souvent observé dans l'ISS, voir pousser des légumes est aussi un facteur de bien-être dans l'environnement aseptisé d'un habitat spatial. Pour garder le moral dans son périple martien, et pas uniquement pour économiser des ressources, l'astronaute de demain se fera donc un peu cuisinier, un peu maraîcher !

(1) Lire : www.cieletespace.fr/article/spacex-sur-mars-mission-impossible

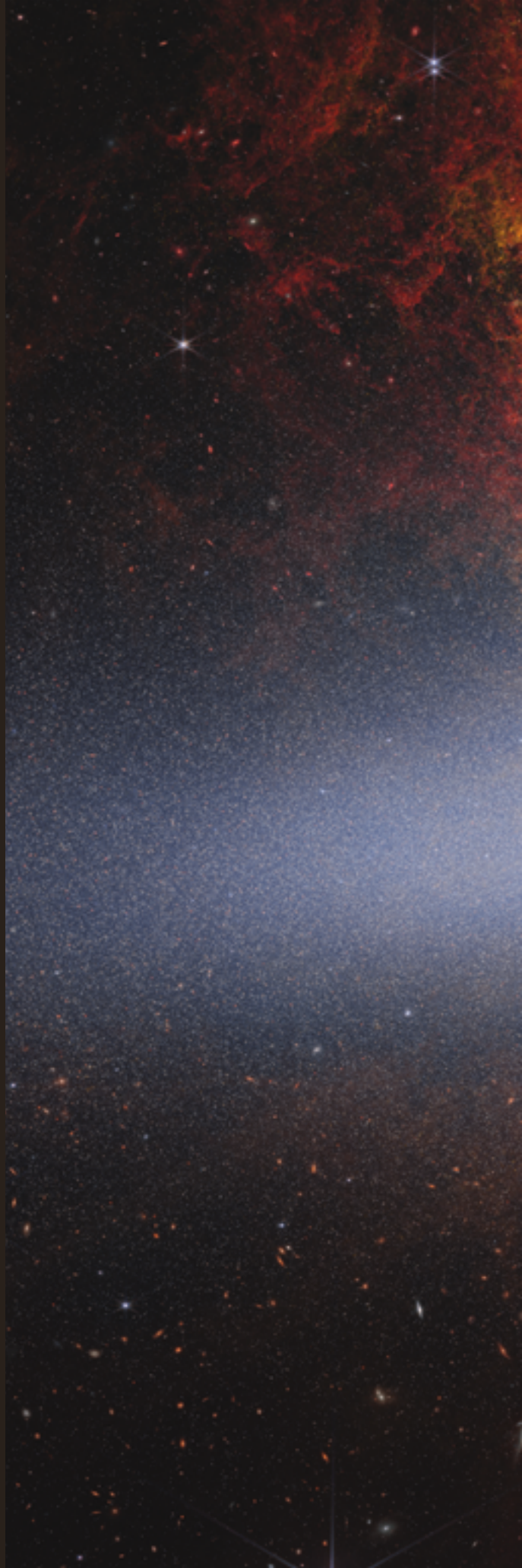


Pour bien vivre sa mission, l'astronaute de demain devra savoir cultiver son jardin.
© ESA/DLR/Eden-Luna

LE CŒUR DE LA GALAXIE M 82 MIS À NU

Le télescope spatial James Webb a été tourné en direction de la turbulente galaxie M 82, siège d'une intense formation d'étoiles et d'explosions de supernovas. Une observation qui permet de discerner des millions d'étoiles à travers la poussière et de mieux comprendre la morphologie de cette spirale vue par la tranche.

Philippe Henarejos



UNE SPIRALE DÉVOILÉE

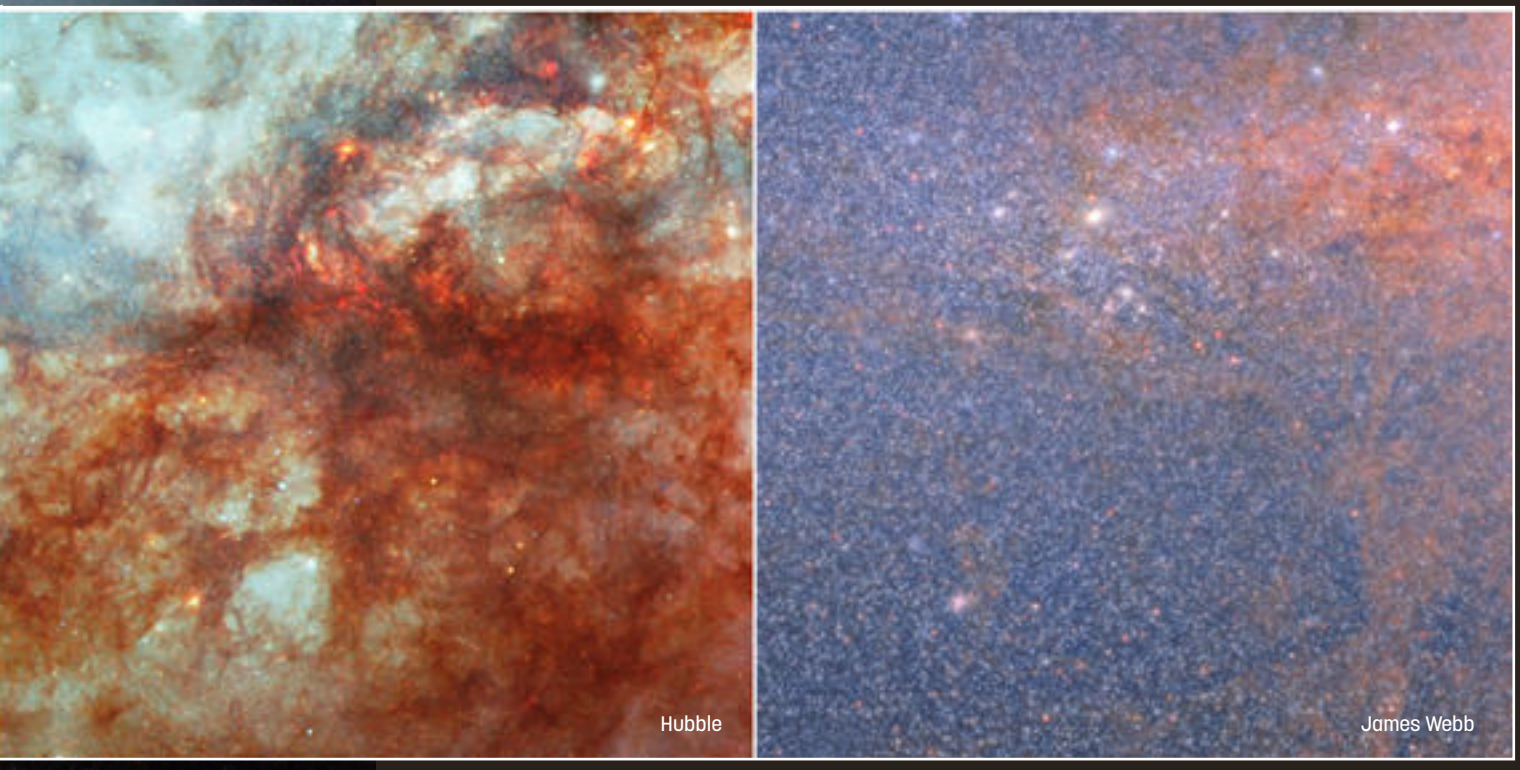
M 82, alias la galaxie du Cigare, se trouve à 12 millions d'années-lumière de nous. Cette photo la montre comme jamais auparavant. Elle a été prise grâce au télescope spatial James Webb (JWST) qui, sensible aux rayonnements infrarouges, « voit » à travers la poussière. Quelques données du télescope Hubble ont été fusionnées, en jaune. L'un des auteurs de l'image, Thomas Williams (université de Manchester), précise : *« Comme nous pouvons désormais observer le centre de la galaxie — une zone extrêmement poussiéreuse —, nous distinguons bien mieux les bras spiraux. L'exercice reste délicat, car M 82 nous apparaît presque par la tranche (contrairement à une galaxie vue de face comme celle du Tourbillon), mais la combinaison de l'excellente résolution de l'image du JWST et de la possibilité d'observer les étoiles plus directement facilite beaucoup les choses. »*

© Space Telescope Science Institute Office of Public Outreach





La lumière infrarouge, que capte le JWST, perce la poussière qui nous masque le cœur de M 82 et nous dévoile sa multitude d'étoiles



LA DÉCOUVERTE DE MILLIONS D'ÉTOILES

Sur l'image de M 82 obtenue précédemment par le télescope Hubble (page de gauche), la poussière prédomine. Elle assombrit les parties centrales de la galaxie et masque la plupart des étoiles. Cela se voit nettement sur le zoom ci-dessus. La même zone photographiée à l'aide du télescope James Webb est bien différente. La poussière semble avoir disparu. Et le cœur de M 82 ressemble à un immense amas d'étoiles. Les astronomes estiment que 16,5 millions d'étoiles sont désormais discernables sur l'ensemble de la galaxie. Thomas Williams note : *« Le JWST excelle dans l'observation d'étoiles massives et âgées (parmi lesquelles figurent les supergéantes rouges, ou RSG) qui finiront leur vie en explosant sous forme de supernova. »* Or, depuis 1986, pas moins de quatre supernovas ont été vues dans M 82. La prochaine se trouve peut-être sur la photo du JWST. © Nasa/Space Telescope Science Institute Office of Public Outreach



LE VENT DES ÉTOILES NAISSANTES

Voici l'image du JWST seule, sans les données de Hubble. Les volutes qui s'échappent de part et d'autre du centre galactique apparaissent bien plus étendues. Le JWST détecte là un matériau inaccessible à Hubble. Ces deux courants résultent de la formation d'étoiles. Hubble voit l'hydrogène ionisé qui est poussé par leur pression de radiation. Thomas Williams précise : *« Nous savons désormais que ce flux de gaz contient également des composés appelés hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), car ils émettent dans l'infrarouge, à une longueur d'onde très spécifique de 3,3 microns (soit la couleur orange sur l'image). La photo du JWST, comparée à celle de Hubble, montre aussi bien mieux que cet écoulement ne provient pas du centre de la galaxie, mais plutôt d'une région d'environ 300 années-lumière de diamètre. Il semble surgir de la zone très poussiéreuse qui entoure le centre de la galaxie, probablement un anneau nucléaire — des régions de formation d'étoiles intense, dont un exemple classique est NGC 1512. »* © Space Telescope Science Institute Office of Public Outreach



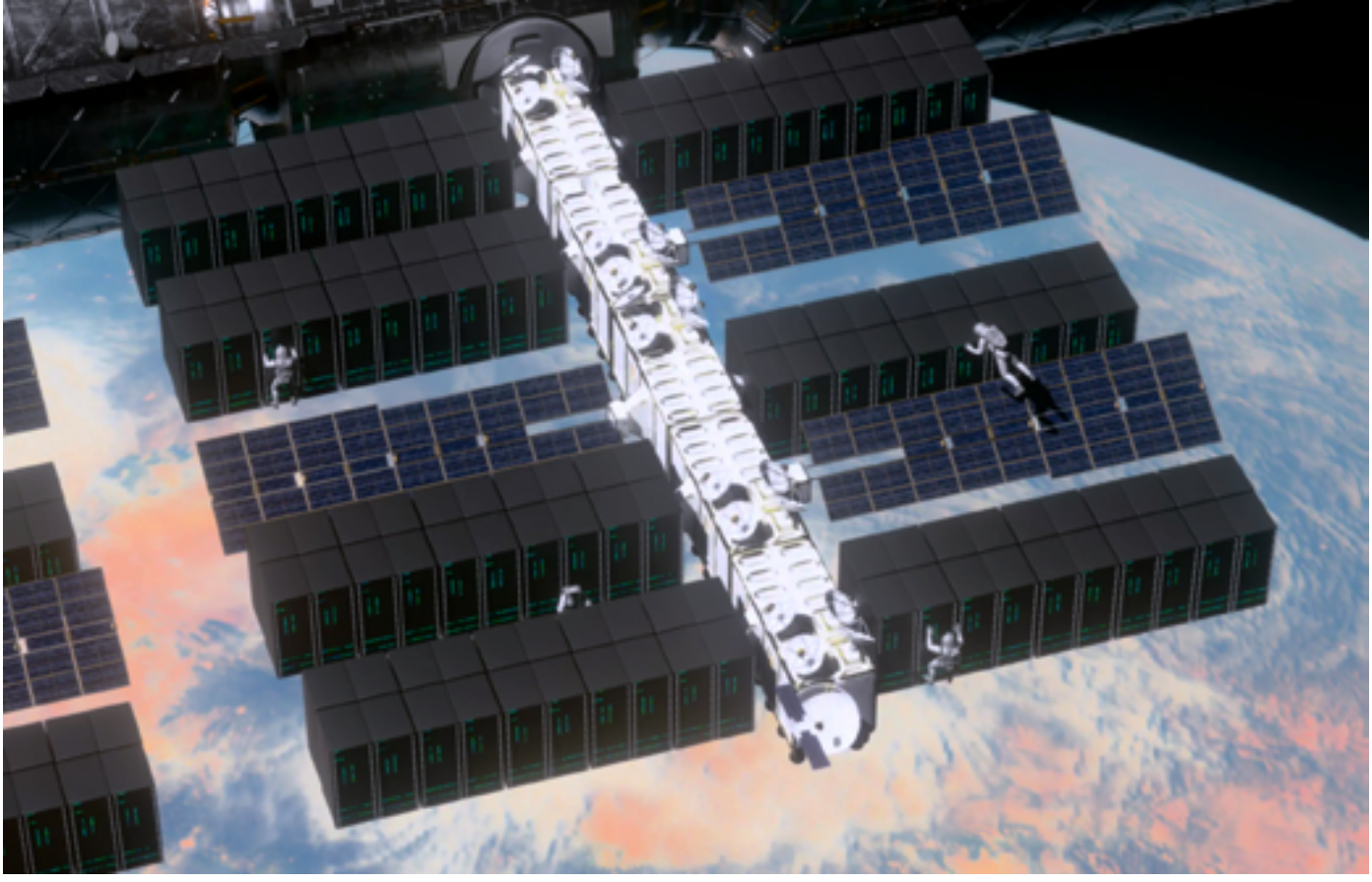
EN ATTENDANT LA PROCHAINE SUPERNOVA

Une étoile très brillante s'est ajoutée près du centre de M 82 sur cette photo de 2014 prise par un télescope sur terre. Il s'agit de la supernova SN2014J, aperçue le 21 janvier. Estimée de type Ia (résultant de l'accumulation de matière à la surface d'une naine blanche), elle est l'une des quatre supernovas observées dans M 82. Deux d'entre elles étaient de type II, c'est-à-dire déclenchées par une étoile massive arrivée en fin de vie. Le taux de formation stellaire dans M 82, dix fois supérieur à celui de notre galaxie, la Voie lactée, produit de nombreuses supernovas, car les étoiles massives vivent seulement quelques millions d'années. © F. Espenak



UNE DANSE AVEC M 81

Située dans la Grande Ourse, M 82 se trouve à proximité d'une autre galaxie : M 81. Observables dans le même champ d'un petit télescope, ces deux galaxies se sont frôlées et leur attraction mutuelle les a perturbées. Des courants d'étoiles, faiblement visibles sur cette image, ont été arrachés à M 81. Et la morphologie de M 82 a vraisemblablement été chamboulée, ce qui lui donne son aspect torturé et son fort taux de formation stellaire. © N. Outters/CBE



Space X, Google et autres prônent l'envoi de datacenters dans l'espace pour couvrir la demande exponentielle engendrée par l'avènement de l'intelligence artificielle (vue d'artiste). Leur argument est écologique. Mais cette solution l'est-elle réellement ? © SpaceX

L'ESPACE, UNE SOLUTION DURABLE POUR L'IA ?

Les projets de datacenters spatiaux se multiplient. SpaceX annonce même une constellation d'un million de satellites. Présentés comme une réponse aux besoins énergétiques de l'intelligence artificielle, ces projets soulèvent pourtant de nombreuses interrogations sur leur véritable impact environnemental.

Pierre Giraudeau

« *Les datacenters spatiaux […] sont en passe de rendre possible la prochaine vague de croissance de l'IA tout en réduisant considérablement notre empreinte environnementale* », écrivait en janvier 2026 Philip Johnston, cofondateur de la startup Starcloud, pour le forum de Davos. Fin 2025, l'entreprise a été la première à entraîner un modèle d'intelligence artificielle depuis un satellite en orbite. La première étape d'un projet ambitieux : implanter les futures capacités de calcul numérique dans l'espace. À la même période, Google, Blue Origin, OpenAI, et de nombreuses sociétés ont annoncé des projets similaires. SpaceX prévoit même une constellation d'un million de satellites.

« *Ces projets partent d'un enjeu énergétique* », explique Éméric Lhomme, dirigeant de la startup française Alatyr, qui prévoit d'envoyer plusieurs mégawatts de puissance de calcul en orbite d'ici 2030. Aujourd'hui, les centres de données terrestres consomment déjà 1,5 % de la production électrique mondiale. Poussé par la croissance du secteur de l'intelligence

artificielle, ce chiffre pourrait doubler d'ici la fin de la décennie, selon l'Agence internationale de l'énergie. *« Je suis convaincu que les besoins en capacité de calcul vont continuer d'exploser*, estime cet ancien d'ArianeGroup. *On risque des problèmes d'accès aux réseaux électriques et télécom. Il y aura des impacts sur l'eau et sur le voisinage : on va rapidement faire face à un mur. »*



« Il faudrait réussir l'exploit de mettre au point d'un lanceur 10 fois moins émetteur en carbone par kilo de charge utile que la fusée Ariane 5 »

Hughes-Marie Aulanier, coauteur de l'étude européenne Carbone 4

L'énergie du Soleil en continu

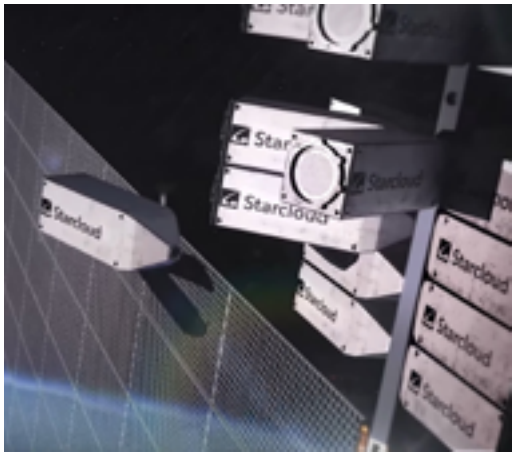
Pour s'affranchir des limites planétaires, l'idée serait donc de déplacer les capacités de calcul dans l'espace. Placés en orbite héliosynchrone, les datacenters auraient accès à une énergie solaire continue et des possibilités de développement présentées comme *« presque infinies »*. L'évacuation de la chaleur se ferait au moyen de grands radiateurs, moins énergivores et qui ne consomment pas d'eau.

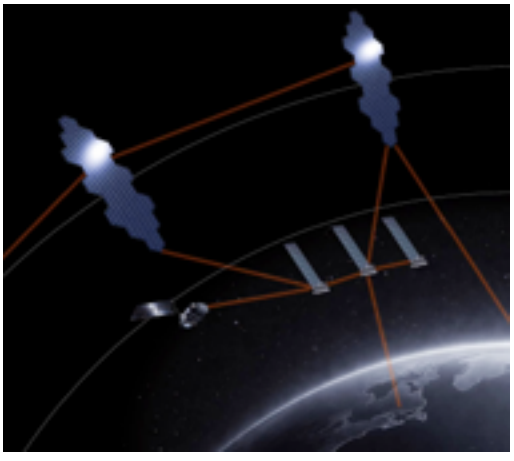
La solution parfaite ? Ce serait oublier que, pour déployer de grandes infrastructures dans l'espace, il faut d'abord les y envoyer. Selon une étude du cabinet de conseil Carbone 4, *« plus de 70 % de l'empreinte carbone des datacenters spatiaux »* proviendrait de leur mise en orbite. En novembre 2022, la Commission européenne confiait l'étude de faisabilité d'un des tout premiers projets de datacenter spatial, Ascend, à un consortium d'acteurs européens, dont Carbone 4. Le projet avait alors comme premier objectif de *« montrer que les émissions carbone* […] *seront bien inférieures à celles que produiraient des datacenters au sol. »* Cette idée est encore largement reprise aujourd'hui par l'industrie, alors que l'étude de Carbone 4 n'avait pas du tout conclu en faveur des datacenters spatiaux.

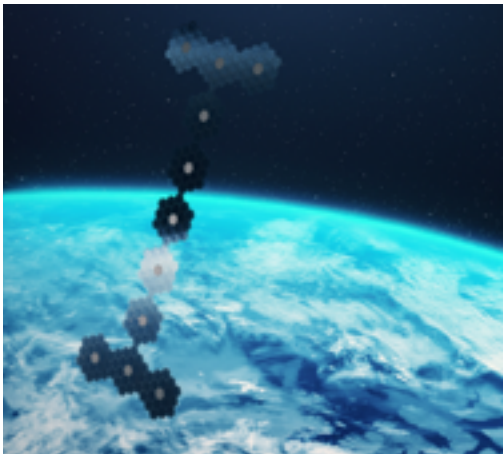
L'arbre qui cache la forêt

Le bénéfice carbone d'un datacenter en orbite *« est assujetti à un véritable exploit de la part du spatial européen, notamment pour réussir à proposer le lanceur le plus bas carbone du monde »*, peut-on lire en conclusion de l'étude. Il faudrait développer un *« très gros lanceur »* réutilisable *« 20 à 50 fois »*, et *« 10 fois moins émissif en carbone par kilo de charge utile qu'Ariane 5 »*, détaille Hughes-Marie Aulanier, ancien membre de Carbone 4 et coauteur de l'étude. Et ce, uniquement pour une performance carbone égale au terrestre. Il faut noter de plus que l'étude se base sur le mix électrique européen moyen, qui repose encore en partie sur les énergies fossiles. *« La performance terrestre*

Placés en orbite héliosynchrone, les datacenters auraient accès à une énergie solaire continue (de gauche à droite : les projets des sociétés Starcloud, Alatyr, et Ascent). Mais le problème reste l'empreinte carbone de leur mise sur orbite, mal prise en compte. © Starcloud, Alatyr, Ascent









SURPOPULATION EN ORBITE

Les tailles des constellations annoncées sont sans précédent : 51 600 satellites pour Blue Origin, 88 000 pour Starcloud, et même un million pour SpaceX ! L'orbite terrestre accueille aujourd'hui au total environ 15 000 satellites en service. Le risque de collision entre satellites ou avec des débris exploserait. Pour le million de satellites de SpaceX, il faudrait réaliser plusieurs centaines de millions de manœuvres d'évitement chaque année selon les estimations de l'ingénieur Hugh Lewis, de l'université de Birmingham. Sans compter les nouveaux débris engendrés par l'obsolescence des satellites qui pourraient se compter en milliers de tonnes par an. Une perte de contrôle du trafic risquerait de déclencher des collisions en cascade, rendant certaines orbites inutilisables pour plusieurs générations.

Des collisions en chaine entre satellites pourraient rendre certaines orbites inutilisables. © SpaceX

est quasiment intouchable dans les pays disposant d'une électricité bas carbone, résume Hughes-Marie Aulanier. *Face à des datacenters basés en France, il faudrait diviser encore par trois les émissions des lanceurs, ce qui n'est probablement pas envisageable du tout.* »

L'étude de Carbone 4 est encore aujourd'hui la seule à avoir comparé formellement l'impact écologique des datacenters spatiaux et terrestres. Mais son bilan pourrait encore être largement sous-estimé : « *C'est l'arbre qui cache la forêt* », s'inquiète Loïs Miraux, chercheur indépendant spécialisé dans l'impact environnemental des activités spatiales. Faute de données scientifiques disponibles, Carbone 4 n'a pas pris en compte les émissions des fusées dans la haute atmosphère. C'est pourtant « *le gros du sujet*, souligne Loïs Miraux. *Les effets des émissions en altitude sont décuplés, car elles ne retombent pas avec la pluie*, explique-t-il. *Elles restent dans l'atmosphère plusieurs années au lieu de quelques jours en basse altitude.* » Les particules de suie rejetées par les moteurs de fusées sont, par exemple, 500 fois plus réchauffantes dans la stratosphère que si elles étaient émises près du sol.

En juin 2022, Christopher Maloney, de l'Agence américaine d'observation atmosphérique et océanique (NOAA), et ses collègues ont estimé l'effet sur le climat de l'émission de suies dans la haute atmosphère pour différents scénarios de développement de l'industrie spatiale. Dans un scénario jugé « extrême », les chercheurs ont montré en simulations qu'une multiplication par 100 des émissions annuelles de suies par rapport à l'année 2020 pourrait réchauffer la



Les émissions des fusées dans la haute atmosphère ont un effet décuplé, car elles subsistent pendant plusieurs années à une telle altitude. À quoi s'ajoutent l'obsolescence rapide des datacenters spatiaux et leur retombée. © SpaceX

stratosphère de 1,5 °C en moyenne, et jusqu'à 15 °C dans certaines régions.

Un million de satellites

Une constellation d'un million de satellites émettrait immanquablement une énorme quantité de suie chaque année. En tenant compte de l'obsolescence des unités de calcul dans l'espace soumises aux radiations solaires, il faudrait remplacer ces datacenters tous les 5 ans environ. *« Pour des satellites de 2 tonnes, ça représente 400 000 tonnes de charge utile à envoyer en orbite chaque année. »* C'est plus de 700 fois la charge utile totale mise en orbite en 2020 selon les chiffres du cabinet de conseil Bryce Tech. En ordre de grandeur, le projet de SpaceX risque à lui seul d'atteindre le scénario « extrême » évalué par Christopher Maloney. Difficile cependant de savoir ce qu'un tel réchauffement en altitude ferait à la couche de l'atmosphère dans laquelle nous vivons : *« C'est très complexe et n'a jamais été étudié »*, indique Lois Miraux.

Un autre angle mort de l'analyse de Carbone 4 est la fin de vie des satellites, traditionnellement désintégrés dans l'atmosphère à l'approche de leur obsolescence. Dans le cas de SpaceX, les 400 000 tonnes de matériaux remplacés d'un côté seraient donc disséminées dans l'atmosphère de l'autre. *« L'aluminium et le lithium, par exemple, sont très préoccupants, car ils favorisent les réactions chimiques qui détruisent la couche d'ozone »*, alerte Loïs Miraux. Émis dans la très haute atmosphère, ces métaux pourraient mettre des décennies avant d'atteindre la couche d'ozone et constituent une *« potentielle bombe à retardement. Un million de satellites, ce serait complètement fou*, résume-t-il. *C'est tellement élevé que ça en deviendrait absurde d'un point de vue environnemental. »*



« L'aluminium et le lithium disséminés dans l'atmosphère sont très préoccupants, car ils favorisent les réactions chimiques qui détruisent la couche d'ozone »

Loïs Miraux, spécialiste de l'impact environnemental des activités spatiales

Des questions de souveraineté en Europe

« Nous voulons résoudre un problème, pas en créer de nouveaux, assure Émeric Lhomme, conscient de la difficulté. *Il faut aller dans l'espace, mais il faut y aller de la bonne manière. »* Alatyr a choisi une autre approche que celle des constellations de satellites. La startup souhaite assembler en orbite une structure plus grosse, centralisée, mais plus durable. *« On vise une durée de vie de plus de 15 ans*, explique l'entrepreneur. *On remplacera au fur et à mesure les unités de calcul, mais pas les radiateurs ni les panneaux solaires. On enverra beaucoup moins de masse en orbite. »* Ce design ressemble cependant beaucoup à celui étudié dans le cadre du projet Ascend, et il sera donc vraisemblablement tout aussi dépendant d'un « exploit » du secteur spatial.

Pas question pour la startup de se précipiter. Son premier projet vise à construire d'ici 2030 une structure de quelques mégawatts seulement, quand les plus gros datacenters terrestres affichent aujourd'hui des puissances de calcul 1 000 fois supérieures. *« On pense qu'il faut proposer des projets alternatifs et durables en Europe*, défend-il. *Sinon, nous serons entièrement dépendants des infrastructures étrangères. La question n'est plus de savoir s'il y aura des datacenters dans l'espace, mais qui réussira à imposer son modèle. »* Cependant, pour Loïs Miraux comme pour Hughes-Marie Aulanier, la solution ne passera pas par l'espace, mais par *« une trajectoire raisonnée de la croissance du numérique*, selon ce dernier, *et par l'installation des infrastructures sur Terre, dans des pays disposant d'une électricité bas carbone. »*



LA FIN DE L'ASTRONOMIE ?

Autant de satellites visibles à l'œil nu que d'étoiles dans le ciel nocturne. C'est ce que pourrait produire la mégaconstellation annoncée par SpaceX selon une étude d'Olivier Hainaut, de l'Observatoire européen austral, publiée à l'été 2026 dans la revue *Astronomy & Astrophysics*. Plus largement, le chercheur conclut que les projets de mégaconstellations annoncés auraient un *« impact dévastateur sur les observations astronomiques »*.

VALBERG, LA STATION QUI A MIS LE « PLANÉ » AU MILIEU DU VILLAGE

Un imposant dôme métallique vient de faire son apparition dans les Alpes-Maritimes. Ce planétarium réside au cœur de Valberg, une station de montagne où l'on veille à ce que les étoiles brillent de mille feux.

Guillaume Langin

Tandis que s'installe le crépuscule, le chant d'un coucou gris retentit à flanc de vallée. Là-haut, surplombant les cimes rocailleuses, un vautour plane. Le rapace maintient sa hauteur sans effort, de spirales en circonvolutions, porté par les courants d'air chaud venus d'en bas. Bienvenue à Valberg, à 1700 m d'altitude dans les Alpes-Maritimes. La plus ancienne station de ski du département se déploie sur la commune de Péone. La Côte d'Azur n'est pas loin, 50 km à peine à vol d'oiseau. Mais pour rallier le cossu village de montagne, où il n'est pas rare de croiser une Porsche ou un SUV haut de gamme, il a fallu sillonner les méandres des gorges du Cians. Pendant l'ascension, le rouge intense des roches de schiste qui en colore les falaises



Grâce à des lumières très peu nombreuses et inclinées vers le bas, d'innombrables étoiles sont visibles depuis le centre de la station Valberg © A. Haenel/G. Langin







Le plus grand planétarium du sud-est de la France est recouvert d'un métal argenté : le palladium



Le long du sentier planétaire, les promeneurs découvrent au bord du chemin les planètes du Système solaire. © G. Langin/CEE

vaut en soi le détour. À l'arrivée, la rencontre avec une biche et son petit traversant la route ne saurait être meilleure incitation à ralentir sa course… Et prendre son temps.

Un imposant planétarium argenté

La nature est bien là. « *Ça n'est pas comme sur la côte, ici. On entend encore le bruit des insectes dans les champs* », commente une restauratrice. Comme 600 personnes de la commune, elle a été invitée pour le grand événement du 16 juin 2026 : l'inauguration de la Maison départementale de l'environnement et de l'observation. Ce « Dome », selon l'acronyme reprenant dans le désordre les initiales du lieu, ne passe pas inaperçu. Voilà plusieurs mois que son imposant planétarium argenté trône au centre du village. Depuis la Fête des vieilles pompes en avril, qui marque chaque année le terme de la saison de ski, le public pouvait déjà s'y rendre et profiter de séances de projection. Mais c'est aujourd'hui qu'on célèbre, en grande pompe, ce nouveau lieu consacré à la nature et l'astronomie.

Charles Ange Ginésy, président du département depuis dix ans, et maire de Péone-Valberg les deux décennies précédentes, mène le bal. Sa fille, Marie-Amélie, nouvelle maire de la commune, l'accompagne dans la ronde de rubans tricolores qu'on découpe pour inaugurer un bâtiment, une plaque, une statue de bronze… Jouxtant le planétarium, la Maison

Depuis Nice, compter 1 h 30 en voiture pour rallier Valberg à 1700 m d'altitude.





valbergane datant des années 1980 a été conservée pour faire partie intégrante du Dome. Ce bâtiment, contemporain, mais gardant l'esprit des chalets de montagne, abrite dorénavant une médiathèque flambant neuve, une salle de cinéma « Le Dahut », ou encore la Maison du parc national du Mercantour. Sans oublier les bureaux des personnels du Dome, parmi lesquels trois médiateurs scientifiques, compétents et férus d'astronomie, capables d'animer les séances du « plané », les balades le long du sentier planétaire, ou encore intervenir chaque été pendant le festival Astro-Valberg.



Rénovée et largement agrandie, la médiathèque de Valberg propose d'importants fonds sur l'environnement et l'astronomie.
© G. Langin/C&E



Au lendemain de l'inauguration du Dome, Valberg a accueilli le 2e congrès des Réserves internationales de ciel étoilé de France.
© G. Langin/C&E

Immense boule disco

De Marseille à l'observatoire de Haute-Provence, il n'y a dorénavant pas plus grand planétarium qu'à Valberg. Nice en est dépourvu. Sous sa coupole de 12 m de diamètre, cinquante personnes peuvent s'installer sur de confortables fauteuils inclinables. Pour assembler sa coupole, il a fallu hélitreuiller et joindre entre eux seize pétales courbes. Ils sont l'œuvre d'une entreprise bretonne spécialisée dans les carlingues d'avions électriques et autres coques de bateaux. Le plané doit son allure d'immense boule disco lisse au palladium qui le recouvre. « *C'est un métal qui ne corrode pas*, explique Stéphanie Bécher, directrice du Dome ayant supervisé son édification. *Mais ça a aussi été un choix architectural.* » Le palladium s'est donc imposé autant pour sa résistance aux intempéries — un orage menace d'ailleurs au moment de l'inauguration ! — que pour le style contemporain de l'œuvre. Avantage : le planétarium se voit de loin. Inconvénient : en se réfléchissant sur sa surface métallique, le Soleil et sa chaleur s'invitent dans certains bureaux et habitations alentour.

Sans conteste, d'importants moyens ont été mis dans le Dome. « *Le coût de l'investissement est 16,6 millions d'euros, financés à 80 % par le département* », indique Charles Ange Ginésy. Mais dans les couloirs de la « Valbergane », on évoque une facture approchant les 25 M€. Pour remplir le plané et ses salles adjacentes, le Dome pourra

QUE VOIR, QUE FAIRE À VALBERG ?

- DOME : médiathèque, cinéma et expositions dans la nouvelle Maison départementale de l'environnement et de l'observation.
- PLANÉTARIUM : trois séances quotidiennes pendant les vacances scolaires ; les mercredi, samedi et dimanche hors vacances scolaires. Pour les 4-6 ans (5 €), 7-16 ans (8 €) et adultes (10 €).
- SENTIER PLANÉTAIRE : une promenade de 10 km et 4 h 30 pour randonneurs de niveau modéré, à la découverte des planètes du Système solaire (1 pas = 1 million de km).
- RANDONNÉES ET BIVOUAC : le parc national du Mercantour vous tend les bras. Rendez-vous à l'office du tourisme, place Charles Ginésy, pour de nombreuses suggestions d'itinéraires.
- ASTROVALBERG : le festival d'astronomie est organisé chaque été pendant 3 jours. Observations du ciel, conférences, concerts, jeux, balades nocturnes, etc.

À seulement 1 km du centre du village, le ciel au-dessus du golf de Valberg est constellé de milliers d'étoiles. Sur le chemin, point de lampadaires allumés. © G. Langin/CIE







compter sur les écoles de la région, les classes de neige, les familles venues skier, les estivants… « *Le Dome est également un lieu pour accueillir des congrès scientifiques* », complète la maire Marie-Amélie Ginésy. Mais malgré 50 000 visiteurs projetés, la rentabilité du site n'est pas garantie, et le département pourrait continuer à soutenir les opérations encore quelque temps.

Voie lactée et petit renard

Changement climatique oblige, ce qui se joue ici est la diversification des activités que l'on peut faire à Valberg. Avec pour l'objectif « *d'en faire une station 4 saisons* », souligne Marie-Amélie Ginésy. D'ailleurs, on ne parle plus ici de « station de ski », mais de « station de montagne ». Qu'on soit à gauche ou à droite de l'échiquier politique, comme c'est en majorité le cas dans la région, la préservation de l'environnement est de tous les discours. « *Réintroduire le gypaète barbu* [une espèce de vautour] *il y a plusieurs années a porté ses fruits. Les lucioles dans mon jardin sont revenues ! On revoit des grives et des lièvres comme il y en avait dans notre jeunesse*, se réjouit Charles Ange Ginésy. *Des sangliers aussi. Bon, parfois un peu trop* ».

« Les lucioles dans mon jardin sont revenues ! On revoit des grives et des lièvres comme il y en avait dans notre jeunesse »

Et pour qui aime contempler les étoiles, il n'y a pas à Valberg de quoi bouder son plaisir. *« La qualité du ciel à Valberg et ses alentours est excellente ! Il est intéressant de voir combien il fait sombre aussi proche du village »*, constate Andreas Haenel, président de DarkSky Germany, association allemande luttant contre les lumières artificielles qui, par le halo de pollution lumineuse qu'elles engendrent, font disparaître les astres. Depuis le parking du golf de la station, à seulement 1,2 km du planétarium, les étoiles sont innombrables. La Voie lactée est merveilleusement détaillée. Même basse sur l'horizon, la galaxie d'Andromède se laisse apercevoir à l'œil nu. À trop garder le nez en l'air, on en raterait presque la visite d'un renard peu farouche trottinant entre nos pieds et ceux des appareils photo.

5 000 étoiles à l'œil nu

Depuis ce même parking, sans Lune ni nuage dans la nuit du 18 au 19 juin, les instruments d'Andreas Haenel ont mesuré que la luminosité du fond de ciel valait 21,86 mag/arcsec². Plus cette grandeur est élevée, plus le ciel est sombre, 22,0 étant considérée comme référence naturelle. Dans le cas du golf de Valberg, cela signifie qu'environ 5 000 étoiles sont visibles à l'œil nu. Depuis la résidence Alpen Park au sud-est de la ville, la voûte étoilée que contemplent les mélèzes n'est pas moins étincelante.

Une telle obscurité est le fruit de la politique mise en place pour maitriser l'éclairage public. En 2019, l'association Darksky International a décerné le label de Réserve internationale de ciel étoilé (Rice) au territoire Alpes Azur Mercantour. Pour l'obtenir, les 75 communes du territoire (étendu le 19 juin 2026 à 92 communes jusqu'à la frontière italienne) se sont engagées à supprimer des sources lumineuses et en remplacer d'autres pour de moins intenses et mieux orientées vers le sol, pour préserver un niveau d'obscurité déjà important. Avec à la clé, des objectifs atteints : *« En 2025, plus de 56 % des points lumineux ont été rénovés dans la Rice quand on s'était fixé 50 % »*, affiche Maud Orne-Gliemman, directrice adjointe de la communauté de communes Alpes d'azur. Et même des améliorations. *« Dans la réserve naturelle des gorges de Daluis, faisant partie de la Rice, nous sommes passés d'une luminosité de 21,2 mag/arcsec² en 2019 à 21,7 mag/arcsec² aujourd'hui »*.



Bonnes pratiques

Les bonnes pratiques pour mesurer l'évolution de la pollution lumineuse et ses effets sur la biodiversité nocturne seront au menu des discussions pendant les trois jours qui suivent, lors du deuxième congrès des Rice de France que le Dome accueille dans la foulée de son inauguration. Mais il est temps de laisser à leur nuit noire les chauves-souris, amphibiens et insectes nocturnes, pour plonger à nouveau dans le halo lumineux de la ville. Avec dans le rétroviseur les enseignes « location de ski » de la station. Et une dernière pensée. Lorsque l'astrotourisme aura continué de faire son chemin, à l'avenir, pourrait-on y lire « location de télescopes » ? Un jour peut-être… Ou plutôt, une nuit.

DESI CONTESTÉ, ET LA COSMOLOGIE REPLONGE DANS LE FLOU

Le modèle standard de la cosmologie est-il tombé ou pas ? Il y a quelques mois, la collaboration Desi lançait un pavé dans la mare : l'énergie sombre ne serait pas constante, comme le veut le modèle standard. Mais voilà, ce n'est finalement pas si sûr.

Stéphane Fay



Contrairement à ce que l'on pourrait croire, c'est toujours une bonne nouvelle quand un modèle standard décrivant l'évolution de l'Univers tombe à l'eau. Car pour être standard, il doit être utilisé depuis longtemps, parfois des décennies, et pour un cosmologiste, cela finit par être lassant… Voilà pourquoi la remise en cause du modèle standard de la cosmologie amorcée ces derniers mois par la collaboration Desi a créé l'ébullition [lire *C&E* n° 606]. Or, aujourd'hui, une étude remet en cause les résultats de Desi. La raison ? L'utilisation de données incompatibles aurait abouti à une conclusion erronée.



Le modèle standard de la cosmologie décrit notre Univers, son contenu et son expansion. Il comporte essentiellement trois ingrédients : la matière ordinaire (nous !), la matière noire et l'énergie sombre. C'est autour de cette dernière que l'affaire tourne. À la fin des années 1990, on découvre que l'expansion de l'Univers accélère. Il faut bien trouver une raison à cela, et c'est ainsi que l'on imagine que l'Univers contient une mystérieuse énergie : l'énergie sombre. Guidés par un principe de simplicité, les cosmologistes supposent que sa densité est constante : il y en a toujours la même quantité dans un même volume. Mais voilà que Desi, un programme d'observation mené aux États-Unis, annonce qu'au contraire, elle varie avec le temps.

Du point de vue de l'expansion, cela ne change pas grand-chose à ce stade ; elle est toujours en accélération aujourd'hui. Mais si l'énergie sombre varie au lieu d'être constante, le modèle standard est à revoir. Il faut préciser cette variation afin d'en déduire ses conséquences, par exemple pour savoir ce qui se passera pour l'expansion dans le futur. D'où l'excitation de la communauté scientifique.

Une vérification nécessaire

Ce résultat de Desi semble solide. Il est basé sur l'observation de plus de 47 millions de galaxies et de quasars à l'aide du télescope de 4 m Mayall à Kitt Peak, en Arizona. Mais *« ses conséquences pour la cosmologie et la physique sont telles qu'il est important de vérifier qu'aucun biais n'entache ces données »*, avertit Jean-Philippe Uzan, de l'Institut d'astrophysique de Paris. Et justement, l'étude de Samsuzzaman Afroz et Suvodip Mukherjee (Tata Institute of Fundamental Research à Mumbai, Inde) met en doute les conclusions de Desi. Pourquoi ? Parce que les seules observations de Desi, malgré leur profusion, n'étaient pas suffisantes pour prouver la variabilité de l'énergie sombre. L'équipe de Desi a dû utiliser aussi d'autres données, dont celles de la collaboration Pantheon+ sur 1701 supernovas. Ces mesures n'ont pas été obtenues avec un seul instrument. Elles proviennent de 18 campagnes d'observation effectuées au cours des vingt dernières années et sont largement utilisées par la communauté scientifique. Elles ne sont donc pas moins solides que celles de Desi. Or, Afroz et Mukherjee montrent que les deux jeux de mesures pourraient être incompatibles, ce qui fragiliserait la conclusion de Desi !

Si l'énergie sombre varie au lieu d'être constante, le modèle standard est à revoir

Le programme Desi a observé plus de 47 millions de galaxies et de quasars à l'aide du télescope de 4 m Mayall, à Kitt Peak en Arizona. Ses données semblent indiquer que l'énergie sombre, cette entité qui accélère l'expansion de l'Univers, aurait varié dans le temps…
© Fermilab

Une erreur affectant de la même manière toutes les mesures pourrait faire croire à la variation de l'énergie sombre

D'où vient cette incompatibilité ? Pour le comprendre, expliquons ce qu'étudient Desi et Pantheon+. Desi analyse, entre autres, des surdensités de galaxies, larges d'environ 500 millions d'années-lumière. Ces surdensités se constatent dans tout l'espace. Elles trouvent leur origine dans les premiers instants de l'Univers : des inhomogénéités de la matière, tels des grumeaux dans une pâte, ont donné lieu à des inhomogénéités dans la distribution actuelle des galaxies. Cinq cents millions d'années-lumière, c'est leur taille réelle. Mais, quand on les observe de loin, l'angle apparent avec lequel on les voit dépend évidemment de leur distance. C'est un peu comme regarder une pièce de monnaie de près ou de loin : elle semble ne pas avoir la même taille. La comparaison des tailles réelle et apparente de ces surdensités de galaxies permet ainsi de calculer ce que l'on appelle leur *distance-angulaire*.

Les données de Panthéon+, elles, concernent les supernovas de type Ia, ces explosions d'étoiles survenant dans toutes les galaxies et qui ont permis de découvrir l'accélération de l'expansion de l'Univers à la fin des années 1990. Elles se produisent quand une naine blanche explose après avoir attiré à elle trop de matière d'une étoile voisine. Or, il est possible de calculer leur luminosité comme si l'on était à côté d'elles. En la comparant à celle, moins forte, observée depuis la Terre, il est possible d'évaluer la distance de ces explosions lointaines, que l'on appelle la *distance-luminosité*. Cette fois, c'est un peu comme de regarder une ampoule de près ou de loin : la différence de luminosité nous donne la distance de l'ampoule.

C'est en comparant ces deux types de distances, distance-angulaire et distance-luminosité, qu'Afroz et Mukherjee ont levé un lièvre. En effet, à un facteur près dû à l'expansion de l'Univers (découvert par le mathématicien anglais Etherington en 1933), on devrait obtenir les mêmes distances. Or, les deux chercheurs ont constaté que ça ne marchait pas tout à fait : ils ne les retrouvent qu'à 1 ou 2 % près, mais pas exactement. *« Bien que les jeux de données de Desi et de Pantheon+ soient globalement cohérents, une légère divergence subsiste »*, note Suvodip Mukherjee.



Pour son étude, l'équipe de Desi a combiné ses données avec celles d'un autre programme. Or, les deux jeux de mesures seraient incompatibles, estime Suvodip Mukherjee. DR

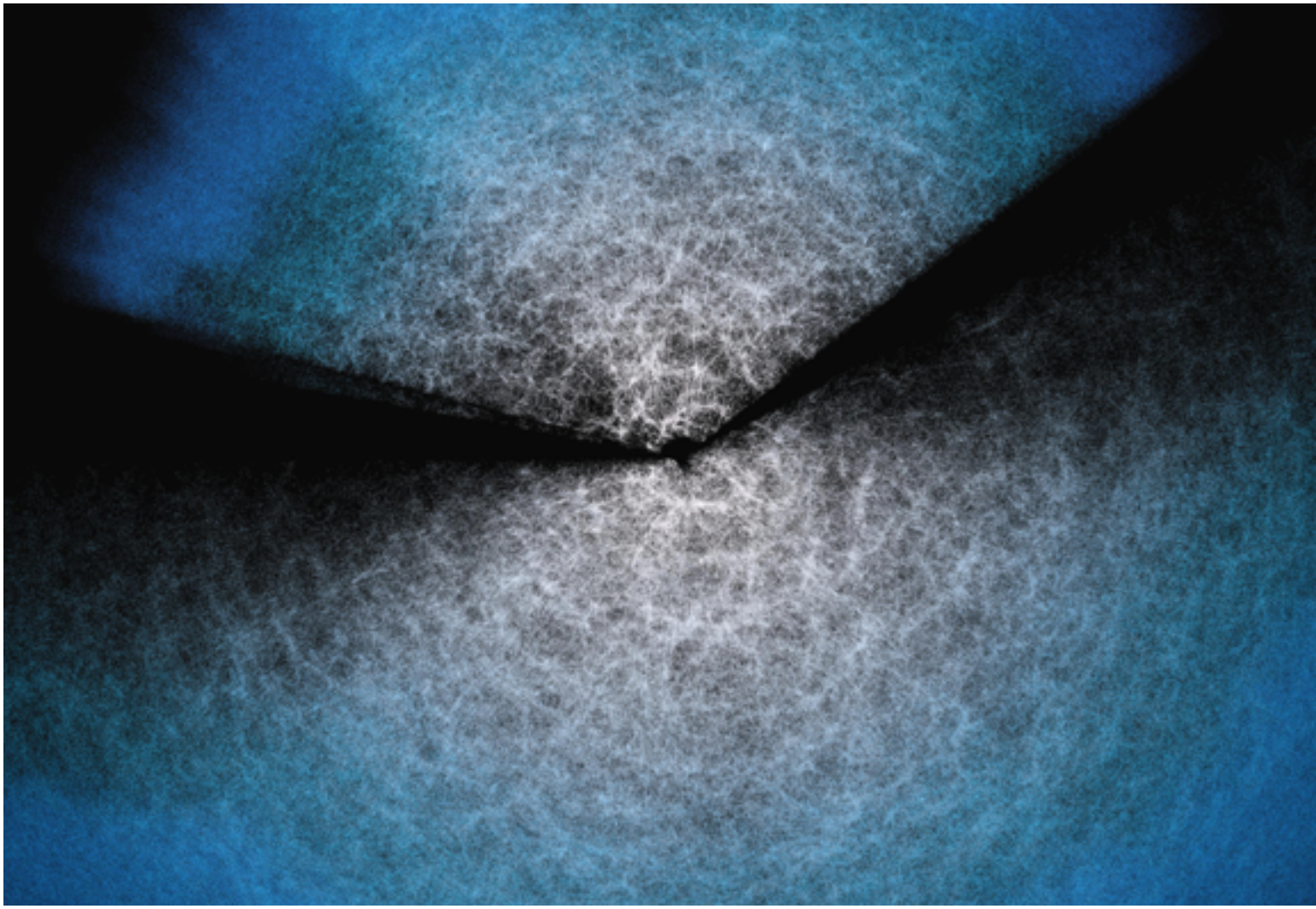
Écart léger… mais problématique

Ces 1 à 2 % d'écart peuvent sembler minimes, mais ils sont en réalité assez problématiques, explique Leandros Perivolaropoulos, de l'université de Ioannina (Grèce). Selon lui, cette différence inattendue entre les distances pourrait laisser croire que la densité d'énergie sombre varie, alors qu'en fait, elle est bien constante comme l'affirme le modèle standard. Desi aurait alors tout faux ? *« Pas forcément, ce serait plutôt que le résultat de Desi est bien moins sûr que ce que l'on a pu lire dans la presse »*, tempère le chercheur.

À ce stade, il faut bien comprendre que si Desi s'est trompé, ce n'est pas par manque de rigueur ni d'un empressement à publier des résultats. Simplement, on ne peut pas penser à tout ! Mais alors, d'où viendrait cette dissonance entre distance-angulaire de Desi et distance-luminosité de Pantheon+ ? *« De possibles effets systématiques non compris dans les données de Desi »*, avance Jean-Philippe Uzan. Celles-ci pourraient être affligées d'une erreur affectant de la même manière toutes ses mesures et faisant croire à la variation de la densité d'énergie sombre.

Un précédent existe

L'affaire n'est pas si étonnante. Au début des années 2000, quand les supernovas servaient à étudier l'accélération de l'expansion de l'Univers, diverses équipes étaient en compétition, et chacune utilisait des ensembles différents de supernovas. Or, plus on a de supernovas, plus on peut obtenir des résultats précis sur l'expansion. Aussi, on a commencé à mélanger les supernovas de toutes ces équipes pour en faire de plus grands ensembles, mais cela ne s'est pas fait sans mal. Des voix s'élevèrent avec raison pour avertir que des jeux de supernovas pourraient être incompatibles quand ils sont mesurés avec des instruments différents, et donc avec des sources d'erreurs différentes, prises en compte différemment.



Desi a réalisé la plus grande carte 3D de l'Univers à ce jour. Ces « éventails » correspondant aux deux principales zones observées par Desi, au-dessus et en dessous du plan de la Voie lactée. La Terre est au centre de cette image, où les points les plus bleus indiquent des objets plus éloignés.
© Desi coll./DOE/KPNO/NOIRLab/NSF/AURA/R. Proctor

Le problème s'est réglé peu à peu. Des équipes ont accumulé de plus en plus d'observations de supernovas pour constituer de grands ensembles cohérents et les progrès dans les méthodes statistiques ont permis d'assembler correctement les données de plusieurs équipes, comme l'a fait Pantheon+. Puis sont apparues des données de nature différente de celles des supernovas, comme celles de Desi, mêlées avec elles pour établir des prédictions toujours plus précises sur l'expansion cosmique et l'énergie sombre. Et fatalement, comme autrefois, de nouvelles incohérences ont surgi.

Et ce n'est pas fini : données sur la formation des grandes structures de l'Univers, données sur les ondes gravitationnelles, etc. Les mélanger est essentiel pour étudier l'énergie sombre et ainsi éprouver le modèle standard. *« Des tests de consistance similaires à celui de la relation d'Etherington sont possibles et devraient être réalisés pour d'autres jeux de données indépendants »*, conseille Suvodip Mukherjee. Ses travaux sonnent donc comme une piqûre de rappel. *« Devant toute conclusion supposément révolutionnaire, nous devons d'abord vérifier la qualité et la cohérence des données, puis celle du cadre interprétatif* [NDLR : la forme souvent simpliste de la variation d'énergie sombre que l'on teste] *avant de pouvoir prétendre à la découverte d'une nouvelle physique. C'est un chemin long et nécessaire qui demande de croiser des données différentes »*, souligne Jean-Philippe Uzan. Au risque sinon de ne plus savoir à quel modèle standard se vouer !

VICTOR COISSAC, L'INSTITUTEUR QUI RÊVAIT DE LA LUNE

En 1916, un instituteur de Tours, autodidacte et militant socialiste, publie un ouvrage où il envisage, calculs à l'appui, l'envoi d'êtres humains vers la Lune. Une œuvre oubliée pendant des décennies, et pourtant étonnamment visionnaire.

Adrien Denèle



Victor Coissac, né en 1867 et mort en 1941, a laissé peu de portraits de lui. DR



Comment se poser sur la Lune ? L'instituteur envisage des trajectoires possibles, et même des fusées à étages capables de corriger leur direction en cours de route. DR

Au printemps 1916, alors que l'Europe s'enlise dans les tranchées, un obscur instituteur de Tours publie un étrange ouvrage : *La conquête de l'espace*. Son auteur, Victor Coissac, n'est ni ingénieur ni astronome professionnel. Socialiste libertaire, autodidacte passionné de sciences, il dirige une petite imprimerie militante et rêve d'un monde nouveau fondé sur la coopération. Pourtant, dans ce livre oublié pendant près d'un siècle, il imagine avec une étonnante précision certains principes du voyage spatial moderne. Fusées à étages, correction de trajectoire, freinage atmosphérique, utilisation du mouvement orbital de la Terre… Tout y est ! Longtemps considéré comme un simple excentrique, Coissac apparaît aujourd'hui comme une figure atypique de la « préhistoire » de l'astronautique. Un pionnier marginal, à classer quelque part entre Jules Verne, Konstantin Tsiolkovski et les socialistes utopiques du XIXe siècle.

La science émancipatrice

Victor Coissac naît en 1867 à Tulle, dans une famille catholique modeste. Son père tailleur l'envoie adolescent à Paris pour apprendre le métier. Mais le jeune homme préfère les cours du soir organisés par l'Association polytechnique aux ateliers de couture. Il obtient rapidement ses brevets et devient instituteur à Tours en 1889. Élevé dans un milieu très religieux, il devient peu à peu anticlérical. La science lui apparaît comme un outil d'émancipation individuelle et collective. Selon Diana Cooper-Richet, chercheuse associée au Centre d'histoire culturelle des sociétés contemporaines (Paris Saclay), il développe alors une *« confiance totale dans la science »*, nourrie notamment par son rejet de l'emprise de l'Église sur la société.

Au tournant du siècle, il se rapproche des milieux socialistes. Il adhère au parti de Jaurès en 1905, mais se montre vite critique envers les professionnels de la politique. Il se définit lui-même comme un *« socialiste anarchisant »*. Il reproche aux anarchistes leur refus du suffrage universel et aux parlementaires leur opportunisme. Plutôt qu'une révolution brutale, il imagine une transformation progressive de la société par la coopération volontaire. Des groupes d'hommes et de femmes mettraient en commun leur travail et leurs ressources, jusqu'à rendre inutile le système capitaliste… Cette vision doit beaucoup aux socialistes utopiques du XIXe siècle, notamment à Charles Fourier. Mais Coissac veut lui donner une base scientifique. À Tours, il s'investit dans l'éducation populaire. En 1909, il participe à la création de l'Union populaire, une université populaire destinée aux adultes. Un enseignant devant assurer les cours d'astronomie se désiste. Coissac prend sa place. La discipline devient vite l'une de ses passions. *« Quand on regarde ses cours, on voit quelqu'un qui cherche vraiment à rendre les choses compréhensibles. Il réalise lui-même des schémas et des cartes du ciel pour son public »*, note Florian Mathieu, historien des sciences. L'astronomie n'est pas un simple loisir intellectuel. Dans le sillage de Camille Flammarion, dont il est un grand lecteur, Coissac estime qu'elle participe d'un projet plus vaste : le savoir ne doit pas rester le privilège des élites. En 1915, il adhère à la Société astronomique de France, où son dossier est parrainé par Flammarion lui-même. Sur son formulaire d'adhésion, il ne se présente pas comme instituteur. *« Il inscrit un autre mot :* astronome. *C'est assez audacieux ! »* s'amuse Florian Mathieu.



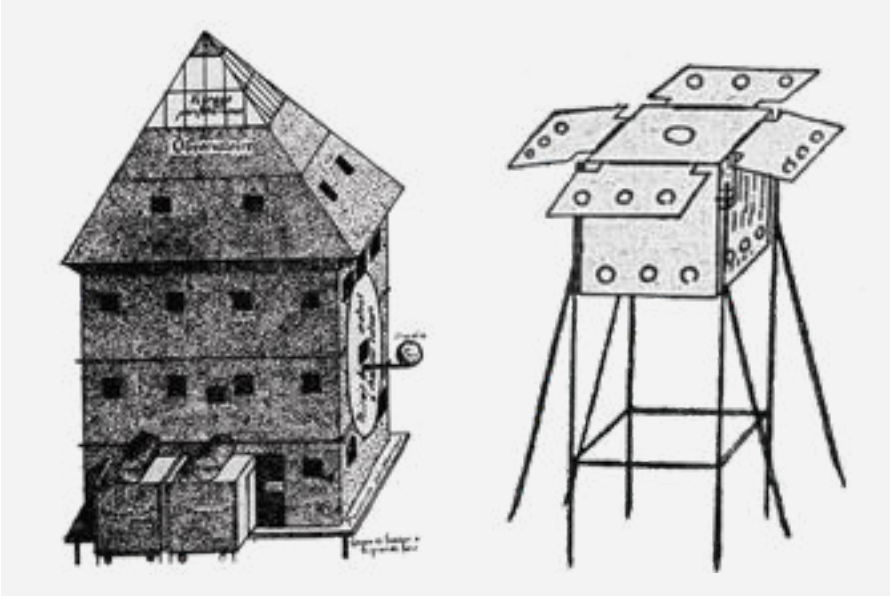
En pleine guerre, Coissac publie *La conquête de l'espace* (1916). DR

La Lune pour tout recommencer

En 1916 paraît son ouvrage le plus célèbre : *La conquête de l'espace*. Aujourd'hui, le livre est déroutant par les idées qu'il déploie. Coissac envisage notamment une Lune dotée d'une atmosphère respirable et susceptible d'abriter certaines formes de vie ! Il ignore tout des travaux de Tsiolkovski sur la propulsion spatiale et ne maîtrise pas les aspects fondamentaux de la physique des fusées. Mais au milieu de ces idées surgissent des intuitions fort modernes. Il imagine des fusées à étages (décollant depuis un puits vertical) équipées de moteurs auxiliaires permettant de corriger leur trajectoire en cours de route. Il comprend

l'intérêt d'utiliser le mouvement orbital de la Terre pour économiser de l'énergie lors des vols interplanétaires. Il calcule des trajectoires vers la Lune, Mars ou Vénus, estime les durées de voyage et envisage même le retour sur Terre. Plus étonnant encore, il propose de ralentir un vaisseau grâce au frottement de l'atmosphère terrestre, un principe proche du freinage atmosphérique employé bien plus tard par les capsules spatiales… *« Sur certains aspects du vol spatial qui n'avaient pas encore été publiés, il peut vraiment être qualifié de pionnier »*, note Florian Mathieu.

L'ouvrage frappe aussi par son approche méthodique. Coissac ne se contente pas d'affirmer que le voyage spatial est possible : il tente d'en chiffrer les contraintes. Combien de temps durerait un voyage vers la Lune ? Quelle vitesse faudrait-il atteindre ? Combien coûterait une telle expédition ? Comment revenir sur Terre ? Autant de questions qu'il aborde dans un livre publié alors que l'aviation militaire n'a que quelques années d'existence et que personne n'a encore envoyé le moindre objet dans l'espace. Cependant, chez Coissac, le voyage spatial n'est pas une fin en soi. Il s'agit surtout de prouver que s'il est possible d'envoyer un être humain vers la Lune, alors les transformations sociales les plus ambitieuses deviennent elles aussi envisageables.



La capsule spatiale de Victor Coissac est un « chalet volant » (à gauche). Il imagine un ingénieux système de freinage atmosphérique (à droite). DR



En 1921, Coissac installe sa communauté, l'Intégrale, dans le village de Puch d'Agenais. DR

L'expérience de l'Intégrale

Après sa retraite en 1922, Victor Coissac décide de mettre ses idées à l'épreuve. Il fonde une communauté baptisée l'Intégrale dans une ferme de Puch-d'Agenais, dans le Lot-et-Garonne. Son objectif est simple : construire ici et maintenant la société de demain. Pendant quatorze ans, près de soixante-dix personnes passeront par cette expérience communautaire. On y cultive la terre, on imprime des brochures, on débat de politique, de science et d'organisation sociale.

« Ce qui étonne le plus chez Victor Coissac, ce sont ses deux vies, observe Diana Cooper-Richet. *Une première vie d'instituteur jusqu'en 1922 et une seconde d'animateur d'un lieu de vie communautaire. »* Mais la réalité se révèle moins idyllique. L'Intégrale ne parvient jamais à atteindre l'autonomie économique espérée. La communauté survit en grande partie grâce à la retraite de son fondateur et aux revenus de ses livres. Qui sont loin de retentir dans la communauté scientifique de l'époque : *« Il est largement ignoré par ceux auprès desquels il cherche une reconnaissance*, atteste Florian Mathieu. *Par exemple, en dépit du parrainage de Flammarion, on ne trouve aucune mention de ses travaux dans la revue de la Société astronomique de France. »*

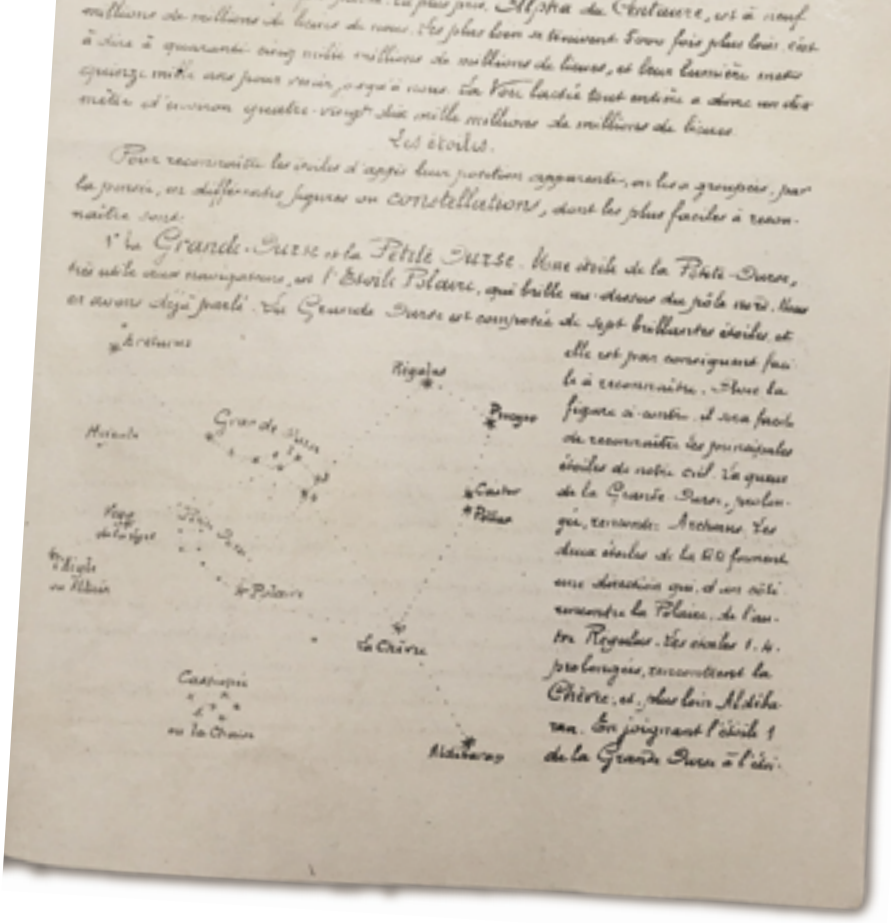
Coissac en conçoit sans doute de l'aigreur. *« Il y a une vraie frustration, une violence de classe »*, estime Florian Mathieu. Il a le sentiment que ses idées ne sont pas jugées pour elles-mêmes, mais en fonction de sa position sociale. Cette blessure ne cessera de s'approfondir avec les déboires de l'Intégrale. Sa première épouse refuse de le suivre dans cette aventure. Plus tard, sa seconde compagne semble partager assez peu ses idéaux communautaires. Son autorité suscite parfois des tensions au sein même de l'Intégrale. L'homme qui rêve d'une société sans domination

reste le centre de gravité de son propre système. Les départs se multiplient, les difficultés financières s'accumulent. *« L'Intégrale ne réussira jamais à subvenir aux besoins de ses membres »*, résume Diana Cooper-Richet.

Une revanche posthume

Dans les années 1930, alors que l'Intégrale vacille, Coissac tente une dernière fois de populariser ses idées. Sous le pseudonyme d'Illidé, il publie avec son ami Charles Rouch deux romans : *L'Envol* en 1933, puis *Sur la Lune* en 1935. Les ouvrages mêlent vulgarisation scientifique, aventure spatiale et idéal social. L'échec commercial de ces ouvrages contribue à aggraver la situation financière déjà précaire de la communauté, qui sera dissoute. Lorsque Victor Coissac meurt en 1941, ses rêves semblent avoir échoué. Son projet communautaire disparaît. Ses livres sombrent dans l'oubli.

Mais sans qu'il le sache, ses écrits ont commencé une seconde existence à plusieurs milliers de kilomètres de la France. En 1937, le pionnier soviétique Ary Sternfeld cite *La conquête de l'espace* dans la bibliographie de son ouvrage *Initiation à la cosmonautique*, justement pour son idée de freinage atmosphérique. Dans les années 1980, l'historien russe Serguei Golotyuk redécouvre l'ouvrage, puis en fait traduire une version russe. La véritable réhabilitation de Coissac commence alors… Mais loin de la France ! Ce n'est qu'en 1985 que sa figure réémerge dans notre pays, grâce à l'ouvrage *L'exercice du bonheur*, de Diana Cooper-Richet et Jacqueline Pluet-Despatin. Il est alors essentiellement question de l'anarchiste. Au début des années 2000, l'historien de l'espace Jacques Villain se penche enfin plus en profondeur sur ses travaux d'ingénieur amateur (un récit publié en 2003 dans *Ciel & espace*).



Un extrait des cours que donnait Victor Coissac, avec les constellations boréales dessinées de sa main. DR

Et aujourd'hui ? Si de nouveaux travaux sont venus enrichir son portrait, Victor Coissac demeure difficile à classer. Était-il un pionnier de l'astronautique ? Un utopiste obstiné ? Un marginal incompris ? Un homme de conviction, à coup sûr. Derrière ses erreurs et ses rêves parfois démesurés, il en demeure une qui a traversé toute sa vie. Il la place dans la bouche d'un des personnages de *L'Envol* : *« Presque toujours, l'utopie d'aujourd'hui sera réalité demain. »*



Le général belge Casimir Coquilhat s'intéresse dès 1871 aux fusées balistiques. DR

CASIMIR COQUILHAT, L'ANTI-COISSAC

Un autre pionnier oublié de l'astronautique a émergé ces vingt dernières années : Casimir Coquilhat, général d'artillerie né en 1831 et professeur de mathématiques. Bien avant Konstantin Tsiolkovski, cet officier belge avait déjà formulé la fameuse équation de la fusée, le principe mathématique fondamental du vol spatial. En 1871, dans un mémoire consacré aux fusées militaires, il établit noir sur blanc une relation décrivant la vitesse acquise par une fusée en fonction de sa masse et de la vitesse d'éjection des gaz : autrement dit, l'équation dite aujourd'hui « de Tsiolkovski ». Contrairement à Victor Coissac, Coquilhat ne s'intéresse pourtant pas aux voyages spatiaux. Ses travaux relèvent avant tout de la balistique et de l'artillerie. Là où Coissac rêve d'émancipation cosmique, Coquilhat reste un militaire pur et dur. Cette opposition a de quoi fasciner : d'un côté un instituteur utopiste imaginant la Lune sans maîtriser toute la physique, et de l'autre un mathématicien rigoureux découvrant les bases théoriques du vol spatial… sans chercher à quitter la Terre !

AU PIED DE VERONA RUPES, LES INTERMINABLES REMPARTS DE MIRANDA

La planète géante Uranus « malaxe » en permanence Miranda par sa puissante gravité. En résultent d'immenses failles à la surface du petit satellite. Visite guidée des plus hautes falaises imaginables.

Émilie Martin

Les remparts de glace qui se dressent à la verticale devant vous sont si élevés que pour les embrasser du regard, vous devez vous tordre le cou en arrière, à 90°. Pas facile, dans un scaphandre. Vous êtes au pied des plus hautes falaises de tout le Système solaire : Verona Rupes, sur Miranda, lune d'Uranus.



Miranda est l'un des satellites d'Uranus, à près de 3 milliards de kilomètres de la Terre et du Soleil. Ce petit monde de 470 km de diamètre réserve une curiosité géologique sans équivalent dans le Système solaire ! En bas à gauche sur l'illustration principale, la tour Eiffel à l'échelle.

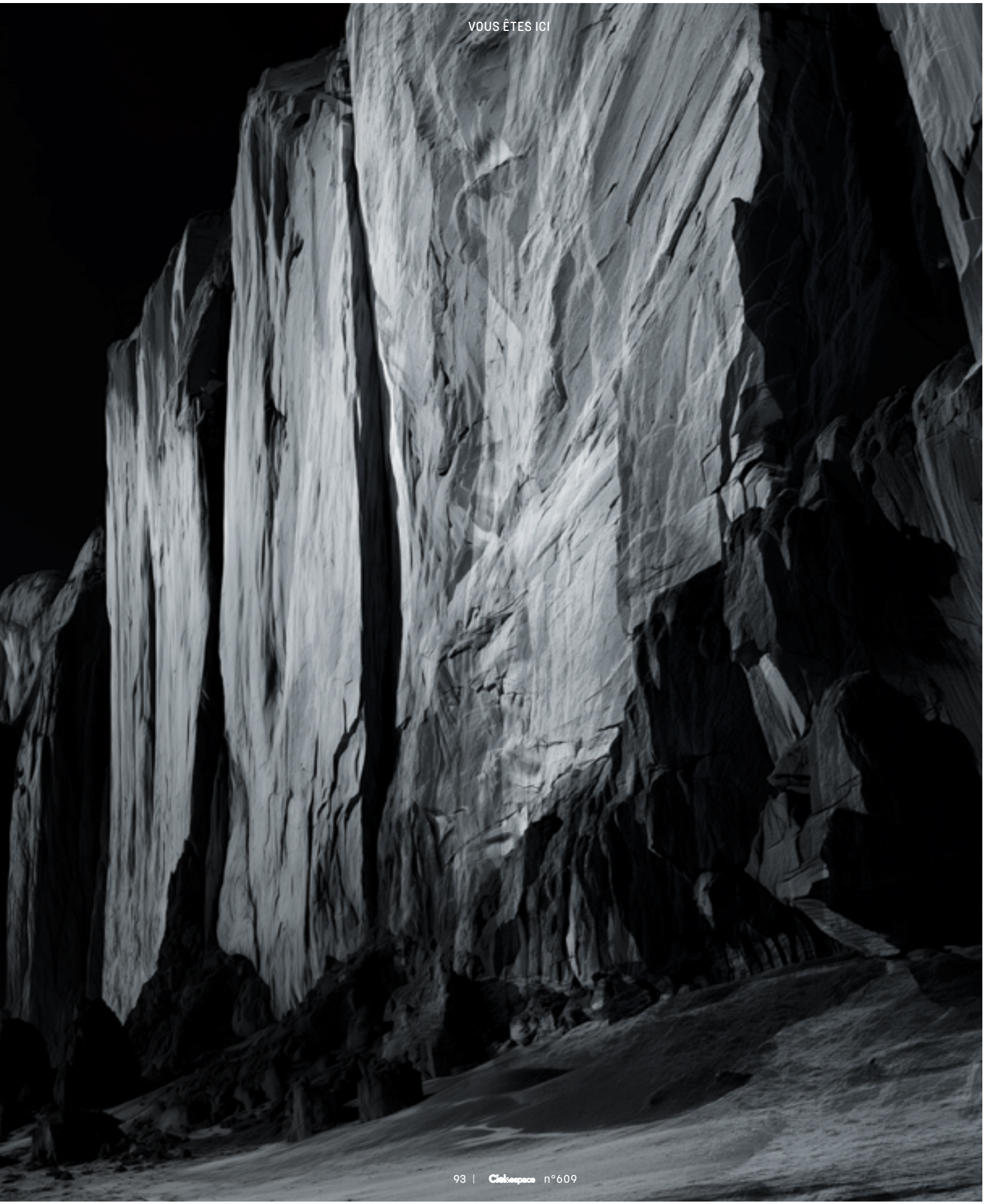
© Nasa/JPL-Caltech

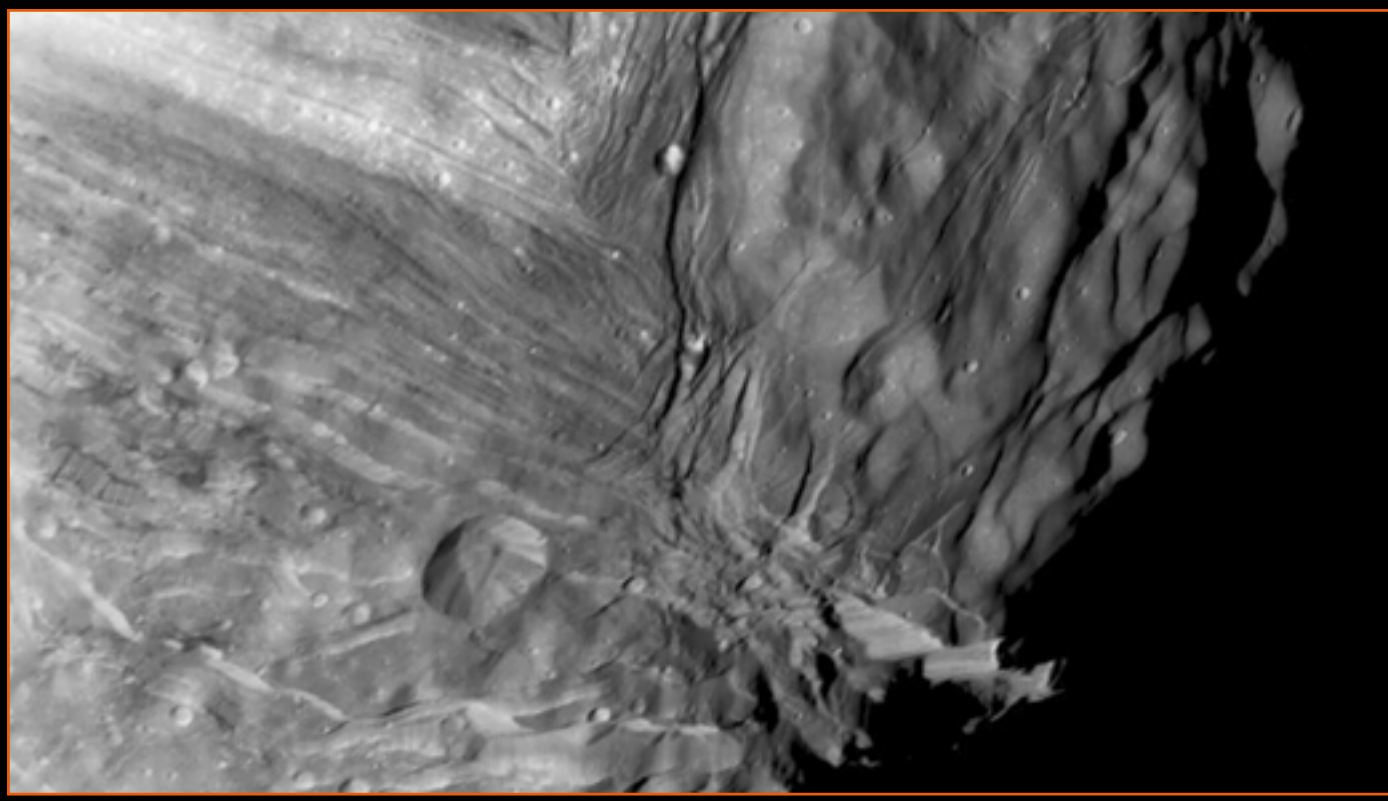
Les estimations établies d'après les photos de la sonde Voyager en 1986 les donnaient hautes de 10 à 20 km. Le mètre laser intégré à votre scaphandre indique en fait 19 km : deux Everest empilés. Ce mur abrupt s'étend sur 120 km de long. Vous vacillez de vertige.

Heureusement que vos bottes sont cramponnées. Sur Miranda, petit corps de seulement 470 km de diamètre principalement composé de glace d'eau, la gravité vaut 1/125 de celle ressentie à la surface de la Terre. Le moindre faux pas vous ferait décoller de plusieurs mètres avant que vous ne retombiez très lentement au sol. Tête toujours penchée vers l'arrière, vous maintenez le regard vers le ciel. Flirtant avec la crête de Verona Rupes, Uranus grignote 20° d'un ciel d'encre : la planète est 40 fois plus grande que la Lune vue depuis la Terre !

En dépit de cette gigantesque pupille d'un bleu vert qui culmine à 70°, la luminosité est très faible. Ici, le Soleil est 20 fois plus éloigné qu'il ne l'est de notre planète (2,7 milliards de kilomètres contre 150 millions de kilomètres) et donc 370 fois moins lumineux. Dans le ciel de Miranda, il n'est par conséquent guère plus imposant qu'un gros point brillant. Et encore, dans cette phase de

© O. Hodasava/CBE





Une falaise quasiment verticale de près de 20 km de hauteur : telle est l'incroyable formation géologique qui apparaît sur cette unique image de Miranda prise par la sonde Voyager 2 en 1986. Autre curiosité, Uranus se trouve toujours exactement au-dessus de cet à-pic, du fait que Miranda présente en permanence le même hémisphère vers sa planète. © Nasa/JPL-Caltech



Les falaises se trouvent au milieu d'une surface chaotique, dont cette vue générale de Miranda donne une idée. Ces fractures sont le résultat de forces de marées jadis exercées sur la petite lune. Voyager 2 n'a réalisé qu'un simple survol. La moitié de Miranda qui se trouvait dans la nuit n'a pas pu être observée. Réserve-t-elle d'autres surprises ? © Nasa/JPL-Caltech

« Pleine Uranus », où la planète géante, Miranda et le Soleil sont parfaitement alignés, ce dernier est caché sous l'horizon quelque part sous vos pieds. Ce n'est donc qu'à la lueur bleutée de l'immense disque planétaire que la muraille glacée est éclairée.

Devant une falaise de glace

Vous vous trouvez à seulement 1 km de sa base, mais vous ressentez l'envie irrépressible de la voir d'encore plus près, de la toucher. Vous vous approchez, en marchant comme sur des œufs, pour ne pas risquer de vous envoler. Quelques légères enjambées entre un chaos de blocs de glace probablement tombés lors de sa formation, et vous y êtes. La lumière est décidément étrange et faible, mais elle vous permet tout de même de contempler le monument d'un bleu luisant. Dix-neuf mille mètres de dentelles verticales, le rêve ultime de tout fan d'escalade !

La varappe extraterrestre n'est pas au programme de votre trek, mais vous avez encore le temps pour une petite randonnée le long de Verona. Vous observez chaque détail de la colossale sculpture, superbe succession de lézardes, de promontoires et d'à-pic… Verona est à l'image de toute la surface de Miranda : chaotique. Cela vous avait frappé d'emblée depuis l'orbite : la surface tout entière n'est qu'un superbe fatras de roches et de glaces. D'autres falaises, mais aussi des reliefs vallonnés, des crêtes, des fractures, des cratères d'impact, de vastes structures de forme ovale ou en chevron ou encore des vallées peignées de sillons composent un saisissant patchwork. Qui est donc le couturier de cette œuvre invraisemblable ? Un gros impacteur aurait-il disloqué le satellite en plusieurs morceaux, qui se seraient ensuite réassemblés ? Ce fut, plusieurs décennies durant, la théorie privilégiée par les scientifiques.

> Une valse à trois avec Ariel et Umbriel aurait considérablement allongé l'orbite de Miranda

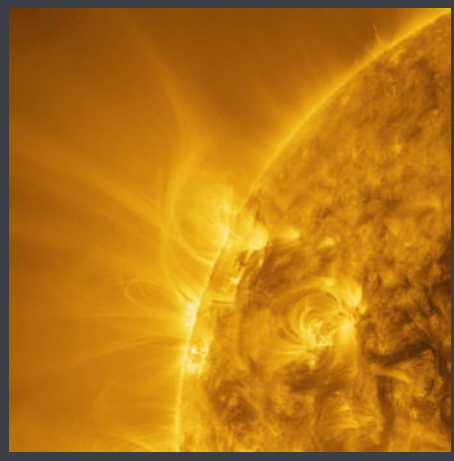
Mais devant la gueule cassée de Miranda, vous vous remémorez un article de 2024 qui invoquait un tout autre phénomène à l'origine d'un tel chaos minéral : la tourmente serait venue non pas du ciel, mais des profondeurs. Et ce, très récemment. Naviguant à 129 000 km d'Uranus, Miranda est le plus proche de ses cinq satellites principaux. Il y a de cela 100 à 500 millions d'années, il serait entré dans une sorte de jeu orbital ultracadencé (que les astronomes nomment résonance) avec ses voisins Ariel et Umbriel. Cette valse à trois a progressivement allongé l'orbite de Miranda.

Un manteau en partie fondu

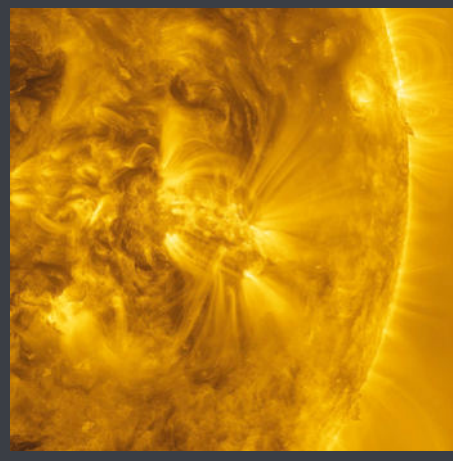
À chacun de ses passages au plus près, puis au plus loin d'Uranus, le petit satellite a donc subi de puissants effets de marée de nature à malaxer, comprimer, échauffer ses entrailles. Soumis à l'incessante chaleur de cette forge intérieure, son manteau glacé aurait fondu en partie, créant un vaste océan souterrain de 100 km d'épaisseur. Soit quasiment la moitié du rayon de Miranda (235 km) ! Flottant des dizaines de millions d'années durant au-dessus de cet océan en proie à de constants mouvements, la croûte originelle — dont les grandes zones cratérisées, dites Regio, portent encore les stigmates — n'a eu de cesse de se tordre, de se fracturer et d'éructer du matériau frais. C'est ainsi qu'elle s'est progressivement parée des innombrables cicatrices que vous avez le privilège d'admirer.

Comme toutes les autres, Verona Rupes est le fruit de cette implacable tectonique de marée. L'immense falaise est née lorsqu'ici, à 18° de latitude sud, le sol s'est déchiré le long d'une gigantesque faille, et un bloc monumental s'est effondré que d'un côté de cette faille. Si Miranda s'est aujourd'hui libéré de sa valse forcée avec les satellites voisins et qu'il n'est plus tiraillé comme auparavant par les effets de marée uraniens, il est toutefois possible qu'au moins une partie du vaste océan caché subsiste encore aujourd'hui, concluait l'article. Il vous semble d'ailleurs le sentir bouillonner sous vos pieds… À moins que ça ne soit le vertige qui vous fasse à nouveau trembler.

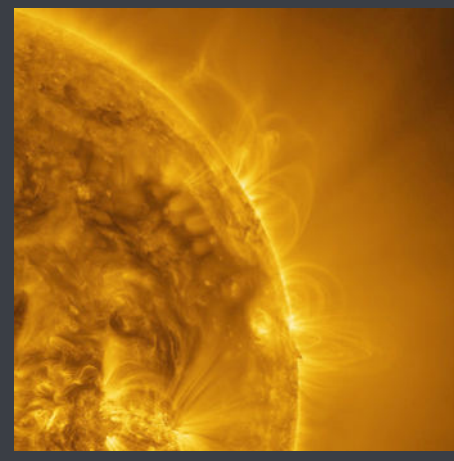
Avant de quitter ce monde inouï, vous prenez le temps de contempler une dernière fois l'interminable et délicate Verona, coiffée d'une Uranus désormais légèrement gibbeuse. C'est que Miranda boucle un tour d'Uranus en seulement 34 h. Depuis sa surface, la planète géante change donc de phase quasiment à vue d'œil. Vous plissez les yeux. Coupant en deux l'énorme disque turquoise, il vous semble distinguer un fin liseré noir, imperceptible. Vous exultez : ce sont les anneaux d'Uranus ! Vous entamez le retour, grand sourire vissé aux lèvres : Miranda vous a comblé bien au-delà de toutes vos espérances.



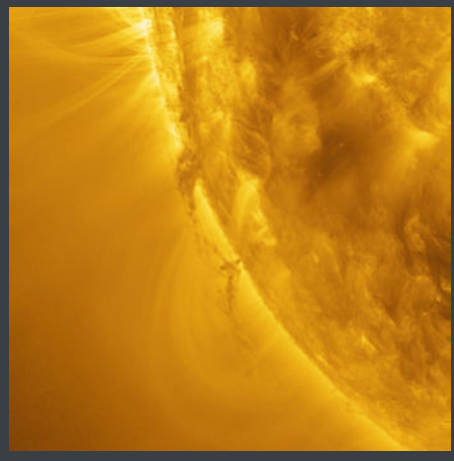
1 / Couronne lumineuse



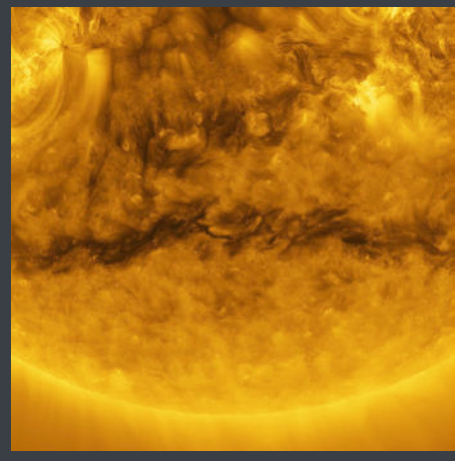
2 / Région active



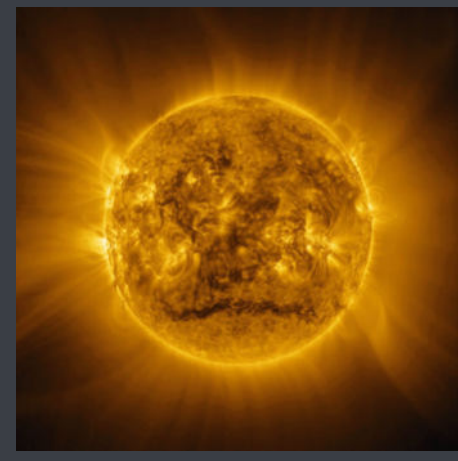
3 / Boucles coronales



4 / Protubérance solaire



5 / Filament



6 / Soleil en haute résolution par Solar Orbiter



7 / Le roi Soleil par Nicolas Lefaudeux



8 / Au travers de l'éclipse par Petr Horalek



9 / La nouvelle aube par N. Lefaudeux



10 / Éclipse de Soleil par Thierry Legault



11 / Le diamant par Gwenaël Blanck

Gallery Astro a choisi pour vous ce mois-ci

GALLERY ASTRO

Tous les deux mois, retrouvez sur cette page une sélection de tirages à prix réduit

par rapport au prix public affiché sur www.galleryastro.fr

BON DE COMMANDE à retourner accompagné de son règlement, à
GALLERY ASTRO - AFA 17, rue Émile-Deutsch-de-la-Meurthe 75014 Paris - 01 45 89 81 44

DÉSIGNATION **TIRAGE SOUPLE MAT**		Prix	OPTION CONTRECOLLAGE*	Qté	TOTAL
609/1 - Couronne lumineuse	40 x 40 cm	35 €	+ 100 €		
609/2 - Région active	40 x 40 cm	35 €	+ 100 €		
609/3 - Boucles coronales	40 x 40 cm	35 €	+ 100 €		
609/4 - Protubérance solaire	40 x 40 cm	35 €	+ 100 €		
609/5 - Filament	40 x 40 cm	35 €	+ 100 €		
609/6 - Soleil en haute résolution par Solar Orbiter	40 x 40 cm	35 €	+ 100 €		
609/7 - Le roi Soleil	60 x 40 cm	42 €	+ 120 €		
609/8 - Au travers de l'éclipse	60 x 45 cm	42 €	+ 120 €		
609/9 - La nouvelle aube	40 x 40 cm	35 €	+ 100 €		
609/10 - Éclipse de Soleil	60 x 40 cm	42 €	+ 120 €		
609/11 - Le diamant	60 x 40 cm	42 €	+ 120 €		
Bon d'achat entre 30 € et 500 € (saisir le montant souhaité)					
TOTAL TTC - frais de port inclus					

ADRESSE DE LIVRAISON

Nom .....

Prénom .....

Adresse .....

Code postal ..... Ville .....

Tél. .....

Mail* .....

*Indispensable pour le suivi des colis

Je règle par chèque à l'ordre de *Ciel & espace*

Pour tout autre paiement nous contacter à l'adresse
contact@afastronomie.fr

Tarifs valables pour la France métropolitaine
jusqu'au 30 novembre 2026

En application de l'article 27 de la loi du 06/01/1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et sont communiquées aux destinataires la traitant. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de nos services. Vous pouvez vous opposer à ce que vos nom et adresse soient cédés ultérieurement.

609330

TIRAGE SOUPLE MAT

Impression argentique sur Papier RC Mat Fuji Crystal Archive Velvet 250 g pour **un rendu à la fois mat et souple**, sans fortes densités et à faible contraste. Par ses caractéristiques particulières, **il s'adapte très bien à tout type d'éclairage.** De plus, l'émulsion photosensible est couchée sur un support polyéthylène appelé RC (Resin Coated) qui rend ce papier particulièrement **résistant** aux manipulations et **stable** dans le temps.

ET TOUJOURS NOS BONS D'ACHAT

Valables 1 an à partir de la date de la commande

Valeur à saisir entre 30 € et 500 €**

** Un code vous sera envoyé par mail



Autres tirages et finitions premium sur notre site www.galleryastro.fr

Commande en ligne : le tirage Fine Art est contrecollé sur une plaque d'aluminium de 1 mm ou de dibon avec au dos des barres d'accrochage pour une fixation parfaite.

TIRAGES ET FINITIONS RÉALISÉS PAR LE LABORATOIRE PROFESSIONNEL PICTO

* impressions souples, directes ou contrecollées sur une plaque d'aluminium de 1 mm ou de dibon avec au dos des barres d'accrochage pour une fixation parfaite.

L'AFA OMNIPRÉSENTE AUPRÈS DES FRANÇAIS PENDANT L'ÉCLIPSE

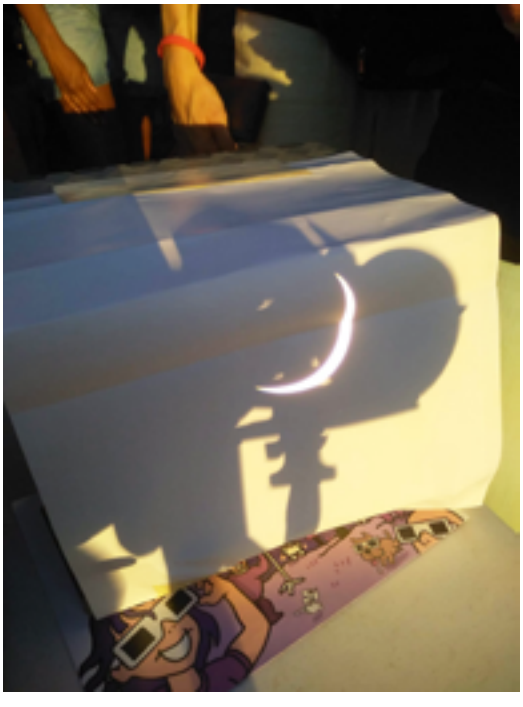
Guillaume Langin

Les regards et les cœurs étaient nombreux à se tourner vers le Soleil, partout en France le soir du 12 août 2026. À Paris, au parc André Citroën, l'on comptait plus de 20 000 paires d'yeux, bien protégés derrière leurs lunettes « Éclipse info », du nom du dispositif spécialement déployé par l'Association française d'astronomie (AFA) pour informer, observer et protéger, à l'occasion de cette rare éclipse de Soleil.

Dans les heures précédant le début de la rencontre entre la Lune et le Soleil, d'interminables files d'attente chez les opticiens, auprès des pharmacies et des magasins d'astronomie, illustraient l'ampleur de l'engouement. L'AFA, elle, n'avait pas attendu pour diffuser ce moyen de protection dans tout le pays. Plus de 230 000 paires « Éclipse info » ont été distribuées — dont 20 000 dans les ultimes instants ! — souvent par l'entremise des clubs et associations d'astronomie en France. Autant de paires ont été offertes avec les trois magazines *Ciel & espace*, édités par l'AFA, pour beaucoup en rupture de stock chez les marchands de journaux le jour J.

Les journalistes de la rédaction de *Ciel & Espace* étaient eux aussi aux côtés du public le soir du 12 août. Depuis l'Espagne, où ils sont





parvenus à filmer l'éclipse totale au moyen de lunettes et caméras astronomiques. Et à retransmettre ces images fabuleuses en direct sur internet. Mais également dans les foyers des ménages français, en acceptant les invitations des nombreux médias télévisuels (dont France 2 pour une édition spéciale à 20 h le 12 août), afin de décrypter le phénomène aux spectateurs.

Le direct depuis l'Espagne a permis de vivre une éclipse totale

170 sites d'observation

Le jour J, 170 soirées d'observation de l'éclipse ont été organisées partout en France. Dans les semaines qui ont précédé, l'exposition « Le jour du Soleil noir » conçue par l'AFA a été diffusée dans 600 lieux d'accueil du public. En outre, 200 personnes en France ont bénéficié de la formation de « montreurs d'éclipse » élaborée par l'association.

Quant aux milliers de curieux venus contempler l'éclipse à Paris, tous n'ont pas quitté les lieux après le maximum d'obscuration de 92 %. Bien au contraire ! La nuit tombée, les animateurs de l'AFA ont dressé leurs télescopes pour montrer le ciel nocturne au public… Pendant que les étoiles filantes des Perséides fendaient le ciel, déclenchant pour chacune d'entre elles les hourras du public, enthousiaste et heureux par une belle nuit d'été.



Qu'elle soit partielle en France (à gauche, à Paris) ou totale en Espagne, l'éclipse a réuni des millions de personnes autour d'un évènement astronomique.
© AFA et J.-L. Dauvergne

STAGES ET FORMATIONS À L'OBSERVATION ASTRONOMIQUE

1re ÉTOILE ★
Le **3** octobre à Évry-Courcouronnes (91)
Le **10** octobre à Dijon (21) et à Cailhavel (11)
Le **17** octobre à Dijon (21) et à Vaulx-en-Velin (69)
Le **24** octobre à Mars (07) et à Buthiers (77)
Le **31** octobre à Paris (75)
Le **7** novembre à Dijon (21) et à Paris (75)
Le **14** novembre à Evires (74), à Évry-Courcouronnes (91) et à Vaulx-en-Velin (69)
Le **28** novembre à Paris (75) et à Buthiers (77)

2e ÉTOILE ★★
Le **10** octobre à Buthiers (77)
Le **17** octobre à Rouvroy-les-Merles (60)
Le **31** octobre à Mars (07)
Le **21** novembre à Aillon-Le-Jeune (73)

3e ÉTOILE ★★★
Le **9** octobre à Buthiers (77)
Le **7** novembre à Rouvroy-les-Merles (60)



Découvrez tous les autres stages 1, 2, 3 étoiles sur www.afastronomie.fr/les-stages-1-2-3-etoiles

RECORDS D'AFFLUENCE PENDANT LES NUITS DES ÉTOILES 2026

Guillaume Langin

La force d'attraction de la Lune et du Soleil combinés a su attirer du monde à l'astronomie. Les 7, 8 et 9 août 2026, quelques jours avant l'éclipse, les 36es Nuits des étoiles organisées par l'Association française d'astronomie (AFA) ont reçu deux à trois fois plus de visiteurs que l'année précédente, selon les informations des centaines de clubs et associations y ayant pris part. Parmi les plus de 530 manifestations publiques organisées partout en France, celles proposées par l'AFA n'ont pas dérogé à la règle. À Paris, au parc Montsouris, puis au Jardin d'Éole et au square Louise-Michel, près de 6 000 personnes se sont rendues auprès des télescopes installés par les montreurs et montreuses d'étoiles de l'AFA. Entre deux immersions dans la voûte céleste, les Nuits des étoiles ont été cette année l'occasion d'informer le public quant à l'éclipse de Soleil qui allait se produire le 12 août 2026, de distribuer des paires de lunettes spéciales pour observer l'astre du jour en toute sécurité, et de lancer le compte à rebours tant attendu de la rencontre entre la Lune et le Soleil !





Le public était nombreux pour découvrir le ciel grâce aux télescopes déployés dans les jardins de la capitale, le week-end qui a précédé l'éclipse de Soleil du 12 août. © AFA





Les astronomes viennent présenter leurs découvertes à la Cité des sciences, à Paris. DR

RENCONTRES DU CIEL ET DE L'ESPACE : PRÉPAREZ VOTRE VENUE

Désormais trentenaires, les Rencontres du ciel et de l'espace (RCE) célèbreront leur 15e édition les 13, 14 et 15 novembre 2026. Le programme des conférences est désormais connu ! Comme tous les deux ans, les grands amphithéâtres de la Cité des sciences et de l'industrie sont le meilleur endroit pour se tenir informé des plus récentes découvertes, de la bouche des spécialistes travaillant pour les plus grands programmes de recherche en astrophysique au monde : JWST, ELT, SKAO, Euclid, Vera C. Rubin, DESI… Tous seront représentés, dans une période où l'actualité sera riche en matière d'exploration spatiale, puisque la sonde MMX aura décollé en direction des lunes de Mars et la sonde Hera aura tout juste atteint l'astéroïde Didymos. Les RCE sont aussi l'occasion pour les amateurs et amatrices d'astronomie pratique de se retrouver, autour de dizaines de présentations techniques, d'un salon de l'astronomie, d'ateliers, d'animations et de projections. N'attendez plus pour organiser votre venue !

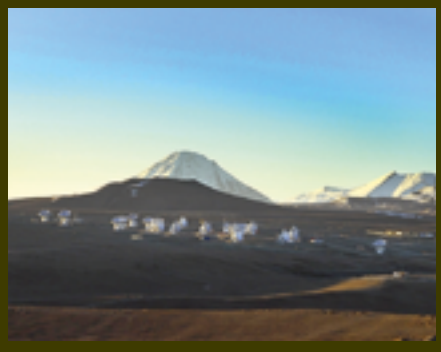
Infos et billetterie : www.afastronomie.fr/rencontres-ciel-espace



NOS VOYAGES

CHILI, VOYAGE ASTRONOMIQUE DANS L'ATACAMA

du 2 au 13 octobre 2026 - 6 231 €



TOSCANE SUR LES TRACES DE GALILÉE

du 11 au 16 octobre 2026 - 2 079 €



SUISSE LA ROUTE DES OBSERVATOIRES

du 8 au 12 mars 2027 - 1650 €



Tous nos prochains voyages :

www.afastronomie.fr rubrique « Voyager »

NGC 7009, LA NÉBULEUSE DÉGUISÉE EN SATURNE

L'une des premières nébuleuses planétaires à avoir été observées est aussi une curiosité céleste par son apparence, qui la fait ressemble à la planète Saturne. Les investigations des scientifiques ont permis de comprendre cette forme que l'on peut admirer dans un grand télescope d'amateur.

Philippe Henarejos

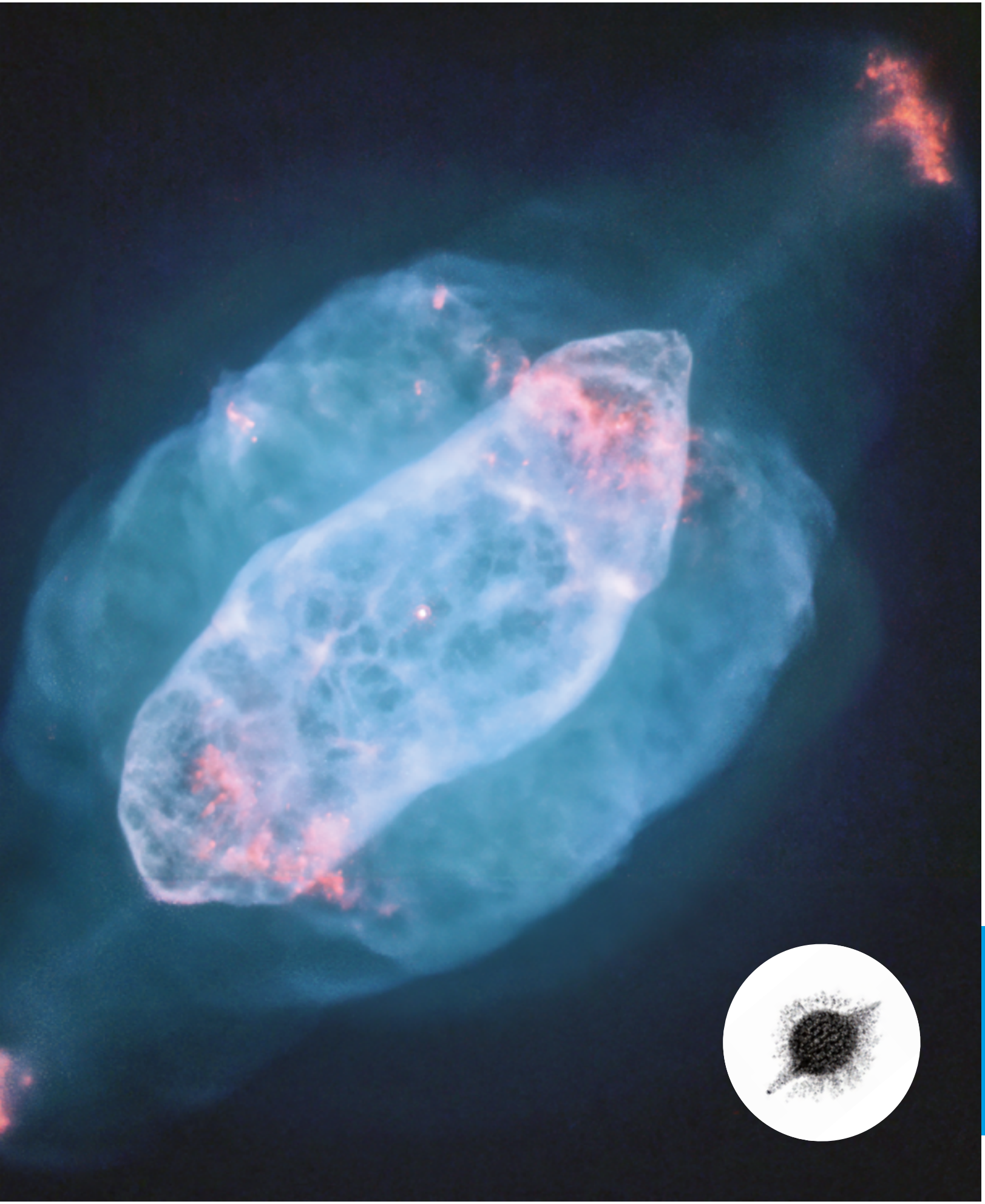
Dès sa découverte, en 1782 par le Britannique William Herschel, NGC 7009 est apparu comme un objet céleste insolite. Car cet astre d'apparence compacte ne ressemble en rien aux nébuleuses inventoriées jusque-là. Herschel écrit à son sujet, trois ans plus tard, qu'il lui trouve une *« apparence planétaire »* si remarquable qu'il lui est difficile de supposer qu'il s'agit d'une nébuleuse. Et qu'il est ainsi improbable de vouloir le classer dans cette catégorie d'objets célestes. De fait, il vient d'inventer le terme de *« nébuleuse planétaire »* à partir de l'observation de NGC 7009.

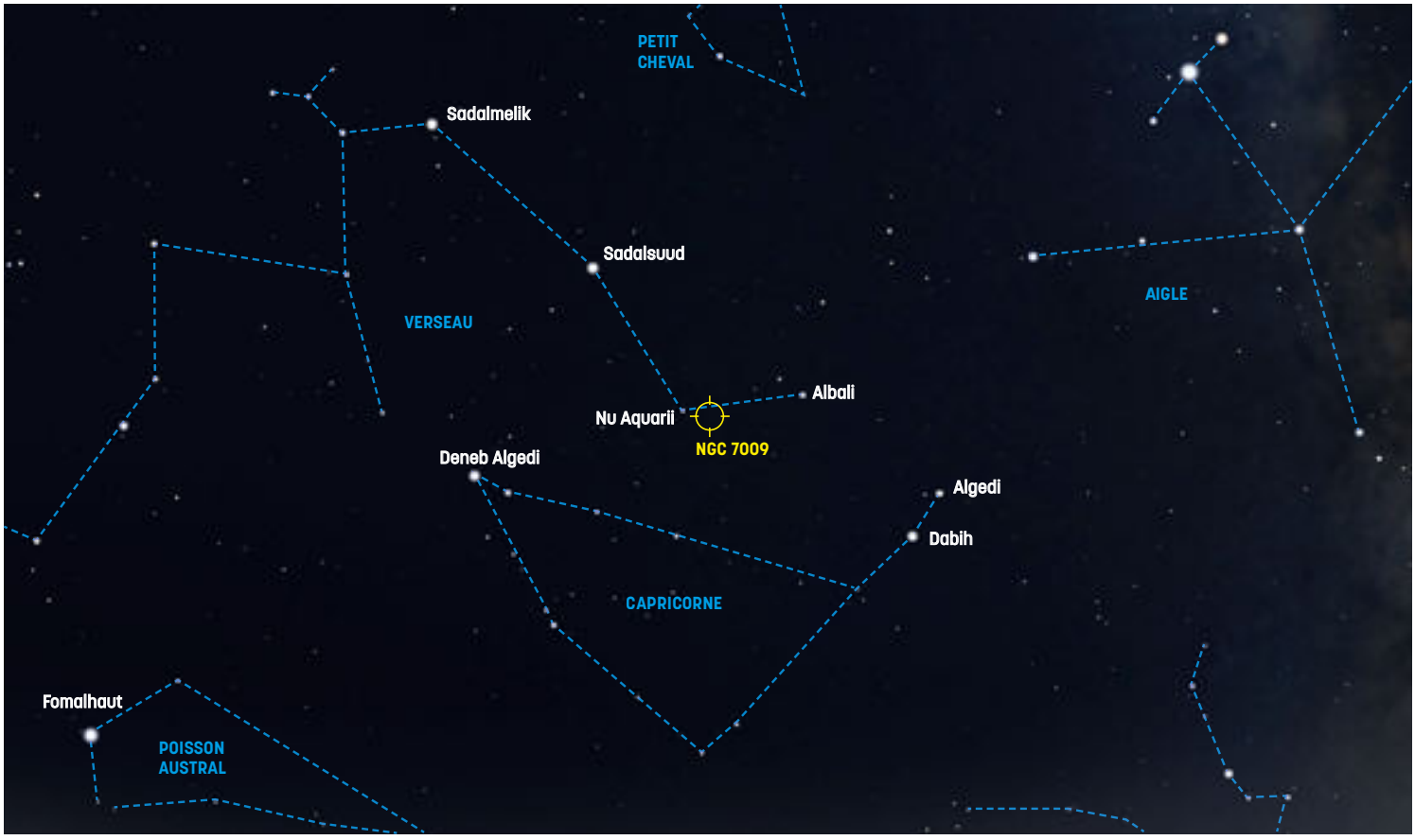
Mais ce n'est pas tout. Environ 60 ans plus tard, l'astronome irlandais William Parsons, alias lord Rosse, essaie sur le ciel son tout nouveau télescope géant de 1,8 m de diamètre. Et il vise NGC 7009. Nouvelle surprise : il remarque que cet objet de contour circulaire *« a des anses qui, probablement, indiquent un anneau nébuleux l'entourant vue de profil »*. En d'autres termes, cela ressemble à une sphère encerclée d'un anneau… Exactement comme la planète Saturne. Lord Rosse exécute un dessin qui s'affiche comme *« une miniature nébuleuse parfaite de Saturne »*, selon les termes de l'Américain Robert Burnham dans son très populaire guide céleste des années 1960. Ainsi, après avoir donné le nom à une classe de nébuleuses, NGC 7009 se charge d'un surnom qui en fait une célébrité : la nébuleuse Saturne.

Il faut dire qu'à l'époque où Herschel et lord Rosse collent l'œil à l'oculaire, les astronomes ignorent tout de la nature réelle des nébuleuses planétaires. Tout au plus, William Herschel a fini par découvrir qu'au centre de NGC 6543, qu'il a découverte en même temps que NGC 7009, se niche une étoile de faible magnitude. Il pense alors avoir observé la naissance d'une étoile, encore entourée de gaz. En réalité, il assiste à leur mort. Les nébuleuses planétaires, dont fait partie NGC 7009, se forment en effet lorsqu'une étoile de faible masse arrive au bout de son évolution. À la fin de la combustion de la majeure partie de son hydrogène, son enveloppe extérieure se dilate exagérément tout en se refroidissant. C'est ce qui arrivera au Soleil dans un peu plus de 4 milliards d'années ; son enveloppe grandira alors jusqu'à engloutir la Terre. Le processus débouche sur l'expulsion de cette enveloppe dans l'espace. En quelques dizaines de milliers d'années, le noyau de l'étoile se retrouve à nu, sous la

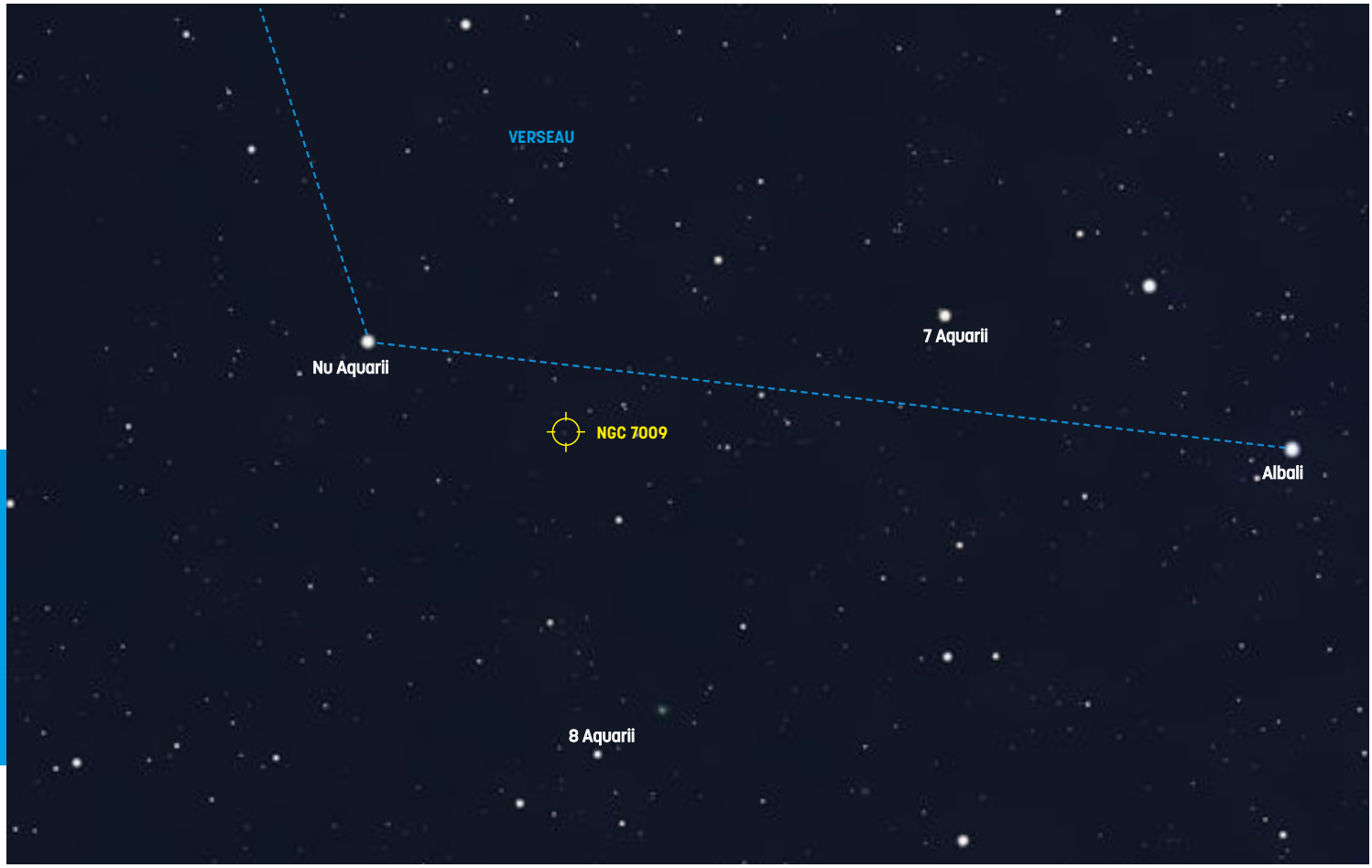


Sous l'œil du télescope spatial Hubble, NGC 7009 n'a que de très loin l'apparence de Saturne. Celle-ci a été popularisée au XXe siècle par les photos argentiques des grands observatoires, après le dessin de lord Rosse datant des années 1840 (en bas à droite). © Nasa/ESA/HST





NGC 7009 n'est pas très facile à trouver dans le ciel. Bien que située dans la constellation du Verseau, mieux vaut partir du Capricorne pour la repérer. Cette constellation faite de deux « bras » d'étoiles est en effet assez aisément reconnaissable. Juste au-dessus de son bras le plus haut se trouve l'étoile Nu Aquarii, de magnitude 4,5. La nébuleuse se cache à 1,25° à droite de cette étoile.



forme d'une naine blanche très chaude de la taille de la Terre. C'est cela, l'étoile centrale de NGC 6543 qu'a vu William Herschel.

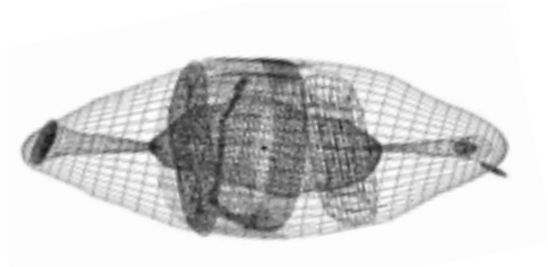
La nébuleuse Saturne est donc un cadavre stellaire. Selon les mesures astrométriques réalisées par le satellite européen Gaia, elle se situe à environ 4 000 années-lumière. Sa taille apparente de 0,7' lui confère un diamètre réel de 0,8 année-lumière. Tout au moins pour ce qui est de sa partie la plus lumineuse, celle qui lui donne son apparence très saturnienne. Car sur les images à longue pose, un halo plus ténu s'étend davantage sur un diamètre de 2,6 années-lumière.

Une forme complexe

Naturellement, la forme très remarquée de NGC 7009 a posé une question aux scientifiques : pourquoi une étoile qui relâche son enveloppe dans l'espace ne donne-t-elle pas naissance à une bulle parfaitement sphérique ? Cela est le cas pour certaines, mais beaucoup, comme NGC 7009 affichent des formes complexes… Une reconstruction en trois dimensions de la nébuleuse a été effectuée en 2009. Pour cela, les astronomes ont discerné ses différentes structures (des formes, des coquilles multiples, un halo, un jet, des anses, des filaments et des nœuds) grâce à leurs mouvements, par des observations en spectroscopie. Et le résultat est bluffant. Il éclaire ce que les astronomes observent depuis des décennies. Et surtout, il se montre très différent de l'interprétation faite dans les années 1840 par lord Rosse !

Les anses de la nébuleuse ne sont pas un anneau qui l'entoure à la manière des anneaux autour de Saturne. Ce sont les extrémités de deux jets qui prennent leur origine très près de l'étoile centrale et qui s'échappent à environ 4 km/s. Leur processus de formation, vraisemblablement sous-tendu par le magnétisme de l'astre, reste à l'étude. Ces jets se situent en gros le long de l'axe polaire de la nébuleuse. Autrement dit, l'équateur se trouve dans la plus petite largeur de l'objet qui est de forme ovale. La rotation de l'étoile entre probablement en compte dans la complexité apparente de la bulle gazeuse qu'elle a relâchée. Les astronomes ont aussi tenté de définir l'âge de NGC 7009 d'après les vitesses d'expansion du gaz dans l'espace. Les premières estimations, au début des années 2000, indiquaient 6 000 ans. Mais en 2021, de nouvelles études ont avancé un âge bien plus élevé, supérieur à 52 000 ans. Dans les deux cas, c'est compatible avec le temps de formation et la durée de vie d'une nébuleuse planétaire.

Ni William Herschel ni Lord Rosse n'avaient remarqué au centre de NGC 7009 la présence d'une étoile de magnitude 12,8. Même avec un gros télescope, celle-ci n'est pas facile à voir, car elle se trouve au cœur de la zone la plus lumineuse de la nébuleuse. C'est de cet astre que tout est parti. Aujourd'hui, c'est une naine blanche, dont la masse est estimée entre 0,6 et 1 masse solaire. Ce qui était autrefois le cœur d'une étoile irradie l'espace tout autour de sa température voisine de 82 000 K.



Cette représentation en 3D de NGC 7009 réalisée en 2009 permet de comprendre la forme réelle de la nébuleuse. Ici, son axe équatorial est vertical. Et les anses sont en fait des jets, pas des anneaux.

À viser au télescope

Ce joyau de la sphère céleste que constitue la nébuleuse Saturne peut être aperçu aux jumelles. Car sa magnitude de 8 en fait un objet assez brillant. Toutefois, avec de telles optiques, son aspect ne permet pas de le distinguer d'une étoile. Il faut une lunette de 80 mm de diamètre dotée d'un grossissement de 80 fois pour apprécier son diamètre apparent d'un peu moins de 1 minute d'arc. Sa forme ovale est déjà perceptible. Un télescope de 200 mm offre une vision plus confortable, notamment parce que la coloration verte caractéristique des nébuleuses planétaires y devient intense. Si la partie périphérique peut être vue avec un filtre OIII, les anses qui valent à la nébuleuse son surnom de planétaire, demeurent trop peu lumineuses pour se révéler. Un plus gros télescope, de 300 ou 400 mm, permet enfin de visualiser les anses, ainsi que la naine blanche centrale. La vision de cet objet céleste, longtemps mystérieux, et qui éclaire aujourd'hui le destin des étoiles semblables au Soleil, est à la portée de tous.

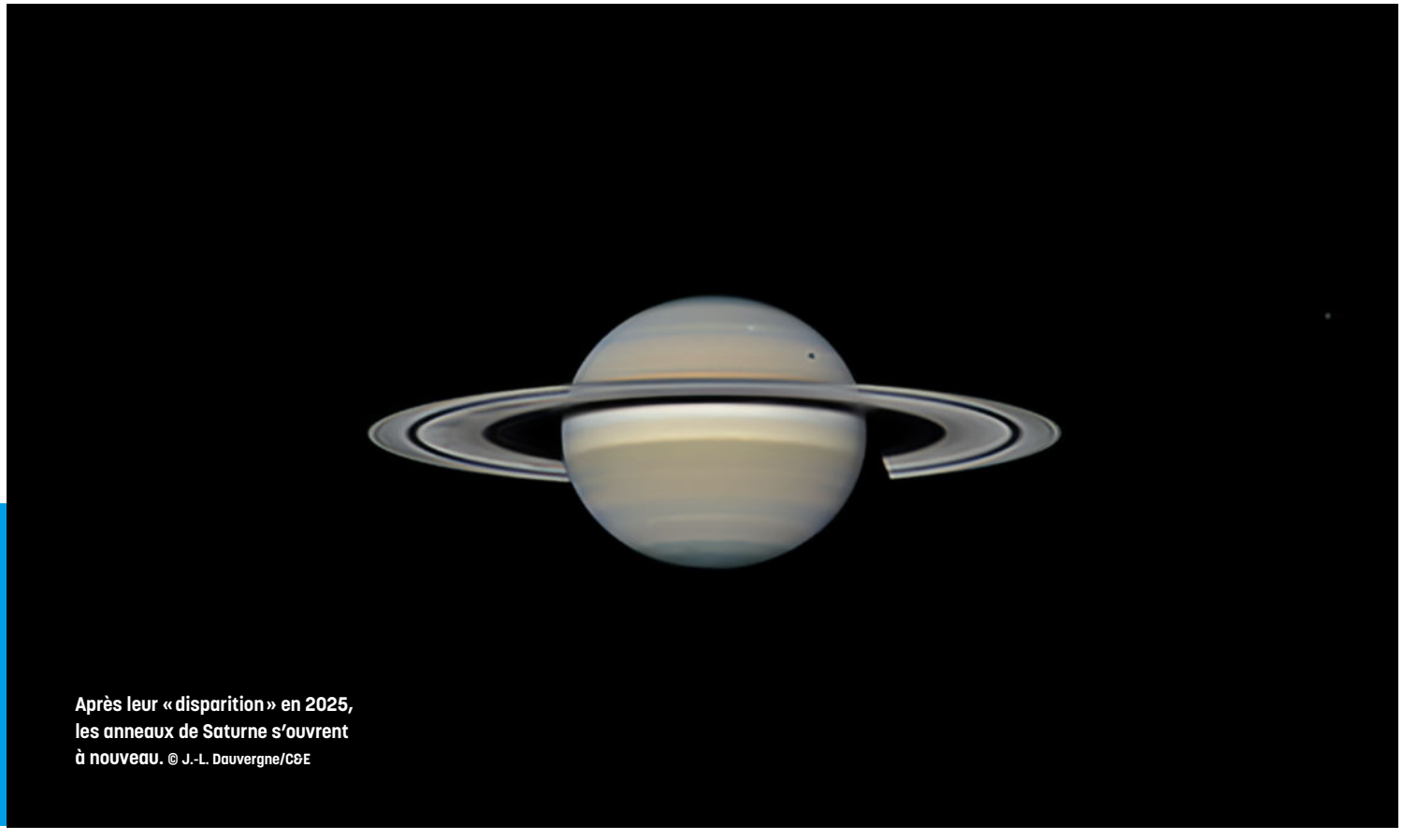
La nébuleuse illustre comment une étoile arrivée en fin de vie se métamorphose en seulement 52 000 ans

SATURNE BIEN EN VUE !

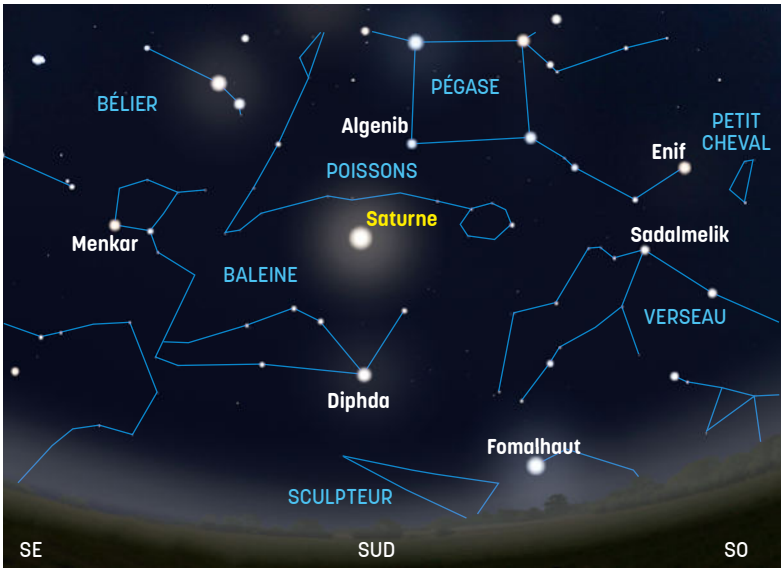
La planète aux anneaux passe à l'opposition le 4 octobre. Cette période est d'autant plus idéale pour l'observer que Saturne culmine à plus de 40° en milieu de nuit. De quoi espérer des vues à très haute résolution.

Phillipe Henarejos

Saturne est une planète lente. Il lui faut un peu moins de 30 ans pour boucler un tour des constellations de l'écliptique. C'est la raison pour laquelle son retour dans le nord de la Baleine marque un tournant pour les astronomes de l'hémisphère Nord, après plusieurs années pendant lesquelles elle a croisé dans les constellations australes. À compter de cet automne, Saturne va rester dégagée des turbulences atmosphériques les plus fortes pour plusieurs années. Son passage à l'opposition — donc au plus près de la Terre — le 4 octobre 2026 constitue une belle occasion de l'admirer ! Après leur « disparition » en 2025, les anneaux commencent à s'ouvrir. Ils sont bien visibles dans une petite lunette munie d'un grossissement de 40 à 50x. Avec un tel angle de vue, la division de Cassini, qui est un vide relatif entre les anneaux A et B, apparaît assez aisément aux deux extrémités. Un grossissement de 100x avec une lunette de 60 ou 80 mm permet de la voir correctement. Il est possible aussi de percevoir l'ombre des anneaux sur la planète. Cette ombre est discernable



Après leur « disparition » en 2025, les anneaux de Saturne s'ouvrent à nouveau. © J.-L. Dauvergne/C&E



Ce début d'automne est idéal pour admirer Saturne, bien placée dans le ciel après son passage à l'opposition le 4 octobre 2026. Sa position haute sur l'horizon la dégage des turbulences atmosphériques, une situation qui permet de belles observations au télescope.

POSITIONS REMARQUABLES DE TITAN

DATE	RAPPROCHEMENT AVEC SATURNE	ÉLONGATION
1/10	Sud de Saturne	-
5/10	-	Est de Saturne
9/10	Nord de Saturne	-
13/10	-	Ouest de Saturne
16/10	Sud de Saturne	-
20/10	-	Est de Saturne
24/10	Nord de Saturne	-
28/10	-	Ouest de Saturne
1/11	Sud de Saturne	-
4/11	-	Est de Saturne
8/11	Nord de Saturne	-
13/11	-	Ouest de Saturne
17/11	Sud de Saturne	-
21/11	-	Est de Saturne
25/11	Nord de Saturne	-
30/11	-	Ouest de Saturne

comme un fin liseré sombre au ras des anneaux sur le disque saturnien. L'ombre de la planète sur les anneaux est également visible, mais difficilement autour de l'opposition, car à ce moment, la Terre (qui est notre observatoire) n'est pas décalée par rapport au Soleil. Il vaut mieux attendre le 15 octobre pour l'apercevoir avec plus de facilité sur le bord ouest (à gauche dans un instrument qui inverse l'image).

Rayons de bicyclette

Les anneaux eux-mêmes peuvent réserver des surprises en ces mois qui suivent l'équinoxe sur Saturne. En effet, des taches sombres y apparaissent de manière saisonnière. Le phénomène, découvert en 1980 grâce aux sondes Voyager, est de retour depuis l'été 2026. Il se manifeste sur le côté des anneaux qui sort de l'ombre de Saturne. Autrement dit, le bord droit dans un instrument qui inverse l'image. Ces « spokes » (ou rayons de bicyclette) peuvent être photographiés avec un télescope de 200 mm. Avec un tel instrument, ils constituent cependant un défi pour une observation visuelle, car ils restent peu contrastés. Essayez donc ! Vous pourriez bien être parmi les rares personnes à les avoir vues de vos yeux…

Enfin, il y a Saturne elle-même. Si une bande nuageuse claire est évidente dans un petit instrument, un télescope de 150 à 200 mm de diamètre aide à discerner d'autres zones sur la planète. Mais les nuages de Saturne sont toujours peu contrastés et ils sont plus faciles à découvrir en imagerie que l'œil rivé à l'oculaire. Apercevoir l'assombrissement polaire n'a rien d'inaccessible avec un télescope de 180 mm. Il peut aussi y avoir des tempêtes dans les régions tempérées. Certes, elles sont rares, mais ce n'est pas une raison pour ne pas surveiller : certaines peuvent s'étendre considérablement jusqu'à faire un tour complet de la planète à leur latitude.

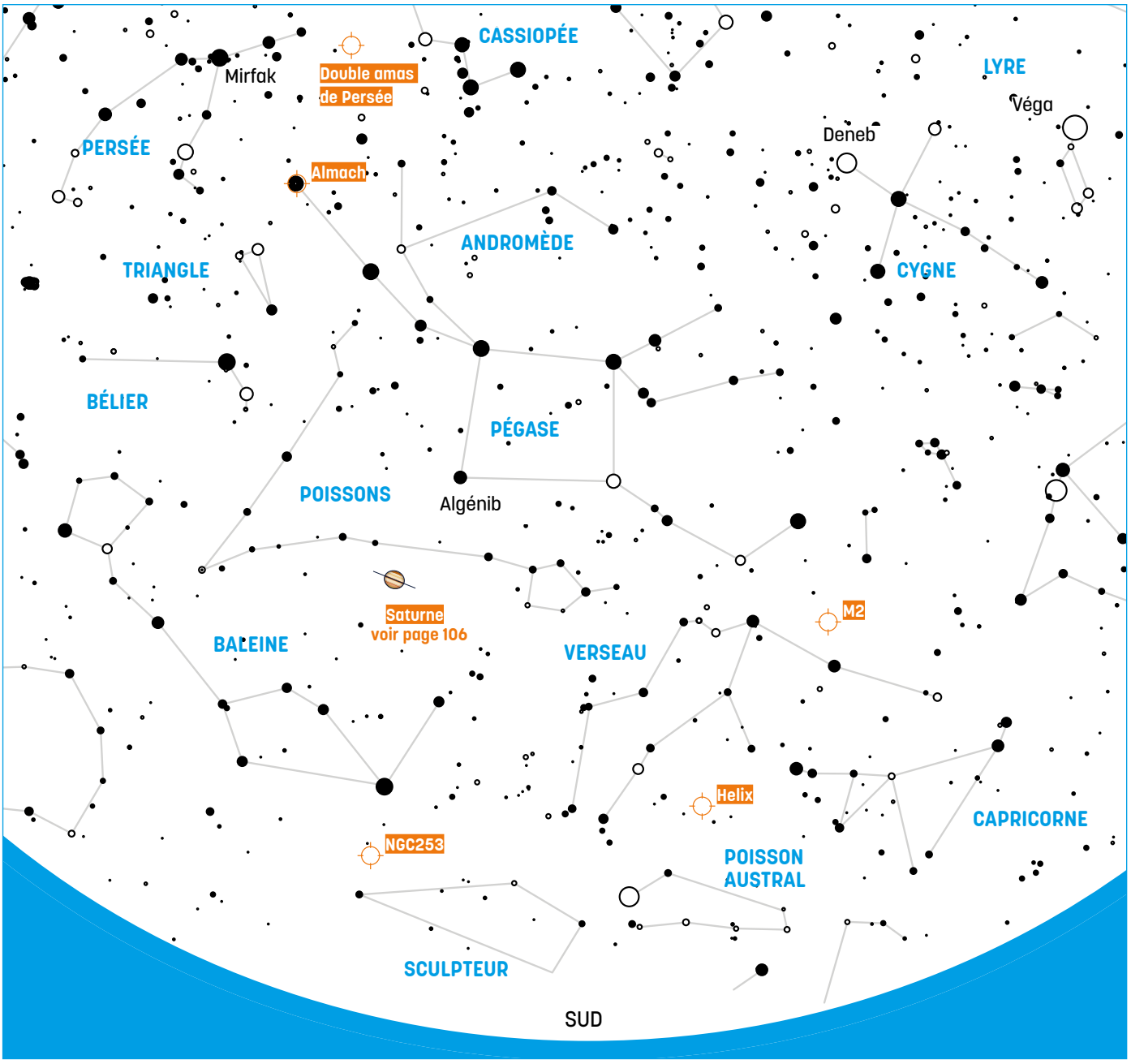
QUATRE GROS SATELLITES

Saturne possède de nombreux satellites. Dans un instrument d'amateur de moyenne puissance, quatre sont discernables : Titan, Rhéa, Téthys et Dioné. Ceux-ci peuvent être aperçus dans un télescope de 150 mm, mais un diamètre de 200 mm offre bien plus de confort. Guettez en particulier les dates auxquelles Titan, le plus gros et aussi le plus éloigné de tous, croise non loin de Saturne (voir tableau ci-dessus). Ces rapprochements, environ tous les 8 jours, procurent une belle vision au télescope. Les possesseurs de télescopes puissants (300 mm et plus) pourront tenter de saisir en imagerie des passages de Téthys et de son ombre sur le disque de la planète.

LES MERVEILLES DU CIEL D'AUTOMNE

Si Saturne est la star du moment, d'autres astres remarquables sont, eux, des fidèles du ciel d'automne. Au programme : une étoile double colorée, une célèbre nébuleuse, un double amas, une galaxie spirale…

Emmanuel Beaudoin



L'étoile multiple Almach

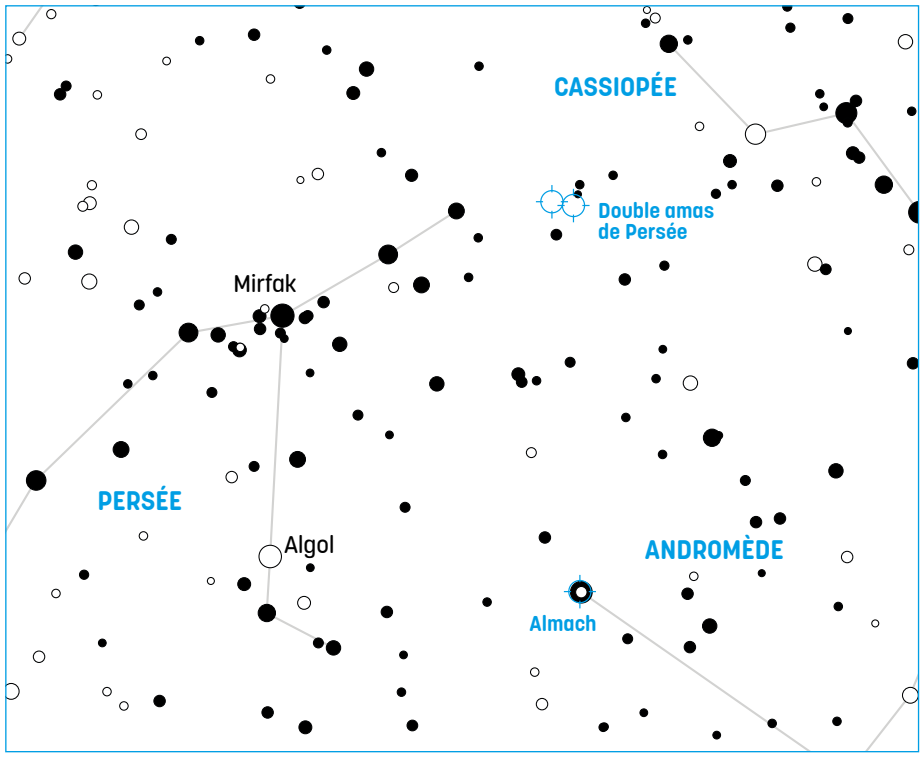


Constellation : Andromède
Magnitude : 2,1
Ascension droite : 2 h 5,5 min
Déclinaison : +42° 27′

Almach, alias Gamma d'Andromède, est un système formé de quatre étoiles, situé à 350 années-lumière de la Terre. Les deux astres principaux ont été observés pour la première fois en 1778. La composante la plus lumineuse, dénommée A, est une étoile géante orangée 15 fois plus massive et 3 000 fois plus lumineuse que notre Soleil. Elle est liée à un système triple, dont les astres sont nommés Ba, Bb et C. Ces étoiles assez modestes font entre 2 à 3 masses solaires. Le système double B et C a été découvert par Struve en 1842. Sa période orbitale n'est que de 64 ans, contre près de 5 000 ans pour le système principal. Au milieu du XXe siècle, les astronomes ont mis en évidence par spectroscopie la nature double du système B. Ses constituants Ba et Bb tournent autour de leur centre de gravité commun en seulement 2 j 16 h.

Observation

Almach est bien visible à l'œil nu, à la pointe de l'arc d'étoiles caractéristique qui dessine la constellation d'Andromède. Cette étoile apparait double dans une lunette de 60 mm, en grossissant environ 50 fois. L'écart entre les deux composantes, de magnitudes respectives 2,3 et 4,8, vaut quasiment 10" d'arc. La différence d'éclat entre l'astre principal et l'astre secondaire, dix fois moins lumineux, est marquée. La différence de couleur est également notable et se renforce dans un instrument de 100 mm d'ouverture : l'étoile brillante se montre jaune orangé, tandis que la petite compagne apparait bleu-vert. Il est actuellement très difficile de résoudre cette dernière à la manière de Struve, car l'écart angulaire est sous 0,2" d'arc.



Le double amas de Persée



Constellation : Persée
Magnitude : 4
Dimension : 1°
Ascension droite : 2 h 20 min
Déclinaison : +57° 7′

Les amas ouverts se forment dans les nuages de gaz et de poussières de la Voie lactée. Le cas du double amas de Persée est exceptionnel, car deux groupes d'étoiles sont nés l'un après l'autre, côte à côte, au sein de la même nébuleuse. Le dernier formé, h Persei, est âgé de 11 millions d'années, alors que son frère aîné, Khi Persei, serait 1 million d'années plus vieux. Chacun de ces amas renferme une centaine d'étoiles dans un volume de 100 années-lumière. De nombreuses supergéantes très lumineuses — des dizaines de milliers de fois plus que le Soleil — brûlent leur énergie sans modération. Certains de ces astres sont toujours bleus, mais d'autres ont déjà atteint le stage de supergéantes rouges.

Observation

Le double amas de Persée est l'un des rares objets du ciel profond bien visible à l'œil nu ; il dévoile même facilement sa forme allongée. Il a été cité par Hipparque dès 130 av. J.-C. Dans des jumelles 7x50, les deux amas sont deux magnifiques condensations lumineuses parfaitement séparées. Ils demeurent peu résolus à cause du faible grossissement : quelques étoiles seulement parsèment leur surface. Il faut une petite lunette de 60 mm et un grossissement de 20 fois pour révéler la beauté du double amas : chacun d'eux dévoile plusieurs dizaines d'étoiles.
Dans un instrument de 100 mm d'ouverture, de nombreuses étoiles faibles emplissent le champ, tandis que certaines étoiles brillantes montrent leur couleur rouge orangé. L'une d'entre elles est visible sur NGC 884, deux autres plus colorées encore sont visibles entre les deux amas.

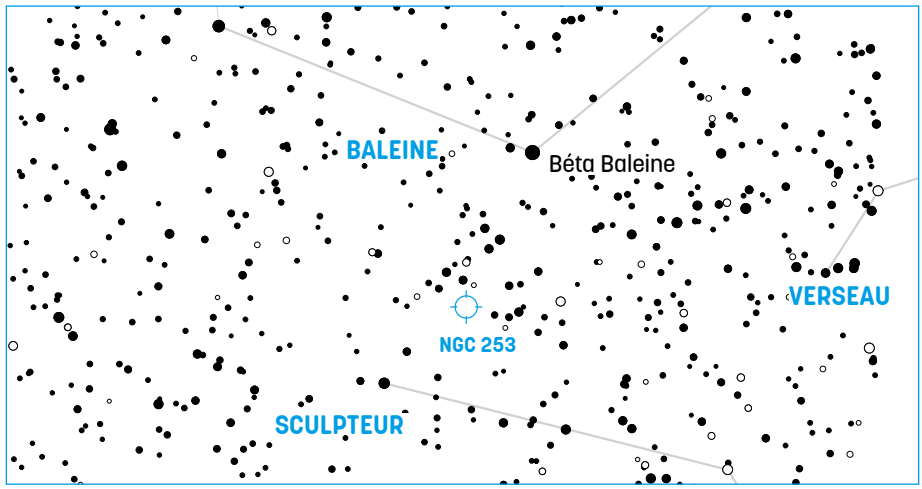


NGC 253, la galaxie du Sculpteur

Constellation : Sculpteur
Magnitude : 8
Dimensions : 27′x7′
Ascension droite : 0 h 48,9 min
Déclinaison : -25° 5′

NGC 253 est la tête de file d'un groupe d'une dizaine de galaxies, appelé le Filament du Sculpteur. Cet ensemble de galaxies est l'un des plus proches du Groupe local (où se trouve notre propre galaxie). NGC 253 se trouve à 10,5 millions d'années-lumière de nous, seulement 4 fois plus loin que la grande galaxie d'Andromède, M31.

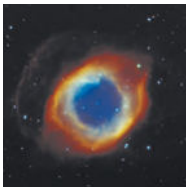
NGC 253 est une galaxie active, riche en nuages d'hydrogène ionisé. L'angle entre son axe de rotation et notre ligne de visée vaut 78°. Une valeur quasiment identique à l'inclinaison de M31, toujours elle. Cette vue de biais permet d'observer l'effet des poussières. En revanche, elle complique l'observation de la structure spirale. C'est dans l'infrarouge que celle-ci ressort le mieux.



Observation

La galaxie du Sculpteur est située à 1° est et 7° sud de Bêta Baleine. Elle culmine en moyenne à 20° de hauteur seulement en France. Dans un ciel pur, elle dévoile son fuseau allongé dans des jumelles 7x50. Elle s'étire sur près de 0,5°, soit autant que le diamètre de la Lune. Notez la présence de l'amas globulaire NGC 288 à 2° au sud-est. Celui-ci forme une tache circulaire qui ne doit pas être confondue avec une comète ! Dans un instrument de 100 à 150 mm, le disque contrasté de NGC 253 est marqué au centre par le bulbe, large et brillant. Une ouverture de 200 à 250 mm commence à dévoiler des nodosités sur tout le disque. Dans un diamètre supérieur, ce dernier est couvert de ces nuages brillants et sombres. Le noyau ponctuel se détache également.

NGC 7293, la nébuleuse Helix

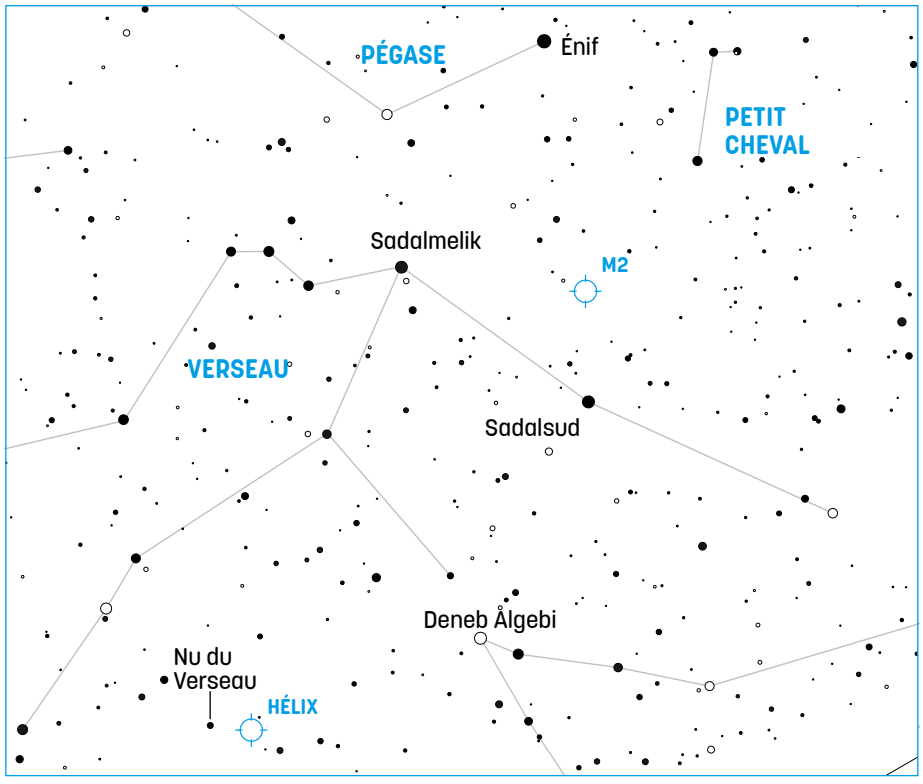


Constellation : Verseau
Magnitude : 7
Dimensions : 15′
Ascension droite : 22 h 29,6 min
Déclinaison : – 20° 50′

Helix compte parmi les nébuleuses planétaires les anciennes et les plus proches de nous, ce qui fait d'elle la plus grande du ciel visible à l'oculaire. Son âge avoisine 12 000 ans et sa distance 650 années-lumière. L'étoile à l'origine de cette nébuleuse était 6 fois plus massive que le Soleil. Il ne reste plus d'elle qu'un cœur très chaud, une naine blanche, dont la température de surface dépasse encore 100 000 °C. Les clichés dévoilent une faible enveloppe gazeuse autour de l'anneau principal, ainsi que d'innombrables traînées étirées radialement à intérieur du disque. Ces « nœuds cométaires », présents par dizaines de milliers dans NGC 7293, résultent du télescopage des différents halos de matière, éjectés successivement lors des derniers souffles de l'étoile.

Observation

La nébuleuse Helix est peu contrastée à cause de son étendue. Un ciel noir et pur est indispensable pour l'observer. Elle apparait alors dans les jumelles et les chercheurs, comme un disque grisé de luminosité homogène, à 1° à l'ouest de l'étoile Nu du Verseau (magnitude 5,2). Dans les télescopes, le champ restreint est un handicap : n'utilisez que le plus faible grossissement. Dans un instrument de 80 à 100 mm, on distingue un disque large et pâle, à peine assombri vers le centre. Dans un télescope de 200 mm, une demi-douzaine d'astres apparaissent sur ce disque, dont l'étoile centrale. Un filtre OIII permet d'assombrir le ciel et de gagner en contraste. Le vide au centre de la nébuleuse devient bien visible à partir de 100 mm d'ouverture. En revanche, ce type de filtre éteint fortement les étoiles.



L'amas globulaire M2



Constellation : Verseau
Magnitude : 6,6
Dimensions : 16′
Ascension droite : 21 h 34,8 min
Déclinaison : – 0° 41′

Messier 2 est un amas globulaire âgé de 12 milliards d'années. Il ne serait pas formé par effondrement d'un nuage de gaz, comme cela pouvait se produire à cette période. Il s'agirait plutôt du vestige d'une ancienne galaxie naine capturée par la nôtre, la Voie lactée. Il renferme quelque 100 000 étoiles dans un volume inférieur à 200 années-lumière. Son degré de compacité est de II, sur une échelle allant jusqu'à XII, ce qui signifie qu'il est particulièrement dense.
M 2 se trouve à 38 000 années-lumière de nous. Contrairement à la majorité de ses congénères, il évolue loin du plan de la Galaxie, dans le halo, du côté opposé à celui des grands amas de printemps, comme l'amas d'Hercule.

Observation

Invisible à l'œil nu, M2 est immanquable aux jumelles, au tiers du segment Enif-Sadalsud. Une lunette de 60 mm ne montre pas d'étoiles sur sa périphérie, mais quelques-unes se révèlent dans des instruments de 100 à 150 mm. À cette ouverture, le centre apparait plus petit et brillant. Dans un télescope de 250 mm, le nombre d'étoiles augmente autour du noyau. Ce dernier, tout au mieux légèrement granuleux, est encore loin de dévoiler tous ses soleils. Pour y parvenir, vous devrez utiliser un télescope de plus de 350 mm de diamètre, avec un grossissement voisin de 400 fois. Si le ciel est sombre, regardez à l'œil nu la direction pointée par votre télescope, par rapport à la bande de la Voie lactée : vous constaterez en effet que M2 est situé bien au sud du plan de notre galaxie.

SVBONY MK127

UN PETIT TÉLESCOPE TRÈS POLYVALENT

Svbony fait revivre une formule optique absente du marché depuis une dizaine d'années : le Maksutov-Rumak. Ce nouveau venu se révèle compact, bon marché et bon à tout faire.

Jean-Luc Dauvergne

Plusieurs marques asiatiques ont émergé ces dernières années. Parmi elles, Svbony s'est distinguée dans le domaine des accessoires. C'est donc avec étonnement que nous avons vu apparaître à son catalogue un Maksutov de 127 mm, d'autant plus qu'il s'agit de sa variante Rumak, bien plus noble optiquement que les Maksutov-Gregory que l'on trouve généralement. Rappelons que le Maksutov est un télescope à miroirs de la grande famille des Cassegrain, dans lequel le miroir primaire est sphérique. À l'avant du tube, un ménisque de verre, lui aussi doté de faces sphériques, vient corriger les aberrations du miroir primaire. Le miroir primaire est percé en son centre afin de permettre le passage de la lumière vers le porte-oculaire. Celle-ci est renvoyée à l'arrière du tube par un miroir secondaire, généralement obtenu en métallisant la partie centrale du ménisque et en exploitant ainsi sa courbure sphérique : c'est le Maksutov-Gregory.

Sur les Maksutov-Rumak, le miroir secondaire est une pièce optique indépendante avec sa propre courbure. Les images sont mieux corrigées sur l'ensemble du champ, avec moins de coma et un champ plus plan. Cette formule avait disparu du marché depuis la fin de la production des Maksutov Intes et Intes Micro d'origine russe, il y a une dizaine d'années.



Le Svbony MK127 est doté de deux supports de chercheur. C'est pratique pour porter une lunette guide et/ou un mini-PC.

TÉLESCOPE SVBONY MK120

Diamètre : 127 mm
Focale : 1500 mm
Magnitude limite : 12,5
Obstruction : 31,5 %
Ouverture : f/11,8
Poids : 2,9 kg
Accessoires : réducteur de focale 0,65×, porte-oculaire 2″, porte-oculaire 31,75 mm
Prix : 517,90 €

Tube optique : des détails de finition appréciables

Le tube optique présente un aspect global classique pour un télescope de ce type, mais un détail saute aux yeux : la molette de mise au point est démultipliée d'origine. C'est un équipement que l'on aimerait voir plus souvent sur les télescopes de la famille des Cassegrain. L'autre fait notable se situe à l'avant, au niveau du support du miroir secondaire. Là encore, la finition est soignée : les vis de réglage sont dissimulées derrière un cache métallique vissé. Dernier point appréciable : le télescope est doté de deux supports de chercheur. Il est ainsi facile d'en réserver un à un chercheur optique et l'autre à une lunette de guidage. Ou encore, si l'on ne fait que de l'imagerie, de fixer la lunette de guidage d'un côté et un mini-PC de l'autre (type ASIAIR, StellaVita ou équivalent).

L'instrument est livré avec deux porte-oculaires à visser à l'arrière : un au coulant de 50,8 mm et l'autre au coulant de 31,75 mm. Ils peuvent être retirés afin de monter directement le réducteur de focale pour l'astrophotographie. Cet accessoire est fourni d'origine et, là encore, Svbony se démarque de la concurrence. Ce réducteur permet de passer de f/11,8 à f/7,5. En revanche, le tube est vendu sans chercheur, ce qui est plus inhabituel. Svbony propose toutefois un kit complet comprenant une monture azimutale non motorisée, un renvoi coudé, un chercheur et un oculaire zoom de 7,2 à 21,6 mm.



À l'avant, le miroir secondaire se règle par trois couples de vis. À l'arrière, on apprécie la molette de mise au point démultipliée.



Cette vue de Saturne prise le 23 juin 2026, loin de l'opposition, montre déjà de nombreux détails. L'image a été obtenue avec une Barlow 1,8x.

Observation planétaire : une optique très efficace

Avec sa longue focale native, les observations planétaires sont le domaine de prédilection du MK127. Avant de commencer, il convient de vérifier l'alignement du miroir secondaire. Il s'effectue au moyen de trois paires de vis Allen. Une fois ce réglage réalisé, il reste très stable, ce qui constitue l'un des grands atouts de cette formule optique. Il faut souligner que cette opération doit être faite sur une étoile à fort grossissement et s'achever sur une image focalisée, en poussant le grossissement entre 300 et 400×. Au cours de ce réglage, nous avons constaté un petit résidu d'astigmatisme provenant de l'avant du tube. Nous sommes parvenus à le réduire à un niveau acceptable en desserrant un peu la bague qui maintient le ménisque et en relâchant légèrement les vis du miroir secondaire. Certaines contraintes mécaniques sont donc transmises au verre. Il suffit de le savoir et de veiller à ne pas serrer trop fort ces différents éléments.

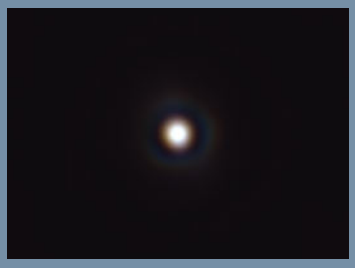
Une fois ce réglage effectué, l'instrument délivre des images de qualité. Il supporte sans difficulté un grossissement de 312× en observation lunaire avec un oculaire UWA de 4,7 mm. Par effet de contraste, la rainure au fond de la vallée des Alpes est perçue, alors que sa taille angulaire est inférieure à 0,4". On est donc bien en deçà de la limite de diffraction de l'instrument (0,9"). Elle ressort encore plus distinctement en imagerie. Un filtre bleu a permis d'augmenter la résolution. Plus la longueur d'onde est courte, meilleure est la résolution. En contrepartie, l'instrument devient plus sensible à la turbulence et à la réfraction atmosphérique.

Le Svbony MK127 se comporte aussi très bien sur Saturne. L'ombre des anneaux sur le globe est nette, tout comme celle de la planète sur les anneaux. Le résultat est très honorable en imagerie, malgré des conditions d'observation perfectibles

Avec sa longue focale native, les observations planétaires sont le domaine de prédilection du Svbony MK127

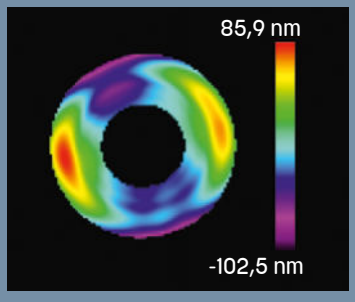
UNE ÉTOILE À LA LOUPE

Observée à très fort grossissement, une étoile présente un anneau de diffraction sombre, relativement homogène. Le rapport de Strehl mesuré est de 0,89 ; un instrument parfait atteindrait une valeur de 1. Cela signifie que seulement 11 % de l'énergie de la tache d'Airy sont diffusés hors de son maximum central. On se situe donc largement au-dessus du seuil de 0,8. Si l'on tient compte de l'obstruction centrale, on obtient un Strehl équivalent de 0,72.



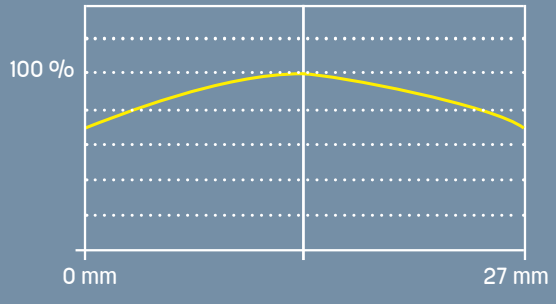
QUALITÉ OPTIQUE

Nous avons mesuré le front d'onde de l'instrument. Les écarts quadratiques moyens (RMS) atteignent 36 nm (lambda/15), tandis que le défaut de front d'onde maximal (PTV) est de 179 nm (lambda/3). Il est intéressant de noter que la surface optique est particulièrement douce. Si l'on retire les défauts d'astigmatisme, qui sont essentiellement d'origine mécanique, ces valeurs passent à 16 nm RMS et 87 nm PTV, ce qui est excellent.



VIGNETAGE

Dans les coins d'un capteur Micro 4/3, l'éclairement reste de 68 % avec le réducteur de focale. Cette optique est donc bien adaptée aux capteurs de taille moyenne, tels que les IMX294 et IMX533.

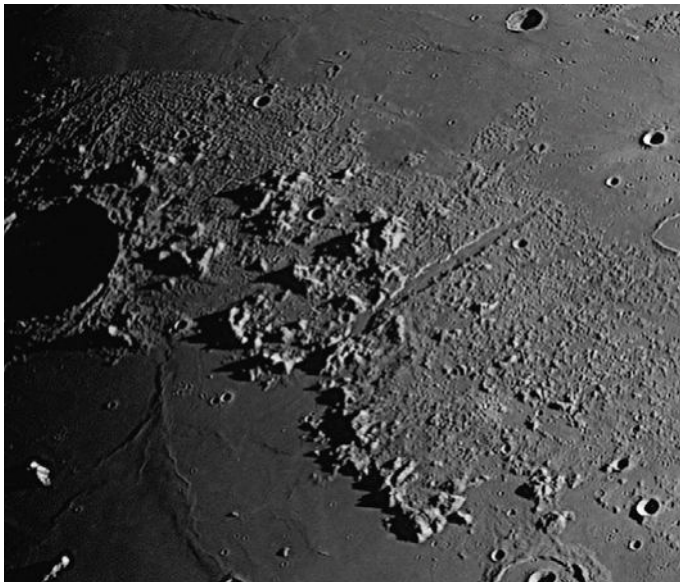


le 23 juin 2026. À cette date, la planète n'a pas atteint le méridien en fin de nuit et se trouve encore à plus de trois mois de son opposition. À noter : un léger défaut de shifting — l'image se déplace lorsque l'on inverse le sens de la mise au point. Ce comportement est assez classique quand la mise au point est obtenue par mouvement du miroir primaire. Nous avons mesuré un déplacement de 18". Celui-ci a augmenté durant les épisodes de canicule en raison de la modification de la viscosité des graisses.

Le MK127 est aussi un excellent outil pour photographier les quartiers de Lune. Avec un capteur IMX294 monochrome, celui-ci tient entièrement dans le champ. Les petits pixels de 2,3 µm permettent un échantillonnage idéal de 0,3"/pixel sans lentille de Barlow. On obtient ainsi une magnifique image lunaire de 5 360 pixels de hauteur avec une netteté homogène sur l'ensemble du champ.

Ciel profond : des capacités réelles

Avec un rapport focale/diamètre élevé, le champ accessible est forcément limité, à environ 1,8° dans le cas présent. Pour l'exploiter au maximum, le Masuyama 32 mm, doté d'un champ apparent de 85°, constitue une bonne option. Il procure une pupille de sortie de 2,7 mm. À noter qu'il existe aussi des oculaires de 45 à 60 mm si l'on souhaite obtenir une pupille de sortie plus large. Le cœur de l'amas M13 est résolu en étoiles à 90×. L'ensemble manque toutefois un peu de luminosité et l'on sent que 127 mm constituent une ouverture un peu juste pour tirer pleinement parti des objets du ciel profond.



Le télescope répond bien en imagerie, même avec un filtre bleu, comme le montre cette vue de la vallée des Alpes. On y devine la fine rainure au milieu de la vallée lunaire.



Cette photo de M 5 a été prise en plein Paris sans filtre. Elle résulte du cumul de 55 minutes de pose avec un IMX294 et le réducteur de focale 0,65x fourni.

En imagerie, nous avons ciblé l'amas globulaire M5, dont les étoiles sont bien résolues. Nous l'avons photographié avec le réducteur de focale et un capteur IMX294. Ce capteur au format Micro 4/3 (19,2 × 13 mm) représente une limite raisonnable pour cette optique en raison du vignetage. Même si le champ est plan, ce dernier dégrade progressivement l'aspect des étoiles en bordure de champ. Il est donc important d'ajuster avec précision la distance entre le réducteur de focale et le capteur. Cet élément optique est très sensible au tirage, et les étoiles prennent vite un aspect allongé si la distance recommandée n'est pas respectée. Disposer d'un jeu de bagues de 42 mm de différentes épaisseurs permet d'atteindre facilement le tirage nominal de 55 mm.

♥ Le réducteur de focale fourni d'origine
La mise au point démultipliée
Les deux emplacements de chercheur

♠ Les contraintes sur le ménisque
Pas de chercheur fourni
Un peu de shifting

NOTRE CONCLUSION

Ce petit Maksutov constitue une bonne surprise. Sa qualité optique est satisfaisante et le réducteur de focale fourni d'origine rend l'instrument très polyvalent. Il offre beaucoup de possibilités pour son budget, et surpasse par sa formule optique un Schmidt-Cassegrain de même diamètre. Fort de cette réussite, gageons que Svbony décline cette formule en 150 ou 180 mm.

NOTATION

Qualité optique	★★★★★½
Mécanique du tube	★★★★★½
Observation visuelle	★★★★½
Imagerie planétaire	★★★★★½
Imagerie du ciel profond	★★★★★★
Rapport qualité/prix	★★★★★★

Nous remercions Svbony pour la mise à disposition du matériel.

ML ASTRO SAL-33

UNE BONNE MONTURE À PETIT PRIX

ML Astro propose la SAL-33, une monture harmonique légère, deux fois moins chère que ses principales concurrentes. Nous avons vérifié si ses performances sont à la hauteur de son positionnement tarifaire.

Jean-Luc Dauvergne



La couleur naturelle de l'aluminium choisie pour la monture SAL-33 limite son échauffement au Soleil.

Avec l'arrivée des montures équatoriales à réducteurs harmoniques, de nombreuses nouvelles marques sont apparues. Parmi elles, ML Astro se distingue par une approche originale. Cette jeune entreprise vietnamienne a lancé la SAL-33, aux capacités comparables à celles de la ZWO AM5, référence du marché. Son principal atout est son tarif : 1 249 $ (1 090 €) contre environ 2 590 € pour l'AM5, soit près de moitié moins cher. Pour obtenir ce tarif, ML Astro adopte un modèle de vente directe, sans distributeur, et une production par lots. Les commandes sont regroupées avant le lancement de la fabrication, ce qui permet de réduire les coûts, au prix de délais pouvant atteindre plusieurs mois.

L'importation depuis le Vietnam entraîne des frais de douane et de TVA, représentant environ 250 à 300 €. La raquette de commande est vendue séparément (135 $, soit 118 €), un accessoire recommandé si l'on ne souhaite pas piloter la monture exclusivement avec un smartphone ou une tablette. ML Astro propose une personnalisation par gravure laser pour 25 $ (22 €), une option aussi originale que sympathique. Au final, le coût total se situe autour de 1 500 €, ce qui reste compétitif. L'achat en direct implique toutefois un SAV à distance. Sur ce point, le fondateur de l'entreprise, Minh Nguyen, se montre très réactif. La gamme comprend également une monture plus imposante, la ML Astro One (40 kg de charge utile), un spectrohéliographe et un système d'alignement polaire automatique.

MONTURE ML ASTRO SAL-33

Poids : 5,3 kg
Connectivité : USB, Wifi et Bluetooth
Alimentation : 12 V, 3A minimum, 5 A recommandé
Vitesse maximale : 4°/s
Charge maximale : 15 kg sans contrepoids ; 20 kg avec contrepoids.
Prix : monture, 1249 $; raquette, 135 $



La conception soignée a été pensée par des astronomes.

Prise en main : lui choisir un trépied robuste

La première étape consiste à choisir un trépied adapté. Malgré le faible poids de la monture, un modèle léger en carbone ne convient qu'aux petites configurations. Un trépied massif est préférable dès que l'instrument dépasse 5 à 6 kg ou possède un tube long. La fixation utilise un filetage photo standard 1/4" ou 3/8", ainsi qu'une fixation par trois vis M6. ML Astro commercialise une colonne de 20 cm compatible avec plusieurs standards (Sky-Watcher, iOptron, Celestron, Meade, Losmandy,

ZWO). Cette extension limite les risques de collision entre le tube et le trépied. Lors de notre essai, la SAL-33 était montée sur un robuste trépied Vixen Atlux, d'une excellente stabilité.

De nombreux détails témoignent d'une conception pensée par des astronomes. Des pas de vis permettent l'installation d'un viseur polaire électronique et le réglage de l'azimut repose sur un système « zéro shift » : des rondelles en téflon autorisent des corrections fines sans desserrer complètement les vis. L'usinage soigné limite les frottements et améliore la précision des réglages. ML Astro développe aussi une procédure de mise en station visuelle via son application, utilisant un oculaire réticulé. Cette fonction, pourtant absente de plusieurs montures concurrentes orientées exclusivement vers l'astrophotographie, sera appréciée des observateurs visuels.

L'aspect métallique de la SAL-33 n'est pas un choix esthétique, mais technique : la couleur naturelle de l'aluminium limite son échauffement au Soleil. L'axe d'ascension droite dispose d'un frein mécanique qui immobilise la monture hors tension, tandis que la déclinaison reste bloquée par le réducteur harmonique. Nous avons toutefois relevé un défaut : certaines queues d'aronde Losmandy très larges peuvent gêner le serrage. ML Astro fournit gratuitement une pièce correctrice et une modification de conception est prévue.

Sur le terrain : des performances convaincantes

La monture est pilotée par une application simple à prendre en main. Reposant sur le protocole open source OnStep, elle est compatible avec d'autres logiciels. Nos essais avec un ASIAIR montrent qu'une mise en station assistée par caméra se réalise en 5 à 10 minutes avec une bonne précision. En revanche, le pointage automatique manque encore de précision : la cible se retrouve en général à 1 ou 2° du centre et aucun recentrage automatique n'est effectué. Une seconde synchronisation manuelle permet ensuite d'obtenir un pointage précis. Le même comportement est observé avec la raquette OnStep. Une fois la cible acquise, les performances de suivi sont convaincantes. En autoguidage, l'erreur RMS descend régulièrement sous 0,5" quand les conditions atmosphériques sont favorables. La raquette de commande est agréable à utiliser, malgré un temps d'initialisation d'une dizaine de secondes. Son ergonomie est réussie et elle intègre une LED rouge pratique sur le terrain.

Côté capacité de charge, nous avons testé avec succès une lunette de 120 mm associée à un Maksutov de 127 mm en parallèle. Si le constructeur annonce 15 kg, voire 20 kg avec contrepoids, une charge de 10 à 12 kg semble plus réaliste pour une utilisation en astrophotographie.

♥ Le rapport qualité/prix
Les performances en astrophotographie
Simplicité d'utilisation

♠ Pas de trépied d'origine
Mauvaise précision de pointage

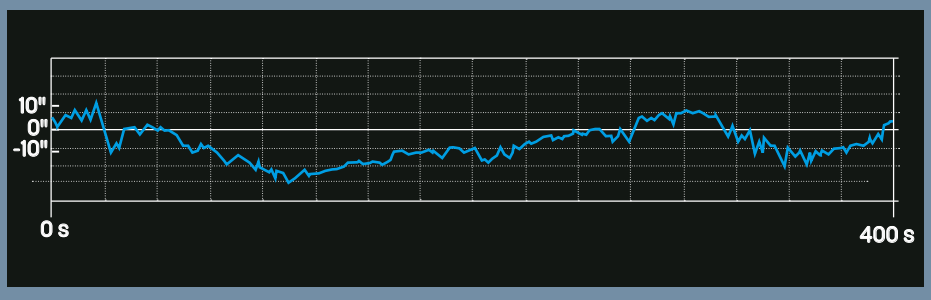
NOTRE CONCLUSION

La ML Astro SAL-33 constitue une alternative très intéressante aux montures harmoniques établies. Si la précision du pointage automatique peut encore progresser, ses performances de suivi en autoguidage sont de très bon niveau. Elle offre donc un excellent rapport qualité/prix. Son principal inconvénient reste le délai de livraison lié à son mode de production par lots. Mais pour qui peut patienter, elle est une concurrente crédible aux montures commercialisées au-delà de 2 000 €.

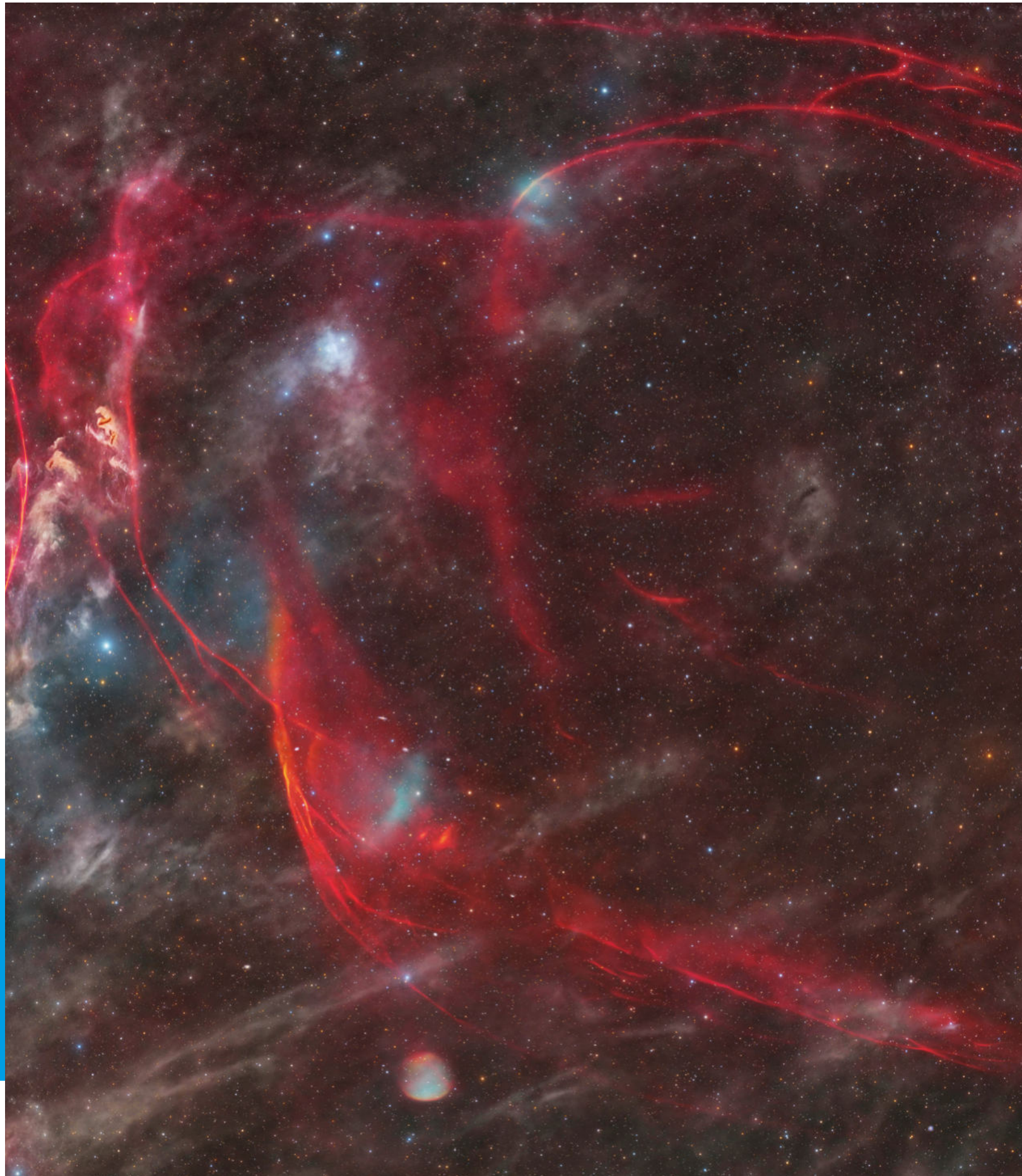
NOTATION

Mécanique de la monture	★★★★★½
Imagerie planétaire	★★★★★★
Imagerie du ciel profond	★★★★★★
Rapport qualité/prix	★★★★★★

Nous remercions ML Astro pour la mise à disposition du matériel.



ERREUR PÉRIODIQUE
Sans autoguidage, nous avons mesuré une erreur de suivi d'environ +/-15" sur une période proche de 10 min. La courbe présente des irrégularités caractéristiques des réducteurs harmoniques. Ces performances restent néanmoins compatibles avec l'astrophotographie dès lors que l'autoguidage est utilisé.





COUP DE CŒUR

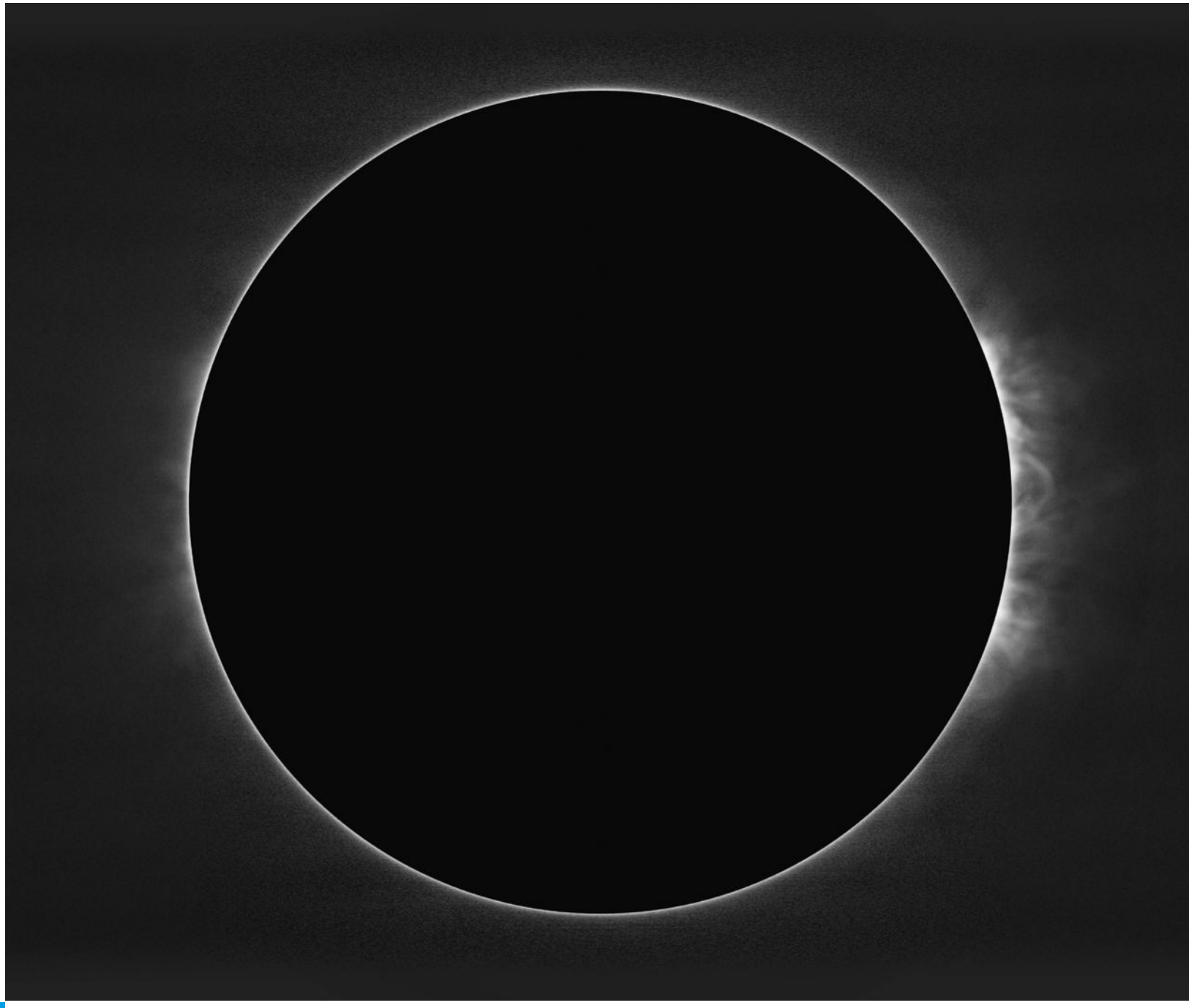
Louis Leroux-Géré, Cédric de Decker, Vincent Martin, Thibault Rouillée, Cyrille Malo, Julien De Winter

Voici la toute première photo de SNR G159.6+07.3, situé dans la constellation du Cocher. Ce rémanent de supernova est faible et étendu. Les télescopes professionnels n'en ont dévoilé que des portions depuis sa découverte en 2010. La particularité du groupe Fact, qui est à l'origine de cette image, est d'avoir combiné des prises de vue effectuées avec plusieurs instruments sur deux hivers. Cette photo est une mosaïque de quatre champs réalisés à 400 mm de focale. Son temps de pose total dépasse 310 h : un record dans cette rubrique ! En plus, elle a permis la détection d'une nébuleuse planétaire, reconnaissable en bas à gauche avec sa forme circulaire.

Utilisation de différents instruments de 280 à 400 mm de focale / 310 h 16 min

Lire aussi : Des amateurs découvrent une nébuleuse planétaire, https://tinyurl.com/3s6p5emp

Adressez-nous vos photos à : *ouvertlanuit@cieletespace.fr*
Merci de nous envoyer vos images à leur résolution maximale, de préférence dans un format JPEG peu compressé.



Cédric Champeau

Cette vue du Soleil est exceptionnelle, car elle montre la couronne de notre étoile. Celle-ci n'est visible en principe que lors des éclipses totales de Soleil, comme celle du 12 août 2026. L'astuce ici est d'utiliser un spectrohéliographe. En enregistrant une vidéo qui scanne la surface du Soleil, on produit des milliers de spectres qui permettent de reconstruire l'image finale à la longueur d'onde choisie.
La couronne peut être extraite de la raie du fer XIV, discrète et donc difficile à observer. Un long travail de traitement a été nécessaire pour extraire le signal de 100 observations successives et 60 Go de données avec le logiciel JSol'Ex, développé par Cédric lui-même.

Lunette SVBony SV48P 102 mm / Spectrohéliographe SHG 700 de ML Astro



José Rodrigues

Ce paysage résulte d'une grande maîtrise technique. On découvre ici l'île de la Harpe sur le lac Léman sous un aspect inédit. L'avant-plan a été photographié en réalisant 8 poses de 30 s. Pour le ciel, la monture équatoriale a été mise en route pour enregistrer 41 poses de 30 s, plus neuf autres de 90 s avec un filtre H alpha afin de faire ressortir les nébuleuses rouges.

Objectif Sigma Art 40 mm / Canon R6 MK II modifié astro / 38 min



Sylvain Reybaut

Sylvain a photographié les sprites (ou farfadets) lors d'un puissant orage qui frappait la Corse. Ces éclairs rouges très brefs se forment à environ 50 km d'altitude. Ils sont immenses. Afin de donner un ordre d'idée, l'observateur est à 250 km du phénomène ! La prise de vue se fait en vidéo en 4K pour saisir celui-ci.

Objectif Sigma Art 50 f/1,4 / / Canon R6 MK II / 1/25 s à 20 000 ISO

Gwenaël Blanck

Le 11 juillet 2026, la Lune avait rendez-vous avec l'amas des Pléiades. Gwenaël a saisi cette rencontre depuis Sèvres, avec la tour Eiffel comme avant-plan. Les astres sont alors en train de se lever. À l'œil nu, les Pléiades étaient difficilement discernables en raison de la pollution lumineuse. La lumière cendrée, en revanche, était bien visible.

Nikkor Z-180-600 / Nikon Z6 / 1,3 s à f/1600 iso



Bruno Brossier

Ptolémée, Alphonse et Arzachel forment un des trios de cratères lunaires les plus emblématiques. La photo de Bruno est remarquable de finesse. Elle résulte de la combinaison de trois champs contigus. Ici, l'originalité est de présenter cette région en couleur en forçant sur la saturation. Pour obtenir ce résultat, Bruno a mixé les données d'une caméra monochrome pour les plus petits détails et d'une caméra couleur.

Doctelescope 382/1722 mm / QHY5III-678 MM et C









Régis Rigal

Vela est un célèbre reste de supernova de l'hémisphère Sud. Ce cliché obtenu avec du matériel situé au Chili et piloté à distance montre une partie de ce complexe nébuleux. Il s'étend en totalité sur 8°, soit 16 fois la taille apparente de la Pleine Lune ! Il s'agit du gaz issu de l'explosion d'une étoile en fin de vie il y a 11 000 ans. Sa taille réelle est de 100 années-lumière. L'image est une mosaïque de quatre champs.

Askar SQA 106 / caméra ZWO ASI 2600 MM / 55 h à travers des filtres H alpha et OIII

Cédric Humbert

Ce complexe de nébuleuses bleues est surnommé les Petites Dentelles du Cygne. C'est une cible que l'on voit peu souvent en photo. On pourrait l'imaginer dénichée dans le ciel austral, et pourtant, elle est bien au-dessus de nos têtes, dans la constellation du Cygne. Plus étonnant encore, elle s'étend sur plus de 4°. Elle est peu connue en raison de sa très faible luminosité. Le secret pour la dévoiler est un temps de pose de 31 h et l'emploi de filtres sélectifs sur la lumière émise par l'hydrogène et l'oxygène.

Sigma Art 135 mm / Caméra ZWO 2600 mm / 31 h à travers des filtre R, V, B, H alpha et OIII

Benoît Saintot, Eddie Seguin, Guillaume Gruntz, Dan Israël

Cette vue de M 85 a nécessité un très long temps de pose afin de dévoiler les coquilles autour de cette galaxie lenticulaire. Elles résultent d'interactions passées avec une autre galaxie. Leur fusion aurait eu lieu il y a 4 à 7 millions d'années ; on retrouve encore les traces de deux noyaux. Pour obtenir ce résultat, la Team 250 a réuni les données issues de trois télescopes de Newton et un CCA 250 (Takahashi).

Quatre télescopes de 250 mm / 40 h 50 min à travers des filtres L, R, V, B

1er OCTOBRE

La Lune est au périgée, très haut dans le ciel. C'est une date idéale pour l'observer au télescope.

4 OCTOBRE

L'astéroïde 2 Pallas passe à l'opposition dans la Baleine.

4 OCTOBRE

Opposition de Saturne.

6 OCTOBRE

Le matin, joli rapprochement entre le croissant de Lune et Jupiter, distants de 2,5°.

9 OCTOBRE

Maximum des Draconides. Comptez une dizaine d'étoiles filantes par heure, avec toutefois quelques sursauts imprévisibles.

10 OCTOBRE

La période est favorable pour observer la lumière zodiacale dans le ciel du matin.

12 OCTOBRE

Mercure est en conjonction avec un fin croissant de Lune situé 3° plus bas. Une configuration de toute beauté sous les tropiques.

13 OCTOBRE

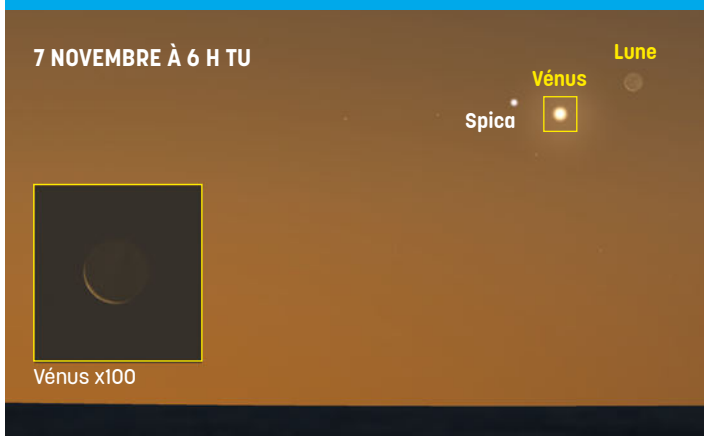
L'astéroïde Vesta est à l'opposition dans la Baleine. Sa magnitude 6,5 le rend visible dans des jumelles.

PHÉNOMÈNE À VOIR AVEC

œil nu	jumelles	télescope

RENDEZ-VOUS MATINAL

Vénus et un fin croissant de Lune sont distants de 2° dans les lueurs de l'aube. La portion éclairée de la Lune n'est que de 4 %. Vénus arbore un croissant similaire au télescope. En fin de matinée, les deux astres ne sont plus qu'à 1,5° l'un de l'autre. Ce rapprochement donne lieu à une occultation visible depuis le Chili et l'Argentine.



18 OCTOBRE

La planète naine Éris passe à l'opposition dans la Baleine à la magnitude 18,5.

20 OCTOBRE

Vers 0 h 48 TU, l'astéroïde (4209) Briggs occulte une étoile de magnitude 9,9. Le phénomène est visible sur la Belgique. Plus de détails : https://gaiamoons.imcce.fr/occ.php?p=98666

21 OCTOBRE

Maximum des Orionides avec 20 étoiles filantes par heure. Le pic peut se maintenir en plateau sur plusieurs nuits. Concentrez vos observations en fin de nuit quand la Lune est couchée.

24 OCTOBRE

La Lune gibbeuse est au nord de Saturne.

2 NOVEMBRE

En seconde partie de nuit, la Lune, Mars et Jupiter se suivent en enfilade le long de l'écliptique.

3 NOVEMBRE

À leur lever, la Lune et Jupiter sont distantes de seulement 2°.

5 NOVEMBRE

Le matin, Vénus se dégage rapidement des lueurs de l'aube. Sa phase en fin croissant est reconnaissable aux jumelles.

15 NOVEMBRE

Jusqu'au 22, Mercure fait une belle apparition à l'aube. Environ 45 minutes avant le lever du Soleil, cherchez à l'œil nu un petit astre isolé, doré par l'absorption atmosphérique. Au télescope, sa phase passe d'un épais croissant le 15 à un quartier joufflu le 22.

17 NOVEMBRE

Maximum des Léonides. Ces étoiles filantes sont à observer avant l'aube, quand le radian, situé près de la tête du Lion, culmine haut en direction du sud. Le taux horaire devrait être compris entre 10 et 15 météores.

20 NOVEMBRE

La Lune passe à 5° au nord de Saturne en début de nuit.

21 NOVEMBRE

Élongation maximale de Mercure le matin, à 20° à l'ouest du Soleil.

25 NOVEMBRE

Opposition d'Uranus. Sa magnitude de 5,4 la rend en principe visible à l'œil nu dans un ciel noir.

25 NOVEMBRE

La Lune est au périgée et atteint une hauteur de près de 70°. Une configuration idéale pour les observations à haute résolution.

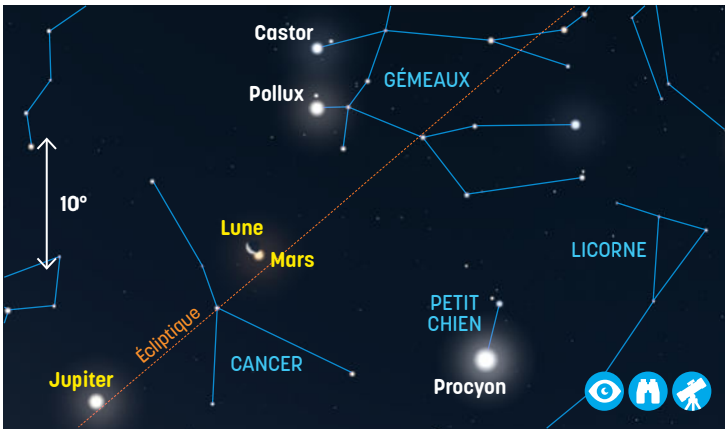
27 NOVEMBRE

Vénus atteint son maximum d'éclat.

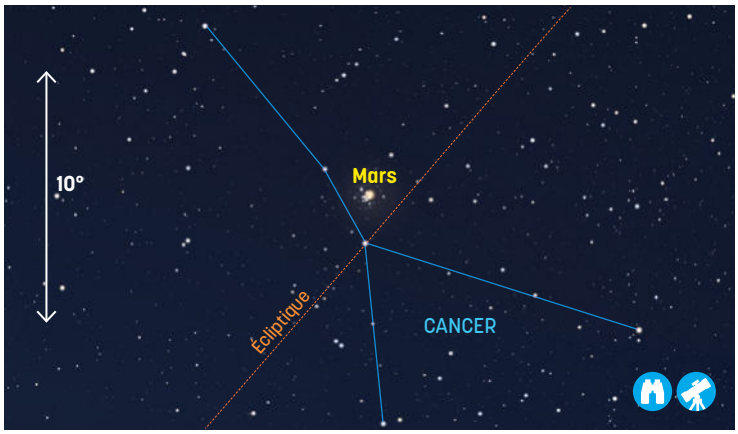
30 NOVEMBRE

Occultation vers 23 h 38 TU d'une étoile de magnitude 10 par l'astéroïde (1879) Broederstroom. Celui-ci est susceptible d'avoir un satellite qui reste à découvrir. L'occultation est visible sur une ligne Bordeaux-Saulieu. Plus de détails sur : https://gaiamoons.imcce.fr/occ.php?p=106740

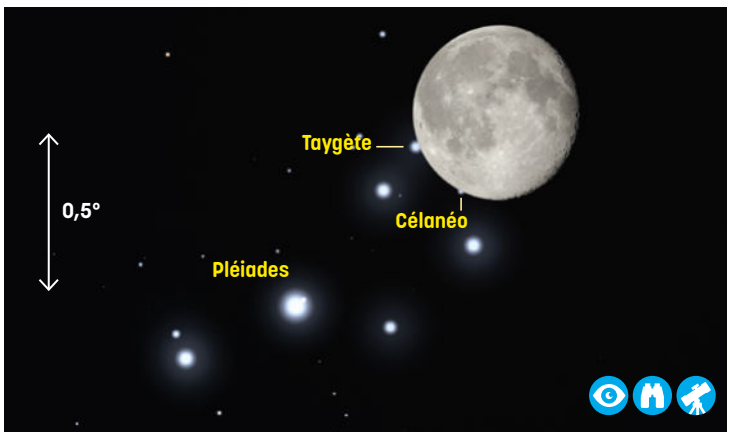
Horaires en temps universel (TU). Heure légale = TU + 2 h avant le 25 octobre, et + 1 h après.



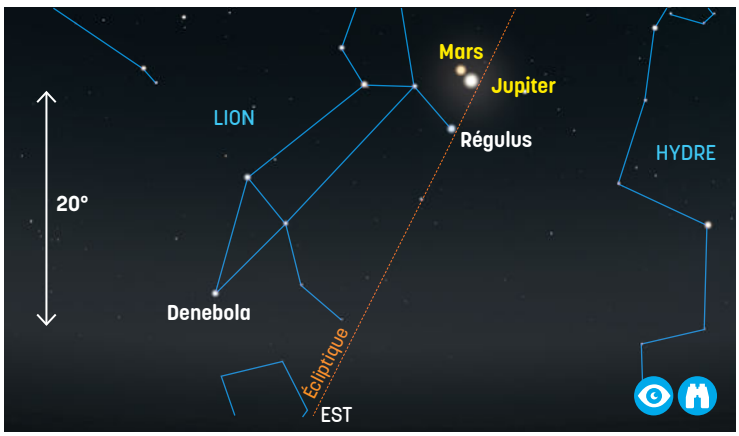
5 OCTOBRE À 5 H TU I Le croissant de Lune est à seulement 0,5° de la planète Mars dans le ciel du matin. Un rapprochement visible dans le Cancer vers le sud-est.



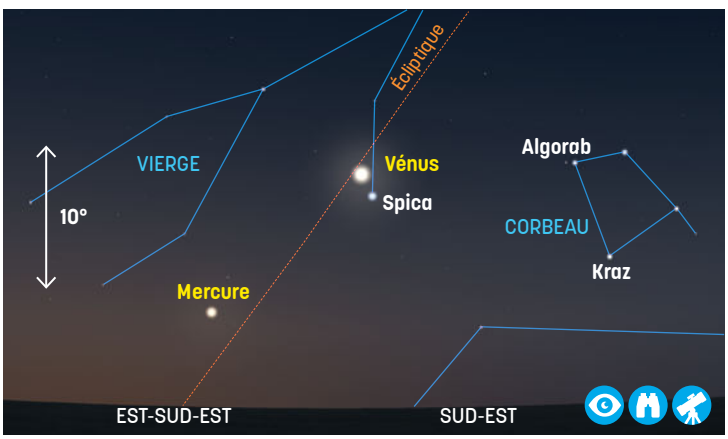
11 OCTOBRE À 5 H TU I Le matin, regardez la planète Mars aux jumelles. Vous verrez qu'elle traverse l'amas ouvert de la Crèche.



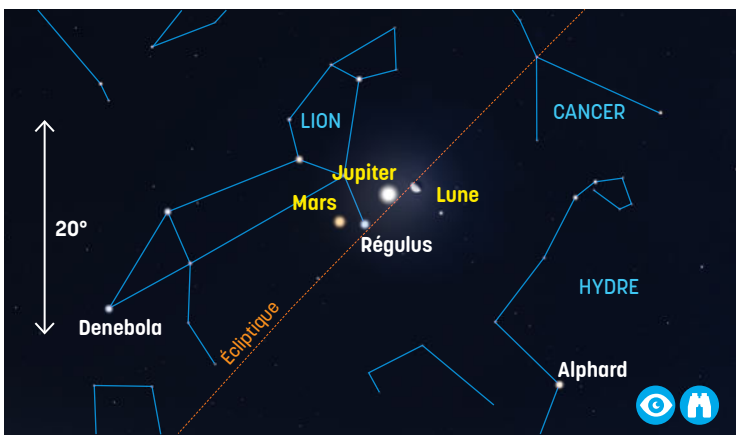
28 OCTOBRE À 0 H 26 TU I La Lune occulte trois des étoiles principales de l'amas ouvert des Pléiades, dans le Taureau. Un spectacle à contempler de 0 h 30 jusqu'à 1 h 45 TU.



15 NOVEMBRE À 2 H TU I Conjonction serrée entre Mars et Jupiter à observer en fin de nuit vers le sud-est. Les deux planètes sont visibles sous un angle de seulement 1°.



19 NOVEMBRE À 6 H TU I La planète Mercure atteint sa hauteur maximale dans le ciel de l'aube. Sa phase est en quartier.



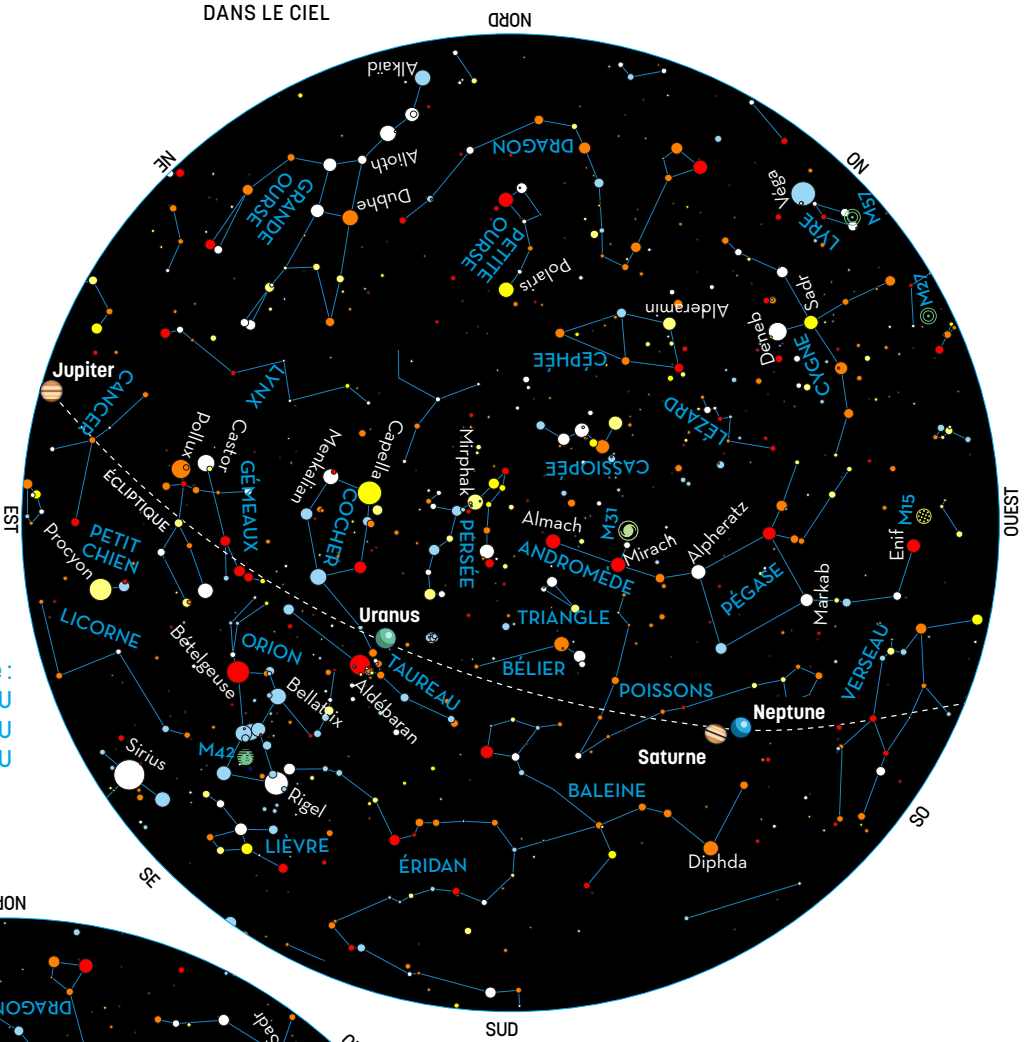
30 NOVEMBRE À 4 H TU I Beau rapprochement mettant en scène la Lune, Mars, Jupiter et Régulus en seconde partie de nuit sous un angle de moins de 10°. Le rapprochement est également digne d'intérêt la nuit suivante.

LE CIEL NOCTURNE

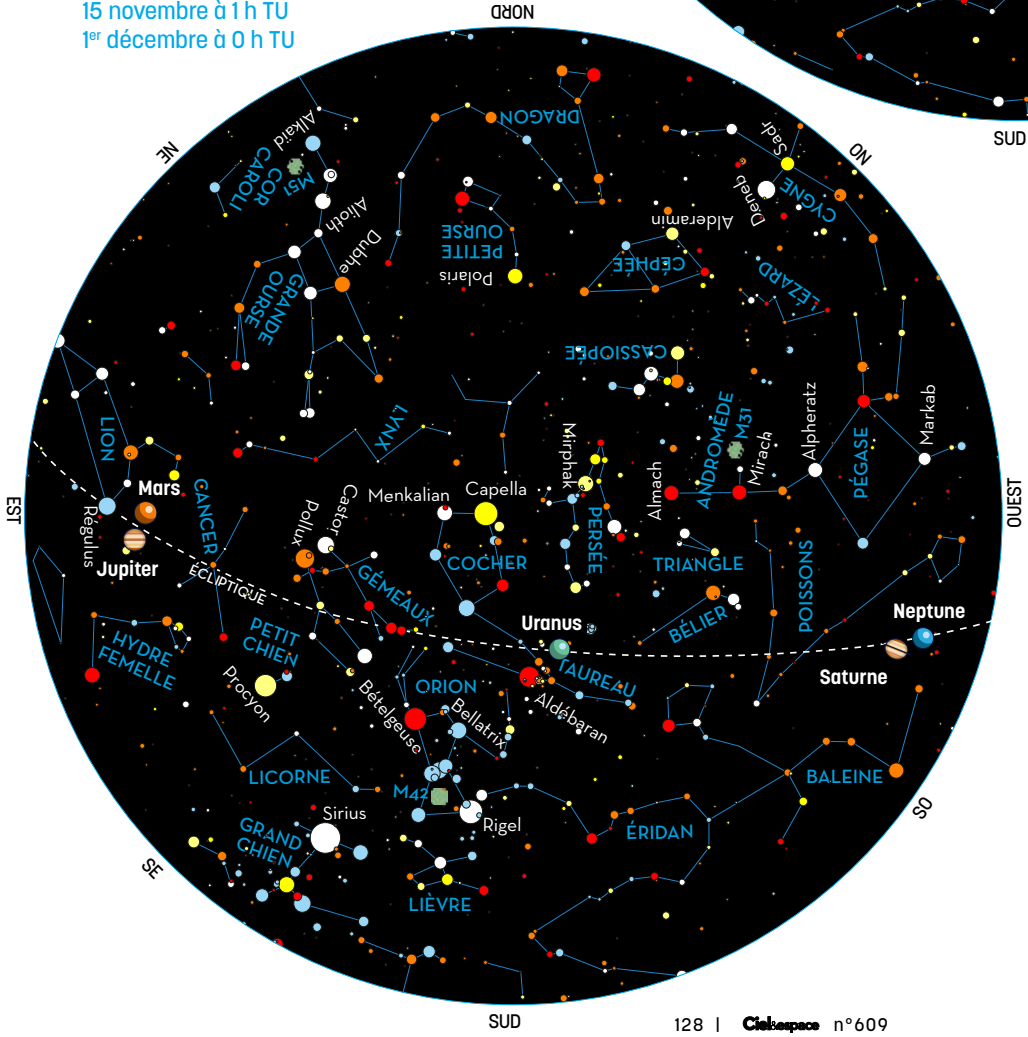
CIEL À LA LATITUDE DE CLERMONT-FERRAND (45° 47′ N).

Si vous habitez plus au nord, l'Étoile polaire sera plus haute dans le ciel et les étoiles de la partie sud de la voute céleste seront plus proches de l'horizon (et inversement si vous habitez au sud).

Carte valable le :
1er octobre à 2 h TU
15 octobre à 1 h TU
1er novembre à 0 h TU



Carte valable le :
1er novembre à 2 h TU
15 novembre à 1 h TU
1er décembre à 0 h TU

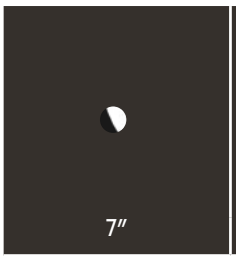
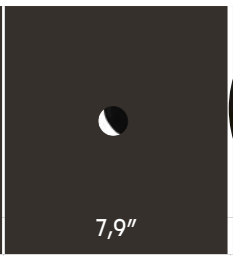


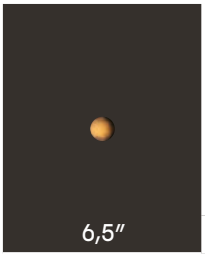
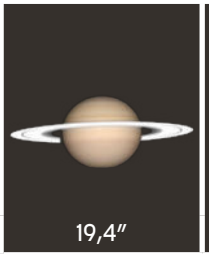
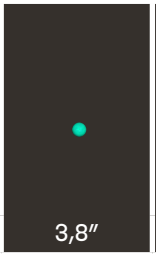
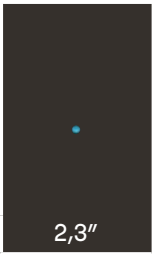
LÉGENDE

- Amas ouvert
- Amas globulaire
- Nébuleuse diffuse
- Nébuleuse planétaire
- Galaxie

ORION Constellation
Spica Étoile

RETROUVEZ AUSSI NOS CONSEILS D'OBSERVATION SUR CIELETESPACE.FR

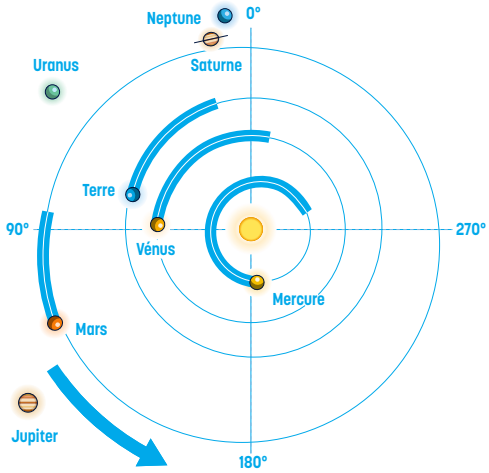
MERCURE		VÉNUS	
15/10	15/11	15/10	15/11
			
7″	7,9″	58,5″	50,9″
▲ 8 h 42	▲ 5 h 17	▲ 7 h 55	▲ 4 h 20
▼ 17 h 34	▼ 15 h 38	▼ 16 h 39	▼ 14 h 51
Mv 0,1	0	−4,2	−4,8
⛔	★	⛔	★★★★

MARS	JUPITER	SATURNE	URANUS	NEPTUNE
1/11	1/11	1/11	1/11	1/11
				
6,5″	35,8″	19,4″	3,8″	2,3″
▲ 23 h 20	▲ 23 h 43	▲ 15 h 36	▲ 17 h 30	▲ 15 h 16
▼ 13 h 59	▼ 14 h 05	▼ 3 h 56	▼ 9 h 07	▼ 3 h 20
Mv 0,9	−2	0,6	5,7	7,7
★★★	★★★	★★★★	★★★★	★★★★

Magnitude : Mv Taille apparente : xx″ ▲ Lever ▼ Coucher en TU

POSITIONS HÉLIOCENTRIQUES

au 30 novembre



Mercure, Vénus, la Terre et Mars : la courbe indique leur déplacement depuis le 1er octobre.

LA LUNE

- **3** octobre Gémeaux
- **10** octobre Vierge
- **18** octobre Sagittaire
- **26** octobre Bélier
- **1er** novembre Cancer
- **9** novembre Vierge
- **17** novembre Capricorne
- **24** novembre Poissons

VISIBILITÉ DES PLANÈTES

Mercure atteint son élongation maximale le 12 octobre, mais l'inclinaison de l'écliptique ne lui est pas très favorable. Cherchez-la plutôt à l'aube lors de l'élongation suivante, autour du 20 novembre. **Vénus** fait son retour dans le ciel du matin début novembre, où elle gagne de la hauteur de jour en jour. **Mars** est désormais bien installée dans le ciel du matin et sa taille apparente progresse de 6″ à 8″ dans la période. Les observations sérieuses peuvent débuter au télescope. **Jupiter**, non loin de Mars, est logée à la même enseigne en termes de visibilité. **Saturne** est encore mieux lotie, puisqu'elle passe à l'opposition le 4 octobre (lire p. 106). **Uranus** passe à l'opposition le 25 novembre. Profitez-en pour viser sa petite bille bleu-vert ou tenter de l'épingler à l'œil nu sous un ciel bien noir. Elle est proche de **Neptune**, passée à l'opposition le 26 septembre.



OBSERVEZ UN SYSTÈME PLANÉTAIRE EN FORMATION

L'une des étoiles les plus brillantes du ciel est à repérer au ras de l'horizon sud, en automne, depuis les moyennes latitudes boréales. Celle-ci est accompagnée d'un disque de poussière où des planètes sont en train de naître.

Philippe Henarejos

À vrai dire, les astronomes ne savent pas très bien ce qui se passe autour de l'étoile Fomalhaut. Mais ils sont certains d'une chose : cet astre de la constellation du Poisson austral est entouré d'un disque de poussières dans lequel des corps célestes s'agrègent et se télescopent. Au moins deux collisions de planétoïdes y ont été observées ces dernières années, signe que les processus de fabrication des planètes y sont à l'œuvre. En automne, Fomalhaut est aisément visible à l'œil nu au ras de l'horizon sud depuis l'hémisphère Nord. Songez en percevant sa lumière que cette étoile distante d'à peine 25 années-lumière, et presque deux fois plus massive que le Soleil, abritera un jour, dans quelques centaines de millions d'années, d'autres planètes…



Association française d'Astronomie

INITIEZ-VOUS À L'ASTRONOMIE AVEC LES STAGES DE L'AFA

Partout en France, l'Association française d'astronomie et ses centres de formation organisent tout au long de l'année des stages d'observation et de pratique de l'astronomie

Dates, lieux et contenus sur **www.afastronomie.fr**



LES RENCONTRES DU CIEL ET DE L'ESPACE

LES 13, 14
ET 15 NOV. 2026

à la Cité des sciences et de l'industrie

Informations sur https://www.afastronomie.fr/rencontres-ciel-espace

© O. Hodasava